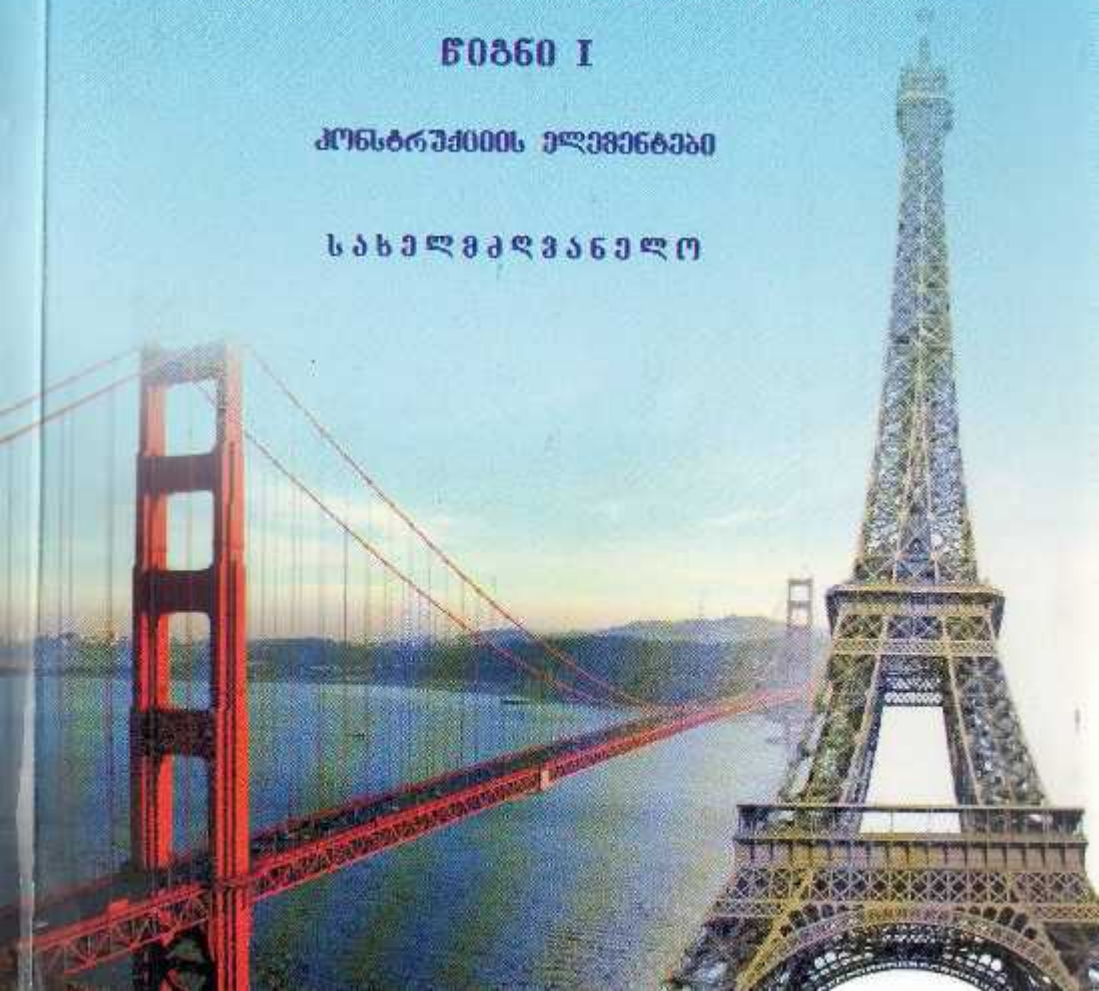
გიგო ჭარცხალაძე
ინგა შა მშვენიერაძე

ლითონის კონსტრუქციები

წიგნი I

კონსტრუქციის ელემენტები

სახელმძღვანელო



გიზო ფარცხალაძე
ინგუშა მშვენიერაძე

ლითონის კონსტრუქციები

სახელმძღვანელო

წიგნი I

კონსტრუქციის ელემენტები

გამომცემლობა
„შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი“
ბათუმი – 2009

UDC (უაკ) 624.014+624.07+692
ფ-308

Gizo Partskhaladze
Ingusha Mshvenieradze

METAL CONSTRUCTIONS

წიგნი ალიარებულია სახელმძღვანელოდ შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს მიერ
(დადგენილება №89. 17.07.2009)

რედაქტორები: გოჩა ჩაგელეშვილი – აკადემიური დოქტორი
მიხეილი დონაძე – აკადემიური დოქტორი

რეცენზენტები: აგული სოხაძე –
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის წევრი
ლერი ზამბახიძე –
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასოცირებული პროფესორი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი

ISBN 978-9941-409-68-4
© „შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი" – 2009

წინასიტყვაობა

თანამედროვე სამოქალაქო მშენებლობის, გემთმშენებლობის, ავიამშენებლობის და ეროვნული მეურნეობის სხვა დარგების განვითარება მოითხოვს, განსაკუთრებით ზუსტად იქნეს დამუშავებული კონსტრუქციების გაანგარიშების თეორიული საკითხები.

სახელმძღვანელოში შემოთავაზებულია თანამედროვე სამეცნიერო კვლევებზე დაფუძნებული კონსტრუირებისა და მათი გაანგარიშების როგორც ახლებური, ასევე არსებული საუკეთესო მეთოდები.

ლითონის კონსტრუქციების პირველი წიგნი მოიცავს დაპროექტების ძირითად პრინციპებს, რომელშიც ყურადღება გამახვილებულია გაანგარიშების საფუძვლებზე, კონსტრუქციის ელემენტებსა და მათი შეერთებების სახეებზე. ეს წიგნი, ასევე, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ცნობარის სახით ლითონის კონსტრუქციებში. აქ მოყვანილი საკითხები და მათი მოცულობები შესაბამისობაში არის მოყვანილი როგორც საგნის სილაბუსთან, ასევე სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის და სხვა საგანმანათლებლო პროგრამებთან. წიგნი განკუთვნილია სწავლების პირველი საფეხურისათვის - ბაკალავრიატისათვის. მასში მოყვანილი საკითხები მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის სტუდენტებსაც გამოადგება.

წარმოდგენილი პირველი წიგნი მოიცავს გაანგარიშების საფუძვლებსა და კონსტრუქციის ელემენტებს. მეორე წიგნში შევა სამრეწველო ნაგებობების კონსტრუქციები. მესამე წიგნში - სპეციალური კონსტრუქციები და ნაგებობები.

წიგნის შესწავლის შემდგომ სტუდენტს განუვითარდება ანალიტიკური, კრიტიკული და კომუნიკაციური უნარები ლითონის კონსტრუქციებში. ეს ცოდნა იქნება საფუძველი სხვა მიმართულების საგნების შესწავლისათვის.

წიგნი შედგება შესავლისაგან, რვა თავისა და დანართებისაგან.

FOREWORD

The development of modern civil engineering, shipbuilding, aircraft engineering and other branches of national economy requires the theoretical aspects of construction design to be elaborated with particular precision.

The present course book offers innovated as well as best existing methods of construction and their design based on the modern scientific researches.

The first book of Metal Construction comprises the basic principles of design paying special attention to the principles of design. construction elements and types of joining. The book can also be used as a reference book in metal constructions. The issues and their volumes represented here are in full compliance with the subject syllabus as well as civil and industrial construction and other educational programs. The book is intended for the first stage of education – Bachelor's level. However, the issues brought here can be useful for the Master and Doctoral students.

The presented Book I comprises the basic principles of design and elements of construction. Book 2 will include constructions of industrial buildings; book III – special constructions and buildings.

After learning the book students will develop analytical, critical and communicative skills in metal constructions. This knowledge will be the background for mastering the subjects in other directions.

The book consists of introduction, eight chapters and appendixes.

შესავალი

შ.1. ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში. ლითონის კონსტრუქციებს ფართოდ იყენებენ სხვადასხვა სახის შენობებსა და ნაგებობებში. ნაგებობის კონსტრუქციული ფორმა განისაზღვრება მისი ძირითადი ელემენტების: კოჭების, წამწეების, სვეტებისა და გარსების ურთიერთშეულლებით. ნაგებობისა და მისი ელემენტების საუკეთესო კონსტრუქციული ფორმის შერჩევა ხდება დაპროექტების დროს, რომელიც შემოქმედებითი პროცესია და რომლის დროს მრავალნაირი გადაწყვეტილების მიღება შეიძლება. კონსტრუქტორი ვალდებულია ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში იპოვოს მეცნიერებისა და ტექნიკის თანამედროვე დონის შესატყვისი საუკეთესო და რაციონალური გადაწყვეტა.

მშენებლობაში ძირითადად იყენებენ ჩვეულებრივ ნახშირბადიან ფოლადებს, მცირედ ლეგირებულ მაღალი სიმტკიცის ფოლადებსა და ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციებს.

ლითონის კონსტრუქციები მშენებლობაში გამოიყენება ღეროვანი და ფურცლოვანი სისტემების სახით.

ღეროვან სისტემებს, რომელთა ძირითადი მზიდი ელემენტებია კოჭები, წამწეები და სვეტები, მიეკუთვნება:

1. სამრეწველო შენობათა და ნაგებობათა (უმთავრესად მეტალურგიული და მანქანათაშენი ქარხნების საამქროების) კარკასები ამწისქვეშა კოჭებით, ბაქნებით და ა. შ.
2. რკინიგზის, გზატკეცილისა და ქალაქის დიდმალიანი ხიდები.
3. სამოქალაქო მაღლივი შენობები საგამოფენო პავილიონები სხვადასხვა სახის დიდმალიანი გადახურვები, გუმბათები და სხვ.
4. სპეციალური დანიშნულების შენობები-ანგარები, გემთსაშენი ელინგები და სხვ.
5. კავშირგაბმულობისა და ტელეხედვის ანძები და კოშკები, შახტის ურნალები, ნავთის კოშკურები, ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი, ესტაკადები, ამწეები და სხვ.

ფურცლოვანი სისტემები, რომელთა მზიდი კონსტრუქციული ელემენტებია ფირფიტები, გარსები გამოიყენება აირების შესანახ და გამანაწილებელ აირსაცავებში, სითხის შესანახ რეზერვუარებში, ფხვიერი მასალის შესანახ და გადასატვირთავ ბუნკერებში, სპეციალურ კონტრუქციებში, როგორებიცაა ბრძმედები, აირსაწმენდები, დიდდიამეტრიანი მილები და მილსადენები; უკანასკნელი გამოიყენება მეტალურგიულ და კოქსქიმიურ ქარხნებში, ჰიდროელექტროსადგურებში, ნავთობ და აირსადენებში და ა.შ.

ალუმინის დეფიციტურობის გამო, ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციებს ჯერ კიდევ ნაკლებად იყენებენ. 1ტონა ალუმინის

შენადნობების მზა კონსტრუქციები 5-10 ჯერ უფრო ძვირია, ვიდრე ფოლადის კონსტრუქციები, თუმცა მათი სიმსუბუქე, კოროზიამედეგობა მათი ეფექტური გამოყენების საშუალებას იძლევა. ალუმინის შენადნობებისაგან დღეისდღეობით ძირითადად მზადდება შენობის სახურავებისა და კედლების შემომფარგვლელი პანელები, შემსივის ვიტრაჟები, ფურცელოვანი კონსტრუქციები, მილსადენები აგრესიული სითხეებისათვის, დიდმალიანი გადახურვები და მოძრავი კონსტრუქციები, რომელთა წონის შემცირებას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს.

§2. ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ლითონის კონსტრუქციების ფართო გამოყენება მშენებლობაში განპირობებულია ლითონის, როგორც ამ კონსტრუქციების მასალის, მთელი რიგი დადებითი თვისებებით.

ლითონის კონსტრუქციების დადებითი მხარეებია:

1. **საიმედოობა და ხანგამძლეობა,** ფოლადის ცოტაგვაროვნებისა და სიმტკიცის მაღალი მახასიათებლების შედეგია, კერძოდ: დრეკადობის მოდული $E = 2{,}06 \cdot 10^5$ მპა ($2{,}06 \cdot 10^4$ კნ/სმ²), დენადობის ზღვარი $\sigma_y = 230 \div 750$ მპა (23÷75კნ/სმ²) და დროებითი წინაღობა $\sigma_u = 380 \div 850$ მპა (38÷85კნ/სმ²).

2. **სიმსუბუქე.** ფოლადისა და შენადნობების მაღალი სიმტკიცის გამო, ფოლადის კონსტრუქციები ხის კონსტრუქციებზე 1,5-2-ჯერ მსუბუქია, ბეტონის კონსტრუქციებზე-8-12-ჯერ, აგურის კონსტრუქციებზე, კი დაახლოებით 20-ჯერ; ალუმინის შენადნობების კონსტრუქციები 2-2,5-ჯერ მსუბუქია ფოლადის კონსტრუქციებთან შედარებით. მასალის ხარჯი (ან კონსტრუქციის მასა) დამოკიდებულია მასალის მოცულობითი მახისა და საანგარიშო წინაღობის ფარდობასთან, რასაც ფარდობით კოეფიციენტს უწოდებენ $K = \gamma/R$ (1/მ); და რაც ნაკლებია K, მით უფრო მსუბუქია კონსტრუქცია.

K-ს მნიშვნელობა სხვადასხვა მასალისათვის მოცემულია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილი 1-ში.

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, K ფოლადისა და ალუმინის შენადნობებისათვის გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ხისა და ბეტონისათვის. აქედან გამომდინარე, ერთსა და იმავე პირობებში (განსაკუთრებით დიდი მალისა და დატვირთვების შემთხვევაში), ლითონის კონსტრუქციები გაცილებით მსუბუქია ხის ან რკინაბეტონის კონსტრუქციებზე.

3. **კონსტრუქციების დამზადების ინდუსტრიალიზაცია.** ლითონის კონსტრუქციებს ძირითადად ამზადებენ სპეციალიზებულ ქარხნებში, რომლებიც აღჭურვილია მაღალმექანიზებული მოწყობილობებით, რაც მინიმუმამდე ამცირებს ხელით სამუშაოს და აადვილებს კონსტრუქციის დამზადებასა და მონტაჟს.

ცხრილი შ.1

მასალა	$K \cdot 10^4$ 1/მ
1915 T მარკის ალუმინის შენადნობები	1,35
ჩვეულებრივი სიმტკიცის მცირენახშირბადიანი ფოლადები	3,75
მაღალი სიმტკიცის მცირედლეგირებული ფოლადები	2,06
ხე	5,4
300 მარკის ბეტონი	18,5

4. **წყალ და აირშეუღწევადობა,** რაც განპირობებულია ლითონის მაღალი სიმკვრივით. ეს თვისება ფოლადების ფურცლოვან კონსტრუქციებში გამოყენების ძირითადი პირობაა.

ფოლადის კონსტრუქციების ნაკლოვანი (უარყოფითი) მხარეებია:

1. **ფოლადის დეფიციტურობა.** ფოლადს ფართოდ იყენებენ ეროვნული მეურნეობის ყველა დარგში, ამიტომ კონსტრუქციები ფოლადებისაგან გეგმარდება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მათი გამოყენება გამართლებულია როგორც ტექნიკურად, ისე ეკონომიურად (განსაკუთრებით რკინაბეტონის კონსტრუქციებთან შედარებით).

2. **ფოლადის კოროზია.** გარემოში არსებული ტენის, აირებისა და მარილების ზეგავლენით ზედაპირული ფენა გადაიქცევა რკინის ჟანგად, რის გამოც აუცილებელია ფოლადის კონსტრუქციების კოროზიისაგან დაცვა. ფოლადის კოროზიისაგან დაცვის საშუალებებია: ფოლადის კონსტრუქციების საღებაყებით დაფარვა, კოროზიამედეგი კონსტრუქციული ფორმების შექმნა, ფოლადებში სპეციალური მალეგირებელი ელემენტების შეყვანა და სხვა მეთოდების გამოყენება. ზოგ შემთხვევაში, ფოლადი შეიძლება წარმატებით შეიცვალოს ალუმინის შენადნობებით, რომლებიც ფოლადთან შედარებით მაღალი კოროზიული მედეგობით ხასიათდება.

3. **დაბალი ცეცხლმედეგობა.** $500^0 C$ ტემპარატურის ზევით ლითონი კარგავს ზიდვის უნარს, ამიტომ მათი გამოყენების აუცილებლობის შემთხვევაში უნდა მივიღოთ სომები კონსტრუქციის გადახურების წინააღმდეგ (თბოსაიზოლაციო

მასალებით დაფარვა და სხვა). კიდევ უკრო ნაკლებად ცვცხლმედეგია ალუმინის შენადნობები. ისინი ზიდვის უნარს კარგავენ 200^0C ტემპერატურის ზევით. გარდა ამისა, ფოლადთან შედარებით, ალუმინის შენადნობების ნაკლოვანი მხარეა შედარებით დაბალი დრეკადობის მოდული ($E = 71000$ მპა), რაც განაპირობებს ალუმინის კონსტრუქციების მაღალ დეფორმადობას.

4. **მაღალი ღირებულება.** $Cm3$ მარკის ფოლადისაგან დამზადებული 1ტ. ფოლადის კონსტრუქციების საშუალო ღირებულება შეადგენს დაახლოებით 1500 პირობით ერთეულს, აქედან ძირითადი მასალების ღირებულებაა 1000 პ.ე. ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული 1ტ. კონსტრუქციების ფასი 5-10 ჯერ მეტია. ეს უარყოფითი მხარე რამდენადმე ნაზღაურდება ლითონის კონსტრუქციების შედარებითი სიმსუბუქით და მაშასადამე, მათი ნაკლები მასით სხვა მასალებისაგან დამზადებული კონსტრუქციების მასასთან შედარებით.

შ3. ლითონის კონსრტუქციებისადმი წაყენებული მოთხოვნები. ლითონის კონსტრუციები უნდა აკმაყოფილებდეს საექსპლუატაციო მოთხოვნებს ნაგებობათა დანიშნულების მიხედვით; უნდა ჰქონდეს მაღალი ზიდვის უნარი (სიმტკიცე და მდგრადობა);

ახალი კონსტრუქციების შემუშავებისას ხელმძღვანელობენ შემდეგი პრინციპებით: 1) კონსტრუქციები უნდა იყოს მცირე მასისა და შრომატევადი, 2) კონსტრუქციების დამონტაჟება უნდა სრულდებოდეს უმოკლეს ვადაში.

ლითონის ხარჯისა და ღირებულების შემცირება ხდება რაციონალური კონსტრუქციული ეფექტური სქემების შექმნით და ლითონის და ალუმინის შენადნობების შესაბამისი მარკების გამოყენებით.

კონსტრუქციების შრომატევადობის შემცირებისა და მათი მონტაჟის დაჩქარების მიზნით, საპროექტო გადაწყვეტაში, მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული კონსტრუქციების დამზადებისა და მონტაჟის მაღალმწარმოებლური მეთოდების მოთხოვნები და შესაძლებლობები; უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს საწარმოო პროცესების შესრულების მოხერხებულობა და სიმარტივე. ფართოდ უნდა იქნეს გამოყენებული უნიფიცირებული და სტანდარტული (ტიპიური) ელემენტები და კვანძები.

მოლიანად ნაგებობა და მისი მშიდი კონსტრუქციები უნდა აკმაყოფილებდეს ესთეტიკურ მოთხოვნებსაც.

შენობათა და ნაგებობების დაპროექტება შედგება ორი სტადიისაგან: საპროექტო მოცემულობისა და სამუშაო ნახაზებისაგან.

საპროექტო მოცემულობაში განისაზღვრება მშენებლობის ტექნიკური შესაძლებლობა და ეკონომიკური მიზანშეწონილობა.

ლითონის კონსტრუქციების სამუშაო პროექტი შედგება ორი ნაწილისაგან-სამუშაო ნახაზების „ლკ" (ლითონის კონსტრუქციები, დეტალები). „ლკ" საფეხურზე დგება ნაგებობის სქემა, სრულდება კონსტრუქციების მთლიანი გაანგარიშება, შეირჩევა ყველა ელემენტის კვეთები, კეთდება საერთო ნახაზები და რთული კვანძების კონსტრუქციები. წარმოების კონსტრუქციული გადაწყვეტის შეთანხმება პროექტის სხვა ნაწილებთან: ტექნოლოგიური, სატრანსპორტო, ენერგეტიკულ, სანიტარულ, სამშენებლო-არქიტექტურულ და სხვ. დგება ლითონის სპეციფიკაცია. პროექტის „ლკ"-საფეხურის საფუძველზე, დამამზადებელი ქარხნების საკონსტრუქტორო ბიუროებში, ამუშავებენ „ლკდ" სამუშო ნახაზებს კონსტრუქციების ცალკეული დეტალებისათვის. ამავე ეტაპზე ამუშავებენ კონსტრუქციების სამონტაჟო სქემებს, გასაგზავნი ელემენტების შესაფერისი მარკირებით.

შ4. ლითონის კონსტრუქციების განვითარების მოკლე ისტორიული მიმოხილვა. ძველ დროში ძირითად სამშენებლო კონსტრუქციებად იყენებდნენ ქვისა (ასევე აგურის) და ხის კონსტრუქციებს. პირველად რკინის კონსტრუქცია გამოყენებული იქნა ძვ. წ. ა. III საუკუნეში ინდოეთში-ქალაქ დელიში. რკინის ჭედური ფურცლებისაგან დამზადებული იქნა კოლონა სიმაღლით 8 მ. წონით 6 ტ.

შუა საუკუნეების ევროპაში რკინას იყენებდნენ ქვის კონსტრუქციებში სამაგრ შემკვრელის სახით ქვის კამარების განბრჯენისათვის, მჭიმებად. XVIII საუკუნის მეორე ნახევარში ევროპაში მოხურხდა თუჯის გამოდნობა, რამაც გამოიწვია მისი ფართოდ გამოყენება ხიდების მშენებლობაში. პირველი თუჯის ხიდი მალით 30,6 მ. იქნა აშენებული დიდ ბრიტანეთში მდინარე სევერნზე 1776-1779 წ. 1784 წელს ევროპაში გამოჩნდა პირველი ფოლადის სადნობი პუდლინგ-ღუმელები, ხოლო 1819 წელს ლოტარინგიაში აშენდა ფოლადის საგლინაო, რამაც შესაძლებელი გახადა შექმნილიყო ჯაჭვისა და კაბელიანი კიდული ხიდები. მათ ჰქონდათ უფრო დიდი მალი ვიდრე თუჯის ხიდებს. 1818-1826 წლებში დიდ ბრიტანეთში მენეის სრუტეზე აგებული ხიდის მალი იყო 176,5 მეტრი. კაბელიანი ხიდის სიგრძე, რომელიც აშენებული იყო შვეიცარიის ფრეიბურგში 1832-1840 წლებში, იყო 273 მეტრი. რკინიგზის მნიშვნელოვანმა განვითარებამ, კიდული ხიდების არასაკმარისმა სიხისტემ და ქარხნებში ფოლადის გლინვის განვითარებამ გამოიწვია პროფილირებული ლითონისაგან დამზადებული ხიდების შექმნა. ასეთი ხიდი იყო „Britain", რომელიც აშენდა IX საუკუნის 40-იან წლებში დიდ ბრიტანეთში

მენაის სრუტეზე, ინჟინერ რ. სტეფენსონის მიერ. მისი მალი იყო 71,9+2X140+71,9 მ. (იხ. ნახ. შ.1).

ამის შემდგომ ფოლადის გამოყენება თანდათან, ხიდების მშენებლობასთან ერთად დაიწყო, როგორც საზოგადოებრივი, ისე სამრეწველო დანიშნულების ნაგებობებში. 1854 წ. ლონდონში შენდება მსოფლიო საგამოფენო დარბაზი-„Crystal Palace", ასევე მარსელში XIX საუკუნის 50-იან წლებში სადგური გადახურული ფერმებით, რომელთა მალის სიგრძე ტოლი იყო 52 მეტრის.

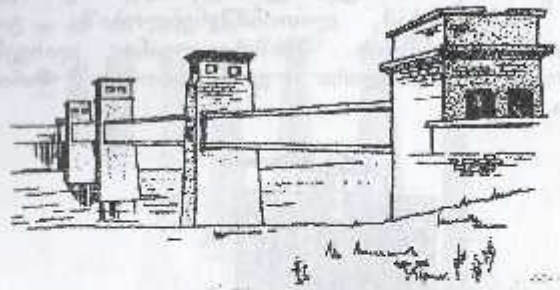
რკინისა და ფოლადის წარმოების სრულყოფამ-1856 წ. კონვერტერული და 1864 წ. მარტენის მეთოდით ფოლადის მიღებამ, გამოიწვია ლითონის კონსტრუქციების შემდგომი განვითარება.

1882-1891 წლებში დიდ ბრიტანეთში აშენდა ფორტის რკინიგზის კონსოლურ-კოჭოვანი, ორი შუა 521 მეტრიანი მალით, სისტემის ხიდი. 1889 წელს პარიზში მსოფლიო გამოფენაზე ალმართა ეიფელის კოშკი სიმაღლით 300 მ. (ნახ. შ.2, ა).

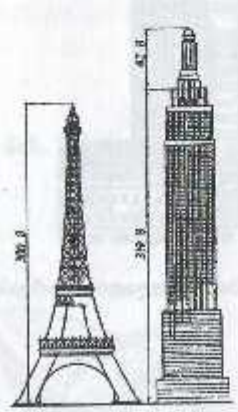
XX საუკუნეში ევროპაში აშენებული იქნა კიდევ მრავალი სხვა ნაგებობები ლითონის კონსტრუქციებისაგან.

აშშ-ი IX საუკუნის ბოლოდან დღემდე განვითარება პოვა ძირითადად ორმა მიმართულებამ: მრავალსართულიანმა მშენებლობამ და ხიდების კიდული სისტემების მშენებლობამ. 1931 წ. ნიუიორკში 15 თვის განმავლობაში აშენდა შენობა „Empire State Building", სიმაღლით 319 მ. და მასზე განლაგებული 62 მ. სიმაღლის კოშკით (ნახ. შ.2,ბ). ის დიდი ხნის განმავლობაში რჩებოდა მსოფლიოს ყველაზე მაღალ შენობად. დღეისათვის დროში მსოფლიოს ყველაზე მაღალ შენობები ძირითადად კონცენტრირებულია ამერიკაში, ხოლო ყველაზე მაღალ შენობად აღიარებულია ჩიკაგოში არსებული 110 სართულიანი შენობა „Siars" სიმაღლით 445 მ. (ნახ. შ.3). კიდული სისტემის ხიდებიდან აღსანიშნავია 1937 წელს სან-ფრანცისკოში აშენებული ხიდი „Golden Gate", შუა მალით 1280 მ. (ნახ. შ.4). ეს მალი დიდხანს რჩებოდა მსოფლიოში ყველაზე დიდად, მაგრამ ბოლო წლებში დიდბრიტანეთში აშენდა ხიდი „Hamber" მალით 1410 მ.

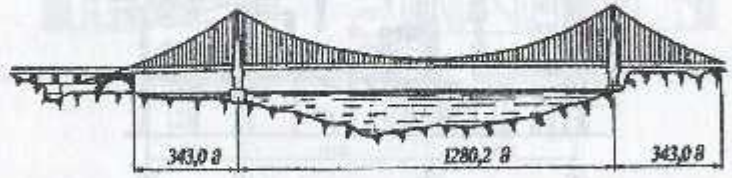
მრეწველობისა და სამოქალაქო მშენებლობის განვითარებამ გამოიწვია ლითონის კონსტრუქციების სხვადასხვა მიმართულებების შექმნა: სხვადასხვა დანიშნულების სამოქალაქო შენობები (ნახ. შ.5); სამრეწველო დანიშნულების მჭიდე ნაგებობები, რომლებიც აღჭურვილი არიან მაღალი ტვირთამწეობის ხიდურა ამწეებით (ნახ. შ.6); ნავთობის სარეწი საზღვაო პლატფორმები (ნახ. შ.7), რადიოტელესკოპები (ნახ. შ.8), მაღლივი ნაგებობები (ნახ. შ.9), ფერცლოვანი კონსტრუქციები (რეზერვუარები ნახ.შ.10, გაზგოლდერები ნახ. შ.11, ნახ. შ.12) და ა. შ.



ნახ. შ.1 ხიდი-„Britain" დიდ ბრიტანეთში (მე-19 ს. 40-იანი

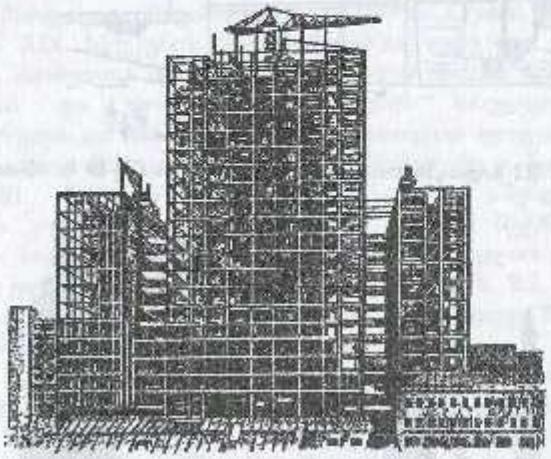


ნახ. შ.2. ეიფელის კოშკი პარიზში ა), ნახ. შ.3. შენობა „Siars" ჩიკაგოში „Empire State Building" ნიუიორკში (1931)

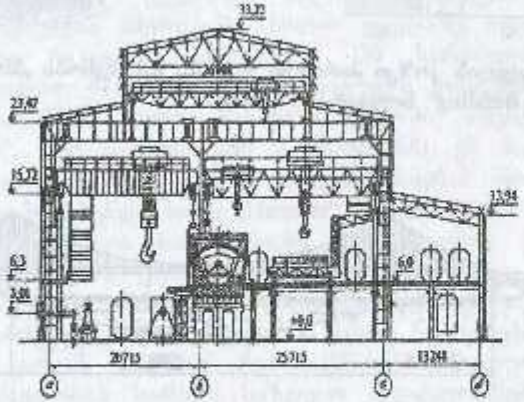


ნახ. შ.4. ხიდი „Golden Gate" სან-ფრანცისკოში (1937)

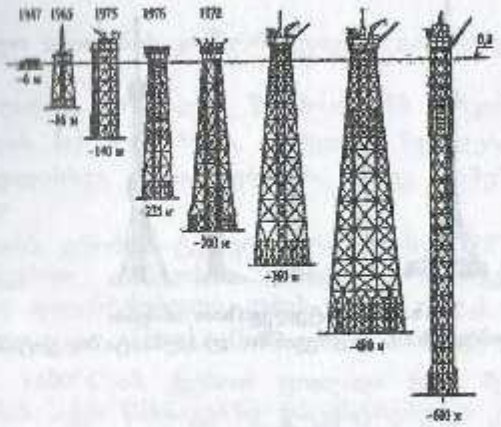
კომპიუტერებისა და თანამედროვე სპეციალური კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებამ ლითონმშენებლობაში გამოიწვია კონსტრუქციული ფორმების მნიშვნელოვანი დახვეწა და გამრავალფეროვნება მასალისა და შრომის მინიმალური დანახარჯებით.



ნახ. შ.5. მრავალსართულიანი ნაგებობის ფოლადის კარკასი



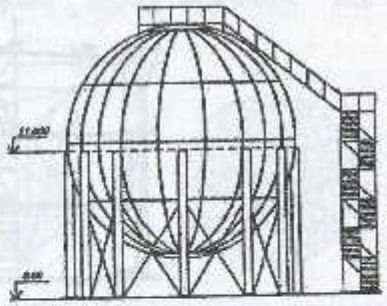
ნახ. შ.6. სამრეწველო დანიშნულების ფოლადის კარკასი (მარტვილის საამქრო)



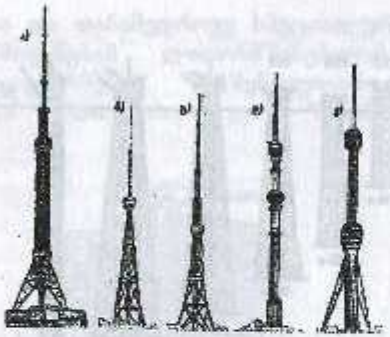
ნახ. შ.7. ნავთობის სარეწი საზღვაო პლატფორმების კონსტრუქციების განვითარება.



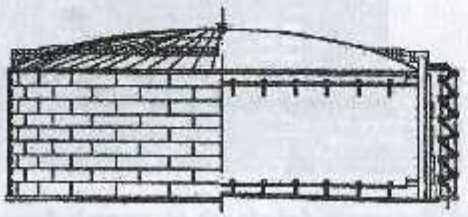
ნახ. შ.8. რადიოტელესკოპი



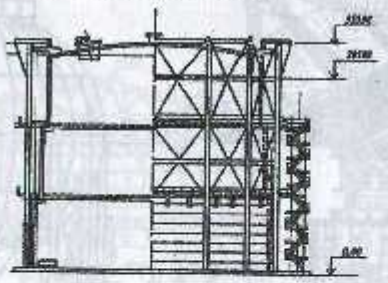
ნახ. შ.11. სფერული გაზგოლდერი

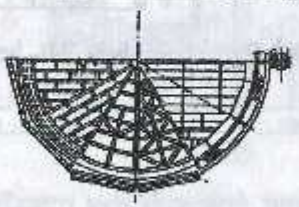


ნახ. შ.9. სატელევიზიო ანძები:
ა)-კიევში; ბ)-თბილისში; გ)-ურუგვანში; დ)-ალმაატაში; ე)-ტაშკენტში.



ნახ. შ.10. რეზერვუარი



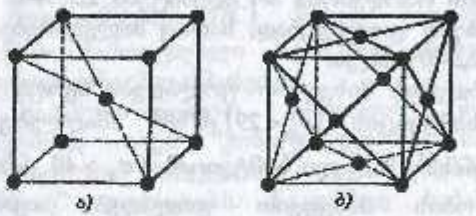


ნახ. შ.12. სფერული გაზგამდერი

სამშენებლო ლითონის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალები

1.1.ფოლადი. ფოლადი წარმოადგენს რკინისა (Fe) და ნახშირბადის (c) შენადნობს, რომელიც შეიძლება იყოს ლეგირებული სხვადასხვა ნივთიერებებით, ასევე დამუშავებული ცხელად თერმულად.

ფოლადის დნობის ტემპერატურა არის $1539°C$. ამ ტემპერატურის ქვემოთ დაწყებისას ფოლადის სტრუქტურას გააჩნია სივრცითად დაცენტრებული კუბის ფორმა (სდკ) და მას ეწოდება α მოდიფიკაცია $(Fe\alpha)$ (ნახ. 1.1,ა), როდესაც ტემპერატურა ჩამოიწევს $1400°C$-ის ქვემოთ ფოლადი უკვე მყარდება და მის სტრუქტურას აქვს წახნაგებზე დაცენტრებული კუბის სახე (წდკ) (ნახ. 1.1,ბ). ამ დროს ხდება α მოდიფიკაციის გადასვლა γ მოდიფიკაციაში $(Fe\alpha \rightarrow Fe\gamma)$. როდესაც ტემპერატურა დაიწყებს ჩამოსვლას $910°C$ ქვემოთ მოხდება ფოლადის სტრუქტურის კიდევ ერთი ცვლილება, წახნაგდაცენტრებული კუბიდან (წდკ) $(Fe\gamma)$ სტრუქტურა გადავა სივრცითად დაცენტრებული კუბის (სდკ) $(Fe\alpha)$ სტრუქტურაში. ეს სტრუქტურა შენარჩუნდება ოთახის ტემპერატურამდე და უარყოფითი ტემპერატურისას, მას α მოდიფიკაცია ეწოდება.



ა) ბ)

ნახ. 1.1. კუბური კრისტალური მესერი
ა)სივრცითად დაცენტრებული კუბი
ბ)წახნაგებზე დაცენტრებული კუბი



ნახ. 1.2. მცირენახშირბადიანი ფოლადის მიკროსტრუქტურა

ფოლადში ნახშირბადის შეყვანით დნობის ტემპერატურა იკლებს და კრისტალიზაციისას წარმოიქმნება ნახშირბადისა და γ მოდიფიკაციის მყარი ნარევი $1392°C - 911°C$-მდე. რომელსაც აუსტენიტი ეწოდება. ამ დროს ნახშირბადის ატომები

განლაგდებიან წახნაგცენტრირებული კუბის ცენტრში. ტემპერატურის კიდევ უფრო ქვევით ჩამოწევისას, კერძოდ, $910^{\circ}C$ იწყება აუსტენიტის დაშლა. წარმოქმნილი α მოდიფიკაცია (სდკ) გისოსით (ფერიტი) ცუდად ხსნის ნახშირბადს. ფერიტის გამოყოფის ხიდიდის მიხედვით აუსტენიტი მდიდრდება ნახშირბადით და $727^{\circ}C$ ტემპერატურისას გადაიქცევა პერლიტად-ფერიტისა და რკინის კარბიდის Fe_3C ნარევად, რომელსაც ცემენტიტი ეწოდება.

ამგვარად, ფოლადის ოთახის ტემპერატურმდე გაცივებისას მის სტრუქტურაში არის ორი ძირითადი ფაზა-ცემენტიტი და ფერიტი, რომლებიც ქმნიან დამოუკიდებელ მარცვლებს და შედიან პერლიტის შემადგენლობაში. (ნახ. 12 ნათელი მარცვლები ფერიტია, მუქი პერლიტი).

ფერიტის მარცვალი არის რბილი და პლასტიკური, ცემენტიტი მყარი და ხისტი, ხოლო პერლიტის მარცვალს გააჩნია ამ ორ მარცვალს შორის შუალედური თვისებები.

ნახშირბადი ადიდებს ფოლადის სიმტკიცეს, მაგრამ ამავე დროს ამცირებს მის პლასტიკურ თვისებებს. დიდი რაოდენობის მქონე ნახშირბადიანი ფოლადები მყიფე და ცუდი შესადუღებელია.

მალეგირებელი კომპონენტების რაოდენობის მიხედვით სამშენებლო ფოლადები იყოფა:

1. ნახშირბადიან ფოლადებად, რომლებიც არ შეიცავენ დანამატ მალეგირებელ ელემენტებს;
2. მცირედ ლეგირებულ ფოლადებად, სადაც ყველა მალეგირებელი დანამატების რაოდენობა არ აღემატება 2,5 %-ს;
3. საშუალოდ ლეგირებულ ფოლადებად, სადაც მალეგირებელი დანამატების რაოდენობა 2,5-10%-მდეა.

სიმტკიცის მახასიათებლების მიხედვით ფოლადები იყოფა სამ ჯგუფად: ჩვეულებრივი სიმტკიცის $(\sigma_y < 29)$ კნ/სმ²; ამაღლებული სიმტკიცის $(29 < \sigma_y < 40)$ კნ/სმ²; მაღალი სიმტკიცის $(\sigma_y > 40$ კნ/სმ²).

ქიმიური შემადგენლობის მიხედვით ფოლადები იყოფა: ნახშირბადიან და ლეგირებულ ფოლადებად.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ნახშირბადი ამაღლებს ფოლადის სიმტკიცეს და ამცირებს მის პლასტიკურ თვისებებს, აძნელებს შედუღებას, ამიტომ სამშენებლო ფოლადებში ნახშირბადის შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 0,22%.

რადგანაც ყველა მალეგირებელი ნივთიერებების დამატებით, ამა თუ იმ ხარისხით, დაბლდება ფოლადის საშემდუღებლო

თვისებები სამშენებლო ფოლადებში ჯამური მალეგირებელი ნივთიერებების შემცველობა არ უნდა აღემატებოდეს 5%.

ფოლადისათვის ძირითადი მალეგირებელი ნივთიერებებია: სილიციუმი-(C), მანგანუმი-(Γ), სპილენძი-$(Д)$, ქრომი-$(Х)$, ნიკელი-$(Н)$, ვანადიუმი-$(Ф)$, მოლიბდენი-$(М)$, ალუმინი-$(Ю)$, აზოტი-$(А)$.

ფოლადი შეიძლება მიღებული იქნას მარტენის ღუმელებში ან კონვერტერული წესით. აქედან საუკეთესო ხარისხისაა მარტენის ფოლადები. მაგრამ ეს ფოლადები, სხვა წესით დამზადებულ ფოლადებთან შედარებით, ძვირია. ამჟამად კონვერტერული ფოლადების გამოდნობის ტექნოლოგიის სრულყოფის შედეგად კონვერტერული ფოლადების ხარისხი, თითქმის, უახლოვდება მარტენის ფოლადების ხარისხს.

ფოლადის ჩამოსხმა ციცხვებიდან (განჟანგვა) შესაძლებელია მოხდეს სამი წესით:

1. მდუღარე-$КП(Кипящий)$;
2. მშვიდი-$СП(Спокойный)$;
3. ნახევრად მშვიდი-$ПС(Полуспокойный)$;

პირველ შემთხვევაში მდუღარედ $(КП)$ მიღებული ფოლადის ხარისხი არის შედარებით დაბალი (აქვს მავნე მინარევები), ამასთან მისი ფასიც არის შესაბამისად ნაკლები. მშვიდი ფოლადი $(СП)$ არის უფრო მაღალი ხარისხის (მას აქვს ნაკლები მინარევები), მაგრამ მისი ფასიც არის ასევე შედარებით მაღალი. ნახევრადმშვიდი $(ПС)$ წესით მიღებულ ფოლადებს უკავიათ ზემოთ ჩამოთვლილი ხერხებით მიღებულ ფოლადებს შორის შუალედური მდგომარეობა.

საპასუხისმგებლო ფოლადის კონსტრუქციებისათვის და საერთოდ ისეთ კონსტრუქციაში, სადაც ნიშანცვლადი და ვიბრაციული ძალების გავლენა დიდია, როგორც წესი, იყენებენ „მშვიდ" ფოლადებს. ნაკლებად საპასუხისმგებლო კონსტრუქციებში-„ნახევრად მშვიდსა" და „მდუღარე" ფოლადებს.

ყველა ფოლადს, რომელიც დამზადებულია ქარხნული წესით გააჩნია მარკა. *ГОСТ 380-88**-ის მიხედვით ფოლადის მარკის აღნიშვნაში ნაჩვენებია დანიშნულების ჯგუფი, განჟანგვის ხერხი და კატეგორია მაგ: *Вст3Пс6* ფოლადის მარკის პირველი ასო შეიძლება იყოს *А,Б* ან *В* და თუ მარკის პირველი ასოა *А* ეს ნიშნავს, რომ ქარხნის მიერ უზრუნველყოფილია ფოლადის მხოლოდ მექანიკური მახასიათებლები. თუ მარკის პირველი ასო

არის *Б*, ეს ნიშნავს რომ ჭარხნის მიერ უზრუნველყოფილია ფოლადის მხოლოდ ქიმიური თვისებები, ხოლო თუ მარკის წინ დგას *В* ეს ნიშნავს, რომ ჭარხნის მიერ უზრუნველყოფილია, როგორც ქიმიური ისე მექანიკური თვისებები. სამშენებლო კონსტრუქციებში ძირითადად გამოიყენება *В* ჯგუფის ფოლადები.

მარკის შემდეგი ასო *СТ* არის ფოლადის რუსული დასახელების (*сталь*)-ის შემოკლება. მომდევნო ციფრი კი გვიჩვენებს ფოლადის მექანიკური და ქიმიური მაჩვენებლების შესაბამის რიგით ნომერს (0, 1, 2, 3, 4, და ა. შ).

შემდგომი აღნიშვნა (*ПС*) გვიჩვენებს ფოლადის განუანგვის ხარისხს. მომდევნო აღნიშვნა (6) გვიჩვენებს ფოლადის კატეგორიას, რომელიც დადგენილია მცირენახშირბადიანი ფოლადებისათვის დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდისას. როცა წერია კატეგორია 1,2 ეს ნიშნავს, რომ დარტყმით სიბლანტეზე გამოცდებს არ ატარებენ, 3-ატარებენ როცა $t=+20^0C$ 4-როცა $t=-20^oC$ 5-როცა $t=-20^oC$ და მექანიკური დაძველების შემდგომ, 6-მექანიკური დაძველების შემდგომ (იხ. ცხრ. 1.1).

ცხრილი 1.1

ფოლადის კატეგორია, რომელიც დამოკიდებულია დარტყმით სიბლანტეზე

ფოლადის კატეგორია	გამოცდის ჩატარება დარტყმით სიბლანტეზე		
	^oC ტემპერატურისას		მექანიკური დაძველების შემდგომ
	+20	-20	
2	-	-	-
3	+	-	-
4	-	+	-
5	-	+	+
6	-	-	+

თუ ფოლადები შეიცავენ მანგანუმის გადიდებულ რაოდენობას ($\Gamma > 0,25\%$), მაშინ მარკის რიგითი ნომრის შემდეგ იწერება ასო *Г*. მაგ: *Вст3Гпс5*.

ამჟამად ფოლადების თერმული დამუშავების შედეგად შესაძლებელია მათი სიმტკიცის ამაღლება, ამიტომ ასეთი ფოლადების აღმნიშვნელ მარკაში დამატებული არის ასო *Т* მაგ: *Вст3Тпс*

ფოლადების მარკები დაყოფილია ასევე სიმტკიცის ორ ჯგუფად. სიმტკიცის ჯგუფის ნომერი იწერება ფოლადის კატეგორიის შემდეგ მაგ: *Вст3Тпс6 – 1* *Вст3Тпс6 – 2* (იხ. დან. 4,5)

ГОСТ 27272 – 88-ის მიხედვით გაგლისული ფასონები მზადდება *С235, С245, С275, С285, С345К, С375* მარკის. აქ ასო *С* აღნიშნავს სამშენებლო ფოლადს (*сталь строительная*) ფოლადს, ხოლო შემდგომი ციფრი დენადობის ზღვარს მპა-ებში. *К* არის ქიმიური შემადგენლობის ვარიანტი.

ქვემოთ მოყვანილია სამშენებლო ფოლადის ზოგიერთი ფიზიკური მაჩვენებლები:

მოცულობითი წონა $\gamma = 78,5$ კნ/მ^3.

დრეკადობის მოდული $E = 2,06 \cdot 10^4$ კნ/სმ^2.

ძერის მოდული $G = 8,4 \cdot 10^3$ კნ/სმ^2.

ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha = 0,000012$.

ფოლადის მარკის მიხედვით ნორმების ცხრილებიდან ვიღებთ მის ფიზიკურ-მექანიკურ მახასიათებლებს (საანგარიშო წინაღობები)-დან 5.

1.2. ფოლადის მუშაობა ერთჯერადი გაჭიმვის დროს და ფოლადის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების დადგენა.

ფოლადის რღვევა პლასტიკური დეფორმაციების ხარისხის მიხედვით შესაძლებელია იყოს მყიფე ან პლასტიკური.

მყიფე რღვევა ხდება გაწყვეტის გზით (ნახ. 1.3,ა). შეუმჩნეველი დეფორმაციებით, მოულოდნელად. პლასტიკური დეფორმაცია წარმოადგენს ძერის შედეგს (ნახ. 1.3,ბ) და მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი დეფორმაციებით, რომლებიც შეიძლება იქნას დროულად შემჩნეული, ამიტომ ნაკლებად საშიშია.

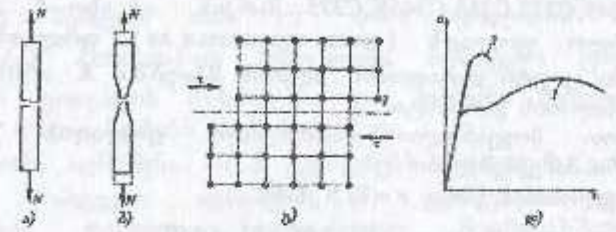
ერთი და იგივე მასალა მუშაობის პირობების მიხედვით შეიძლება დაირღვეს, როგორც მყიფედ ისე პლასტიკურად.

გაგლეჯისას ირღვევა ატომების შორის არსებული კავშირები. ვიცით რა ატომური შეჭიდულობის ძალები, შეიძლება განისაზღვრული იქნას გაგლეჯისას კრისტალის სიმტკიცე. დაახლოებით ფოლადის თეორიული სიმტკიცე შეადგენს 3300კნ/სმ^2.

კრისტალის ერთი ნაწილის მეორე ნაწილის მიმართ ძერა, არის მნიშვნელოვნად ადვილი, მხოლოდ ამ შემთხვევაში გადაადგილებისათვის საჭირო მხები ძაბვები (ნახ. 1.3,გ) შეადგენენ დაახლოებით 1300კნ/სმ^2, რაც გაცილებით დიდია რეალურ ფოლადებში დენადობის ზღვარზე.

ფოლადის სიმტკიცე, რომელიც ახლოს დგას თეორიულთან, შეიძლება მიღწეული იქნას ლაბორატორიულ პირობებში. მაგალითად ფოლადის წვრილი მავთულის სიმტკიცე შეიძლება

იყოს 400 კნ/სმ², ხოლო სამშენებლო ფოლადების სიმტკიცე არ აღემატება 100 კნ/სმ². სხვაობა თეორიულ და რეალურ სიმტკიცეებს შორის აიხსნება კრისტალური სტრუქტურის დეფექტებით.



ნახ. 13. რღვევის ტიპები:
ა) გაწყვეტა; ბ) ჭრა; გ) ატომის შრეების გადაადგილება ძვრისას; I-დაცურების სიბრტყე დრმახალის მუშაობის დიაგრამა; 1-პლასტიკური რღვევა; 2-მყიფე რღვევა



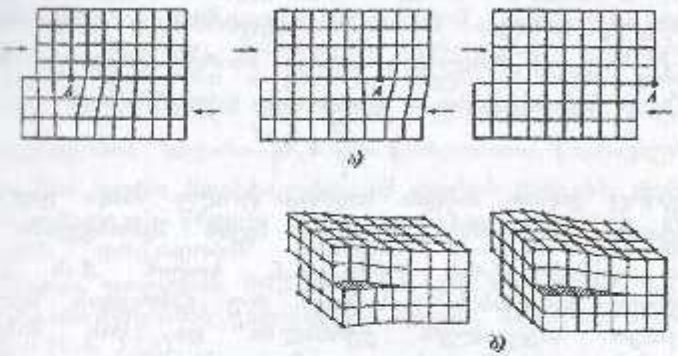
ნახ. 14. კრისტალური მესერის წერტილოვანი დეფექტები:
ა) ვაკანსია; ბ) ატომის ჩანაცვლება; გ) ატომის ჩანერგვა.

ასხვავებენ კრისტალური სტრუქტურის ოთხი ტიპის დეფექტს: წერტილოვანს (ნახ. 1.4), ხაზობრივს (ნახ. 1.5), ზედაპირულს და მოცულობითს.

წერტილოვან დეფექტებს მიეკუთვნება: მესერის კვანძში ატომის არარსებობა-ვაკანსია (ნახ. 1.4,ა), მესერში უცხო ატომის არსებობა (ნახ. 1.4,ბ), მაგ. ძირითადი ატომის მალეგირებელი ელემენტით შეცვალა და როდესაც ატომი კვანძში არ არის განლაგებული (ნახ. 1.4,გ).

ფოლადის მექანიკურ თვისებებზე ყველაზე მეტ გავლენას ახდენს კრისტალური სტრუქტურის ხაზობრივი დეფექტები, რომლებსაც დისლოკაციებს უწოდებენ. ისინი შეიძლება იყოს ნაპირა ან ხრახნული (ნახ. 1.5,ა,ბ). ფოლადის ნიმუშზე ძალის მოდებისას ხდება ამ დეფექტების გადაადგილება. მოდებული ძალა, რომელიც ახდენს ამ დეფექტების გადაადგილებას არ არის აუცილებელი იყოს ძალიან დიდი. ის გაცილებით ნაკლებია

ატომური შეკიდულობის ძალებზე. ფოლადის დენადობა სწორად ამ მოცულობით-დისლოკაციების გადაადგილებით აიხსნება.



ნახ. 15. ა) ნაპირა დისლოკაცია
ბ) ხრახნული დისლოკაცია

ფოლადის მექანიკური თვისებების მაჩვენებლად მიღებულია მისი დენადობის ზღვარი (σ_y), დროებითი წინაღობა (σ_u), ფარდობითი წაგრძელება (ε) და დარტყმითი სიბლანტე.

დროებითი წინაღობით იხასიათება ფოლადის სიმტკიცე, დენადობის ზღვრით და ფარდობითი წაგრძელებით-ფოლადის დრეკად-პლასტიური თვისებები, დარტყმითი სიბლანტით-მყიფე რღვევისადმი წინააღმდეგობის უნარი. როგორც ცდებით დამტკიცდა, ფოლადისათვის გაჭიმვის, კუმშვისა და ღუნვის შეხაბამისი მექანიკური მაჩვენებლები თითქმის ერთი და იგივეა, რის გამოც ფოლადის სიმტკიცის ზღვრის დადგენა წარმოებს მისი ერთჯერადი გაჭიმვით, ხოლო დაღლილობითი ზღვრისა-მრავალჯერადი გაჭიმვით.

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ფოლადის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები ჩავატაროთ შემდეგი ცდა. აკიდოთ ფოლადის ელემენტი და გავჭიმოთ N ძალით. იმისათვის რომ განვსაზღვროთ ამ ღეროს დეფორმაცია დაეაკრათ მასზე ტენზოგადამწოდები. მოდებული N ძალის სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს მანომეტრის საშუალებით ან დინამომეტრით. დავიწყოთ ფოლადის ღეროს ეტაპობრივი გაჭიმვა. დინამომეტრით გაზომილი ძალისა და ტენზოგადამწოდებით აღრიცხული დეფორმაციების სიდიდეები შევიტანოთ აღრიცხვის ჟურნალში და შემდგომ დავიტანოთ კორდინატთა ღერძებზე. აბციხთა ღერძზე

გადაეზომოთ ფარდობითი დეფორმაციები ε, ხოლო ორდინატთა ღერძზე მისი შესაბამისი ძაბვები σ.

აღვნიშნოთ ღეროს საწყისი სიგრძე l-ით. გაჭიმვის შემდგომ მისი სიგრძე გახდება l_1. მაშინ დეფორმაცია ტოლი იქნება $\Delta l = l_1 - l$. თუ ამ ტოლობის ორივე მხარეს გავყოფთ საწყის სიგრძეზე (l-ზე) მივიღებთ ε ფარდობით დეფორმაციას.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{l_1 - l}{l}$$

როგორც ვიცით ძაბვის სიდიდე ტოლია ძალა გაყოფილი განიკვეთის ფართობზე $\sigma = N/A$. ჩვენს შემთხვევაში N-ს ავიღებთ დინამომეტრის ჩვენებიდან, ხოლო A-ს ღეროს განიკვეთის ფართობის გაზომვით. თუ გამოცდის შედეგებს აღვრიცხავთ სპეციალურ ჟურნალში და მის მიხედვით ავაგებთ ძაბვა-დეფორმაციის დამოკიდებულების გრაფიკს მივიღებთ მცირენახშირბადიანი ფოლადის გაჭიმვა-კუმშვის დიაგრამას. დიაგრამიდან ჩანს, რომ თავდაპირველად ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულება პროპორციულია, წრფივია (ნახ. 1.6. უბანი ა-ბ). ამ უბნის შესაბამის ზღვარს უწოდებენ პროპორციულობის ზღვარს ის აღვნიშნოთ σ_{pl}-ით. ამ უბანში სამართლიანია ჰუკის კანონი $\sigma = \varepsilon E$. ამ უბნიდან განტვირთვა მიმდინარეობს ყოველგვარი ნარჩენი დეფორმაციების გარეშე.

დატვირთვის შემდგომი გაზრდისას დამოკიდებულება ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის სდება მრუდწირული (ნახ. 1.6. უბანი ბ-გ) მის შესაბამის ზღვარს ეწოდება დრეკადობის ზღვარი და აღინიშნება σ_{el}-ით. მართალია აქაც განტვირთვა მიმდინარეობს ყოველგვარი ნარჩენი დეფორმაციების გარეშე, ოღონდ იმ განსხვავებით, რომ დატვირთვის მრუდი არ ემთხვევა განტვირთვის მრუდს.

დრეკადობის (σ_{el}) და პროპორციულობის ზღვრების (σ_{pl}) მნიშვნელობებს შორის განსხვავება იმდენად მცირეა, რომ პრაქტიკულად დრეკადობის ზღვარს ღებულობენ პროპორციულობის ზღვრად. დატვირთვის შემდგომ გაზრდისას მივაღწევთ სიდიდეს, რომლის დროსაც ძაბვების გაუზრდელად ხდება დეფორმაციების მნიშვნელოვანი გაზრდა ამ უბანს დენადობის უბანი ეწოდება (ნახ. 1.6 უბანი დ-ე), ხოლო მის შესაბამის ძაბვას დენადობის ზღვარი σ_y.

ამ უბნის შემდგომ ფოლადი ისევ აღიდგენს წინააღმდეგობის უნარს და ძაბვების გაზრდის შესაბამისად ხდება დეფორმაციების

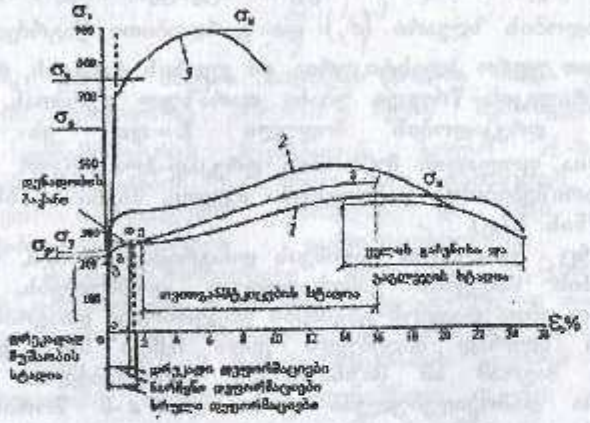
გაზრდა (ნახ. 1.6. უბანი ე-ვ). საბოლოოდ, ფოლადი ველარ გაუძლებს დატვირთვის ზრდას და გაწყდება. მის შესაბამის ზღვარს დროებითი წინაღობა ეწოდება σ_u. რადგან რღვევის მომენტში, ძაბვისა და დეფორმაციის ექსპერიმენტული განსაზღვრა დაკავშირებულია სიძნელეებთან, ამიტომ პირობით, ფოლადის სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია გრაფიკზე ნაჩვენები "ე" წერტილის შესაბამისი ძაბვა. რაც მეტია მასალის დროებითი წინაღობა (σ_u), მასალა მით უფრო მტკიცეა, ხოლო რაც მეტია მისი დენადობის ზღვარი (σ_y) და ფარდობითი წაგრძელება (ε), მასალა მით უფრო პლასტიკურია. იმ კუთხის ტანგენსს, რომელსაც ადგენს გრაფიკის წრფივი უბანი თარაზულ ღერძთან, ეწოდება ფოლადის დრეკადობის მოდული $E = tg\alpha$. ეს მოდული ცვალებადია ფოლადის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში და გაანგარიშებებისას გამოიყენება მკვეთი, მხები ან სხვა სახის მოდული (ნახ. 1.7,გ).

როგორც ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამიდან ჩანს, ფოლადის ელემენტების ძაბვების გამოსათვლელ ფორმულებს, თითქოს, საფუძვლად უნდა დაუდოს გაჭიმვის ფაქტობრივი დიაგრამა, ხოლო სიმტკიცის ზღვრად მიღებული უნდა იქნეს მისი დროებითი წინაღობა. მაგრამ ამ მიზნისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ანალიზური დამოკიდებულება σ-სა და ε-ს შორის. ასეთი დამოკიდებულება პროპორციულობის ზღვრამდე გამოიხატება ჰუკის კანონით $\sigma = \varepsilon E$, პროპორციულობის ზღვრის ზემოთ კი σ-სა და ε-ს შორის ზუსტი მათემატიკური დამოკიდებულების დადგენა თითქმის შეუძლებელია. ამიტომ მიმართავენ ერთგვარ გამარტივებას.

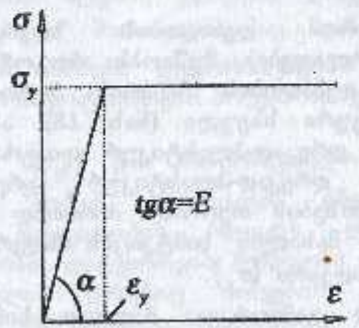
გულისხმობენ, რომ დენადობის ზღვრამდე მასალა (ნახშირბადმცირე ფოლადები) მუშაობს როგორც იდეალურად დრეკადი სხეული, დენადობის ზღვრის ზემოთ კი–როგორც იდეალურად პლასტიკური სხეული (ნახ. 1.8). ასეთ დიაგრამას ფოლადის იდეალურ დრეკად-პლასტიკურ დიაგრამას უწოდებენ. იგი წარმოადგენს დრეკად-პლასტიკურ არეში მომუშავე ელემენტების გაანგარიშების თეორიის ძირითად საფუძველს. ამ დიაგრამის მიხედვით მასალის სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია მასალის დენადობის ზღვარი (σ_y).

როგორც ცდებით გამოირკვა, მაღალი სიმტკიცის მქონე ფოლადებს დენადობის უბანი აქვთ მცირე ან საერთოდ არ გააჩნიათ. დამოკიდებულება ძაბვასა (σ) და ფარდობით წაგრძელებას (ε) შორის მრუდწირულია (ნახ. 1.6, 1.7).

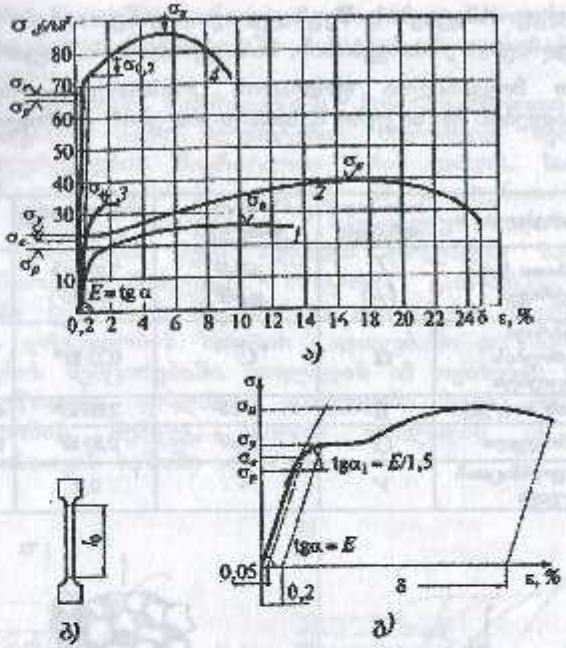
თეორიულად თვლიან, რომ სანამ ძაბვა არ გადაცილდება $\varepsilon = 0{,}2\%$-ის შესაბამის ძაბვას, განსხვავება მრუდსა და წრფეს შორის იმდენად მცირეა, რომ ამ უბანზე მრუდი შეიძლება შეცვლილ იქნეს წრფით. პირობით, სწორხაზოვანი უბნის ზედა ზღვარი (σ_y) მიღებულია მაღალი სიმტკიცის მქონე ფოლადების დენადობის ზღვრად.



ნახ. 1.6. ფოლადის გაჭიმვის დიაგრამა:
1-ჩვეულებრივი სიმტკიცის ფოლადი; 2-ამაღლებული სიმტკიცის ფოლადი; 3-მაღალი სიმტკიცის ფოლადი.



ნახ. 1.8. ფოლადის იდეალური დრეკად-პლასტიკურ დიაგრამა (პრანდტლის დიაგრამა)



ნახ. 1.7. ლითონის მექანიკური მახასიათებლების განსაზღვრა:
ა) ლითონების გაჭიმვის დიაგრამები; ბ)გაჭიმვაზე გამოსაცდელი ნიმუში;
გ) პროპორციულობის ზღვრისა და დრეკადობის ზღვრის განსაზღვრა;
1-ალუმინის შენადნობი; 2-მცირენახშირბადიანი ფოლადი; 3-თუჯი;
4-მაღალი სიმტკიცის ფოლადი.

ამრიგად, თანამედროვე გაანგარიშებით სამშენებლო ფოლადების სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია მისი დენადობის ზღვარი (σ_y) ან დროებითი წინაღობა (σ_u).

ასეთი ცდებით მიღებული ძაბვების მნიშვნელობებს ეწოდებათ ძაბვების ნორმატიული მნიშვნელობები.

კონსტრუქციების გაანგარიშებისას კვეთში აღძრული ძაბვები შედარებული უნდა იქნას და არ უნდა აღემატებოდეს დენადობის ზღვარს (σ_y).

გაანგარიშების გამარტივების მიზნით მასალის დრეკად-პლასტიკურ არეში მუშაობისას ფოლადის მუშაობის $(\sigma - \varepsilon)$ დიაგრამა შეიძლება შეიცვალოს იდეალიზებული დიაგრამით (პრანდტლის დიაგრამით) (ნახ. 1.8).

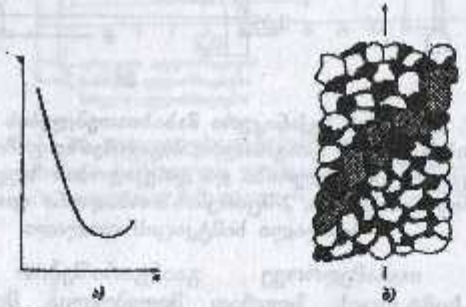
ამ დიაგრამის მიხედვით მასალის მუშაობა OA წრფეზე ექვემდებარება ჰუკის კანონს $(\sigma = \varepsilon E)$; AB წრფეზე ხდება

მასალის დეფორმაციების შეუზღუდავი განვითარება (დენადობის ბაქანი) მუდმივი σ_y ძაბვებისას, მას დენადობის ზღვარი ეწოდება.

ქვემოთ მოყვანილია ფოლადის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალების ფიზიკური მახასიათებლების ცხრილი.

ცხრილი. 1.1.

მახასიათებლები	პირობითი აღნიშვნა	განზომილების ერთეული	გაგლინული ფოლადი	"ურალი"
მოცულობითი წონა (სიმკვრივე)	γ (ρ)	კნ/სმ³ კგ/მ³	$7,85\cdot10^{-5}$ $(7,85\cdot10^{3})$	$7,2\cdot10^{-5}$ $(7,2\cdot10^{3})$
ხაზობრივი გაფართოების კოეფიციენტი	α	$^{\circ}C^{-1}$	$0,12\cdot10^{-4}$	$0,1\text{-}0,12\cdot10^{-4}$
დრეკადობის მოდული	E	კ/სმ²	$2,06\cdot10^{4}$	$0,83\cdot10^{4}\text{-}1,3\cdot10^{4}$
ძვრის მოდული	G	კ/სმ²	$0,81\cdot10^{4}$	$0,36\cdot10^{4}\text{-}0,5\cdot10^{4}$
განივი დეფორმაციის მოდული	ν	-	0,3	0,25-0,35

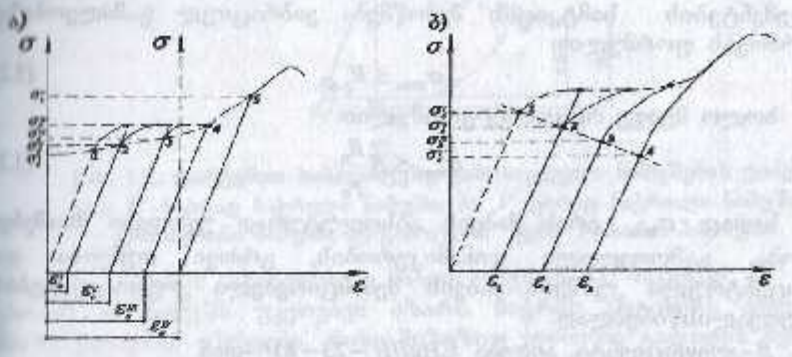


ნახ. 1.9. ა) ძვრის ძაბვების დამოკიდებულება დისლოკაციის სიმკვრივეზე; ბ) ფოლადის მიკროსტრუქტურა ძვრის სიბრტყის მდებარეობის ადგილას

1.3. ფოლადის მუშაობა მრავალჯერადი დატვირთვისას. თუ ფოლადის ნიმუშებს გავჭიმავთ და პროპორციულობის ზღვრის ზემოთ განვტვირთავთ, განტვირთვის დიაგრამას ექნება წრფივი სახე (ნახ. 1.10). ეს იმის მაჩვენებელია, რომ განტვირთვა წარმოებს დრეკადად. განტვირთვიდან რამდენიმე ხნის შემდეგ, ნიმუშის ხელმეორედ გაჭიმვისას, ფოლადის პროპორციულობის ზღვარი იიდდება, ხოლო ფარდობითი დეფორმაცია-მცირდება, ანუ ხდება მასალის დრეკადი თვისებების გაზრდა (ნახ. 1.10,ა). ფოლადის მრავალჯერადი, ხანგამოშვებითი დატვირთვის შედეგად მასალა

ირღვევა უფრო ნაკლები ფარდობითი წაგრძელების დროს, ვიდრე ერთჯერადი გაჭიმვის შემთხვევაში. მასალის ამ თვისებას მასალის სიმყიფე ეწოდება.

მასალის სიმყიფე წარმოადგენს მის უარყოფით მხარეს. სიმყიფეს ადგილი აქვს ელემენტების მოლუნვის შემთხვევაში, ფოლადის ფურცლების მაკრატლით ჭრის დროს, სამოქლონო ნახვრეტების დამზადებისას და სხვ. ამ მოვლენათა თავიდან აცილების მიზნით მიმართავენ სპეციალურ ღონისძიებებს. ანალოგიურ მოვლენას აქვს ადგილი ფოლადის ხანგრძლივი დროით მუშაობის შემდეგაც. როგორც გამოირკვა, დროთა განმავლობაში ფოლადის მექანიკური თვისებები იცვლება, რაც გამოიხატება დრეკადობის ზღვრის გადიდებაში და პლასტიკური დეფორმაციების შემცირებაში. ფოლადის ამ თვისებას ფოლადის დაძველება ეწოდება. ფოლადის დაძველება ხდება მისი (70-80) წლის მუშაობის შემდეგ. ამიტომ ფოლადის ეს თვისება კონსტრუქციისათვის საშიში არ არის.



ნახ. 1.10. ფოლადის მუშაობა მრავალჯერადი დატვირთვის შემთხვევაში.
ა)-ხანგამოშვებითი დატვირთვა-განტვირთვის დიაგრამა;
ბ)-უწყვეტი დატვირთვა განტვირთვის დიაგრამა

როგორც მრავალი ექსპერიმენტით დამტკიცდა, ფოლადის მრავალჯერადი დატვირთვა-განტვირთვის შედეგად, მასალის როგორც პროპორციულობის, ისე დენადობის ზღვარი მცირდება, ხოლო ნარჩენი დეფორმაციები იზდება (ნახ. 1.10, ბ). ფოლადის ამ თვისებას ფოლადის დაღლილობა ეწოდება. მასალის დაღლილობის შედეგად ელემენტის რღვევა ხდება უფრო ნაკლები საანგარიშო წინაღობის დროს, ვიდრე ერთჯერადი გაჭიმვის

შემთხვევაში. ასეთ მოელენას ვხდებით ვიბრაციული ან სეისმური დატვირთვების მოქმედებისას.

ძაბვის მნიშვნელობას, რომლის დროსაც, რა ხანგრძლივადაც არ უნდა მოქმედებდეს მრავალჯერადი დატვირთვა, მასალის რღვევა არ მოხდება, მასალის დაღლილობის ზღვარი ან გამძლეობის ზღვარი ეწოდება. დინამიკური დატვირთვების შემთხვევაში, ფოლადის გამძლეობის ზღვარი გამოითვლება ფორმულით

$$R_{g.d} = \alpha R_y \gamma_y \qquad (1.1)$$

სადაც α, γ_y არის კოეფიციენტები და განისაზღვრება ტექნიკური ნორმებისა და პირობების მითითებების მიხედვით (*СНиП I – 23 – 81**).

R_y-არის დაღლილობის საანგარიშო წინაღობა. მისი რიცხვითი მნიშვნელობაც აიღება *СНиПII – 23 – 81** -დან.

იმის შემდეგ, როდესაც განსაზღვრული იქნება $R_{g.d}$, ელემენტების სიმტკიცის შემოწმება ვიბრაციულ გამძლეობაზე წარმოებს ფორმულით

$$\sigma_{max} \le R_{g.d} \qquad (1.2)$$

ხოლო მყიფე რღვევაზე-ფორმულით

$$\sigma_{max} \le \beta \frac{R_u}{\gamma_u} \qquad (1.3)$$

სადაც σ_{max} არის ძაბვის აბსოლუტურად უდიდესი მნიშვნელობა, გამოთვლილი დინამიკურობის, გრძივი ღუნვისა და ექსცენტრული კუმშვის ძაბვის შემამცირებელი კოეფიციენტების გაუთვალისწინებლად.

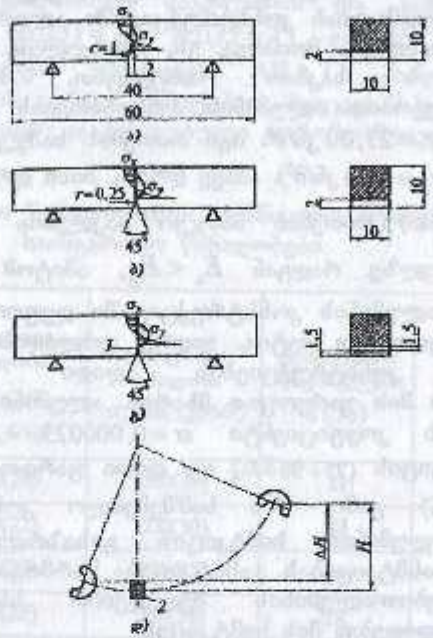
β-კოეფიციენტი, აიღება *СНиПII – 23 – 81** -დან.

(1.2) ფორმულით გაანგარიშების დროს $R_{g.d}$ არ უნდა იქნეს მეტი R_u/γ_u-ზე.

1.4. დარტყმითი სიბლანტე. როგორც აღვნიშნეთ, ვიბრაციული დატვირთვების ზემოქმედებით, ძაბვათა კონცენტრაციის შედეგად, უარყოფითი ტემპერატურის ზეგავლენით და სხვა ფაქტორებით, ფოლადის რღვევა შეიძლება მოხდეს, როგორც მყიფე მასალისა.

ფოლადის სიმყიფისადმი წინააღმდეგობის უნარს ამოწმებენ დარტმითი მაჩვენებლებით.

ფოლადის სიბლანტეს უწოდებენ მუშაობას, რომელიც იხარჯება ნაჭრილი სტანდარტული ნიმუშის დასარღვევად, დარტყმით გამოწვეული ღუნვის ზეგავლენით. გამოცდის გამმაფრების და ძაბვათა კონცენტრაციის გაზრდის მიზნით



ნახ. 1.11. დარტყმით სიბლანტეზე გამოსაცდელი ნიმუშების ტიპები: ა)- *U*-სებრად ჩაჭრილი ნიმუში; ბ)- *V* -ებრად ნაჭრილი ნიმუში; გ)-ბზარიანი ნიმუში; დ)-გამოცდის სქემა: 1-ბზარი; 2-ნიმუში.

ახდენენ ნიმუშის სხვადასხვა სახით ჩაჭრას (*U*-სებრად ან *V*-ებრად) ან ნიმუშს უკეთებენ ბზარს. ჩაჭრის ადგილას ძაბვები მნიშვნელოვნად იზრდება, რისი მიზეზით ლითონი გადადის მყიფე მდგომარეობაში.

სტანდარტული ნიმუშის ზომები ნაჩვენებია 1.11. ნახაზზე.

ნიმუშის სიბლანტეს ისაზღვრება ფორმულით

$$\alpha = \frac{Q}{A_n} \qquad (1.4)$$

სადაც Q არის ნიმუშის რღვევაზე დახარჯული მუშაობა;

A_n-ნიმუშის განივკვეთის ჩაჭრით შესუსტებული (ნეტო) ფართობი.

უარყოფითი ტემპერატურის მიხედვით, სხვადასხვა კლასის ფოლადებისათვის დარტყმითი სიბლანტის ნორმატიული მნიშვნელობები მოცემულია 1 დანართის მეორე ცხრილში [15].

1.5. ალუმინის შენადნობები. უკანასკნელ ხანებში, განსაკუთრებით დიდმალიან კონსტრუქციებში ალუმინის შენადნობებმა ფართო გავრცელება მოიპოვა. ეს, უპირველეს ყოვლისა, აიხსნება ამ მასალის ნაკმაო სიმტკიცით, სიმსუბუქით და კოროზიამედეგობით. ალუმინის შენადნობების მოცულობითი მასა საშუალოდ $\gamma = 27,00$ კნ/მ³. იგი თითქმის სამჯერ უფრო მსუბუქია ფოლადზე ($\gamma_ფ = 78,5$ კნ/მ³). ამავე დროს, მისი დრეკადობის მოდული ($E_ა = 71000$ მპა) თითქმის სამჯერ ნაკლებია ფოლადის დრეკადობის მოდულზე. რადგან $E_ა < E_ფ$, ამიტომ ერთსა და იმავე პირობებში, ალუმინის კონსტრუქციებში დეფორმაციების მნიშვნელობები გაცილებით მეტია, ვიდრე ფოლადის კონსტრუქციებში. ალუმინის კონსტრუქციების დიდი დეფორმაციულობა წარმოადგენს მის უარყოფით მხარეს. ალუმინის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი $\alpha = 0,000023$. სუფთა ალუმინის მცირე სიმტკიცის (75÷90 მპა) და დიდი ფარდობითი წაგრძელების ($\varepsilon = 40 \div 60\%$) გამო, მას სამშენებლო კონსტრუქციებში არ იყენებენ. ალუმინის სიმტკიცის გასაზრდელად მიმართავენ ხელოვნურ განმტკიცებას. განმტკიცება წარმოებს ორი გზით.

1. ლეგირებით-ალუმინის შედუღებით სხვა ლითონებთან, რომლებიც ადიდებენ მის სიმტკიცეს;

2. თერმული დამუშავებით ან ბუნებრივი (ან ხელოვნური) დაძველების გზით.

განმტკიცების აღნიშნული ხერხებით მიიღება სხვადასხვა მარკის ალუმინის შენადნობები.

ლითონების კონსტრუქციებში გამოიყენება შემდეგი მარკის ალუმინის შენადნობები.

1. ალუმინის შენადნობები მაგნიუმთან *АМг6 – М* და *АМг61 – М*.

ასეთი სახის შენადნობებს ხშირად მაგნალებს უწოდებენ. მაგნალები ხასიათდებიან კარგი საშემდუღებლო თვისებებით. კოროზიამედეგია. მისი სიმტკიცის ზღვარი (საანგარიშო წინაღობა) რამდენადმე ნაკლებია ფოლადის სიმტკიცეზე (ცხრ. 1.2). მაგნალები ძირითადად გამოიყენება შედუღებულ ალუმინის კონსტრუქციებში.

2. შენადნობებს სპილენძთან და მაგნიუმთან Д1 = Т და Д16 = Т ეწოდება დიურალუმინები. დიურალუმინი ძნელი შესადუღებელია, მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით მიდრეკილება აქვს ბზარების გაჩენისკენ. ამიტომ დიურალუმინებს უმთავრესად მოქლონურ კონსტრუქციებში იყენებენ.

3. ალუმინის შენადნობები მაგნიუმთან და კაჟთან (სილიციუმთან) АВ = Т1, АД31 = Т1, АД33 = Т1 და სხვ. ასეთი სახის შენადნობებს ავიალებს უწოდებენ. АВ = Т1 მარკის ავიალი, მაგნიუმისა და კაჟის გარდა, დამატებით შეიცავს სპილენძსაც და ხასიათდება რამდენადმე დაქვეითებული კოროზიამედეგობით.

ცხრილი 1.2.

ალუმინიანი შენადნობების მექანიკური თვისებები და საანგარიშო წინაღობები

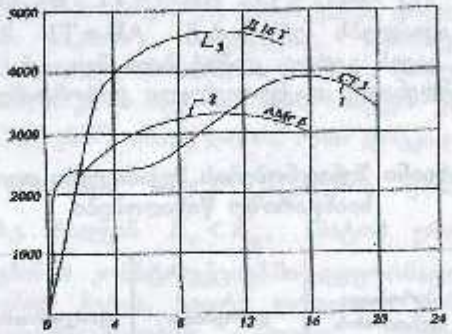
შენადნობის მარკა	პირობითი დენადობის ზღვარი $\sigma_{0,2}$ მპა (კნ/სმ²)	დროებითი წინაღობა $\sigma_დ$ მპა (კნ/სმ²)	ფარდობითი წაგრძელება ε(%)	გაჭიმვის, კუმშვისა და ღუნვის საანგარიშო წინაღობა R_y მპა (კნ/სმ²)
АМг61 = М	275(28)	390(39)	11	180(18)
АВ = Т1	205(22)	300(30)	12	170(17)
АД33 = Т1	205(23)	270(27)	10	190(19)
Д1 = Т	220(22)	380(38)	12	180(18)
Д16 = Т	280(28)	430(43)	12	250(25)

ზემოთ მოყვანილ ალუმინის მარკებში: ასო *М* აღნიშნავს შენადნობის განმტკიცებას დაძველების გზით, ხოლო *Т* - თერმული დამუშავებით.

ალუმინის შენადნობის გაჭიმვის დიაგრამა ნაჩვენებია ნახაზი 1.12-ზე, როგორც ამ დიაგრამიდან ჩანს, ალუმინის შენადნობებს დენადობის ბაქანი არ გააჩნიათ. შენადნობის დენადობის ზღვრად პირობითი მიღებულია ძაბვა ($\sigma_{0,2}$), რომლის დროს ნარჩენი ფარდობითი წაგრძელება მოლიანი ფარდობითი წაგრძელების 0,2%-ია.

ალუმინის შენადნობის ნორმატიულ წინაღობად მიიღება $0,7R_ა$ და $\sigma_{0,2}$ სიდიდეებიდან უმცირესი. $R_ა$ ალუმინის შენადნობის დროებითი წინაღობაა; $\sigma_{0,2}$ - პირობითი დენადობის ზღვარი.

ალუმინის შენადნობის საანგარიშო წინაღობის დადგენა ხდება იმავე წესით, როგორც ფოლადის საანგარიშო წინაღობისა. სხვადასხვა მარკის ალუმინის შენადნობების საანგარიშო წინაღობა მოყვანილია ცხრილი 1.2-ში.



ნახ. 1.12. ალუმინის გაჭიმვის გრაფიკი

ცხრილი 1.3.

ალუმინის შენადნობების ფიზიკური მახასიათებლები

მახასიათებლები	ტემპერატურა, ^0C	მახასიათებლების მნიშვნელობა
დრეკადობის მოდული E, მპა	-70	$0,735 \cdot 10^5$
	-40... + 50	$0,7 \cdot 10^5$
	-40... + 100	$0,64 \cdot 10^5$
ძვრის მოდული G, მპა	-70	$0,274 \cdot 10^5$
	-40... + 50	$0,265 \cdot 10^5$
	-40... + 100	$0,255 \cdot 10^5$
განივი დეფორმაციების (პუასონის) კოეფიციენტი ν	-	0,3
წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი α^0C^{-1}	-70... +100	$0,23 \cdot 10^{-4}$
შენადნობების სიმკვრივე ρ, კგ/მ^3	-	2680...2770

1.6. ტემპერატურის გავლენა ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მუშაობაზე. ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მექანიკურ მაჩვენებლებზე ტემპერატურის ცვალებადობა არსებით გავლენას ახდენს.

ტემპერატურის 200^0-მდე აწევისას ფოლადის მექანიკური მაჩვენებლები თითქმის არ იცვლება. $200^0 \div 300^0$-ის ზღვრებში ფოლადი ხდება მყიფე. ტემპერატურის 400^0-მდე გაზრდისას, მუდმივი ძაბვების (დატვირთვის) გაუზრდელად, ფოლადის ელემენტების დეფორმაციები იზრდება, ე.ი. ადგილი აქვს ცოცვადობას.

600^0-იანი ტემპერატურის დროს ფოლადის პლასტიკურობა მკვეთრად იზრდება და ფოლადი კარგავს ზიდვის უნარს.

უარყოფითი ტემპერატურის ზეგავლენით ფოლადის როგორც დუნადობის, ისე სიმტკიცის ზღვარი იზრდება, ხოლო ფარდობითი დეფორმაცია მცირდება. მის გამო იზრდება ფოლადის სიმყიფისადმი მიდრეკილებაც. ასე, მაგალითად, ნახევრად მშვიდი წესით დამზადებული ნახშირბადმცირე ფოლადები მინუს $(30 \div 35^0C)$-ის დროს იძენენ მყიფე თვისებებს. იგივე ფოლადები დამზადებული მშვიდი წესით, მყიფე ხდებიან $45 \div 50^0C$ ტემპერატურისას.

სიმყიფისადმი მიდრეკილების მქონე ფოლადები სამშენებლო კონსტრუქციებში არ დაიშვება; ტ. ნ. და პირობებით თანამედროვე კონსტრუქციებში ფოლადის გამოყენება დასაშვებია, სანამ $t \leq 200^0$-ის, ხოლო უარყოფითი ტემპერატურა არ უნდა აღემატებოდეს -(40-50^0)-ს. ტემპერატურის გავლენა განსაკუთრებით დიდია ალუმინის შენადნობებზე.

ფოლადისაგან განსხვავებით, 400^0C ტემპერატურის დროს ალუმინის შენადნობების სიმტკიცე ამოწურულია. როდესაც ტემპერატურა იზრდება 100-300^0C-მდე, ალუმინის საანგარიშო წინაღობას ამცირებენ სპეციალური კოეფიციენტით.

დაბალი ტემპერატურის დროს ალუმინის შენადნობების სიმტკიცე და პლასტიკურობა უმნიშვნელოდ იცვლება.

როდესაც ხდება ტემპერატურის ცვალებადობა, ლითონებისა კონსტრუქციების დაცვის მიზნით აუცილებელია:

1. ლითონის კონსტრუქციები დაცული უნდა იქნეს გადახურებისაგან სპეციალური საშუალებებით (ბეტონის ან კერამიკის გარსაცმით და სხვ.).
2. მოეწყოს ტემპერატურული ნაკერები.
3. ლითონის მარკა შერჩეული უნდა იქნეს უარყოფითი ტემპერატურის გათვალისწინებით (იხ. *СНиП II – 23 – 81**, ცხრ.50,).

1.7. ლითონის კონსტრუქციები და კოროზია. ყველანაირი სახის ლითონის კონსტრუქციები განიცდიან გარემოსაგან გარკვეულ ზემოქმედებას. ეს ზემოქმედება შეიძლება იყო მექანიკური ან ფიზიკო-ქიმიური.

მექანიკური ზემოქმედებები ან დატვირთვები, რომლებიც მოქმედებენ ლითონის კონსტრუქციებზე, აღძრავენ მათში ძაბვებს, რომელთა მნიშვნელობების განსაზღვრა შესაძლებელია მასალათა გამძლეობისა და სამშენებლო მექანიკის ცნობილი მეთოდებით.

ლითონის კონსტრუქციების ექსპლუატაციის ხანმედეგობა დამოკიდებულია მასალის სიმტკიცეზე და მუშაობის საექსპლუატაციო პირობებზე, ნაგებობების ხანმედეგობის გაზრდა

დამოკიდებულია ძირითადად უფრო მტკიცე მასალის გამოყენებაზე და კონსტრუქციების ახალი რაციონალური გადაწყვეტილებების დანერგვაზე.

კონსტრუქციულ გადაწყვეტაში იგულისხმება ანტიკოროზიული სამუშაოების ჩატარებაც და მასთან ერთად უსაფრთხოების ტექნიკის პირობების მაქსიმალური დაცვა.

კოროზიის პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარე დამოკიდებულია ლითონის ხარისხზე და აგრესიულ გარემოზე.

კოროზიისაგან მასალის რღვევის ძირითადი სახეებია: თანაბარი და ადგილობრივი. კონსტრუქციის (ლეროს) სიმტკიცე განისაზღვრება შესუსტებული განივკვეთის მიხედვით. ყველაზე მეტად სახიფათოა კრისტალშორისი კოროზია. ასეთი კოროზიის დროს კრისტალებს შორის შეღწევისას ლითონის რღვევის პროცესი სწრაფად ვითარდება, რაც შესაბამისად იწვევს კონსტრუქციის რღვევას (ნახ. 1.13).

კრისტალშორის კოროზიას განიცდიან ლითონის სხვადასხვა შენადნობები: სამშენებლო ფოლადები, სპილენძალუმინირებული (დურალუმინი) და სხვა შენადნობები.

სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოიყენება როგორც ლითონის, ისე არალითონური მასალები. მასალები შეიძლება იყოს სილიკატური ან ორგანული



ნახ. 1.13. მასალის კოროზიული რღვევის ტიპები:
1-თანაბრად განაწილებული; 2-არათანაბრად განაწილებული;
3-სტრუქტურულ-არჩევითი; 4-ლაქისებური; 5-წერტილოვანი; 6-კრისტალშორისი.

სამშენებლო კონსტრუქციებში ლითონის გამოყენებას დიდი ყურადღება ექცევა, განსაკუთრებით აგრესიულ გარემოში, ლეგირებული ფოლადების სახით. ფოლადში უმატებენ მალეგირებულ მასალებს, როგორიცაა სპილენძი, ნიკელი, ქრომი და სხვა. ეს მასალები ანიჭებენ ფოლადს კოროზიამედეგობას.

კოროზიის გავრცელების სიჩქარის გამოსათვლელად იყენებენ ე.წ. წონით მეთოდებს. კოროზიის შესაფასებლად საჭიროა გამოვთვალოთ მასალის სიმტკიცის შემცირების ხარისხი.

წონითი მეთოდი დაფუძნებულია საცდელი ნიმუშის წონების სხვაობაზე. მასზე აგრესიული გარემოს მოქმედების შემდეგ.

$$k = \frac{P_0 - P_1}{A} \qquad (1.5)$$

სადაც P_0 არის საცდელი ნიმუშის პირველადი წონა; P_1 - საცდელი ნიმუშის წონა კოროზიის შემდეგ; A -საცდელი ნიმუშის ზედაპირის ფართობი; k -წონის დანაკარგი გრ/მ².

კოროზიის შეღწევადობა ანუ კოროზიის სიჩქარე იზომება მმ/წდ-ობით და გამოითვლება ფორმულით:

$$\Pi_{\text{მმ/წდ}} = \frac{8{,}76 \cdot k}{\gamma} \qquad (1.6)$$

სადაც γ მასალის მოცულობითი წონაა k-წონის დანაკარგი გრ/მ²;

ლითონის შენადნობის კოროზიული მდგრადობის შეფასება ხდება სახელმწიფო სტანდარტების მიხედვით, ათბალიანი შკალით (იხ. ცხრ. 1.4).

ყოველივე ზემოთადნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ განსაკუთრებულ შემთხვევაში ლითონის კონსტრუქციების მასალად გამოიყენება მაღალლეგირებული ფოლადები, ალუმინის შენადნობები, ტიტანის შენადნობები და სხვა. ეს ძვირად ღირებული მასალები, ანუ მაღალლეგირებული ფოლადები გამოიყენებიან მაღალ აგრესიულ გარემოში. ეს ფოლადები გამოირჩევიან უდიდესი ქიმიური მედეგობით, რაც ახანგრძლივებს ლითონის კონსტრუქციების საექსპლუატაციო ვადებს.

მდგრადობის ჯგუფი	კოროზიის სიჩქარე მმ/წელიწადში	ბალი
1. მდგრადი (სრულიმდგრადი)	0,001 ნაკლები	1
2. საკმაოდ მდგრადი	0,001-დან-0,005-მდე 0,005-დან-0,01-მდე	2 3
3. მდგრადი	0,01-დან-0,05-მდე 0,05-დან-0,1-მდე	4 5
4. დაქვეითებული მდგრადი	0,1-დან-0,5-მდე 0,5-დან- 1,0-მდე	6 7
5. ნაკლებად მდგრადი	1,0-დან-5,0-მდე 5,0-დან- 10,0-მდე	8 9
6. არამდგრადი	10,0-მეტი	10

თავი 2

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები

2.1. ძირითადი განმარტებები

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშება არის მრავალეტაპიანი პროცესი, რომელიც შედგება: კონსტრუქციული ფორმის შერჩევით, გაანგარიშებითა და ნახაზების შედგენით, დამზადებითა და მონტაჟით.

მეორე ძირითადი ეტაპის-დაპროექტების (გაანგარიშება და ნახაზების შედგენა) მიზანია გაბარიტული ზომების მკაცრად დაცვა, ასევე განივი კვეთების ზომების დადგენა და მათი შეერთებებისაც, რომლებიც უზრუნველყოფენ დადგენილ საექსპლუატაციო პირობებს და აუცილებელ საჭირო სიმტკიცეს დამზადებასა და მონტაჟზე მასალისა და შრომის მინიმალური დანახარჯებით კონსტრუქციის მუშაობის მთლიანი ვადის გამავლობაში.

გაანგარიშება ძირითადად შედგება შემდეგი ეტაპებისაგან: საანგარიშო სქემის დადგენა, დატვირთვების შეკრება, კონსტრუქციის ელემენტებში ძალვების განსაზღვრა, კვეთების შერჩევა, კონსტრუქციის როგორც მთლიანობაში ისე მისი ცალკეული ელემენტებისა და შეერთებების დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის (ძაბვების) შემოწმება.

ძალვების განსაზღვრის მეთოდები შეისწავლება ძირითადად ისეთ დისციპლინებში, როგორებიცაა: სამშენებლო მექანიკა, მასალათა გამძლეობა, დრეკადობისა და პლასტიკურობის თეორია. გაანგარიშების დანარჩენი ეტაპები შედის ლითონთა კონსტრუქციების კურსში.

მეცნიერების სხვადასხვა დარგებში გამოიყენება საკვანძო სიტყვები, რომლებიც ახასიათებენ მოცემულ დარგს. მაგ. სამშენებლო მექანიკაში საკვანძო სიტყვებია: "ძალთა მეთოდი", "გადაადგილებათა მეთოდი", "სასრულ ელემენტთა მეთოდი", "ძირითადი სისტემა", "წონასწორობის განტოლება" და ა.შ. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშებაში გამოიყენება ძირითადად შემდეგი საკვანძო სიტყვები: "ზღვრული მდგომარეობები", "საანგარიშო დატვირთვა", "საანგარიშო წინაღობა", "საიმედობა", "დაღლილობა", "ოპტიმალური პარამეტრი", "ოპტიმალური კონსტრუქციული გადაწყვეტა", და ა. შ.

დღეისათვის საქართველოში კონსტრუქციების გაანგარიშება ხდება ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდით. არსებობს ასევე დასაშვებ ძაბვათა მეთოდი. ერთ-ერთი განსხვავება ამ ორ მეთოდს

შორის ის არის, რომ დასაშვებ ძაბვათა მეთოდში გამოყენებულია ერთიანი k კოეფიციენტი, ხოლო ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდში ეს ერთიანი კოეფიციენტი დაშლილია სხვადასხვა განსხვავებულ კოეფიციენტებად, სხვადასხვა შემთხვევებისათვის.

2.2. ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი დებულებები

2.2.1. გაანგარიშების ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი. სამშენებლო კონსტრუქციების გაანგარიშების მიზანია უზრუნველყოს დადგენილი საექსპლუატაციო პირობები და აუცილებელი საჭირო სიმტკიცე დამზადებასა და მონტაჟზე მასალისა და შრომის მინიმალური დანახარჯებით.

სამშენებლო კონსტრუქციებს ანგარიშობენ ძალოვან და სხვა ზემოქმედებებზე, რომლებიც განსაზღვრავენ მათ დაძაბულ მდგომარეობებს და დეფორმაციებს, ზღვრული მდგომარეობებით.

გაანგარიშების ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი პირველად დამუშავებული იქნა ფოფილ საბჭოთა კავშირში, 50-იან წლებში. გაანგარიშების მიზანია არ დაუშვას ექსპლუატაციისას ზღვრული მდგომარეობები განსაზღვრული უზრუნველყოფით კონსტრუქციის ან ნაგებობის მუშაობის დადგენილ ვადაში. ზღვრული მდგომარეობების ქვეშ გულისხმობენ ისეთ მდგომარეობებს, როდესაც კონსტრუქციები სამუშაოების წარმოებისას ალარ აკმაყოფილებენ დადგენილ საექსპლუატაციო პირობებს ან მოთხოვნებს. კონსტრუქციების სტატიკურ და დინამიკურ ზემოქმედებებზე გაანგარიშებისას ითვალისწინებენ შემდეგ ზღვრულ მდგომარეობებს:

პირველი ჯგუფის-კონსტრუქციის ზიდვის უნარის დაკარგვა და ექსპლუატაციისათვის სრული გამოუსადეგარობა.

მეორე ჯგუფის-ნაგებობის ნორმალური ექსპლუატაციის გაძნელება. (კონსტრუქციის ექსპლუატაცია ითვლება ნორმალურად, თუ იგი რაიმე შესწორების ან რეგგარეშე შეკეთების გარეშე აკმაყოფილებს სათანადო ნორმებით დადგენილ ტექნოლოგიურ ან საყოფაცხოვრებო მოთხოვნებს).

პირველი ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობებს მიეკუთვნება:

1) ნებისმიერი ხასიათის რღვევა (პლასტიკური; მყიფე; ბლანტი ან დაღლილობითი) (ნახ. 2.1,ე), ვ));

2) მდგრადობის ფორმის საერთო დაკარგვა (ნახ. 2.1,ა), ბ));

3) მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა (ნახ. 2.1 გ),დ));

4) კონსტრუქციის გეომეტრიულად ცვლად სისტემაში გადასვლა;

5) მდგომარეობა, რომლის დროსაც აუცილებელი ხდება ექსპლუატაციის შეწყვეტა მასალის დენადობის, შეერთებებში ძვრების, ცოცვადობის, დაუშვებელი ნარჩენი ან სრული გადაადგილებების, ან ბზარების ზომაზე მეტად გახსნის შედეგად.

6) კონფიგურაციის ხარისხობრივი შეცვლა;

პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები ხასიათის მიხედვით იყოფა ორ ქვეჯგუფად: ზიდვის უნარის დაკარგვის მიხედვით (პირველი ოთხი მდგომარეობა) და ექსპლუატაციისათვის სრული გამოუსადეგარობით (მეხუთე და მეექვსე მდგომარეობა) ზომაზე მეტი ნარჩენი გადაადგილებების (დეფორმაციების) განვითარების შედეგად.

ზღვრული მდგომარეობები შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ცხრილის სახითაც.

მეორე ჯგუფის ზღვრულ მდგომარეობებს განეკუთვნება ისეთი მდგომარეობები, რომლებიც აძნელებენ ნორმალურ ექსპლუატაციას ან ამცირებენ ხანგრძლივობას დაუშვებელი გადაადგილებების გაჩენის შედეგად (ჩალუნვები, ჯდომები, მობრუნების კუთხები, რხევები, ბზარები და ა.შ.)

ანგარიშით პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები მოწმდება მაქსიმალურ (საანგარიშო) დატვირთვებზე და ზემოქმედებებზე, მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები კი საექსპლუატაციო (ნორმატიულ) დატვირთვებზე.

კონსტრუქციაში ზღვრული მდგომარეობების გაჩენაზე საიმედობა და გარანტია უზრუნველყოფილია მასალის არახელსაყრელი მახასიათებლების სათანადო გათვალისწინებით, გადატვირთვებით და დატვირთვების არახელსაყრელი (მაგრამ რეალურად შესაძლებელი) შეხამებით, კონსტრუქციებისა და ფუძეების რეალური მუშაობის პირობებითა და თავისებურებებით, საანგარიშო სქემებისა და გაანგარიშების მეთოდების სათანადო შერჩევით, აუცილებელ შემთხვევაში მასალის პლასტიკური და რეოლოგიური ხასიათის თვისებების გათვალისწინებით.

ეს პირობები პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის ზიდვის უნარის მიხედვით შეიძლება ჩაწერილი იქნას შემდეგი სახის უტოლობით:

$$\overline{N} \le \overline{S} \qquad (2.1)$$

სადაც $\overline{N}$ არის ძალვა, რომელიც მოქმედებს კონსტრუქციის საანგარიშო ელემენტში (დატვირთვებისა და სხვა ზემოქმედებების ფუნქციაა). $\overline{S}$ არის ზღვრული ძალვა, რომელიც შეიძლება აიტანოს საანგარიშო ელემენტმა. (მასალის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების, მუშაობის პირობების და ელემენტების ზომების ფუნქცია).

ზღვრული მდგომარეობის ჯგუფი	ზღვრული მდგომარეობა		
	სახე		დახასიათება
პირველი	პირველი ქვეჯგუფი	ზიდვის უნარი	ნებისმიერი ხასიათის რღვევა (პლასტიკური ჰინჯი ან დაღლილობითი); მდგრადობის ფორმის საერთო დაკარგვა; მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა; კონსტრუქციის გეომეტრიულად ცვლად სისტემაში გადასვლა;
	მეორე ქვეჯგუფი	ექსპლუატაციისათვის სრული გამოუსადეგარობა	მასალის დენადობა, არაელასტიკური ძვრები შეერთებებში, ცოცვადობა, დაუშვებელი ნარჩენი ან მთლიანი გადაადგილებები (დეფორმაციები); კონფიგურაციის ხარისხობრივი ცვლილება;
მეორე	ნორმალური ექსპლუატაციისათვის ვარგისიანობა		გადაადგილებები (ჩალუნვა, მობრუნება ან ჯდომა), რხევები; მდგომარეობის ცვლილება; ძვრები შეერთებებში.

უტოლობაში $\overline{N}$-ის მნიშვნელობა განისაზღვრება F_i საანგარიშო დატვირთვებისაგან, რომელიც წარმოადგენს უდიდეს ან მეტნაკლებად ხშირად განმეორებად დატვირთვას. ეს დატვირთვები კი განისაზღვრება დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობების F_i^n გამრავლებით გადატვირთვის კოეფიციენტზე n_i, რომელიც ითვალისწინებს დატვირთვის მნიშვნელობის გადახრას არახელსაყრელ მხარეს და საიმედობის კოეფიციენტზე დანიშნულების მიხედვით γ_n, რომელიც ითვალისწინებს შენობის ან ნაგებობის საიმედობის ხარისხს.

თუ კონსტრუქციაზე მოქმედებს ორი ან რამოდენიმე დროებითი დატვირთვა მათი ერთობლიობის ზემოქმედების ალბათობა გაითვალისწინება დატვირთვების მნიშვნელობების გამრავლებით შეთანწყობის კოეფიციენტზე n_c.

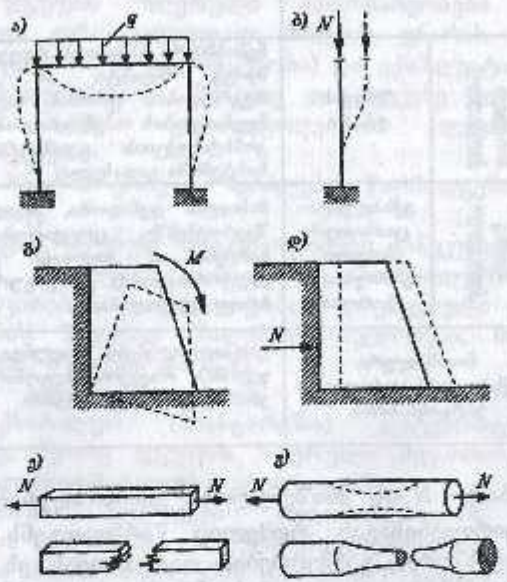
ამგვარად ძალა შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი

$$\overline{N} = \sum F_i^n \cdot \overline{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \qquad (2.2)$$

სადაც $\overline{N}_i$-ძალვაა რისი $F_i = 1$.

ზიდვის უნარი ანუ ზღვრული ძალვა $\overline{S}$, რომელიც შეიძლება აიტანოს საანგარიშო ელემენტმა, განსაზღვრული უნდა იქნას

კვეთის გეომეტრიული მახასიათებლების $\bar{A}$ (ფართობები, წინაღობების მომენტები და სხვა) გამრავლებით საანგარიშო წინაღობაზე R და მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე γ_c.



ნახ. 2.1. პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები:
ა), ბ) მდგრადობის ფორმის საერთო დაკარგვა; გ) დ) მდებარეობის მდგრადობის დაკარგვა; ნებისმიერი ხასიათის რღვევა (მყიფე ვ), პლასტიკური ე))

საანგარიშო წინაღობა R მიიღება საანგარიშო წინაღობის ნორმატიული მნიშვნელობის, დადგენილი დენადობის ზღვრის მიხედვით R_y^n ან დადგენილი დროებითი წინაღობის მიხედვით R_u^n გაყოფით მასალის საიმედობის კოეფიციენტზე γ_m, რომელიც ითვალისწინებს კონსტრუქციაში დადაბლებული ხარისხის მქონე მასალის მოხვედრას.

ამგვარად, ზღვრული ძალა $\bar{S}$ დენადობის ზღვრის მიხედვით განისაზღვრება

$$S = \bar{A}_{st}\frac{R_y^n}{\gamma_m}\gamma_c = \bar{A}_{st}R_y\gamma_c, \qquad (2.3)$$

ხოლო დროებითი წინაღობის მიხედვით

$$\bar{S} = \bar{A}_{st}\frac{R_u^n}{\gamma_m\gamma_u}\gamma = \bar{A}_{st}\frac{R_u}{\gamma_u}\gamma_c \qquad (2.4)$$

სადაც $\gamma_u = 1{,}3$ საიმედობის კოეფიციენტია, როდესაც კონსტრუქციის ელემენტების სიმტკიცეს ანგარიშობენ დროებითი წინაღობით.

შესაბამისად (2.1)-ტოლობა I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობებისათვის გადაიწერება

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \le \bar{A}_{st}\frac{R_y^n}{\gamma_m}\gamma \qquad (2.5)$$

ან

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c \le \bar{S} = \bar{A}_{st}\frac{R_u^n}{\gamma_m\gamma_u}\gamma_c \qquad (2.6)$$

ზღვრული მდგომარეობები პირველი ჯგუფის მეორე ქვეჯგუფისათვის ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c\delta_1 \le \delta_1 \qquad (2.7)$$

სადაც $\bar{\delta}_1$ არის გადაადგილება გამოწვეული ერთეულოვანი დატვირთვით. δ_1-ზღვრული, ნარჩენი ან სრული გადაადგილება.

მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობისათვის ზღვრული პირობები ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\sum F_i^n \cdot \bar{N}_i \cdot n_i \cdot \gamma_n \cdot n_c\delta_2 \le \delta_{21} \qquad (2.8)$$

δ_2 არის დრეკადი დეფორმაცია ან კონსტრუქციის გადაადგილება გამოწვეული ერთეულოვანი დატვირთვით; δ_2 – ზღვრული დეფორმაციები ან გადაადგილებები დადგენილი ნორმებით ან საპროექტო მოთხოვნებით, რომლებიც აძლევენ ნორმალურ ექსპლუატაციას.

2.3. ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები

2.3.1. ნორმატიული წინაღობები. როგორც 2.2.1. თემიდან ჩანს, გაანგარიშებებში სამშენებლო ფოლადების სიმტკიცის ზღვრად მიღებულია მისი დენადობის ზღვარი ($\sigma_{დენ}$) ან დროებითი წინაღობა ($\sigma_{დრ}$).

ცდებით გაირკვა, რომ ფოლადის დენადობის ზღვარი ან დროებითი წინაღობა მუდმივი არ არის და იცვლება გარკვეულ ზღვრებში. ამიტომ ტექნიკური ნორმებით (СНиП II-23-81), მცირე-

ნახშირბადიანი ფოლადების დენადობის ზღვრის რიცხვით მნიშვნელობად მიღებულია მისი შესაძლო მინიმალური მნიშვნელობა, რომელსაც ადგილი აქვს უმეტეს შემთხვევაში, (ანუ ე.წ. წუნდების მინიმალური მნიშვნელობა); ნორმებით დადგენილ დენადობის ზღვრის ამ მნიშვნელობას ნორმატიული წინაღობა ეწოდება R_{yn}. ნორმატიული წინაღობის დადგენა ხდება მექანიკური მახვევნებლების სტატისტიკური მეთოდებით დამუშავების გზით. ძალიან სიმტკიცის ფოლადებისათვის, რომლებსაც არ გააჩნიათ ან მცირე აქვთ დენადობის უბანი, ნორმატიულ წინაღობად მიიღება ნორმებით დადგენილი დროებითი წინაღობის მინიმალური რიცხვითი მნიშვნელობა R_{un}.

2.3.2. საანგარიშო წინაღობები. ნებისმიერი მასალის სიმტკიცის მახასიათებლები ცვალებადია, ამიტომ რეალურად მომუშავე ელემენტების დენადობის ზღვარი ან დროებითი წინაღობა შეიძლება იქნეს ნაკლები შესაბამის ნორმატიულ მნიშვნელობაზე. მასალის წინაღობის სიდიდის გადახრა არახელსაყრელ მხარეს აღირიცხება მასალის მიხედვით საიმედობის კოეფიციენტით (γ_m). როგორც ცხრილი 2.1-დან ჩანს, ეს კოეფიციენტი $\gamma_m > 1$-ზე. ის არის დაბალი სიდიდის მქონე მაჭიმველი და ფოლადებისათვის მისი მნიშვნელობები მოყვანილია დანართი 17-ში.

ცხრილი 2.1.

ფოლადის ნაგლინის და მილების საანგარიშო წინაღობები

დაძაბული მდგომარეობა		პირობითი აღნიშვნები	ნაგლინისა და მილების საანგარიშო წინაღობები
გაჭიმვა, კუმშვა და ღუნვა	დენადობის ზღვრის მიხედვით	R_y	$R_y = R_{yn}/\gamma_m$
	დროებითი წინაღობის მიხედვით	R_u	$R_u = R_{un}/\gamma_m$
ძვრა		R_s	$R_s = 0{,}58\,R_{yn}/\gamma_m$
ტორსის ზედაპირის თლება (მორგების დროს)		R_p	$R_p = R_{un}/\gamma_m$
ადგილობრივი თლება ცილინდრულ სახსრებში (პოჭოჭიკებში) მჭიდროდ შეხებისას		R_{cp}	$R_{bp} = R_{un}/\gamma_m$
საგორავის დიამეტრული კუმშვა (თავისუფალი შეხებისას, მოძრაობის შეზღუდული კონსტრუქციებში)		R_{cd}	$R_{cd} = 0{,}025\,R_{un}/\gamma_m$
გაჭიმვა ნაგლინის სისქის მიმართულებით		R_{th}	$R_{th} = 0{,}5\,R_{th}/\gamma_m$

ნორმატიულ წინაღობას, გაყოფილს საიმედობის კოეფიციენტზე (γ_m), საანგარიშო წინაღობას (R_y ან R_u) უწოდებენ.

ტ. 6. და პირობებით (СНиП II-23-81) ფოლადებისათვის, რომელთა საანგარიშო წინაღობა დადგენილია დენადობის ზღვრის მიხედვით (ცხრ. 2.1)

$$R_y = R_{yn}/\gamma_m \qquad (2.9)$$

როდესაც ფოლადის საანგარიშო წინაღობის დადგენა ხდება დროებითი წინაღობის მიხედვით

$$R_u = R_{un}/\gamma_m \qquad (2.10)$$

სხვადასხვა სახის დაძაბული მდგომარეობის შესაბამისი საანგარიშო წინაღობები განისაზღვრება ცხრილი 2.1-ში მოყვანილი ფორმულებით.

როგორც ამ ცხრილიდან ჩანს, ფოლადისათვის გაჭიმვის, კუმშვისა და განივი ღუნვის საანგარიშო წინაღობები ერთი და იგივეა. ძვრის საანგარიშო წინაღობა (R_s) მიიღება ძირითადი (გაჭიმვის) საანგარიშო წინაღობის 0,58-ზე გადამრავლებით. ტორსულ ზედაპირზე მოქმედი საანგარიშო წინაღობა ტოლია R_u-ს.

2.3.3. მუშაობის პირობებისა და საიმედობის კოეფიციენტები. კონსტრუქციების გაანგარიშებისას, მათი ნამდვილი მუშაობის გათვალისწინება ყოველთვის არ არის შესაძლებელი. ამიტომ, ნაგებობების უსაფრთხო მუშაობის მიზნით, მხედველობაში მიღებული უნდა იქნეს სხვადასხვა ფაქტორების არასასურველი გავლენა.

მათი გათვალისწინება ტექნიკური ხორმებითია და პირობებით წარმოებს კონსტრუქციის γ_c და შეერთების γ_g მუშაობის პირობების კოეფიციენტებით, ასევე γ_n საიმედობის კოეფიციენტით კონსტრუქციის დანიშნულების მიხედვით.

კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი γ_c ითვალისწინებს კონსტრუქციის მუშაობის კონკრეტული პირობების გავლენას მის ზიდვის უნარსა და დეფორმაციულობაზე (მაგ. ტემპერატურის, აგრესიული გარემოს, დატვირთვების მოქმედების ხანგრძლივობა და მათი მრავალჯერადი გამეორება, საანგარიშო სქემის კონსტრუქციული სქემისაგან შესაძლო განსხვავება, ძაბვებისა და დეფორმაციების გადანაწილება, განივკვეთის ზომისა და ფორმის გავლენა და სხვ.). უმეტეს შემთხვევაში $\gamma_c < 1$-ის, ე.შ.ია.თად, $\gamma_c > 1$-ზე (იხ. დან. 14).

კონსტრუქციების დანიშნულების მიხედვით, საიმედობის კოეფიციენტით (γ_n), აღირიცხება: კონსტრუქციის ამა თუ იმ

ზღვრული მდგომარეობის შედეგების მნიშვნელობა, ნაგებობის კაპიტალურობისა და პასუხისმგებლობის ხარისხი და საერთოდ ყველა იმ ფაქტორის გაელენა, რომელთა ზუსტი აღრიცხვა შეუძლებელია ან ჯერჯერობით ვერ ხერხდება. ტ. ნ. და პირობებით (СНиП II-23-81) კონსტრუქციის იმ ელემენტებისათვის, რომელთა გაანგარიშება სიმტკიცეზე ხდება დროებითი წინაღობის მიხედვით, საანგარიშო წინაღობა R_u დამატებით იყოფა $\gamma_u = 1{,}3$ კოეფიციენტზე.

ფოლადის ელემენტების გაანგარიშების გაადვილების მიზნით, ტ. ნ. და პირობების მიერ γ_u და γ_m კოეფიციენტები შეყვანილია ნორმატიული წინაღობების მნიშვნელობაში და საანგარიშო წინაღობების რიცხვითი სიდიდეები, ნაგლინის მარკის, სახის და სისქის მიხედვით მოცემულია დანართი 5-ში.

შენობა-ნაგებობების საიმედობის კოეფიციენტი (γ_n) საპასუხისმგებლო კლასის მიხედვით იყოფა სამ კატეგორიად:

I. შენობა-ნაგებობები, რომლებსაც აქვს ეროვნული მეურნეობისათვის და (ან) სოციალური დანიშნულებით განსაკუთრებული მნიშვნელობა (მაგ. თბოელექტროსადგური, ატომურიელექტროსადგური, რეზერვუარები, რომელთა მოცულობა აღემატება 10000 მ³ ...) $\gamma_n = 1$.

II. შენობა-ნაგებობები, რომლებიც არიან ეროვნული მეურნეობისათვის მნიშვნელოვანი დანიშნულების (სამოქალაქო, სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო... დანიშნულების ნაგებობები) $\gamma_n = 0{,}95$.

III. შენობა-ნაგებობები, რომლებსაც აქვთ ეროვნული მეურნეობისათვის და (ან) სოციალური დანიშნულებით ნაკლებად საპასუხისმგებლო მნიშვნელობა (მაგ. საწყობები, რომლებშიც არ ხდება დაფასოება, სათბურები, ერთსართულიანი საცხოვრებელი სახლები...) $\gamma_n = 0{,}9$. ხუთ წლამდე ვადის მქონე დროებითი შენობა-ნაგებობებისათვის დასაშვებია მიღებული იქნას $\gamma_n = 0{,}8$.

2.4. დატვირთვები და ზემოქმედებები

2.4.1. დატვირთვებისა და ზემოქმედებების კლასიფიკაცია და დახასიათება. დროში მოქმედების მიხედვით დატვირთვები და ზემოქმედებები შეიძლება იყოს მუდმივი, დროებით ხანგრძლივი, ხანმოკლე და განსაკუთრებული. მუდმივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: შენობებისა და ნაგებობების მუდმივი ნაწილების წონები, გრუნტის წოსა და წნევა. წინასწარი დაძაბვის ზემოქმედება. დროებით ხანგრძლივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: სტაციონარული დანადგარების წონა, ჭურჭლებში სითხეებისა და ცხვირი მასალების წონა; რეზერვუარებში, გაზგოლდერებსა და მილსადენებში სითხეებისა და გაზების წნევა და ა.შ.

ხანმოკლე დატვირთვებს მიეკუთვნება ატმოსფერული: თოვლის, ქარის, ყინვის და ტემპერატურისაგან გამოწვეული ზემოქმედება, ამწესატრანსპორტო მოწყობილობებისაგან გამოწვეული დატვირთვა და ა.შ. განსაკუთრებულ დატვირთვებსა და ზემოქმედებებს მიეკუთვნება: სეისმური ზემოქმედება, დანადგარების დაზიანებით გამოწვეული დატვირთვა, საბრკოლის ჯდომით გამოწვეული ზემოქმედება.

2.4.2. ნორმატიული დატვირთვები. დატვირთვების მახასიათებლები არის მათი ნორმატიული მნიშვნელობები, რომლებსაც ღებულობენ სტატისტიკური მონაცემებით ან ნომინალური მნიშვნელობებით.

მუდმივი, დროებითი ხანგრძლივი, ხანმოკლე დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობები, აიღება СНиП 2.01.07-85*-დან ან ინსტრუქციულ-ნორმატიული დოკუმენტებიდან.

თოვლის საფარის წონის ნორმატიული მნიშვნელობა იანგარიშება ფორმულით:

$$p_n = p_0 c \qquad (2.11)$$

აქ p_0 არის 1 მ²-ზე მოსული თოვლის საფარის წონა, მისი მნიშვნელობა საქართველოს სხვადასხვა ქალაქებისათვის მოყვანილია დან. 2 ცხრ. 2.1–ში.

c ითვალისწინებს ჰორიზონტალურიდან გადახურვის დახრილ ზედაპირზე გადასვლას (იხ. ნახ. 2.2).

ქარის დატვირთვა ისაზღვრება ჰიდრომეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემების მიხედვით, რომელშიც მოცემულია ქარის სიჩქარე მიწიდან 20 მ სიმაღლეზე. ქარის დაწნევა იანგარიშება ფორმულით

$$q_0 = \frac{v^2}{16} \qquad (2.12)$$

v–ქარის სიჩქარე (მ/წმ).

ხოლო ქარის დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობა ტოლია

$$q_n = q_0 kc \qquad (2.13)$$

q_0-ის მნიშვნელობა საქართველოს სხვადასხვა ქალაქებისათვის აიღება დან. 2 ცხრ. 2.2–დან.

k–არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ქარის დაწნევის ცვლილებას სიმაღლის მიხედვით. აიღება დან 3–დან.

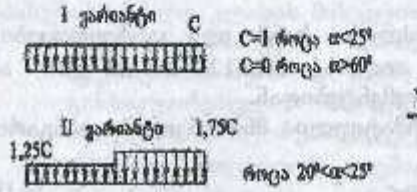
c –აეროდინამიკური კოეფიციენტი აიღება ნახ. 2.3-ის მიხედვით.

2.4.3. საანგარიშო დატვირთვები. საანგარიშო დატვირთვა ტოლია დატვირთვის ნორმატიული მნიშვნელობა გამრავლებული გადატვირთვის კოეფიციენტზე

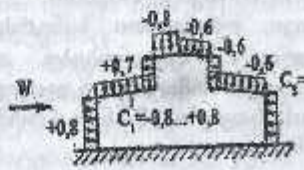
$$p = p_n n \qquad (2.14)$$

გადატვირთვის კოეფიციენტი n ითვალისწინებს დატვირთვის ცვალებადობას რომელიც განპირობებულია რიგი მიზეზებით და აიღება ÑÍèÏ 2.01.07-85* -დან.





ნახ. 2.2. გადახურვაზე თოვლის საფარის განაწილების მაგალითი



ნახ. 2.3. რთული კონფიგურაციის შენობებისათვის აეროდინამიკური კოეფიციენტის მნიშვნელობები

2.4.4. დატვირთვების შეთანწყობა. დატვირთვები ზემოქმედებენ კონსტრუქციაზე არა განცალკევებულად არამედ ერთმანეთთან შეთანწყობით.

არსებობს დატვირთვების შეთანწყობის შემდეგი სახეები:

ა) მუდმივი გამრავლებული $n_c = 1$ პლიუს ერთი უდიდესი დროებითი გამრავლებული $n_c = 1$.

ბ) მუდმივი გამრავლებული $n_c = 1$ პლიუს დროებითი ხანგრძლივი და ხანმოკლე გამრავლებული $n_c = 0,9$.

გ) მუდმივი გამრავლებული $n_c = 1$ პლიუს დროებით ხანგრძლივი და დროებით ხანმოკლე გამრავლებული $n_c = 0,8$ პლიუს განსაკუთრებული გამრავლებული $n_c = 0,8$.

აქ n_c არის შეთანწყობის კოეფიციენტი.

ვიღებთ ა)-ს ბ)-ს და გ)-ს შორის უდიდეს.

2.5. დატვირთვის ქვეშ მუშაობა და კონსტრუქციის ელემენტების გაანგარიშება

2.5.1. ფოლადის მუშაობის პლასტიკურობის პირობა. ლითონის ელემენტების გაანგარიშების თეორიაში უაღრესად დიდი მნიშვნელობა მასალის პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის პირობას ენიჭება.

ასეთი პირობის დასადგენად განვიხილოთ მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობა (ნახ. 2.4).

ზედაპირის ელემენტარულ ფართობზე (A) მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვები აღვნიშნოთ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ -ით.

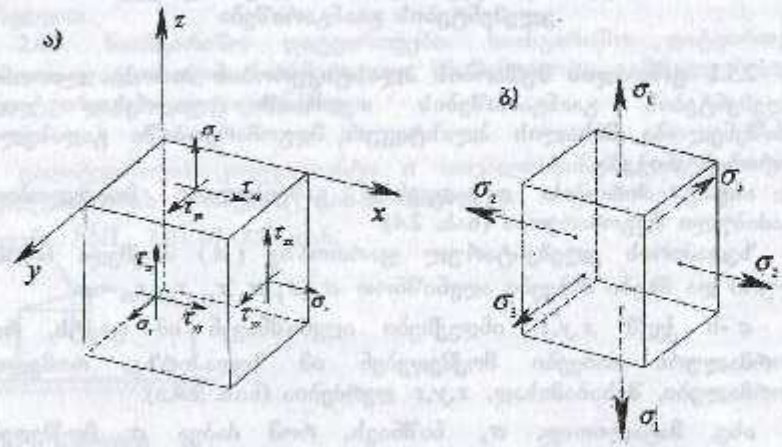
σ -ს ქვეშ x,y,z ინდექსები აღნიშნავენ იმ ფაქტს, რომ ნორმალური ძაბვები მოქმედებენ იმ ზედაპირზე, რომელთა ნორმალები, შესაბამისად, x,y,z ღერძებია (ნახ. 2.4,ა).

ასე, მაგალითად, σ_x ნიშნავს, რომ ძაბვა σ მოქმედებს ზედაპირზე, რომლის ნორმალია x ღერძი.

მხები, ძაბვის ქვეშ პირველი ინდექსი აღნიშნავს ამ ძაბვის მოქმედების ზედაპირის ნორმალს, მეორე ინდექსი–იმ ღერძს, რომლის პარალელურად მოქმედებს τ ძაბვა. მაგალითად, τ_{xy} ნიშნავს, τ მოქმედებს იმ სიბრტყეზე, რომლის ნორმალია x და პარალელურია y ღერძის.

როგორც მასალათა გამძლეობის კურსიდან არის ცნობილი, იმ სიბრტყეებს, სადაც მოქმედებენ მხოლოდ ნორმალური ძაბვები (მხები ძაბვები $\tau = 0$) მთავარი სიბრტყეები ეწოდება, ხოლო ამ სიბრტყეების ნორმალურად მოქმედ ძაბვებს– მთავარ ნორმალურ ძაბვებს უწოდებენ. ისინი აღინიშნება σ_1, σ_2, და σ_3-ით (ნახ. 2.4,ბ). სიდიდის მიხედვით $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის პირობა დამოკიდებულია სიმტკიცის იმ თეორიაზე, რომელიც საფუძვლად უდევს ელემენტების გაანგარიშებას. როგორც თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევით მტკიცდება, ალუმინის და ფოლადის ელემენტის მუშაობას ყველაზე უკეთ გამოხატავს სიმტკიცის ენერგეტიკული თეორია. ეს თეორია ტ. ნ. და პირობებით (*СНиП II–23–81**) მიღებულია ელემენტის გაანგარიშების საფუძვლად. ენერგეტიკული თეორიის მიხედვით მასალა იმყოფება დრეკად-დაძაბულ მდგომარეობაში, თუ დაყვანილი ძაბვა (σ_{red}) ნაკლებია დენადობის ზღვარზე ($\sigma_{დენ}$). მასალა მუშაობს პლასტიკურ არეში, თუ $\sigma_{red} \le \sigma_{დენ}$-ის.



ნახ. 2.4. მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობა:
ა)–სიბრტყეების მიხედვით ძაბვები და მისი ინდექსები; ბ) მთავარი ნორმალური ძაბვები.

მოცულობითი დაძაბული მდგომარეობის პლასტიკურ მდგომარეობაში გადასვლის პირობა ან, მოკლედ, პლასტიკურობის პირობა, ზოგადად გამოისახება ტოლობით,

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2+\sigma_z^2-\left(\sigma_x\sigma_y+\sigma_y\sigma_z+\sigma_z\sigma_x+3(\tau_{xy}^2+\tau_{yz}^2+\tau_{xz}^2)\right)} = \sigma_{\partial\gamma\delta} \quad (2.15)$$

ან მთავარი ძაბვების საშუალებით,

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2+\sigma_2^2+\sigma_3^2-\left(\sigma_1\sigma_2+\sigma_2\sigma_3+\sigma_3\sigma_1\right)} = \sigma_{\partial\gamma\delta} \quad (2.16)$$

გაჭიმვის ან კუმშვის შემთხვევაში $\sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0$ და $\sigma_x \neq 0$ შესაბამისად,

$$\sigma_{red} = \sigma_x = \sigma_{\partial\gamma\delta} \quad (2.17)$$

(2.17) მიხედვით, კუმშვის (გაჭიმვის) შემთხვევაში მასალა გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში, როგორც კი ნორმალური ძაბვა მიაღწევს დენადობის ზღვარს. ეს პირობა ნათლად გამოიხატება მასალის იდეალური დრეკად-პლასტიკური დიაგრამით (ნახ. 1.6). ამ დიაგრამის მიხედვით, როდესაც $\sigma = \sigma_{red} < \sigma_{\partial\gamma\delta}$ მასალა მუშაობს როგორც იდეალურად პლასტიკური. განივი ღუნვის დროს $\sigma_y = \sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{xz} = 0$; $\sigma_x \neq 0$; $\tau_{xy} \neq 0$ შესაბამისად

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2+3\tau_{xy}^2} = \sigma_{\partial\gamma\delta}. \quad (2.18)$$

(2.18)-ის მიხედვით, განივი ღუნვის დროს მასალა გადადის პლასტიკურ მდგომარეობაში, როდესაც σ_x და τ_{xy}-ის ერთდროული მოქმედებით, მაქსიმალურად დაძაბულ ბოჭკოში დაყვანილი ძაბვა ტოლია $\sigma_{\partial\gamma\delta}$-ის. სუფთა ძვრის შემთხვევაში $\sigma_x = 0$ და, შესაბამისად,

$$\sigma_{red} = \sqrt{3}\cdot\tau_{xy} = \sigma_{\partial\gamma\delta}$$

საიდანაც

$$\sigma_{red} = \frac{\sigma_{\partial\gamma\delta}}{\sqrt{3}} \approx 0{,}6\sigma_{\partial\gamma\delta} \quad (2.19)$$

(2.18) პირობის მიხედვით აგებული პლასტიკური მდგომარეობის შესაბამისი ზღვრულ ძაბვათა ეპიურა ნაჩვენებია 2.12 ნახაზზე.

2.5.2. **ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება.** თუ ღეროს ღერძის გასწვრივ მოდებულია გამჭიმავი ძალა, ღერო გაიჭიმება ღერძულად და მას ღერძულად გაჭიმული ელემენტი ეწოდება (ნახ. 2.5). მისი გაანგარიშება ხდება შემდეგი სახით: გაჭიმული ელემენტებისათვის I ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობები მოწმდება სიმტკიცის მიხედვით და ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარობით.



ნახ. 2.5. ღერძულად გაჭიმული ელემენტი.

სიმტკიცე მოწმდება ძაბვების შედარებით (ძაბვები გამოთვლილია საანგარიშო დატვირთვებისაგან), საანგარიშო წინაღობაზე (დადგენილი დროებითი წინაღობის მიხედვით), გამრავლებული მუშაობის პირობების კოეფიციენტზე γ_c და გაყოფილი დროებითი საიმედობის კოეფიციენტზე γ_u.

$$\frac{N}{A_{nt}} \leq \frac{R_u\gamma_c}{\gamma_u} \quad (2.20)$$

N არის გრძივი ძალა განსაზღვრული საანგარიშო დატვირთვებისაგან; A_{nt} – გაჭიმული ელემენტის ნეტო ფართობი; R_u – დროებითი საანგარიშო წინაღობა (იხ. დან. 5); $\gamma_u = 1{,}3$ საიმედობის კოეფიციენტი. γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (იხ. დან. 14).

ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების ექსპლუატაციისათვის გარგისიანობა დგინდება განვითარებული დეფორმაციების მხოლოდ დრეკად არეში განხილვით, ამიტომ გაჭიმული ელემენტის დრეკადი მუშაობა

მოწმდება ძაბვების შედარებით საანგარიშო წინაღობაზე დადგენილი დენადობის ზღვრის მიხედვით.

$$\frac{N}{A_{ni}} \le R_y \gamma_c \qquad (2.21)$$

2.5.3. **ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება.** ღუნვადი ელემენტების მუშაობა მოწმდება შემდეგი ზღვრული მდგომარეობებით: I ჯგუფი–დაღლილობითი რღვევით, მდგრადობის დაკარგვით, მასალის დენადობით. II ჯგუფი–ზღვრული გადაადგილებების მიხედვით.

2.5.3-I. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება მასალის მუშაობის დრეკად სახზღვრებში. ღუნვადი ელემენტის მუშაობის თვალსაჩინოდ წარმოსადგენად, განვიხილოთ ორ საყრდენზე მდებარე მართკუთხა ელემენტი, რომელზეც მოდებულია თანაბრად განაწილებული დატვირთვა (ნახ. 2.6).

მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილია, რომ ღუნვა ხასიათდება:

ა) გეომეტრიული თვალსაზრისით, ღუნვადი ელემენტის დერძის გამრუდებით, გაჭიმული (ქვედა) ბოჭკოების წაგრძელებით, შეკუმშული (ზედა) ბოჭკოების დამოკლებით. ამასთან გამრუდებისას ნეიტრალური დერძი (შრე) თავის სიგრძეს არ იცვლის (ნახ. 2.7).

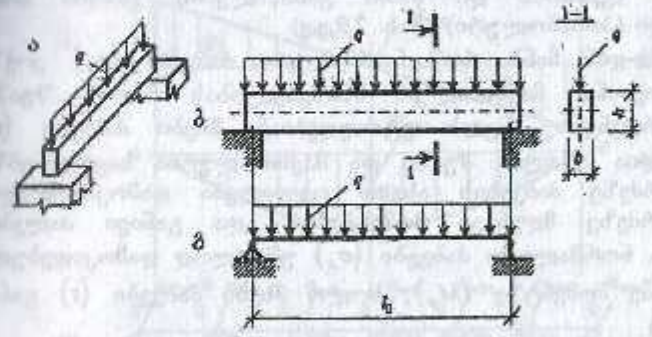
ბ) სტატიკური თვალსაზრისით, კოჭის სიგრძის ნებისმიერ კვეთში წარმოიქმნება მღუნავი მომენტი და განივი ძალა (ნახ. 2.8).

როგორც მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილია, ორ საყრდენზე მდებარე კოჭის შემთხვევაში თუ მასზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა მღუნავი მომენტებისა (M_x) და განივი ძალების (Q_x) ეპიურებს აქვს ნახ. 2.9,ბ და გ–ზე ნაჩვენები ეპიურების სახე. (M_x) და (Q_x) უდიდესი მნიშვნელობები ტოლია

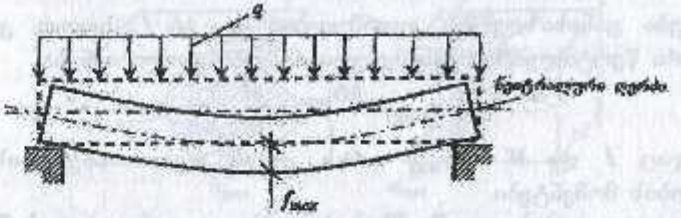
$$M_{max} = \frac{ql^2}{8} \qquad Q_{max} = \frac{ql}{2}$$

გ) დაძაბული მდგომარეობის თვალსაზრისით, განივი ღუნვა ხასიათდება ნორმალური ანუ კვეთის ვერტიკალური სიბრტყის მართობული ძაბვების (σ) და მხები ძაბვების (τ) არსებობით. ნორმალური ძაბვები, კვეთის სიმაღლეში, იცვლება წრფივი კანონით, რადგან ისეთ ღუნვად ელემენტებში (მაგ. კოჭებში), რომლებშიც მალის სიგრძე მნიშვნელოვნად აჭარბებს განივი კვეთის სიმაღლეს (5-ჯერ და უფრო მეტად), ექსპერიმენტულად დასტურდება ბერნულის ბრტყელ კვეთთა ჰიპოთეზა. ამ ჰიპოთეზის

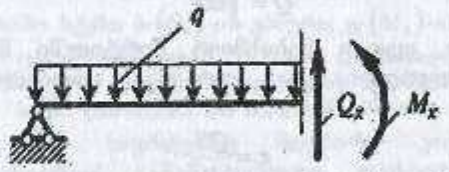
მიხედვით დეფორმაციების ცვლილება კვეთის მთელ სიმაღლეზე ხდება წრფივი კანონით, ძაბვებიც ნაწილდება კვეთში ანალოგიურად დენადობის ზღვრამდე σ_y (ნახ. 2.9,დ,ე,ვ), (ნახ. 2.13,ა).



ნახ. 2.6. თანაბრად განაწილებული დატვირთვიდან გამოწვეული კოჭის განივი ღუნვა.
ა–კოჭის აქსონომეტრიული სქემა; ბ–კოჭის კონსტრუქციული სქემა; გ–კოჭის საანგარიშო სქემა;



ნახ. 2.7. კოჭის დეფორმაციის სქემა



ნახ. 2.8. კოჭში აღძრული შიგა ძალები: მღუნავი მომენტი და განივი ძალა

ნორმალური ძაბვები აღწევენ მკუმშავ მაქსიმალურ მნიშვნელობას განაპირა ზედა ბოჭკოებში, ხოლო გამჭიმავ მაქსიმალურ მნიშვნელობას განაპირა ქვედა ბოჭკოებში.

მხები ძაბვები აღწევენ თავიანთ მაქსიმალურ მნიშვნელობას ნეიტრალურ ღერძთან და მათი განაწილების კანონი არის მრუდწირული (პარაბოლური) (ნახ. 2.9,ე,ვ).

ნახ. 2.9,დ-დან ჩანს, რომ ნორმალური ძაბვები (σ_x) კოჭში აღწევენ თავიანთ მაქსიმალურ მნიშვნელობას მალის შუაში, ხოლო საყრდენებზე ნულს უტოლდებიან. მხები ძაბვები (τ), ნულის ტოლია მალის შუაში და მაქსიმალურია საყრდენებზე. კოჭის სიგრძეზე ძაბვების ასეთი ცვლილება დამოკიდებულია კოჭის სიგრძეზე მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ცვლილებით. ნორმალური ძაბვები (σ_x) უშუალოდ დამოკიდებული არიან მღუნავ მომენტზე (M_x), ხოლო მხები ძაბვები (τ) განივ ძალაზე (Q_x).

ზოგადად კოჭის კვეთში ნორმალურ ძაბვებსა და მღუნავ მომენტს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება პირობით:

$$M = \int \sigma y dA \qquad (2.22)$$

კვეთის ნებისმიერ წერტილში ნორმალური ძაბვები, რომლებიც განლაგებული არიან ნეიტრალური ღერძიდან y მანძილზე შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით: $\sigma = My/I$ ხოლო კვეთის განაპირა წერტილებში მაქსიმალური ძაბვები ტოლი იქნება:

$$\sigma_{max} = \frac{My_{max}}{I} = \frac{M}{W} \qquad (2.23)$$

სადაც I და $W = I/y_{max}$ არის კოჭის კვეთის ინერციისა და წინაღობის მომენტები.

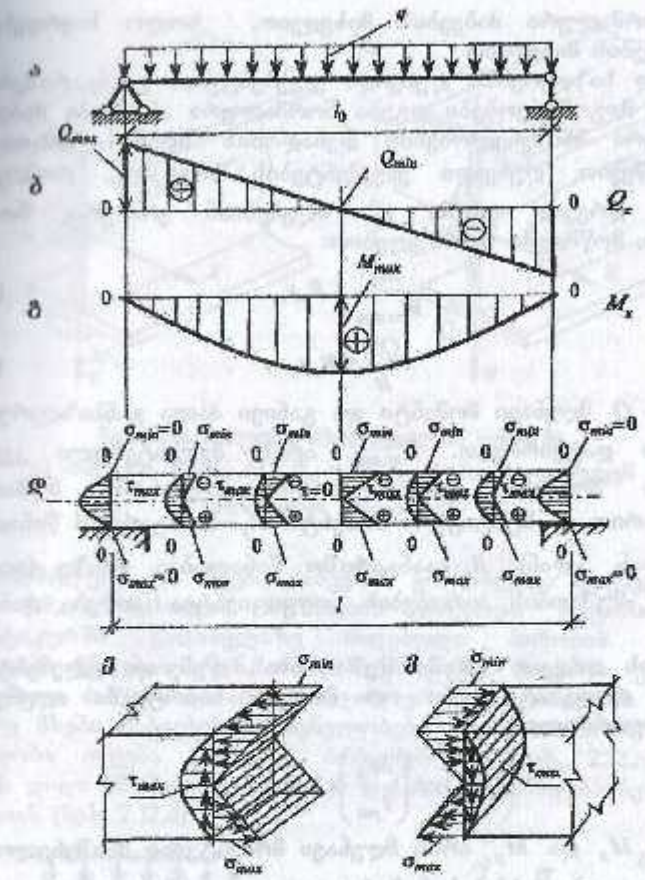
ზოგადად კოჭის კვეთში მხებ ძაბვებსა და განივ ძალას შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება პირობით:

$$Q = \int \tau dA \qquad (2.24)$$

ხოლო კოჭის კვეთის ნებისმიერ წერტილში მხები ძაბვები შეიძლება განსაზღვრული იქნას ჟურავსკის ცნობილი ფორმულის მიხედვით.

$$\tau = \frac{QS}{It} \qquad (2.25)$$

სადაც S არის კვეთის სტატიკური მომენტი. I –კვეთის ინერციის მომენტი. t - ელემენტის სისქე (სიგანე).



ნახ. 2.9. კოჭში თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ძაბვების (σ,τ) კავშირი შიგა ძალვებთან (M_x, Q_x)

ა-საანგარიშო სქემა; ბ-(Q_x)-ის ეპიურა; გ-(M_x)-ის ეპიურა; დ-ძაბვების ცვლილება კოჭის სიგრძესა და სიმაღლეზე; ე, ვ კოჭის სიმაღლეზე ძაბვების ცვლილების აქსონომეტრიული სქემა (მარჯვენა და მარცხენა მხარე).

დაეუბრუნდეთ ორ საყრდენზე მდებარე კოჭს, რომელზეც მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა, რადგანაც მაქსიმალური ძალვები მოქმედებენ მალის სხვადასხვა კვეთში: M_{max}–მალის შუაში, ხოლო Q_{max}–კოჭის საყრდენებზე (ნახ. 2.9 ა,ბ). აქ აუცილებელია სიმტკიცის პირობის შემოწმება მალის

შუაში ნორმალური ძაბვების მიხედვით, ხოლო საყრდენებზე მხები ძაბვების მიხედვით.

დრეკად სახლვრებში ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშებისას ზღვრული მდგომარეობები დგება ნორმალური ან მხები ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობების დენადობის ზღვრის სიდიდემდე (R_y) მიღწევით. ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცე, რომლებიც მუშაობენ დრეკად არეში და იღუნებიან ერთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში, მოწმდება ფორმულებით:

$$\frac{M}{W_{nt\,min}} \le R_y\gamma_c \qquad (2.26)$$

$$\frac{QS}{It} \le R_s\gamma_c \qquad (2.27)$$

აქ M და Q მღუნავი მომენტი და განივი ძალა განსაზღვრულია სანგარიშო დატვირთვით. $W_{nt,min}$ არის შესუსტებული კვეთის წინაღობის მომენტი განსაზღვრული ელემენტის მუშაობის დრეკადი არით. S სტატიკური მომენტი. R_y–საანგარიშო წინაღობა (აიღება დან. 5-დან). R_s-საანგარიშო წინაღობაა ჭრაზე (აიღება დან. 5). γ_c-მუშაობის პირობების კოეფიციენტია (აიღება დან. 14-დან).

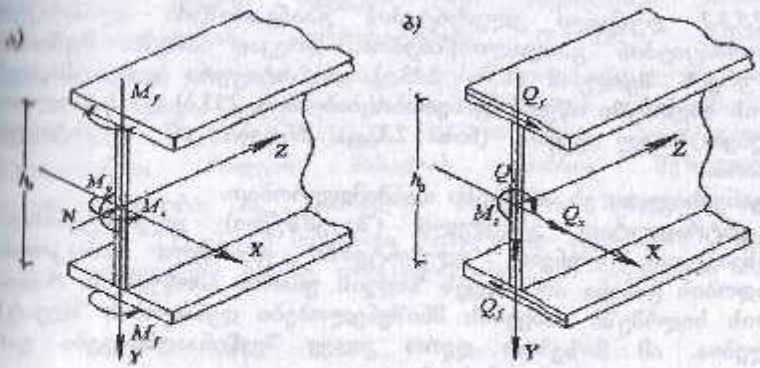
მასალის დრეკად არეში მუშაობისას ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცე, როდესაც ისინი ორ მთავარ სიბრტყეში იღუნებიან მოწმდება ფორმულით

$$\left(\frac{M_x}{I_{xn}}\right)y \pm \left(\frac{M_y}{I_{yn}}\right)x \le R_y\gamma_c \qquad (2.28)$$

სადაც M_x და M_y არის მღუნავი მომენტების მნიშვნელობები მთავარი (x, y) ღერძების მიმართ; x და y არის განივი კვეთის განსახილველი წერტილის კოორდინატები მთავარი ღერძების მიმართ (ნახ. 2.10); I_{xn} და I_{yn} ინერციის მომენტებია შესაბამისად x და y ღერძების მიმართ.

კონსოლებისათვის M_{max} და Q_{max} მოქმედებენ ერთსა და იმავე კვეთში–ჩამაგრებაში (ნახ. 2.11), ამიტომ ამ კვეთში, გარდა ზემოთ აღნიშნული შემოწმებებისა, აუცილებელია სიმტკიცე შემოწმდეს ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას დაყვანილ ძაბვებზე:

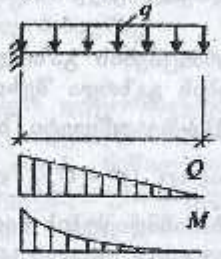
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \qquad (2.29)$$



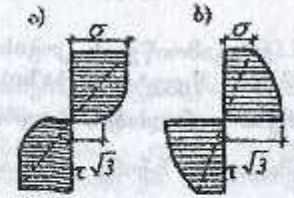
ნახ. 2.10. ძალები თხელკედლიან ღეროში.
ა) ძალები $N, M_x, M_y, B_\omega = M_f h_0$ რომლებიც იწვევენ ნორმალურ ძაბვებს–σ

ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებებისას (ნახ. 2.9,დ), მასალის მუშაობის დრეკადი მდგომარეობიდან პლასტიკურში გადახვლაზე მიღებული პირობის თანახმად დენადობა ხდება მაშინ, როცა დენადობის ზღვარს უტოლდება დაყვანილი ძაბვები და არა მხოლოდ ერთი (ნორმალური ან მხები).

თუ მხები ძაბვების მნიშვნელობები დიდი არ არის, მასალის დენადობა იწყება განაპირა ბოჭკოებიდან (ნახ. 2.12,ა). განივი ძალის დიდი მნიშვნელობისას კი დენადობა ჩნდება ნეიტრალურ ღერძთან (ნახ. 2.12,ბ).



ნახ. 2.11. თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას კონსოლური კოჭის საანგარიშო სქემა და ძალვების ეპიურები

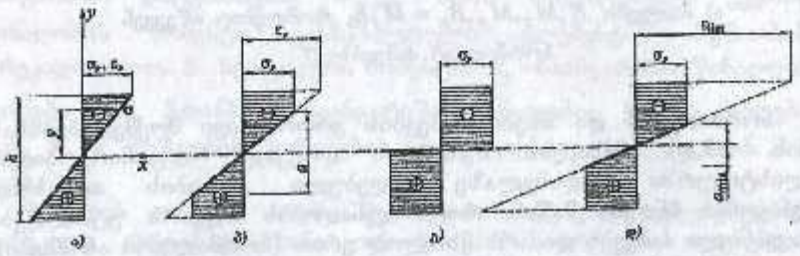


ნახ. 2.12. კოჭის კვეთში დაყვანილი ძაბვების ეპიურები

2.5.3-2. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით. დრეკად არეში მუშაობის ამოწურვის შემდგომ (ნახ. 2.13,ა), პლასტიკური დეფორმაციები კვეთის სიღრმეში იწყებს განვითარებას (ნახ. 2.13,ბ) და საბოლოოდ იკავებენ მთელ კვეთს (ნახ. 2.13,გ). ჩნდება ე.წ. პლასტიკური სახსარი.

განვიხილოთ ეს პროცესი თანმიმდევრობით.

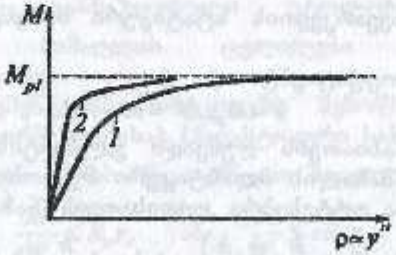
ცენტრალურად გაჭიმული (შეკუმშული) ელემენტებისაგან განსხვავებით, ღუნვად ელემენტებში ფიბრული (ბოჭკოვანი) დენადობის გაჩენა არ იწვევს ზიდვის უნარის ამოწურვას, რადგან კვეთის სიღრმეში ძაბვების მნიშვნელობები დენადობის ზღვარზე ნაკლებია. ამ მიზეზით ღერო კიდევ შეეწინააღმდეგება გარე დატვირთვის შემდგომ გაზრდას.



ნახ. 2.13. ღუნვად ელემენტში ძაბვების ეპიურის ცვლილება მასალაში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისას: ა)-დრეკად სტადიაში; ბ)-დრეკად-პლასტიკურში; გ)-პლასტიკური სახსარი; დ)-შეზღუდული პლასტიკურობისას.

ეს გამოიწვევს კოჭის კვეთში დეფორმაციების გაზრდას (ნახ. 2.13,ბ-ზე წყვეტილი ხაზი). ამასთან ძაბვების გაზრდა შეზღუდული იქნება დენადობის ზღვრით-σ_y (ნახ. 2.13,ბ-ზე შწყვეტი ხაზი). a სიმაღლის მქონე დრეკადი ბირთვი, სადაც $\sigma < \sigma_y$, დაიწყებს შემცირებას. სიმრუდე- $\chi = 1/\rho \approx y''$, შესაბამისად კოჭის ჩაღუნვა- y დაიწყებს მკვეთრად და არაწრფივად გაზრდას (ნახ. 2.14). კოჭის ზიდვის უნარი ასიმპტოტურად დაუახლოვდება ზღვრულს M_{pl}. ღუნვადი ელემენტის ამ სტადიას დრეკად-პლასტიკური ეწოდება. კოჭის ზიდვის უნარის სრული ამოწურვა მოხდება როცა a მიუახლოვდება ნულს $a \to 0$, ე. ი. როცა მთელი კვეთი მოცული იქნება პლასტიკურობით (ნახ. 2.13,გ).

ძაბვების ეპიურა შედგება ორი სხვადასხვა ნიშნიანი მართკუთხედებისაგან ორდინატებით $\sigma = \pm\sigma_y$. ამასთან დეფორმაციების გრაფიკი "გადაგვარდება" ჰორიზონტალურ წრფედ (ნახ. 2.13. გ-ზე წყვეტილი ხაზი). ამ დროს დეფორმაციები მიისწრაფიან უსასრულობისაკენ $\varepsilon \to \infty$, რაც პრაქტიკულად შეუძლებელია, რადგან მასალას გააჩნია შეზღუდული დეფორმაციულობა ε_{lim}, რომლის მიღწევის შემდგომ ხდება რღვევა (ნახ. 2.13,დ). ამ მიზეზით რეალურად ფოლადის კოჭების რღვევა ყოველთვის ხდება დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში როცა $a_{min} > 0$.



ნახ. 2.14. მართკუთხა-1 და ორტესებრი-2 კოჭის სიმრუდის ზრდა მასალის პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისას.

კონსოლებისათვის M_{max} და Q_{max} მოქმედებენ ერთსა და იმავე კვეთში–ჩამაგრებაში (ნახ. 2.11), ამიტომ ამ კვეთში, გარდა ზემოთ აღნიშნული შემოწმებებისა, აუცილებელია სიმტკიცე შემოწმდეს ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას დაყვანილ ძაბვებზე:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \qquad (2.29)$$

უსასრულო დეფორმაციებს უნდა შეესაბამებოდეს უსასრულო სიმრუდე. იდეალურ პლასტიკურ მასალებში ეს შეიძლება მოხდეს, როცა კოჭის ნაწილების ურთიერთმობრუნების კუთხე იქნება მისწრაფებული უსასრულობისაკენ. კინემატიკურად ეს შეესაბამება სახსროვან მექანიზმს, რომლის მოძრაობა უზრუნველყოფილია მასალის პლასტიკური თვისებებით. აქედან გაჩნდა დასახელება *პლასტიკური სახსარი*, რომელიც განსაზღვრავს ღუნვადი ელემენტის ზღვრულ ზიდვის უნარს.

პლასტიკურ სახსარს ჩვეულებრივი სახსრისაგან განასხვავებენ შემდეგი თვისებებით:

1. ის მოქმედებს ცალმხრივად, მღუნავი მომენტის მუშაობის მიმართულებით და მღუნავი მომენტის მოხსნის შემდგომ იხურება.

2. პლასტიკურ სახსარში მღუნავი მომენტი მაქსიმალურია, მაშინ როცა ჭეშულებრიეში ნულის ტოლია.

პლასტიკურ სახსარში ზღვრული მომენტი ტოლია:

$$M = \sigma_y \int_A y dA = \sigma_y 2S \qquad (2.30)$$

თავის მხრივ $M = \sigma_y W$

$$W^{pl} = 2S$$

სადაც S-ნახევარკვეთის სტატიკური მომენტია ნეიტრალური ღერძის მიმართ.

შემოვიღოთ კოეფიციენტი

$$c = W_{pl}/W = M_{pl}/M, \qquad (2.31)$$

რომელიც ახასიათებს ღუნვადი ელემენტის ზიდვის უნარს, განპირობებულს მასალის პლასტიკური მუშაობით. გამოვთვალოთ მისი მნიშვნელობა ორტესებრი კვეთისათვის (ნახ. 2.16,გ),

$$W_{pl} = 2S = 2\left(A_f \frac{h}{2} + \frac{h}{2} t \frac{h}{4}\right) = A_f h + A_w \frac{h}{4} = A_w h\left(\frac{A_f}{A_w} + \frac{1}{4}\right);$$

$$W = \frac{2I}{h} = \frac{2}{h}\left(2A_f\left(\frac{h}{2}\right)^2 + \frac{th^3}{12}\right) = A_f h + A_w \frac{h}{6} = A_w h\left(\frac{A_f}{A_w} + \frac{1}{6}\right).$$

ჩავსვათ ეს მონაცემები (2.31)-ში, მივიღებთ

$$c = \frac{A_f/A_w + 1/4}{A_f/A_w + 1/6}, \qquad (2.32)$$

სადაც A_f/A_w არის განიერი კვეთის სარტყლისა და კედლის ფართობა.

სხვადასხვა ტიპის გაგლინული კოჭებისათვის $A_f/A_w \approx 0{,}67$. (2.32)-ის მიხედვით მას შეესაბამება $c = 1{,}1$. შედგენილი ორტესებისათვის c-ს მნიშვნელობა იანგარიშება (2.32) ფორმულით, რომელშიც A_f/A_w აიღება ნახ. 2.15-ზე მოცემული გრაფიკის მიხედვით.

თუ სარტყლების ფართობები მიისწრაფიან ნულისაკენ, ორტესებრი პროფილისაგან მიიღება მართკუთხა პროფილი (ნახ. 2.16,ბ), ხოლო (2.32) ფორმულიდან, როცა $A_f \to 0$ $c = 1{,}5$. ეს იმას

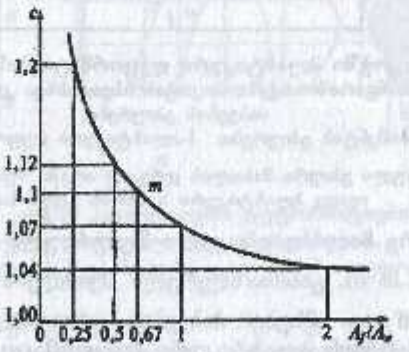
ნიშნავს, რომ პლასტიკური დეფორმაციების გამოყენებისას მართკუთხა კვეთის მქონე კოჭის ზიდვის უნარი იზრდება 1,5 ჯერ.

კოჭში სიგრძეზე პლასტიკური დეფორმაციების გავრცელება დამოკიდებულია საყრდენების ტიპზე და სიგრძეზე დატვირთვის განაწილების ხასიათზე. ნახ. 2.17-ზე ნაჩვენებია სახსრულად დაყრდნობილი კოჭი, რომელზეც მოდებულია თანაბრად განაწილებული დატვირთვა. აქ M^I და M^{II} პარაბოლური ეპიურები შეესაბამებიან კოჭის დრეკად და დრეკად-პლასტიკურ ზღვრულ მდგომარეობებს. ძაბვები 1,2,3 კვეთში შეესაბამებიან ნახ. 2.13-ზე გამოსახულ ეპიურებს. პლასტიკური უბნის სიგრძე l_{pl} შეიძლება იქნას განსაზღვრული უტოლობით $M^{II} \geq \sigma_y W$. პლასტიკურობის სიმაღლის ცვლილება დამოკიდებულია მომენტების ეპიურაზე.

ღუნვადი ელემენტების სიმტკიცეზე შემოწმების ფორმულა, პლასტიკური დეფორმაციებისას (პლასტიკური სახსრისას), მიიღება მე 5-ე ფორმულიდან W_n-ის $W_{npl} = cW_n$-ით შეცვლით.

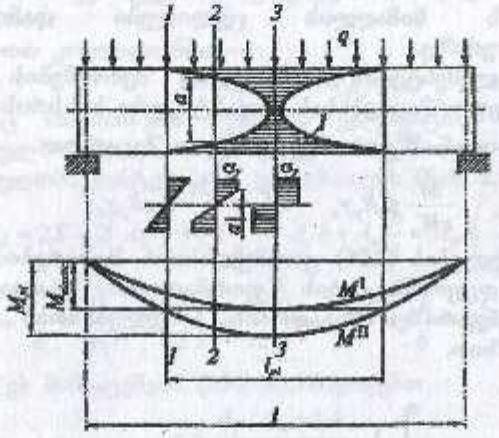
$$\frac{M}{cW_n} \leq R_y \gamma_c \quad \text{ან} \quad \frac{M}{W_n} \leq cR_y\gamma_c \qquad (2.33)$$

ამ გამოსახულების (2.26) ფორმულასთან შედარებით ჩანს, რომ პლასტიკური დეფორმაციების ფორმალური გათვალისწინებას მივყავართ საანგარიშო წინაღობის ამაღლებასთან მისი c-ზე გამრავლების გზით.



ნახ. 2.15. c კოეფიციენტის დამოკიდებულება კოჭის სარტყლისა და კედლის ფართობების ფარდობაზე

კოჭებში ნორმალური ძაბვების გარდა σ_x ალიძვრება ასევე მხები ძაბვები τ_{xy}. მხები ძაბვები თავის მხრივ დამოკიდებული არიან განივ ძალასა და ლოკალურ (ადგილობრივ) ძაბვებზე σ_y. ლოკალური (ადგილობრივი) ძაბვები კოჭში ალიძვრებიან იქ სადაც ხდება შეკუმშული ძალების გადაცემა. ამ შემთხვევაში კოჭში პლასტიკური უბნის საზღვრები განისაზღვრება პლასტიკურობის პირობიდან $\sigma_{red} = \sigma_y$. დაყვანილი ძაბვები დამოკიდებული არის $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$, რომლებიც შეიძლება იყოს სხვადასხვა. მაგ. ნახ. 2.18 ა)-ს შემთხვევაში კოჭის მალში შეკუმშული ძალების ხშირი განაწილებისას, განმსაზღვრელი იქნება σ_x.

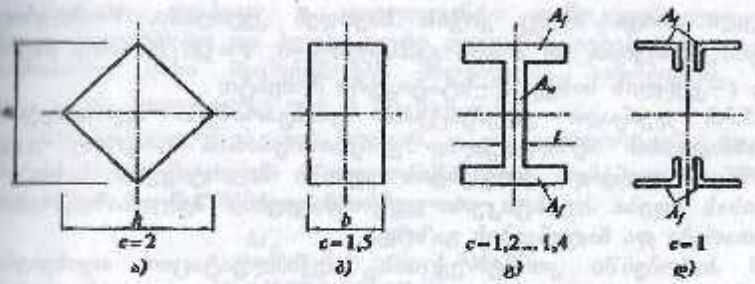


ნახ. 2.17. კოჭში პლასტიკური დეფორმაციების განაწილება.
ა)-კოჭის საანგარიშო სქემა; ბ)-კოჭის სხვადასხვა კვეთში აღძრული ძაბვების ეპიურები;
გ)-მღუნავი მომენტის ეპიურები; M^I-ზღვრული ეპიურა მასალის დრეკად არეში მუშაობისას; M^{II}-იგივე პლასტიკური სახსრის გაჩენისას

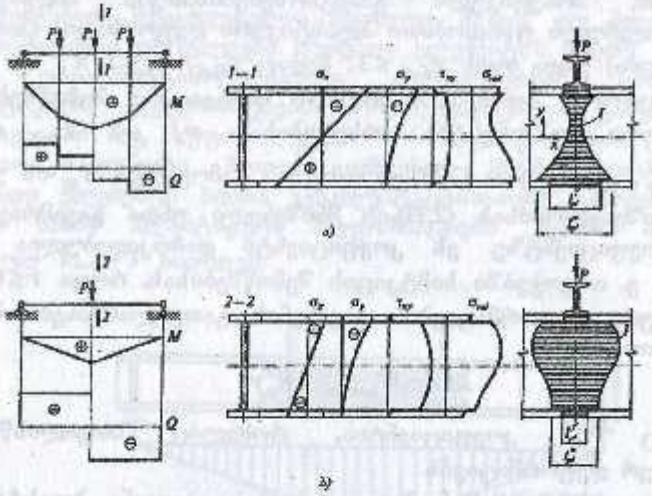
კოჭის მცირე მალისა და დიდი შეკუმშული დატვირთვის შემთხვევაში (ნახ. 2.18 ბ), განმსაზღვრელი შეიძლება იქნეს τ_{xy} ძაბვა.

ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას, რომლებიც ახდარებენ პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას, კოჭის სიმტკიცის შემოწმება მოხდება დაყვანილი ძაბვის მიხედვით:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \le 1{,}15R_y\gamma_c \qquad (2.34)$$



ნახ. 2.16. დუნაღი ელემენტის განივ კვეთზე c კოეფიციენტის დამოკიდებულება.
ა) რომბისებური კვეთისათვის; ბ) მართკუთხასათვის;
გ) ორტესებრისათვის; დ) ფერმისათვის.



ნახ. 2.18. ორტესებრ კოჭში პლასტიკური დეფორმაციების განაწილება რთული დაძაბული მდგომარეობისას.
ა) დიდი ნორმალური ძაბვებისას; ბ) დიდი მხები დეფორმაციებისას

აქ 1,15 არის კოეფიციენტი, რომელიც კოჭში პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას ითვალისწინებს. ამასთან $\sigma_x < R_y, \sigma_y < R_y, \tau_{xy} < R_s$.

სადაც $\sigma_x = M_x y / I_x$ არის ნორმალური ძაბვა; σ_y არის ზედა სარტყელზე მოდებული შეკუმშული დატვირთვის ადგილებში

ალრული ძაბვა, ასევე კოჭის საყრდენ კვეთებში, რომლებიც ხიხატის წიბოებით არ არიან გამაგრებული. $\tau = QS/It$ არის მხები ძაბვა; t – კედლის სისქე; S – სტატიკური მომენტი;

2.5.3. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების შეზღუდულად განვითარებისას. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ღუნვადი ელემენტის კვეთში პლასტიკური სახსრის გაჩენისას ხდება პლასტიკური დეფორმაციების შემოუსაზღვრელი განვითარება და ჩადუნვების გაზრდა.

ამ პირობებში კონსტრუქციის საექსპლუატაციო თვისებები იწურება უფრო ადრე, ვიდრე მოხდება დეფორმაციების შეუზღუდავი განვითარება და ზიდვის უნარის ამოწურვა, რადგან ნარჩენი დეფორმაციები მიიღება (დატვირთვის მოხსნის შემდგომ) იმდენად დიდი, რომ კონსტრუქცია ხდება ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარი.

ამიტომ, პრაქტიკული გაანგარიშებებისათვის მიღებულია, კვეთში ზღერული ფარდობითი პლასტიკური დეფორმაცია (ნარჩენი დეფორმაცია) უნდა იყოს $\varepsilon_{f,ult} \le 3$, სადაც $\varepsilon_{f,ult} = \varepsilon_{f,ult} E/R$.

თანამედროვე ნორმებით, კოჭების სიმტკიცეზე შემოწმებისას, ძაბვის ორი კომპონენტის არსებობისას σ_x და τ_{xy}, როცა $\tau_{xy} \le 0{,}9R_s$, დასაშვებია (2.33) ფორმულის გამოყენება. τ_{xy}-ის უფრო დიდი მნიშვნელობისას (2.33)-ის მნიშვნელი უნდა გავამრავლოთ $\beta < 1$ კოეფიციენტზე. ეს კოეფიციენტი დამოკიდებულია მხებ ძაბვებზე, ე. ი. კოჭებში სიმტკიცის შემოწმებისას, როცა $\tau \le 0{,}9R_s$, პლასტიკური დეფორმაციების გაჩენის გათვალისწინება ხდება ფორმულით,

$$M / c_1 W_{n\min} \le R_y \gamma_c \qquad (2.35)$$

სადაც c_1 კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს პლასტიკურ დეფორმაციებს.

როცა $\tau \le 0{,}5R_s$ მაშინ მხები ძაბვების გაჩენა პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებაზე არ არის არსებითი და კოეფიციენტი $c_1 = c$. ხოლო როცა $0{,}5R_s < \tau < 0{,}9R_s$, მაშინ c_1 კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება ფორმულით:

$$c_1 = 1{,}05\beta c = 1{,}05c\sqrt{\frac{1-(\tau / R_s)^2}{1-\alpha(\tau / R_s)^2}}$$

სადაც α არის კოეფიციენტი და ორტესებრი კოჭებისათვის, რომლებიც კედლის სიბრტყეში იღუნებიან, ტოლია 0,7. (სხვა ტიპის კვეთებისათვის $\alpha = 0$). $\tau = Q/th$ საშუალო მხები ძაბვაა.

როგორც ვთქვით c კოეფიციენტი დამოკიდებულია განიკვეთის ფორმაზე და პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების ხარისხზე. მისი მნიშვნელობა მიღებულია პირობიდან, როცა $\varepsilon_{f,ult} = 3$ და მოყვანილია დან. 6 და ნახ. 2.15.

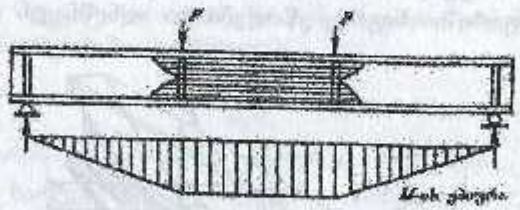
თუ კოჭი იღუნება ორ მთავარ x და y სიბრტყეში პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით სიმტკიცის პირობის შემოწმება ხდება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{M_x}{c_x W_{x,n,\min}} + \frac{M_y}{c_y W_{y,n,\min}} \le R_y \gamma_c \qquad (2.36)$$

ამასთან მხები ძაბვები $\tau \le 0{,}9R_s$.

$W_{x,n}$ და $W_{y,n}$ კვეთის ნეტო წინაღობის მომენტებია შესაბამისად x და y ღერძების მიმართ.

ზღერული მდგომარეობების შემოწმება (2.35) და (2.36) ფორმულებით შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, თუ პლასტიკური დეფორმაციები ვრცელდება ღუნვადი ელემენტის მცირე სიგრძეზე (მაგ. თანაბრადგანაწილებული დატვირთვისას ნახ. 2.17). პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელოვნად განვითარების შემთხვევაში მაგ. სუფთა ღუნვის ზონის არსებობისას (ნახ. 2.19) საერთო ჩაღუნვები მიიღება იმდენად მნიშვნელოვანი, რომ ღუნვადი ელემენტი ხდება ექსპლუატაციისათვის გამოუსადეგარი მანამ, სანამ პლასტიკური დეფორმაციები კვეთში მიაღწევენ ზღერულ $\bar{\varepsilon}_{f,ult} = 3$ სიდიდეს.



ნახ. 2.19. პლასტიკური დეფორმაციების განვითარება სუფთა ღუნვის ზონაში

ამიტომ სუფთა ღუნვის ზონის არსებობისას (2.35) და (2.36) ფორმულებში c_1, c_x და c_y კოეფიციენტების ნაცვლად შესაბამისად ვღებულობთ: $c_{1m} = 0{,}5(1+c)$; $c_{xm} = 0{,}5(1+c_x)$; $c_{ym} = 0{,}5(1+c_y)$.

2.5.3-4. ღუნვადი ელემენტების საერთო მდგრადობის შემოწმება დატვირთვის რაღაც კრიტიკული მნიშვნელობისას განიე ღუნვაზე მომუშავე კოჭებმა შეიძლება დაკარგოს საწყისი მდებარეობა და დაიგრიხოს (ნახ. 2.20, 2.21). დეფორმაციის ამ სახეს კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა ეწოდება. ძაბვის იმ მნიშვნელობას, რომლის დროს ხდება კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა, კრიტიკული ძაბვა (σ_{cr}) ეწოდება, რაც მაღალია კრიტიკული ძაბვის მნიშვნელობა, მით უფრო მდგრადია კოჭი. კრიტიკული ძაბვის სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია კოჭის ხისტებზე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში (I_y/I_x) და კოჭის საანგარიშო სიგრძისა და თაროს სიგანის ფარდობაზე (l_{ef}/b_f). კრიტიკული ძაბვის გაზრდა შეიძლება კოჭის ზედა სარტყლის სათანადო დამაგრებით.

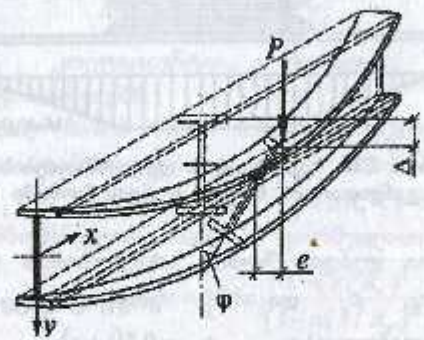
გამოსახულებიდან, რომელიც გამოითვლება გარე ძალების ღუნვის შემთხვევით გადახრებზე შესრულებული მუშაობის ნაზრდის გატოლებით შიგა ძაბვების მუშაობის ნაზრდზე და,

$$\sigma_{cr} = A\frac{I_y}{I_x}(h/l_0)^2 \qquad (2.37)$$

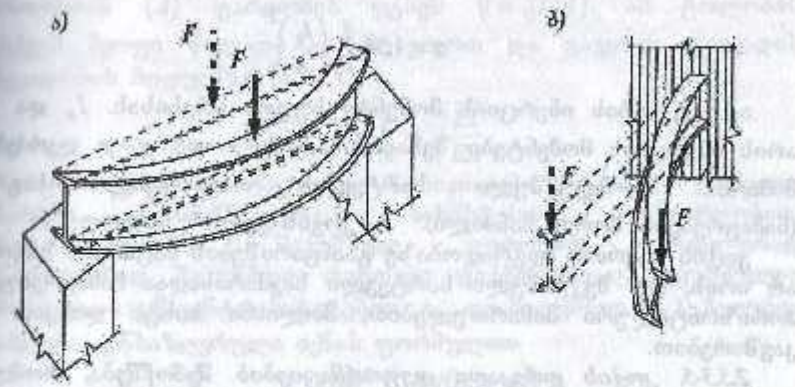
სადაც

$$A = \frac{kc}{2}\sqrt{\frac{I_t}{I_y}}\sqrt{EG}\,\frac{l_0}{h}\sqrt{1+\frac{\pi^2}{\alpha}}$$

ზედა სარტყლის დამაგრების წერტილებს შორის მანძილს კოჭის საანგარიშო სიგრძე ეწოდება და აღნიშნავენ l_{ef}-ით.



ნახ. 2.20. ორტესბრი კოჭის მგრადობის დაკარგვა ღუნვისას



ნახ. 2.21. კოჭის საერთო მდგრადობის დაკარგვა.
ა)-ორ საყრდენზე მდებარე კოჭი ბ)-კონსოლური კოჭი

კრიტიკული ძაბვის სიდიდე იანგარიშება კრიტიკული ძალის კოჭის საერთო მდგრადობა უზრუნველყოფილია თუ

$$\sigma = \frac{M}{W_c} \le \sigma_{cr}$$

ალვნიშნოთ

$$\frac{\sigma_{cr}}{R_y\gamma_c} = \varphi_b \qquad (2.38)$$

თუ (2.38) შევიტანთ (2.39)-ში, მივიღებთ კოჭის საერთო მდგრადობის საანგარიშო ფორმულას

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W_c} \le R_y\gamma_c \qquad (2.39)$$

აქ M არის საანგარიშო მდუნავი მომენტი; W_c კოჭის შეკუმშული სარტყლის წინაღობის მომენტი; γ_c-მუშაობის პირობების კოეფიციენტია $\varphi_b = \sigma_{cr}/\sigma_y$ -ღუნვადი ელემენტების საერთო მდგრადობის დაკარგვის კოეფიციენტი.

$$\varphi_b = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_1} = \psi\frac{I_y}{I_x}\left(\frac{h}{l_0}\right)^2\frac{E}{R} \qquad (2.40)$$

სადაც $\psi = A/\sigma_y$

ψ კოეფიციენტის მნიშვნელობები გამოანგარიშებულია α-ს ფუნქციაში, რომელსაც დატვირთვა მოდებულია ზედა ან ქვედა სარტყელზე და ასევე სუფთა ღუნვის შემთხვევაში (იხ. დან. 7),

$$\alpha = 1{,}54\frac{I_t}{I_y}\left(\frac{l_0}{h}\right)^2$$

აქ I_t არის ინერციის მომენტი სუფთა გრეხისას. I_x და I_y არის ინერციის მომენტები შესაბამისად $x-x$ და $y-y$ ღერძების მიმართ. l_0 – შეკუმშული სარტყლის თავისუფალი სიგრძე (ჩამაგრებებს შორის მანძილი). h – კოჭის კვეთის სიმაღლე.

კოჭის საერთო მდგრადობაზე გაანგარიშების ჩატარება საჭირო არ არის, თუ შეკუმშული სარტყელი საკმარისადაა ჩამაგრებული ჰორიზონტალური მიმართულებით, მთლიანი ხისტი დისკით ან კავშირებით.

2.5.3-5. კოჭის დრეკადი დეფორმაციების შემოწმება, რომლის დროსაც დარღვეულია ნორმალური საექსპლუატაციო პირობები (II ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობა). ნაგებობის ნორმალური მუშაობის რეჟიმისას კოჭებში შეიძლება წარმოიქმნას დეფორმაციები, რომლებიც გააძნელებენ კონსტრუქციის ექსპლუატაციას. ეს დეფორმაციები (ჩაღუნვები) მოწმდება კონსტრუქციის მუშაობის დრეკად სტადიაში ნორმატიული დატვირთვების ზემოქმედებაზე, ამასთან წარმოქმნილი ჩაღუნვები f არ უნდა აღემატებოდეს ზღვრულ მნიშვნელობებს $[f]$.

$$f_{max} \le [f]$$

ზღვრული ჩაღუნვების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრ. 6.2.

2.6. ზღვრული მდგომარეობები და ღერძული ძალით შეკუმშული ღეროების გაანგარიშება

ღერძული (ცენტრალური) კუმშვა ხდება იმ შემთხვევაში, თუ მკუმშავი ძალა მოქმედებს ელემენტის ღერძის გასწვრივ.

შეკუმშული ხისტი ღეროების ზღვრული მდგომარეობები განისაზღვრება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებით, ძაბვების დენადობის ზღვარზე მიღწევისას, ხოლო მოქნილი ღეროების ზღვრული მდგომარეობები განისაზღვრება მდგრადობის დაკარგვით.

2.6.1. ღეროს მოქნილობა და მისი ფიზიკური არსი. ჯერ შემოვიტანოთ ღეროს მოქნილობის ცნება: ღეროს მოქნილობა არის ღეროს სიგრძის შეფარდება ინერციის რადიუსთან,

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

აქ l არის ღეროს სიგრძე, ხოლო i ინერციის რადიუსი, რომელიც თავის მხრივ უდრის ინერციის მომენტის (I) განივკვეთის ფართობთან (A) ფარდობის ფესვს $\left(i = \sqrt{I/A}\right)$. ამ ტოლობის უკანასკნელ მეოთხე წილადი გავამრავლოთ და გავყოთ ფოლადის დრეკადობის მოდულზე (E).

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{EI}{EA}}$$

ანუ ინერციის რადიუსი ხასიათდება ღეროს ლუნვითი სიხისტის ნორმალურ სიხისტესთან ფარდობით. გარეცენტრალურად შეკუმშულ ღეროებში (რეალურად ცენტრალურად შეკუმშულ ღეროები ფაქტობრივად შეკუმშულია შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტებით e_0 და ჩაღუნვით f_0), ჩაღუნვა შეიძლება განსაზღვრული იქნას ფორმულით

$$f = \frac{\beta M l^2}{EI} = \frac{\beta N(e_0 + f_0)}{EI}$$

მეორე მხრივ, ჰუკის კანონის თანახმად $\Delta = Nl_0/EA$. თუ განვსაზღვრავთ სიხისტეებს ამ ფორმულებიდან და ჩავსვამთ მოქნილობის ფორმულაში მივიღებთ

$$\lambda = \frac{\mu}{\beta^{0,5}}\left[\frac{l_0}{e_0 + f_0}\right]^{0,5}\left[\frac{f/l}{\Delta/l_0}\right]^{0,5}$$

μ და β კოეფიციენტები მუდმივი სიდიდეებია ღეროს საყრდენებში ჩამაგრების პირობების მიხედვით. $(e_0 + f_0)$ სიდიდე ასევე ინიშნება, მაშინ

$$\lambda = \alpha_0\left[\frac{f/l}{\Delta/l_0}\right]^{0,5}$$

ღეროს მოქნილობის ფიზიკური არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ის წარმოადგენს ფარდობითი ლუნვითი დეფორმაციების და ფარდობითი ნორმალური დეფორმაციების ფარდობის ფუნქციას ღეროს მდგრადობის დაკარგვის მომენტში (ღეროების მდგრადობაზე საკითხის განხილვა იხილეთ ქვემოთ).

ზოგადად მცირენახშირბადიანი ფოლადებისაგან დამზადებული ღეროები იყოფა მცირე $(0 < \lambda < 40)$, საშუალო $(40 < \lambda < 102)$ და დიდი მოქნილობის $(\lambda \ge 102)$ ღეროებად.

თუ ღეროს მოქნილობა მოთავსებულია $0 < \lambda < 40$ ფარგლებში, მაშინ საჭიროა ის გაანგარიშებული იქნას სიმტკიცეზე. თუ ღეროს მოქნილობა მოთავსებულია $40 < \lambda < 102$ ფარგლებში, მაშინ საჭიროა შემოწმებული იქნას მისი მდგრადობა მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში. თუ ღეროს მოქნილობა მეტია

$\lambda \geq 102$-ზე, მაშინ საჭიროა ის შემოწმებული იქნას მდგრადობაზე მასალის მუშაობის მხოლოდ დრეკად არეში.

2.6.2. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება. განვიხილოთ ღერო, რომელზეც მოქმედებს ღერძული მკუმშავი ძალა. ღერძული ეწოდება იმიტომ, რომ ძალა მოდებულია და მოქმედებს სიმეტრიის (გრძივი) ღერძის გასწვრივ. ძალის მოქმედებით ღეროს კვეთში აღიძვრება ძაბვები. ასეთ შემთხვევაში ძაბვების განაწილებას ექნება ნახ. 2.22 ა-ზე ნაჩვენები სახე.

ღეროვანი ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება, რომლებზეც მოქმედებს ღერძული, მკუმშავი N ძალა, წარმოებს შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{N}{A_n} \leq R_y \gamma_c$$

სადაც N არის ღერძული მკუმშავი ძალა; A_n – განივკვეთის ხვრელებით ე. ი. შესუსტებების გარეშე; R_y – ფოლადის საანგარიშო წინაღობა დენადობის ზღვრის მიხედვით; γ_c – მუშაობის პირობების კოეფიციენტი.

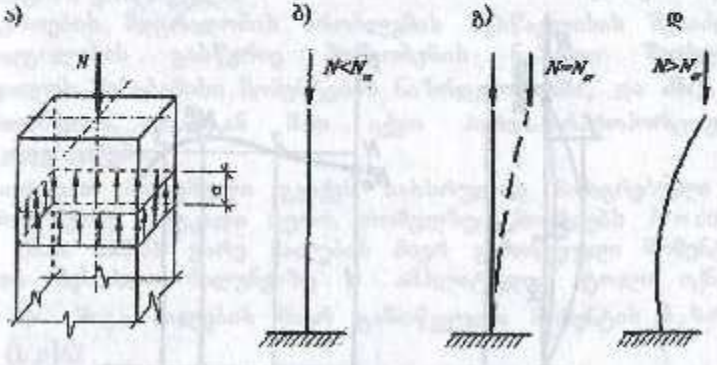
2.6.3. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადობაზე.

2.6.3.1. ზოგადი ცნებები მდგრადობაზე. შეკუმშული ღეროს ზიდვის უნარი შეიძლება ამოწურული იქნას მდგრადობის დაკარგვის შედეგად, ანუ ამოზნექის შედეგად, რომელიც წარმოიქმნება უფრო ადრე ვიდრე ღერო გამოვა მწყობრიდან უშუალოდ კუმშვის გამო. აბსოლუტურად მყარი სხეულის წონასწორობა მასზე მოქმედი ძალების მიუხედავად შეიძლება იყოს მდგრადი, განურჩეველი და არამდგრადი. იგივე მდგომარეობაა დეფორმირებული სხეულის მექანიკაში, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ წონასწორობის სახე დამოკიდებულია მოქმედი დატვირთვის მნიშვნელობაზე.

ნახ. 2.22-ზე გამოსახულია გრძელი წვრილი დგარი, რომელზეც მოქმედებს ღერძული დატვირთვა. N ძალის შედარებით მცირე მნიშვნელობისას დგარი იკუმშება და იმყოფება მდგრად წონასწორობაში, ვინაიდან იღებს რა მცირე გადახრას ვერტიკალიდან რაიმე "შემაშფოთებელი" ბიძგის შედეგად, ის მალე უბრუნდება საწყის მდგომარეობას. (ნახ. 2.22,ბ).

დატვირთვის გაზრდასთან ერთად დგარი სულ უფრო ნელა უბრუნდება საწყის მდგომარეობას და რომელიღაც კრიტიკული N_{cr} ძალის მნიშვნელობისას დგება განურჩეველი წონასწორობის

მდგომარეობა, ანუ ვერტიკალური მდგომარეობიდან მცირე გადახრისას დგარი იძენს წონასწორობას გადახრილ მდგომარეობაშიც (წკვეტილი ნახ. 2.22,გ). წარმოიქმნება ბიფურკაცია-ჭიმიჯნავე წონასწორული ფორმების თანაარსებობა, რომელიც ხასიათდება ღეროს ორ წონასწორულ ფორმას შორის მდგრადობის "გაცვლით". წრფივი ფორმა კარგავს მდგრადობას, ხოლო მრუდწირული ჯერ ვერ ასწრებს მის შეჩენას. ძალას, რომელსაც გადაჰყავს ღერო წრფივხაზოვანი მდგრადი მდგომარეობიდან მრუდხაზოვან მდრად მდგომარეობაში კრიტიკული ძალა ეწოდება.



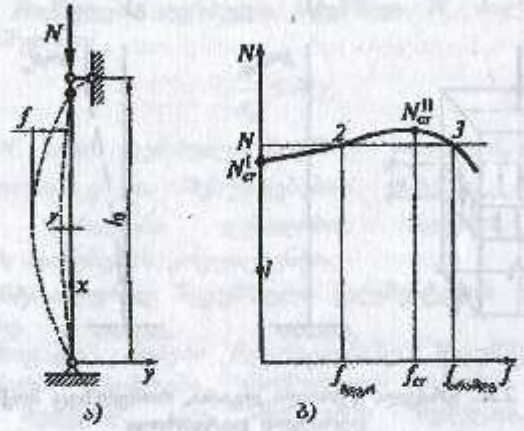
ნახ. 2.22. გრძელი წვრილი დგარი, რომელზეც მოქმედებს ღერძული დატვირთვა

ა)-ძაბვების განაწილება ცენტრალური კუმშვისას; ბ)-წრფივხაზოვანი მდგრადი მდგომარეობა; გ)-არამდგრადი და განურჩეველი (ბიფურკაცია) წონასწორობა; დ)-მრუდწირული წონასწორული მდგომარეობა

ახალი წონასწორული, მრუდწირული ფორმა თეორიულად ხდება მდგრადი დატვირთვისას, რომლის სიდიდე მეტია კრიტიკულზე (ნახ. 2.22,დ). ასეთი მდგომარეობა პრაქტიკულად მიუღებელია, რამდენადაც ღერო უკვე მუშაობის არა კუმშვაზე, არამედ კუმშვაზე დუნვით. ე.ი. ძალის მიერ კრიტიკული მნიშვნელობის მიღწევის შემთხვევაში ღეროს სწორხაზობრივი ფორმა აღარ არის მდგრადი და იგი გაიღუნება ნაკლები სიხისტის მქონე სიბრტყეში და მიიღებს მდგრადი მდგომარეობის მრუდწირულ ფორმას. ამ დროს დატვირთვის უმნიშვნელო გაზრდითაც კი ღეროს გამრუდება სწრაფად იწყებს ზრდას და იგი კარგავს ზიდვის უნარს.

2.6.3.2. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად არეში. დატვირთვის ქვეშ მომუშავე ღეროს მუშაობას კარგად

ახასიათებს ნახ. 2.23-ზე ნაჩვენები გრაფიკიც. დატვირთვის გაზრდის დასაწყისისას, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ღეროს ინარჩუნებს მდგრადი მდგომარეობის წრფივხაზოვან ფორმას. კრიტიკული დატვირთვის მიღწევისას $N = N_{cr}^{I}$ ღერო იწყებს მკვეთრად გამობურცვას. შემდგომში დატვირთვის უმნიშვნელო გაზრდა გამოიწვევს ღეროს განივი ჩაღუნვის f სწრაფ ზრდას. მეორე კრიტიკული ძალის მიერ მაქსიმალური დატვირთვის მიღწევისას $N = N_{cr}^{II}$ ღერო კარგავს ზიდვის უნარს (არამდგრადი მდგომარეობა).



ნახ. 2.23 ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მუშაობა:
ა)-საანგარიშო სქემა; ბ)-ღეროს დატვირთვახა და ჩაღუნვას შორის დამოკიდებულება.

ნახაზიდან ჩანს, რომ მდგრადი მდგომარეობა შეიძლება იყოს, როცა $f = 0$ და $f > 0$ (წერტილები 1 და 2). მხოლოდ როცა $f > 0$ ღერო შეიძლება იმყოფებოდეს მდგრად მდომარეობაში (წერტილი 2) და არამდგრად მდგომარეობაში (წერტილი 3) ერთი და იგივე შეკუმშავი ძალისას.

კრიტიკული შეიძლება იყოს ორ მდგომარეობაში, როცა $f = 0$ და $f > 0$ (წერტილები- N_{cr}^{I} და N_{cr}^{II}). ამ მდგომარეობების ზუსტი განსაზღვრა შესაძლებელია ენერგეტიკული თეორიის პრინციპების საფუძველზე, როდესაც მუშაობას ასრულებს გარე და შიგა ძალები შესაძლო გადაადგილების გასწვრივ.

ფიქსირებული ძალისას $N = const$, ღეროსათვის შესაძლო გადაადგილების მინიჭებისას, შესაძლებელია გამოთვლილი იქნას გარე δA_e და შიგა δA_i ძალების მუშაობის ნაზრდი. თუ $\delta A_i > \delta A_e$ ღეროს მდგომარეობა იქნება მდგრადი, თუ $\delta A_i < \delta A_e$ ღეროს მდგომარეობა იქნება არამდგრალი, ხოლო თუ $\delta A_i = \delta A_e$ -კრიტიკული.

პირველ შემთხვევაში ვირტუალურ მუშაობებს შორის სხვაობა სისტემას აბრუნებს საწყის მდგომარეობაში. მეორე შემთხვევაში შიგა ძალების მუშაობის ნაზრდი δA_i არ არის საკმარისი იმისათვის, რომ სისტემა დააბრუნოს საწყის მდგომარეობაში, ამიტომ ღერო კარგავს მდგრადობას. მესამე შემთხვევა არის სახაზღვრო, კრიტიკული.

ღეროების მდგრადობის პრობლემის შესწავლისას შესაძლო გადაადგილების გასწვრივ მუშაობების ნაზრდი შეიძლება შეიცვალოს შესაბამისი მომენტების ნაზრდებით δM_e და δM_i. ეს შესაძლებელია, რადგან მათ აქვთ პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება.

დავუშვათ მოცემული გვაქვს სახსრულად ჩამაგრებული l სიგრძის მჭოე დრეკადი ღერო, რომელზეც მოქმედებს $N = const$ ძალა (ნახ. 2.23,ა). გარე ძალების მიერ გამოწვეული მომენტის ნაზრდი შესაძლო ჩაღუნვაზე y ამპლიტუდით ტოლი იქნება $\delta M_e = Ny$. შიგა ძალების მიერ გამოწვეული მომენტის ნაზრდი $\delta M_i = (1/\rho)EI$.

ძალის მოქმედებით ღერო იღუნება და ღებულობს მრუდწირულ წონასწორულ ფორმას. უმაღლესი მათემატიკის კურსიდან ცნობილია, რომ სიმრუდე $(1/\rho)$ აღებულ წერტილში, მიახლოებით, ტოლია კორდინატის მეორე რიგის წარმოებულის

$$\frac{1}{\rho} = -y'' \qquad (2.41)$$

ღეროს შესაძლო გადაადგილება აღვწეროთ სინუსოიდაზე შემდეგი კანონით, $y = -f \sin(\pi x/l_0)$, მივიღებთ სიმრუდის ამპლიტუდურ მნიშვნელობას $1/\rho = -y''(x = l_0/2) = \pi^2 f/l_0^2$. ამ მნიშვნელობის δM_i-ში ჩასმით და $\delta M_i = \delta M_e$ გატოლებით, მივიღებთ პირველი კრიტიკული ძალის მნიშვნელობას $N_{cr}^{I} = \pi^2 EI/l_0^2$. მეორე კრიტიკული ძალისას შეიმჩნევა ღეროს დიდი ჩაღუნვები და როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ღერო უკვე მუშაობს არა კუმშვაზე, არამედ კუმშვაზე ღუნვით, ამიტომ ის პრაქტიკული თვალსაზრისით არ არის ჩვენთვის საინტერესო. ეს არის (N_{cr}^{I}) ცნობილი გერმანელი მეცნიერის ლეონარდ ეილერის ფორმულა, რომელიც მან სხვა გზით გამოიყვანა, კერძოდ დაუბრუნდეთ

სახსრულად ჩამაგრებულ l სიგრძის მქონე ღეროს, რომელზეც მოქმედებს N ძალა (ნახ. 2.23,ა). როგორც ვთქვით სიმრუდე $(1/\rho)$ ალებულ წერტილში მიახლოებით ტოლია კორდინატის მეორე რიგის წარმოებულის იხ. ფორმულა (2.41).

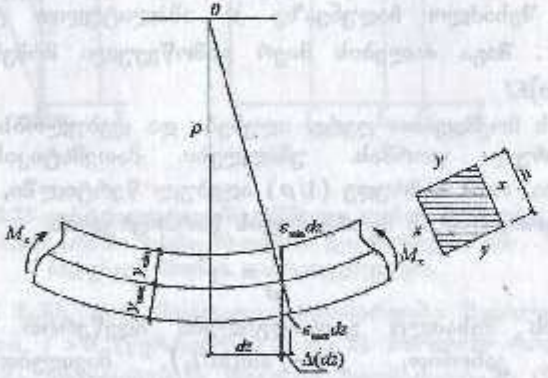
ახლა გავიხსენოთ ზოგიერთი საკითხი მასალათა გამძლეობის კურსიდან. თუ განვიხილავთ გაღუნულ ღეროს და გამოვყოფთ ელემენტარულ უბანს (ნახ. 2.24) მაქსიმალურად გაჭიმული შრის ფარდობითი წაგრძელება იქნება:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\Delta_{max}(dz)}{dz} \Rightarrow \Delta_{max}(dz) = \varepsilon_{max} dz$$

მაშინ სამკუთხედების მსგავსებიდან ჩაიწერება:

$$\frac{dz}{\rho} = \frac{\varepsilon_{max} dz}{y_{max}} \tag{2.42}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{y_{max}}{\rho} \tag{2.43}$$



ნახ. 2.24. გაღუნული ღეროს ელემენტარული უბანი

ხოლო ჰუკის კანონის თანახმად:

$$\sigma_{max} = \frac{E \cdot y_{max}}{\rho} \tag{2.44}$$

სადაც ρ ღეროს ღერძის სიმრუდის რადიუსია; y_{max}–მანძილი განაპირა შრიდან ღეროს ღერძამდე; E–დრეკადობის მოდული; $\Delta_{max}(dz)$–მაქსიმალურად გაჭიმული შრის აბსოლუტური წაგრძელება; σ_{max}–ძაბვა მაქსიმალურად გაჭიმულ შრეში.

ნეიტრალური შრიდან y მანძილით დაშორებულ ნებისმიერ ბოჭკოსათვის ფარდობითი წაგრძელება განისაზღვრება (2.43) გამოსახულებით. მაშინ, ღეროს A განივ კვეთში განაწილებული შიგა ძალების მომენტი გამოითვლება ტოლობით:

$$M_x = \int_A \sigma y dA \tag{2.45}$$

ხოლო (2.44) გათვალისწინებით

$$M_x = -\frac{E}{\rho}\int_A y^2 dA = -\frac{EI}{\rho} = -EIy'' \tag{2.46}$$

სადაც A ფართობზე გავრცობილი ინტეგრალი წარმოადგენს განივი კვეთის ინერციის მომენტს.

აქედან გამომდინარე გაღუნული ღერძის დიფერენციალური განტოლების მიახლოებითი მნიშვნელობა ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$Ny = -EIy'' = 0; \text{ ან } y'' + k^2 y = 0, \text{ სადაც } k = \sqrt{N/EI} \tag{2.47}$$

(2.47) ერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$y = C_1 \cos kx + C_2 \sin kx. \tag{2.48}$$

ინტეგრირების მუდმივების C_1 და C_2-ის პოვნისათვის ვწერთ სასაზღვრო პირობებს:

როცა $x = 0, y = 0$ და როცა $x = l, y = 0$ (2.49)

(2.48) და (2.49)-ს გათვალისწინებით ვღებულობთ ორ განტოლებას

$$0 = C_1 \cos k0 + C_2 \sin k0;$$

$$0 = C_1 \cos kl + C_2 \sin kl$$

პირველი განტოლებიდან ვღებულობთ $C_1 = 0$. მეორე განტოლება გვაძლევს საშუალებას ჩავწეროთ

$$C_2 \sin kl = 0$$

აქ შესაძლებელია ამოხსნის ორი ვარიანტი

$$C_2 = 0$$

ან

$$\sin kl = 0$$

პირველი ვარიანტი $C_2 = 0$ გვაძლევს დიფგანტოლების ტრივიალურ ამონახსნს, რადგან $C_2 = f = 0$ k-ს ნებისმიერი მნიშვნელობებისას, ამის შესაბამისად N-ისაც (ეს, ნიშნავს, რომ თეორიულად და არა მარტო თეორიულად-წონასწორობა შესაძლებელია, ნებისმიერად დიდი რაოდენობის N ძალის შემთხვევაში).

მეორე ვარიანტი $\sin kl = 0$ შესაძლებელია არგუმენტის მნიშვნელობისათვის

$$kl = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \ldots$$

n ნებისმიერი მთელი რიცხვია.

თუ გავითვალისწინებთ $k^2 = N/EI$-ის მნიშვნელობას, ვიპოვით

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} n^2$$

ამ ძალის უმცირესი მნიშვნელობა იქნება როცა $n = 1$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \tag{2.50}$$

ამასთან (2.48) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$y = C_1 \sin\left(\frac{\pi x}{l} n\right)$$

ან მხოლოდ შემთხვევისათვის, როცა $n = 1$

$$y = C_1 \sin\left(\frac{\pi x}{l} n\right) = f \sin\frac{\pi x}{l} \tag{2.51}$$

კრიტიკული ძაბვა ტოლია

$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{l_0^2 A} = \frac{\pi^2 Ei^2_{\min}}{l_0^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_0^2}{i^2_{\min}}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \tag{2.52}$$

სადაც $i_{\min} = \sqrt{I_{\min}/A}$ არის ინერციის რადიუსი. A –განივკვეთის ფართობი.

$\lambda = l_0/i_{\min}$ არის ღეროს მოქნილობა, რომელიც ტოლია ღეროს საანგარიშო სიგრძის შეფარდებისა ინერციის რადიუსთან.

$l_0 = \mu \cdot l$ ღეროს საანგარიშო სიგრძეა. μ –დაყვანის კოეფიციენტია, რომელიც დამოკიდებულია ღეროს ჩამაგრების პირობებზე და განისაზღვრება ცხრილი 2.2-ის მიხედვით: ა)-ზედა და ქვედა ბოლოების სახსრული ჩამაგრებისას; ბ)-ზედა ბოლოს სახსრულად, ქვედას ხისტად ჩამაგრებისას; გ)-ზედა და ქვედა ბოლოების ხისტად ჩამაგრებისას; დ)-ზედა ბოლოს სახსრულად, ქვედას ხისტად ჩამაგრებისას; ე)-ზედა ბოლოს სახსრულად დრეკადი ჩამაგრებისას, ქვედას ხისტად ჩამაგრებისას.

(2.52) ფორმულა სამართლიანია დრეკადობის მოდულის მუდმივი მნიშვნელობისას E, ე.ი. ძაბვებისას, რომლებიც არ

აღემატებიან პროპორციულობის ზღვარს $\sigma_{cr} \le \sigma_{pl}$. ამასთან $\lambda \ge \pi\sqrt{E/\sigma_{pl}}$. რბილი (მცირენახშირბადიანი) სამშენებლო ფოლადებისათვის $\sigma_{pl} \approx 20$ კნ/სმ², ამიტომ $\lambda \ge \pi\sqrt{2{,}06 \cdot 10^4/20} \approx 100$. ამგვარად ცენტრალურად მჭიმე ფოლადებში ეილერის ფორმულის გამოყენება შეიძლება, როცა $\lambda \ge 85$.

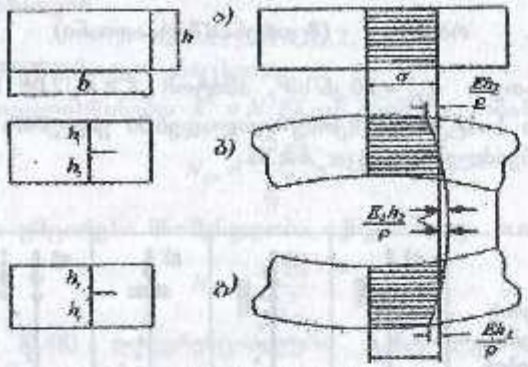
ცხრილი 2.2.

ღეროების ბოლოების ჩამაგრების სქემები		ა)	ბ)	გ)	დ)	ე)
ღეროების ბოლოების ჩამაგრების სქემები						
დაყვანის კოეფიციენტი μ	თეორიული	$\mu = 1$	$\mu = 0{,}7$	$\mu = 0{,}5$	$\mu = 2{,}0$	საანგარიშო მნიშვნელობა

2.6.3.2. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად-პლასტიკურ არეში. განვიხილოთ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები მოქნილობის უფრო ნაკლები მნიშვნელობებისას. სიმარტივისათვის განვიხილოთ სწორკუთხოვანი განივი კვეთის ღერო (ნახ. 2.25). მდგრადობის დაკარგვის წინ ძაბვების ეპიურა წარმოდგენილი სახისაა (ნახ. 2.25,ა). ღეროს ღერძის რამდენადმე გამრუდების გამო, რომელიც წარმოიქმნება მისი ამოზნექისას, განივ კვეთში ძაბვის ეპიურა იცვლება, რადგან მკუმშავ ძაბვებს ემატება ღუნვისაგან გამოწვეული ძაბვები, ხოლო გაღუნული ღეროს შეკუმშული და გაჭიმული ნაწილებისათვის (2.44) გამოსახულებიდან გამომდინარე

$$\sigma_1 = \frac{Eh_1}{\rho}, \quad \sigma_2 = \frac{E_s h_2}{\rho}$$

აქ E_s -მკვეთი დრეკადობის მოდულია.



ნახ. 2.25. სწორკუთხოვანი ღერო:
ა)–ძაბვების ეპიურა მდგრადობის დაკარგვის წინ;
ბ),გ)–ძაბვების ეპიურა დრეკად-პლასტიკურ არეში.

o წერტილზე გამავალი ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა, თუ განვიხილავთ ძაბვებს მხოლოდ ღეროს ღუნვისაგან, შეიძლება ადვილად განისაზღვროს ყველა გამჭიმავი და მკუმშავი ძალების ტოლობის პირობიდან (ნახ. 2.25):

$$\frac{1}{2}\frac{E\cdot h_1}{\rho}h_1 b=\frac{1}{2}\frac{E_s\cdot h_2}{\rho}h_2 b \Rightarrow Eh_1^2=E_s h_2^2 \Rightarrow h_1\sqrt{E}=h_2\sqrt{E_s}$$

მაგრამ $h=h_1+h_2$ ამიტომ, $h_1\sqrt{E}=(h-h_1)\sqrt{E_s}\Rightarrow h_1=\dfrac{h\cdot\sqrt{E_s}}{\sqrt{E}+\sqrt{E_s}}$

ანალოგიურად

$$h_2=\frac{h\cdot\sqrt{E}}{\sqrt{E}+\sqrt{E_s}}$$

თუ b სწორკუთხა კვეთის სიგანეა (ნახ. 2.25), მაშინ მღუნავი მომენტი განისაზღვრული ძაბვებით იქნება:

$$M=\frac{E\cdot h_1}{\rho}\cdot\frac{b\cdot h_1}{2}\left(\frac{2}{3}\cdot h_1+\frac{2}{3}\cdot h_2\right)=\frac{E\cdot b\cdot h_1^2}{3\cdot\rho}\cdot h$$

თუ შევიტანთ h_1-ის მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$M=\frac{E\cdot b\cdot h^3}{3\cdot\rho}\cdot\frac{E_S}{(\sqrt{E}+\sqrt{E_S})^2}=\frac{b\cdot h^3}{12\cdot\rho}\cdot\frac{4E\cdot E_S}{(\sqrt{E}+\sqrt{E_S})^2}\Rightarrow$$

$$\Rightarrow M=\frac{I}{\rho}\cdot\frac{4\cdot E\cdot E_S}{(\sqrt{E}+\sqrt{E_S})^2}$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნა:

$$T^*=\frac{4\cdot E\cdot E_S}{(\sqrt{E}+\sqrt{E_S})^2} \tag{2.53}$$

მაშინ

$$M=\frac{T^*I}{\rho}\Leftrightarrow\frac{M}{T^*I}=y^* \tag{2.54}$$

(2.54) დამოკიდებულება ანალოგიურია გაღუნული ღერძის (2.46) განტოლებისა ჰუკის კანონის ფარგლებში, ერთი განსხვავებით: ნაცვლად დრეკადობის E მოდულისა შემოდის სიდიდე T^*, რომელსაც იასინსკი-ენგესერ-კარმანის დაყვანილ დრეკადობის მოდულს (ორმაგ მოდულს) უწოდებენ. T^* როგორც ვხედავთ, დამოკიდებულია E და E_s მოდულებზე და აგრეთვე განივი კვეთის ფორმაზე, ვინაიდან მისი ზემოთ მოყვანილი მნიშვნელობა გამოყვანილია სწორკუთხა კვეთისათვის.

ანალოგიურად შეიძლება გამოყვანა სხვა კვეთებისათვისაც. თხელკედლიანი ორტესებრი კვეთისათვის:

$$T^*=\frac{2\cdot E\cdot E_S}{E+E_S}$$

ამრიგად კრიტიკული ძალისა და კრიტიკული ძაბვის განსაზღვრა იასინსკი-ენგესერ-კარმანის მიხედვით შეიძლება წარმოებდეს ფორმულებით, რომლებიც გამოყვანილია ჰუკის კანონს დაქვემდებარებული მასალისათვის ამ ფორმულებში მასალის დრეკადობის მოდულის შეცვლით:

$$\sigma_{crT}=\frac{\pi^2T^*}{\lambda^2}\qquad N_{crT}=\frac{\pi^2T^*I}{l^2} \tag{2.55}$$

სხვა მიდგომით მცირენახშირბადიანი ფოლადებისათვის მოქნილობის ასზე უფრო ნაკლები მნიშვნელობებისას ($\lambda<100$) ღეროები კარგავენ მდგრადობას მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში დეფორმაციის მხები მოდულით $E_t=d\sigma/d\varepsilon$. ამ მიზეზით იასინსკი, ენგესერისა და კარმანის მიერ იქნა შემოთავაზებული ღეროს დრეკად-პლასტიკური მუშაობის შემდეგი სქემა (ნახ. 2.26).

როგორც წინა შემთხვევაში ფიქსირდება დატვირთვა $N=const$. მას შეესაბამება ღეროს კვეთში თანაბრად განაწილებული ძაბვების ეპიურა $\sigma_0=N/A>\sigma_{pl}$ (ნახ. 2.26,ა).

ღეროს შესაძლო ჩალუნვისას v ამჭიმულით, მის შეკუმშულ მხარეს ძაბვები გაიზრდება მხები მოდულის E_t შესაბამისად (იხ.

ასევე ნახ. 2.27). მოპირდაპირე მხარეს N ძალიდან გამოწვეულ კუმშვას დაედება ღუნვისაგან გამოწვეული გაჭიმვა ე. ი. მოხდება განტვირთვა, თანაც დრეკადი კანონით $\sigma = \varepsilon E$. ამიტომ შესაძლო გალუნვისაგან ძაბვების ეპიურა იქნება ასიმეტრიული. ნეიტრალური ღერძი გადაიწევს განტვირთული ბოჭკოების მხარეს (ა წყრტილი ნახ. 2.26,ა). გაჩნდება გრძივი ძალის დამატებითი ექსცენტრისიტეტი a. გარე ძალისაგან გამოწვეული მომენტის ნაზრდი $\delta M_e = N(v+a)$. შიგა ძალებისათვის δM_i განისაზღვრება A_1 და A_2 ფართობებზე ინტეგრალთა ჯამი, გაყოფილი 2-2 ნეიტრალური ღერძით (ნახ. 2.26,ბ).

$$\delta M_i = \int_{A_1}\sigma_1 y\cdot dA + \int_{A_2}\sigma_2 y\cdot dA = \int_{A_1}^{E}\frac{}{\rho}y^2 dA + \int_{A_1}^{E_1}\frac{}{\rho}y^2 dA = \\ = \frac{E}{\rho}\int_{A_1} y^2 dA + \frac{E_1}{\rho}\int_{A_2} y^2 dA = \frac{1}{\rho}(E\cdot I_1 + E_1 I_2) \tag{2.56}$$

დრეკადი სტადიისას მომენტის ფორმულის ანალოგიურად გამოსახულება ვაწეროთ შემდეგი სახით $\delta M_i = (1/\rho)TI$, გაუტოლდით ეს (2.56). სადაც I არის დეფორმაციის დაყვანილი მოდული, რომელიც განისაზღვრება ტოლობიდან

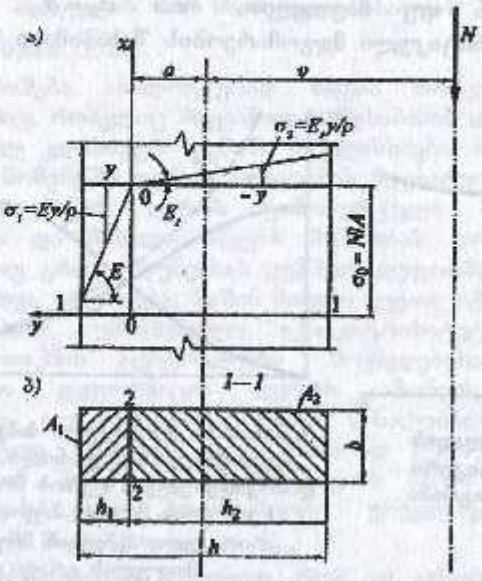
$$T = \frac{EI_1 + E_1 I_2}{I} \tag{2.57}$$

თუ ვიმოქმედებთ ისევე, როგორც დრეკადი მასალის შემთხვევაში, და $\delta M_i = \delta M_e$ გატოლებით, მივიღებთ ეილერისებურ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობას

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 T}{\lambda^2} \tag{2.58}$$

დაყვანილი მოდულის შემოღების ქვეშ იგულისხმება: დაყვანილი მოდულის T შემოღება ექვივალენტურია სხვადასხვა მასალისაგან (A_1 უბანი ექვემდებარება დრეკად დამოკიდებულებას, A_2 -პლასტიკურს) დამზადებული ღეროს შეცვლისა ერთგვაროვანი ღეროთი, რომელსაც აქვს შემცირებული დრეკადობის მოდული. შეიძლებოდა გაგვეკეთებინა სხვაგვარადაც. გავაგრძელოთ (2.56)-ის გარდაქმნა. დავწეროთ, რომ $\delta M_i = \frac{E}{\rho}(I_1 + kI_2)$, სადაც $k = E_1/E$. შემოვიღოთ აღნიშვნა $I_{ef} = I_1 + kI_2$-ინერციის დაყვანილი მომენტი. მაშინ $\delta M_i = EI_{ef}/\rho$.

აქედან მივიღებთ კრიტიკული ძაბვების საანგარიშო ფორმულას $\sigma_{cr} = \pi^2 E/\lambda_{ef}^2$, სადაც $\lambda_{ef} = l_0/i_{ef}$, $i_{ef} = \sqrt{I_{ef}/A}$.



ნახ. 2.26. ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა მდგრადობის დაკარგვის მომენტში: ა)-ძაბვების ეპიურა; ბ)-ღეროს განივი კვეთი.

T-ს სიდიდის განსაზღვრისათვის აუცილებელია ვიცოდეთ ნეიტრალური ღერძის 2-2 მდებარეობა (ნახ. 2.26,ბ). ის განისაზღვრება ყველა ძალების ღეროს გრძივ ღერძზე გაგმასლების ნულთან ტოლობის პირობიდან $\sum x = 0$.

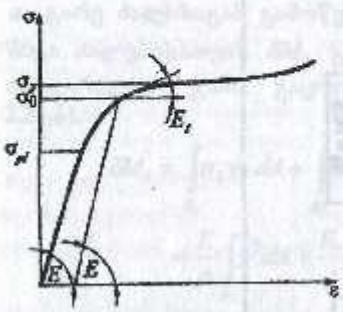
N ძალას აწონასწორებს $\sigma_0 = N/A$ ძაბვების ეპიურის ტოლქმედი, შესაბამისად ღუნვისაგან გამოწვეული შეკუმშული და გაჭიმული ზონების ტოლქმედები უნდა უტოლდებოდეს ერთმანეთს აბსოლუტური მნიშვნელობით.

$$\int_{A_1}\sigma_1 dA = \int_{A_2}\sigma_2 dA \quad \text{ან} \quad \frac{E}{\rho}\int_{A_1} y dA = \frac{E_1}{\rho}\int_{A_2} y dA \quad \text{ან} \quad S_1 = kS_2 \tag{2.59}$$

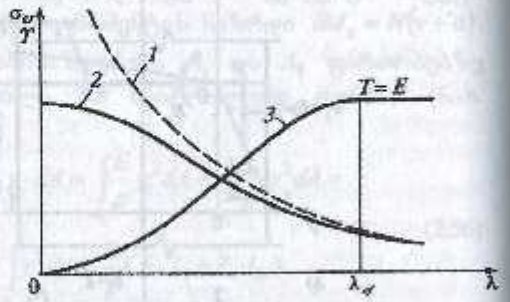
სადაც $k = E_1/E$; S_1 და S_2 არის 2-2 ნეიტრალური ღერძების მიმართ A_1 და A_2 ფართობების სტატიკური მომენტები.

ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის თუ გამოვსახავთ S_1 და S_2-ს ღეროს კვეთის გეომეტრიული ზომებით, შეიძლება

განისაზღვროს ნეიტრალური ღერძის მდებარეობა და აქედან გამომდინარე (2.57) ფორმულიდან T-ს მნიშვნელობა. მაშინ (2.58) გამოსახულებიდან თუ ჩავთელით, რომ $\sigma_0 = \sigma_{cr}$, შეიძლება განისაზღვროს კრიტიკული მდგომარეობის შესაბამისი მოქნილობა $\lambda = \pi\sqrt{T/\sigma_0}$.



ნახ. 2.27. ფოლადის დეკად-პლასტიკური მუშაობის დიაგრამა



ნახ. 2.28. კრიტიკული ძაბვებისა და ტეფორმაციის დაყვანილი მოდულის დამოკიდებულება ღეროს მოქნილობაზე: 1-ეილერის მრუდი; 2-ფოლადის კრიტიკული ძაბვების მრუდი; 3-T მოდულის გრაფიკი.

σ_0-ზე სხვადასხვა მნიშვნელობების მინიჭებით, შეიძლება ავაგოთ $\sigma_{cr} - \lambda$ დამოკიდებულება (ნახ. 2.28).

ამავე ნახაზზე მოყვანილია სქემატურად $T - \lambda$ დამოკიდებულება. აქ λ_{el} არის λ-ს ზღვრული მნიშვნელობა, რომელიც ზღუდავს ეილერის ფორმულის გამოყენების საზღვრებს. როცა $\lambda < \lambda_{el}$, σ_{cr} და T-ს მრუდების სახე მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მასალის მუშაობის მრუდზე, ე. ი. ფოლადის სახეზე ან ალუმინის შენადნობზე (E_t-ს გავლენა).

σ_{cr}-ის გაანგარიშებისას გამოიყენება (2.59) ტოლობა, რომელიც განსაზღვრავს ნეიტრალური ღერძის მდებარეობას. ის თავის მხრივ დამოკიდებულია ღეროს განივი კვეთის ფორმაზე და მისი ღერძების ორიენტაციაზე.

მაგალითად ნახ. 2.26-ზე ნაჩვენებ მართკუთხა კვეთისათვის $S_1 = bh_1^2/2$; $S_2 = bh_2^2/2$. მივიწინოთ რომ, $m = h_2/h$, მაშინ მივიღებთ $h_2 = mh$, $h_1 = (1-m)h$. ამ მნიშვნელობების (2.59)-ში ჩასმით მივიღებთ $m = 1/(1+\sqrt{k})$. მივიღოთ, რომ ფიქსირებული σ_0-ისათვის

$\sigma - \varepsilon$ გრაფიკის მიხედვით (ნახ. 5.), $E/E_t = 0{,}1$, მაშინ $m = 0{,}76$. ხოლო (2.57) ფორმულის მიხედვით ვღებულობთ $T = 0{,}23E$. დაყვანილი მოდულის ამ მნიშვნელობისათვის $\sigma_{cr} = 0{,}23\pi^2 E/\lambda^2$, აქედან $\lambda = 0{,}48\pi\sqrt{E/\sigma_0}$.

გაანგარიშება ანალოგიურად ხდება ორტესპრი კვეთების შემთხვევაშიც, რომელიც მოყვანილია შესაბამის ლიტერატურაში.

მოყვანილ კლასიკურ სქემაში იგულისხმება, რომ მდგრადობის დაკარგვის მომენტში ღეროს ბოლოების მდებარეობის ცვლილება არ ხდება, მაშინ ღეროს გამობურცული მხრიდან ხდება განტვირთვა და მასალა იწყებს მუშაობას დრეკადი კანონით. მხოლოდ, თუ გრძივი ღუნვისას კუმშვის დეფორმაცია იზრდება, ე. ი. განტვირთვა არ ხდება, მაშინ მთელი კვეთი იქნება პლასტიკურ მდგომარეობაში. უმნიშვნელო ექსცენტრისიტეტების (მკუმშავი ძალის თითქმის ცენტრალური მოქმედებისას) შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაცია ღეროს ამობურცულ მხარესაც წარმოიშობა. დეფორმაციის კვეთის წინაღობადობის ფიზიკური მახასიათებელი შეიძლება იყოს მხოლოდ ღერძული კრიტიკული დაძაბულობის შესატყვისი დეფორმაციის მხები მოდული, ე. ი. ასეთი პლასტიკური მდგომარეობა ყოველთვის ხასიათდება დეფორმაციის მხები მოდულით E_t.

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ არ არსებობს თითქმის—კიცხების არე, მაშინ დრეკად–პლასტიკურ სტადიაში სხვადასხვა ფოლადის მხები მოდულისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ შენლის უბრალო პარაბოლური დამოკიდებულება:

$$E_t = E\left[1 - \left(\frac{\sigma_{cr} - \sigma_{el}}{\sigma_{\beta} - \sigma_{el}}\right)^2\right] \qquad (2.60)$$

სადაც E_t - მხები მოდულია; σ_{cr} – კრიტიკული ძაბვა; σ_{el} – პროპორციულობის ზღვარი; σ_{β} – დენადობის ზღვარი; E – გრძივი დრეკადობის მოდული. (2.60) ფორმულა 1889 წელს პირველად შემოთავაზებული იქნა ენგესერის მიერ, ხოლო 1946 წელს დადასტურებული შენლის მიერ და სტელმახის მიერ ცდებით იქნა დამტკიცებული.

მეორეს მხრივ, ენგესერის გამოთვლით კრიტიკული ძაბვა შეიძლება გამოვსახოთ მოქნილობისა და მხები მოდულისაგან დამოკიდებულებით:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_t}{\lambda^2} \qquad (2.61)$$

(2.61) გამოსახულებაში მხები (2.60)-ში მიღებული მხები მოდულის მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}\left[1-\left(\frac{\sigma_{cr}-\sigma_{el}}{\sigma_{fl}-\sigma_{el}}\right)^2\right] \tag{2.62}$$

აქედან ვღებულობთ შემდეგ კვადრატულ განტოლებას:

$$\sigma_{cr}^2 - \left[2\sigma_{el} - \frac{(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}{\pi^2 E}\right]\sigma_{cr} + \sigma_{fl}(2\sigma_{el}-\sigma_{fl}) = 0 \tag{2.63}$$

მოჭინილობის მოცემული მნიშვნელობის შემთხვევაში კრიტიკული დატვირთვისათვის ვღებულობთ:

$$\sigma_{cr} = \left[\sigma_{el} - \frac{(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}{2\pi^2 E}\lambda^2\right] + \sqrt{\left[\sigma_{el} - \frac{(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}{2\pi^2 E}\lambda^2\right]^2 - \sigma_{fl}(2\sigma_{el}-\sigma_{fl})} \tag{2.64}$$

პროფ. ინგუშა მშენიერაძისა და პროფ. გიზო ფარცხალაძის (ავტორები) მიერ მხები ძაბვების E_t-ს (2.60) მნიშვნელობა შეცვანილი იქნა დეფორმაციის დაყვანილი მოდულის T-ს (2.57) გამოსახულებაში. მიღებული დეფორმაციის დაყვანილი მოდულის T-ს მნიშვნელობა კი კრიტიკული ძაბვის (2.58) განზოგადოებულ მნიშვნელობაში და თუ გავითვალისწინებთ, რომ ეილერის კრიტიკული ძაბვა სამართლიანია მხოლოდ კრიტიკულ მოჭინილობამდე, გვექნება:

$$\sigma_{cr}^{\bullet} = \frac{\pi^2 E I_1}{\lambda^2 I} + \frac{\pi^2 E_t I_2}{\lambda_t^2 I} \tag{2.64}$$

$$\sigma_{cr}^{\bullet} = \sigma_{cr}\frac{I_1}{I} + \sigma_{crt}\frac{I_2}{I} \tag{2.65}$$

σ_{cr} ფორმულის მეორე შესაკრებიდან წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\sigma_{crt} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_t^2}\left[1-\frac{(\sigma_{crt}-\sigma_{el})^2}{(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}\right] \tag{2.66}$$

(2.66) ფორმულის გარდაქმნით მივიღებთ შემდეგი სახის კვადრატულ განტოლებას:

$$\sigma_{crt}^2 - \left[2\sigma_{el} - \frac{(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}{\pi^2 E}\lambda_t^2\right]\cdot\sigma_{crt} + \sigma_{fl}(2\sigma_{el}-\sigma_{fl}) = 0$$

თუ (2.67)-დან ამოვხსნით კრიტიკული ძაბვის მნიშვნელობას გვექნება:

$$\sigma_{cr}^{\bullet} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{cr}^2}\left(1-\frac{I_2}{I}\right) + \left[\sigma_{el} - \frac{\lambda_t^2(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}{2\pi^2 E}\right]\cdot\frac{I_2}{I} + \tag{2.67}$$

$$+\frac{I_2}{I}\sqrt{\left[\sigma_{el} - \frac{\lambda_t^2(\sigma_{fl}-\sigma_{el})^2}{2\pi^2 E}\right]^2 - \sigma_{fl}(2\sigma_{el}-\sigma_{fl})}$$

ჩატარებული ანალიზი აჩვენებს, რომ (2.67) ფორმულით მიღებული კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები არის სხვებთან შედარებით უფრო მაღალი მნიშვნელობის და უფრო მეტად დაზუსტებულია.

2.6.4. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობის შემოწმება. ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტებში აღძრული ძაბვები უნდა იყვეს ნაკლები კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობაზე

$$\frac{N}{A_n} \le \sigma_{cr} \tag{2.68}$$

თუ გავყოფთ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობას მასალის საანგარიშო წინაღობაზე მივიღებთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს:

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{R_y} \Rightarrow \sigma_{cr} = \varphi \cdot R_y \tag{2.69}$$

თუ შევიტანთ (2.69) მე-(2.68)-ში მივიღებთ საშუალო და დიდი მოჭინილობის ღეროების მდგრადობაზე შემოწმების ფორმულას:

$$\frac{N}{A_n} \le \varphi R_y \gamma_c \tag{2.70}$$

φ-ს მნიშვნელობა აიღება დანართი 8-დან ღეროს მოჭინილობასა (λ) და ფოლადის საანგარიშო წინაღობასთან (R_y) დამოკიდებულებაში.

2.7. ხლვრული მდგომარეობები და გარეცენტრალურად გაჭიმული და გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება. გარეცენტრალურად გაჭიმული და ხისტი გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების ხლვრული მდგომარეობები განისაზღვრება ხიდვის უნარის მიხედვით (სიმტკიცის პირობით ან პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებით), ხოლო მოჭინილი გარეცენტრალურად შეკუმშულის-მდგრადობის დაკარგვით.

2.7.1. გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება. ღეროზე ღერძული ძალის N და მღუნავი მომენტის M ერთდროულად მოქმედებისას მისი ხიდვის უნარი განისაზღვრება განივი კვეთის ზომებითა და მასალის ხლვრული სიმტკიცით. თუ მღუნავი მომენტი გამოწვეულია დატვირთვის

გარეცენტრალურად მოდებისაგან $M = Ne$ (ნახ. 2.29,ა.), მაშინ ღეროს ეწოდება გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული). თუ მომენტი გამოწვეულია განივი ძალით, მაშინ ღეროს ეწოდება შეკუმშულ-გაღუნული (გაჭიმულ-გაღუნული) (ნახ. 2.29,ბ), ექვივალენტური ექსცენტრისიტეტით $e = M/N$.

მასალის დრეკად არეში მუშაობისას ღეროს განივ კვეთში ძაბვები წარმოადგენენ ცენტრალური კუმშვისაგან გამოწვეულ ძაბვებისა $\sigma_N = N/A$ და ღუნვისაგან გამოწვეულ ძაბვების $\sigma_M = My/I_x$ ჯამს (ნახ. 2.30,ა). კვეთის ყველაზე მეტად შეკუმშული ნაწილის მიერ დენადობის ზღვევისას, ძაბვები იქნება შემოსაზღვრული დენადობის ზღვრით, ხოლო საპირისპირო მხარეს დაიწყებს გაზრდას გამჭიმავი ძაბვები (ნახ. 2.30,ბ).

ზღვრულ მდგომარეობაში ძაბვების ეპიურა იქნება შედგენილი სხვადასხვა სიდიდის ორი მართკუთხედისაგან.

ღუნვისას პლასტიკური სახსრის გაჩენის ანალოგიურ მდგომარეობას (ნახ2.13,გ იხ. ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება) შეესაბამება გარეცენტრალური კუმშვისას (გარეცენტრალური გაჭიმვისას) გაჩენილი პლასტიკური სახსარი. c სიგანის მქონე ეპიურის ორი სხვადასხვა ნიშნა ნაწილები, აწონასწორებენ გარე მომენტს $M = Pa$, დანარჩენი ნაწილები კი ღერძულ ძალას N.

ზოგად შემთხვევაში, როდესაც ელემენტზე მოქმედებს ღერძული N ძალა და მომენტი ორი მიმართულებით M_x და M_y, სიმტკიცის მიხედვით ზღვრული ზიდვის უნარი მოწმდება ფორმულით:

$$\left(\frac{N}{A_n R_y \gamma_c}\right)^n \pm \frac{M_x}{c_x W_{xn,\min} R_y \gamma_c} \pm \frac{M_y}{c_y W_{yn,\min} R_y \gamma_c} \le 1$$

სადაც A_n, $W_{xn,\min}$, $W_{yn,\min}$ არის ღეროს განივი კვეთის ფართობი და წინაღობის შესაბამისი ნეტო მომენტები; c_x, c_y და n კოეფიციენტებია, რომლებიც ითვალისწინებენ მასალის ზიდვის უნარის მარაგს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებისას (ღუნვადი ელემენტების ანალოგიურად იხ. 2.36 ფორმულა).

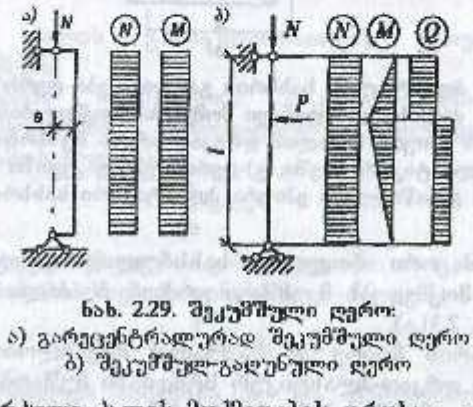
გარეცენტრალურად შეკუმშული (გარეცენტრალურად გაჭიმული) კონსტრუქციის ელემენტებზე დინამიკური ზემოქმედებისას, ასევე კონსტრუქციის ელემენტებისათვის, რომლებიც დამზადებული არიან მაღალი სიმტკიცის ფოლადებისაგან–საანგარიშო წინაღობით $R > 580$ მპა, სიმტკიცის პირობა განისაზღვრება ძაბვების საანგარიშო წინაღობაზე მიღწევით. მათი გაანგარიშება სრულდება მასალის მუშაობის

დრეკად არეში ზემოთმოყვანილი ფორმულით, მხოლოდ უნდა მიეცეთ, რომ $n = c_x = c_y = 1$ ე. ი.

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \le R_y \gamma_c$$

2.7.2. გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობაზე გაანგარიშება. ახლა შევისწავლოთ გარეცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობის საკითხი დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში და განვსაზღვროთ ღეროს გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი გარენტრალური კუმშვისას, ესე იგი, მაშინ როცა მკუმშავი ძალა ელემენტის გეომეტრიული ღერძიდან დაცილებულია e მანძილით. როგორც ვთქვით, ამ დროს კუმშვასთან ერთად ადგილი აქვს განივ ღუნვასაც (ნახ. 2.29,ა). თუ გრძივ ძალასთან ერთად მოქმედებს განივი დატვირთვაც, მაშინ ელემენტი განიცდის კუმშვა-ღუნვის დეფორმაციას (ნახ. 2.29,ბ). განსხვავება ამ ორ დეფორმაციას შორის შემდეგია: პირველ შემთხვევაში, ძალის ექსცენტრული მოქმედებით წარმოშობილი მღუნავი მომენტი $M_M = Ne$ იცვლება N ძალის ცვლილების პროპორციულად. მეორე შემთხვევაში M და N იცვლებიან ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

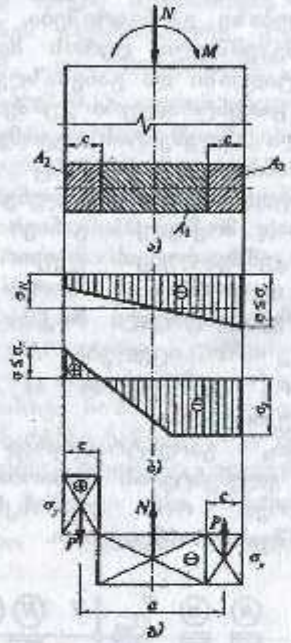
მიუხედავად ამისა, გარენტრალურად შეკუმშული და შეკუმშულ-გაღუნული ელემენტების მუშაობათა შორის განსხვავება იმდენად მცირეა, რომ უკანასკნელს ანგარიშობენ გარეცენტრალური კუმშვის ფორმულებით.



ნახ. 2.29. შეკუმშული ღერო:
ა) გარეცენტრალურად შეკუმშული ღერო
ბ) შეკუმშულ-გაღუნული ღერო

მკუმშავი ღერძული ძალის მოქმედების დროსაც კი რეალურად ყოველთვის არსებობს შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტი. გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მუშაობა დიდი თუ

მცირე ექსცენტრისიტეტით პრინციპულად ერთმანეთისაგან არ განსხვავდება. ექსცენტრისიტეტის და მღუნავი მომენტების დიდი რიცხვითი მნიშვნელობა უფრო ნათლად აისახება არაცენტრალურად შეკუმშული ღეროების მუშაობაზე, მდგრადობის დაკარგვის პროცესი კი ისეთივეა.



ნახ. 2.30. პლასტიკური სახსრის განვითარება ღეროზე ღერძული ძალისა და მღუნავი მომენტის მოქმედებისას:
ა)-ძაბვების ეპიურა მასალის დრეკად არეში მუშაობისას; ბ)-იგივე დრეკად-პლასტიკურ არეში; გ)-ღეროს განივ კვეთში ძაბვებისა და ძალვების განაწილების ეპიურა პლასტიკური სახსრის გაჩენისას.

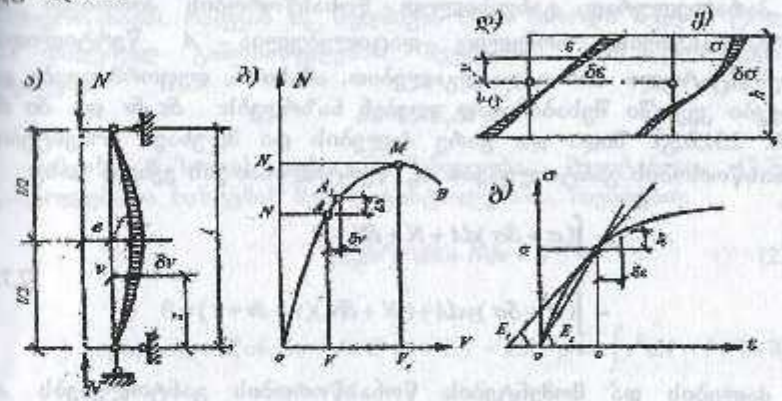
განვიხილოთ ორი ბოლოთი სახსრულად ჩამაგრებული ღერო, რომელზეც მოქმედებს მკუმშავი გრძივი N ძალა e ექსცენტრისიტეტით (ნახ. 2.31,ა).

ღერო არის მცირე ან საშუალო მოქნილობის, რაც განაპირობებს მის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მუშაობას.

მომენტის მოქმედების სიბრტყეში ღეროს გაღუნვა იწყება მკუმშავი ძალის მოქმედების საწყისი მომენტიდან, ამიტომ მის გაანგარიშებას ვახდენთ დეფორმირებული სქემის მიხედვით.

2.31-ბ) ნახაზზე ნაჩვენებია დამოკიდებულება N მკუმშავ ძალასა და ν ჩადუნვას შორის OMB დიაგრამის სახით. დიაგრამის აღმავალი შტო ახასიათებს ელემენტის მდგრად წონასწორობას, დაღმავალი შტო-არამდგრად მდგომარეობას.

როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ელემენტის ზიდვის უნარი ტოლია მკუმშავი ძალის N-ის იმ მაქსიმალური მნიშვნელობისა, რომელიც შეუძლია აიტანოს ღერომ ისე, რომ არ დაკარგოს მდგრადობა.



ნახ. 2.31. გარეცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მუშაობა
ა)-საანგარიშო სქემა; ბ)-წონასწორული მდგომარეობის მრუდი; გ)-მასალის მუშაობის დიაგრამა დ)-დეფორმაციის ეპიურა ე)-ძაბვების ეპიურა.

კრიტიკული ძალის განსაზღვრისათვის ვითვალისწინებთ ზოგიერთ დაშვებებს:

გადაადგილებები ჩავთვალოთ საკმაოდ მცირედ, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვიყენოთ გაღუნული წერის მიახლოებითი გამოსახულება:

$$\frac{1}{\rho} = -\nu'' \tag{2.71}$$

ფარდობითი დეფორმაციები განივ კვეთში ε განისაზღვრება ბრტყელი კვეთების ჰიპოთეზის თანახმად.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \frac{1}{\rho} y = \varepsilon_0 - \nu'' y; \tag{2.72}$$

კავშირი ნორმალურ ძაბვებსა σ და ფარდობით დეფორმაციებს ε შორის განისაზღვრება დამოკიდებულებით:

$$\sigma = \varepsilon E \tag{2.73}$$

კრიტიკული ძალის დადგენისათვის განვიხილოთ წონასწორობის პირობა *OMB* მრუდის *A* წერტილში კვეთში მოქმედი შიდა და გარე ძალებისა და შიდა და გარე მღუნავი მომენტებისათვის, რომელთაც ექნებათ სახე:

$$-\int_A \sigma dA + N = 0 \qquad -\int_A \sigma y dA + N(v+e) = 0 \tag{2.74}$$

პარალელურად განვიხილოთ წონასწორობის პირობები A_1 წერტილისათვის, რომელიც დაცილებულია *A* წერტილიდან ელემენტარული δv გადაადგილებით. ამასთან, დეფორმაციები და ძაბვები კვეთში შესაბამისად იღებენ ნაზრდებს: $\delta\varepsilon$ $\delta\sigma$ და $\delta\sigma$ δv (ნახ. 2.31,ბ,გ). შიდა და გარე ძალების და მღუნავი მომენტების წონასწორობის განტოლებებს A_1 წერტილისათვის ექნება სახე:

$$\begin{aligned} &-\int_A (\sigma+\delta\sigma)dA + N + \delta N = 0 \\ &-\int_A (\sigma+\delta\sigma)ydA + (N+\delta N)(v+\delta v+e) = 0 \end{aligned} \tag{2.75}$$

ძალების და მომენტების წონასწორობის განტოლებებს A_1 წერტილისათვის თუ გამოვაკლებთ წონასწორობის გატოლებებს *A* წერტილისათვის და მიღებული შედეგიდან გამოვრიცხავთ მეორე რიგის უსასრულოდ მცირე სიდიდეებს $(\delta N\delta v) = 0$, მივიღებთ წონასწორობის პირობას ნაზრდებისათვის.

$$-\int_A \delta\sigma dA + \delta N = 0 \qquad -\int_A \delta\sigma y dA + N\delta v + \delta N(v+e) = 0 \tag{2.76}$$

მიღებული განტოლებები მართებულია *OMB* მრუდის (ნახ. 2.31,ბ) ნებისმიერ წერტილში წონასწორობის მდგომარეობის *M* წერტილამდე.

ჩვენთვის პრაქტიკულად საინტერესოს წარმოადგენს ამ განტოლების სახე *OMB* მრუდის მაქსიმალური წერტილისათვის.

M წერტილის უსასრულოდ მცირე სიახლოვეში მკუმშავი ძალა მუდმივი სიდიდეა, რის გამოც გვაქვს $(\delta N = 0)$, ამის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$-\int_A \delta\sigma dA = 0 \qquad -\int_A \delta\sigma y dA + N\delta v = 0 \tag{2.77}$$

მასალის მუშაობის დიაგრამიდან გვაქვს:

$$\delta\sigma = \delta\varepsilon \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_t \delta\varepsilon \tag{2.78}$$

სადაც E_t არის დეროს მასალის მუშაობის დიაგრამის მხები მოდული (ნახ. 2.31,გ)

თუ განვიხილავთ (2.72) განტოლებას ნაზრდებში და $\delta\varepsilon_0$-ს გამოვრიცხავთ, რადგან ε_0 მუდმივია მისი ნაზრდი ნულის ტოლია და მიღებულ გამოსახულებას შევიტანთ (2.78) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$\delta\sigma = -E_t \delta v'' y \tag{2.79}$$

ძაბვის ნაზრდის ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (2.77)-ე განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\int_A E_t \delta v'' y^2 dA + N\delta v = 0 \tag{2.80}$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $E_t I = EI_t$ და $\int_A y^2 dA = I$, მაშინ

$$EI_t \delta v'' + N\delta v = 0 \tag{2.81}$$

სადაც I_t არის დაჭანილი განივი კვეთის ინერციის მომენტი მხები მოდულის გათვალისწინებით, მისი საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ.

2.81 განტოლების ამონახსნი ჩაიწერება ასე:

$$v = f \sin\frac{\pi z}{l} \tag{2.82}$$

ამ ამონახსნის გათვალისწინებით (2.81) ფორმულიდან მიიღება:

$$N_u = \frac{\pi^2 EI_t}{l^2} \tag{2.83}$$

მივიღეთ კრიტიკული ძალის გამოსახულება E_t მხები მოდულის მიხედვით. ასევე ტოლობის მიღება შეიძლება მკვეთი დრეკადობის მოდულის შემთხვევაში. ამისათვის განვიხილოთ (2.74) განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლება (2.73)-ის გათვალისწინებით, მაშინ დრეკადი წირის განტოლებას ექნება სახე:

$$EI_{ef}v'' + N(v+e) = 0 \qquad (2.84)$$

სადაც $I_{ef} = M/E\rho$ არის დაყვანილი ღერძი კვეთის ინერციის მომენტი მკვეთი მოდულის გათვალისწინებით მისი საკუთარი ცენტრალური ღერძის მიმართ $(E_s I = EI_{ef})$

თუ გაგაწარმოებთ (2.82) განტოლებას ორჯერ და შევიტანთ (2.84)-ში მივიღებთ:

$$-\frac{\pi^2}{l^2} f \sin\frac{\pi}{l} z + k^2 f \sin\frac{\pi}{l} z = -k^2 e; \qquad (2.85)$$

აქ $k^2 = \frac{N}{E_s I}$

$$-\frac{\pi^2}{l^2} f \sin\frac{\pi}{l} z = k^2 f \sin\frac{\pi}{l} z + k^2 e; \qquad (2.86)$$

როცა $z = \frac{l}{2}$ მაშინ (2.86) გადაიწერება ასე

$$\frac{\pi^2}{l^2} f = \frac{N}{E_s I} f + \frac{N}{E_s I} e; \qquad (2.87)$$

აქედან
$$f = \frac{Nl^2}{\pi^2 E_s I} f + \frac{Nl^2}{\pi^2 E_s I} e \qquad (2.88)$$

ვიცით რომ, $E_s I = EI_{ef} \Rightarrow \frac{\pi^2 E_s I}{l^2} = N_{ef}$

ამიტომ (2.88) გადაიწერება ასე:

$$f = \frac{N}{N_{ef}} f + \frac{N}{N_{ef}} e \Rightarrow f\left(1 - \frac{N}{N_{ef}}\right) = \frac{Ne}{N_{ef}} \qquad (2.89)$$

$$f = \frac{Ne}{N_{ef}\left(1 - \frac{N}{N_{ef}}\right)} = \frac{Ne}{N_{ef} - N} = \frac{e}{\frac{N_{ef}}{N} - 1}; \qquad (2.90)$$

$$f + e = \frac{Ne}{N_{ef} - N} + e \Leftrightarrow f + e = e\left(\frac{N + N_{ef} - N}{N_{ef} - N}\right) \qquad (2.91)$$

$$f + e = \frac{Ne}{1 - \frac{N}{N_{ef}}} \qquad (2.92)$$

(2.84) განტოლების ამოხსნას (2.82) განტოლების გათვალისწინებით OMB მრუდის M წერტილისათვის (ნახ. 2.31.), როცა $v = f$ და $N = N_u$ ექნება სახე:

$$M = N_u(e+f) = \frac{N_u e}{1 - \frac{N_u}{N_{ef}}} \qquad (2.93)$$

სადაც

$$N_{ef} = \frac{\pi^2 EI_{ef}}{l^2}$$

გამომდინარე კრიტიკული ძალებიდან, კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები იქნება:

$$\sigma_t = \frac{\pi^2 E}{\lambda_t^2} \qquad \sigma_{ef} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{ef}^2}$$

$$N_t = \sigma_t A_t \qquad N_{ef} = \sigma_{ef} A_{ef}$$

თუ (2.93) განტოლებაში კრიტიკული ძალების მნიშვნელობების ნაცვლად შევიტანთ კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობებს, მივიღებთ:

$$e + f = \frac{e}{1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_{ef}}} \qquad (2.94)$$

σ_t და σ_{ef} მიღებული ორი ძაბვიდან კრიტიკული ძაბვა მხები მოდულის მიხედვით მივიღოთ დენადობის ზღვრად და დავწეროთ შეკუმშულ-გაღუნული ღეროს ძაბვების გამოსათვლელი ფორმულა:

$$\sigma_y = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N}{A} + \frac{N(e+f)}{W} = \frac{N}{A}\left(1 + \frac{e+f}{r}\right) \qquad (2.95)$$

სადაც $r = W/A$ კვეთის გულის რადიუსია (შემდგომში კვეთის გულის რადიუსი აღნიშნული გვექნება ρ სიმბოლოთი).

აქ ხდება დაშვება იმისა, რომ შეკუმშულ ბოჭკოებში ძაბვების მნიშვნელობა აღწევს დენადობის ზღვარს.

(2.95) განტოლებიდან (2.94)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\sigma_y = \sigma_{cr}\left(1 + \frac{e}{r} \cdot \frac{\sigma_{ef}}{\sigma_{ef} - \sigma_{cr}}\right) \qquad (2.96)$$

რომლის გარდაქმნით σ_{cr}-ის მიმართ მივიღებთ:

$$\sigma_{cr}^2 - \sigma_{cr}\left[\sigma_{ef}\left(1+\frac{e}{r}\right)+\sigma_y\right]+\sigma_y\sigma_{ef}=0 \qquad (2.97)$$

თუ განტოლების ორივე მხარეს გავყოფთ σ_y^2-ზე და გავითვალისწინებთ, რომ $\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y}=\varphi_{ex}$, მივიღებთ:

$$\varphi_{ex}^2 - \varphi_{ex}\left[\frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y}\left(1+\frac{e}{r}\right)+1\right]+\frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y}=0 \qquad (2.98)$$

მივიღეთ კვადრატული განტოლება φ_{ex}-ის მიმართ, რომლის ამონახსნს აქვს სახე:

$$\varphi_{ex}=\frac{\frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y}\left(1+\frac{e}{r}\right)+1 \pm \sqrt{\left[\frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y}\left(1+\frac{e}{r}\right)+1\right]^2-\frac{4\sigma_{ef}}{\sigma_y}}}{2} \qquad (2.99)$$

იმისათვის, რომ დავრწმუნდეთ ჩვენი გაანგარიშების სისწორეში, შევამოწმოთ იგი. დავუშვათ, რომ $e=0$, მაშინ ადგილი უნდა ჰქონდეს ცენტრალურ კუმშვას. მართლაც, როცა $e=0$

$$\varphi_1=\frac{\sigma_{ef}}{\sigma_y} \qquad \varphi_2=1$$

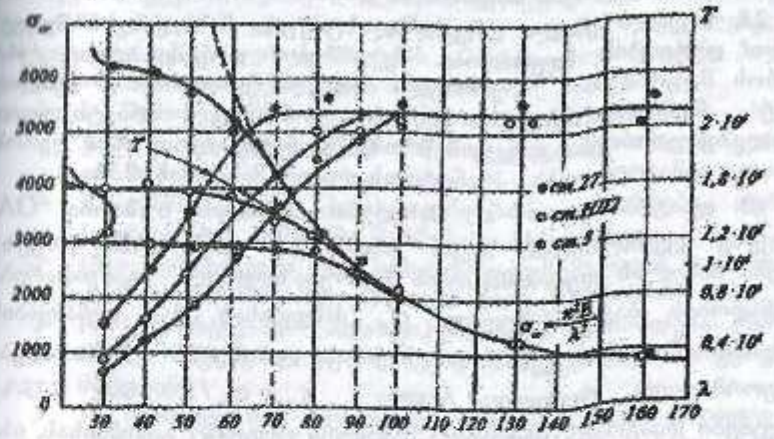
ესე იგი, პირველი ამონახსნის მიხედვით გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი განისაზღვრება ზუსტად ისევე, როგორც ცენტრალური კუმშვისას– $\varphi_1=\sigma_{ef}/\sigma_y$. მეორე ამონახსნის მიხედვით $\varphi_2=1$ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი 1-ის ტოლია აბსოლუტურად ხისტი ღეროებისათვის, რომელთა მოქნილობა $\lambda=0$

2.32 ნახაზზე მოცემულია სტელმახის, σ-ს და λ-ს დამოკიდებულების, ექსპერიმენტული დიაგრამები სხვადასხვა ფოლადებისათვის.

I-ლი დიაგრამის მიხედვით, ელემენტის მდგრადობის კარგვა ხდება პროპორციულობის ზღვრის ფარგლებში. ეს დამახასიათებელია ღეროებისათვის, რომელთა მოქნილობა λ ძალიან დიდია $(\lambda>100)$ ამ დროს კრიტიკული ძალა და ძაბვა განისაზღვრება ეილერის ფორმულის მიხედვით.

მე-2, მე-3 დიაგრამების მიხედვით მდგრადობის კარგვა ხდება მასალის მუშაობის დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში, ე. ი. პროპორციულობის ზღვრის გარეთ და დენადობის ზღვრამდე.

სწორედ ამ სტადიას შეეხებოდა ჩვენს მიერ ამ პარაგრაფში განხილული საკითხი.



ნახ. 2.32. σ და λ-ს დამოკიდებულების ექსპერიმენტული დიაგრამები სხვადასხვა ფოლადებისათვის

2.7.3. **გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობის შემოწმება.** გარეცენტალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობაზე შემოწმება ხდება ფორმულით

$$\frac{N}{\varphi_{ex}A}\le R\gamma \qquad (2.100)$$

სადაც, $\varphi_{ex}=\frac{\sigma_{cr,ex}}{R}$ საანგარიშო წინაღობის სემამცირებელი კოეფიციენტია გარეცენტრალური კუმშვისას. ის განისაზღვრება პირობითი მოქნილობისა $\bar{\lambda}=\lambda\sqrt{R/E}$ და დაყვანილი ექსცენტრისიტეტით m_1, რომელიც თავის მხრივ ტოლია

$$m_1=\eta\cdot m$$

აქ η არის კეთის ფორმის გავლენის კოეფიციენტი და აიღება დანართი 11-დან; $m=eA/W_c$ არის ფარდობითი ექსცენტრისიტეტი (ექსცენტრისიტეტის დამოკიდებულება კვეთის გულის რადიუსთან); W_c არის ყველაზე მეტად შეკუმშული ბოჭკოების წინაღობის მომენტი; $e=M/N$ -რომალური ძალის მოდების ექსცენტრისიტეტი; M -საანგარიშო მომენტი.

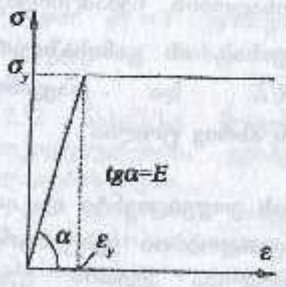
φ_{ex}-ის მნიშვნელობები მოყვანილია დანართი 9-ში.

გამჭოლკედლიან სვეტებში η არ გაითვალისწინება, ამიტომ φ_e-ის მნიშვნელობები მოყვანილია დანართი 10-ში.

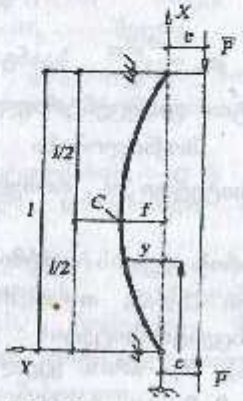
2.8. იდეალიზებული დრეკად-პლასტიკური მასალისგან შედგენილი ღეროების მდგრადობა. შეკუმშული დრეკად-პლასტიკური ღეროს მდგრადობის თეორიული მოდელი ეყრდნობა: ე. ხვალის მიერ შემოთავაზებულ იდეას, რომელიც პრაქტიკულად რეალიზებული იქნა კ. მეკეის შრომებში. ჩავთვალოთ, რომ ღეროს მასალა აკმაყოფილებს პრანდტლის დიაგრამას, ნახ. 2.33.

ამ დიაგრამის $(\sigma-\varepsilon)$ მიხედვით მასალის მუშაობა OA წრფეზე ექვემდებარება ჰუკის კანონს $(\sigma=\varepsilon E)$; AB წრფეზე ხდება მასალის დეფორმაციების შემოუსაზღვრელი განვითარება (დენადობის ბაქანი) მუდმივი σ_y ძაბვებისას, მას დენადობის ზღვარი ეწოდება დენადობის ბაქანის დასაწყისი ხასიათდება დეფორმაციით, რომელიც ტოლია $\varepsilon_y=\sigma_y/E$. ნახ. 2.33-ზე ნაჩვენები დიაგრამა ერთნაირია მასალის, როგორც გაჭიმვისას, ისე კუმშვისას.

ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ნორმებში ღეროს ძირითად საანგარიშო მოდელად ითვლება სახსრულად დაყრდნობილი ექსცენტრულად შეკუმშული ღერო ნახ. 2.34. კუმშვადი ძალები P' მოდებულია ერთნაირი e ექსცენტრისიტეტებით, ღეროს სიგრძე არის l. ღეროს შუაში ჩაღუნვა აღნიშნულია $f-ით$.



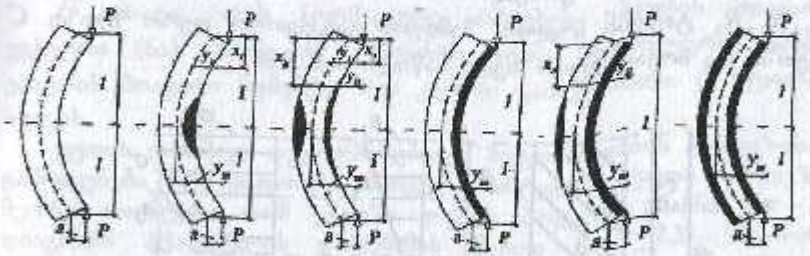
ნახ. 2.33. პრანდტლის დიაგრამა



ნახ. 2.34. სახსრულად დაყრდნობილი ექსცენტრულად შეკუმშული ღეროს საანგარიშო სქემა

თავდაპირველად განვიხილოთ მუდმივი (მთლიანკედლიანი) მართკუთხა კვეთის მქონე დრეკად-პლასტიკური ღეროს დაძაბულ-დეფორმირებული კვეთი. აღმოჩნდა, რომ აუცილებელია განხილული იქნას ღეროს სიგრძის გასწვრივ პლასტიკური ზონის განვითარების ხუთი შემთხვევა ნახ. 2.35.

- I შემთხვევაში ღეროს მასალა აკმაყოფილებს ჰუკის კანონს. ამ შემთხვევაში ღეროს მდგრადობის დაკარგვა არ მოხდება.
- II – შემთხვევაში პლასტიკური ზონა ვითარდება ღეროს სიგრძის შუა ნაწილში შეზნექილი მხრიდან.
- III – შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციები ვითარდება ღეროს სიგრძის შუა ნაწილში ორივე მხრიდან.
- IV- შემთხვევაში პლასტიკური ზონა ვითარდება ღეროს მთელ სიგრძეზე უფრო მეტად შეკუმშული ბოჭკოების მხრიდან.
- V- შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციები ვრცელდება ღეროს მთელ სიგრძეზე შეზნექილი მხრიდან და ღეროს შუა ნაწილში გამობურცული მხრიდან.
- VI- შემთხვევაში პლასტიკური დეფორმაციები განვითარება ხდება ღეროს მთელ სიგრძეზე, როგორც ამოზნექილი მხრიდან, ისე შეზნექილი მხრიდან. ნახ. 2.35.



ნახ. 2.35. პლასტიკური ზონის განვითარების ხუთი შემთხვევა

კრიტიკული დამოკიდებულების ველზე "სიგრძე-ძალა-ექსცენტრისიტეტი" ყოველი შემთხვევა შეესაბამება აღნიშნული სიდიდეების l, P, e განსაზღვრულ დამოკიდებულებას.

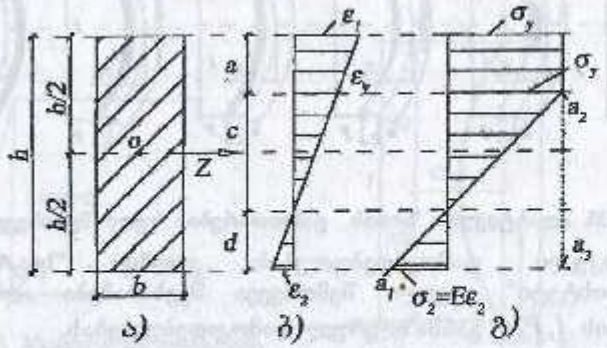
I–შემთხვევა-დრეკადი გარეცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა განხილული გვაქვს ადრე, აღვნიშნავთ, რომ დრეკადი ღერო მდგრადობას კარგავს, მხოლოდ ცენტრალური კუმშვისას, ხოლო გარეცენტრალური კუმშვისას დრეკადი ღერო მდგრადობას არ კარგავს.

დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში (II-VI შემთხვევა) ღეროს მდგრადობის ამოცანის ანალიზური გადაწყვეტა წარმოადგენს რთულ მათემატიკურ დამოკიდებულებას, რადგან აუცილებელია პლასტიკურობის ყოველ უბანზე მოხდეს დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება და გათვალისწინებული იქნას უბნების ერთმანეთთან შეუღლების პირობები. ამიტომ დრეკად-პლასტიკური მდგრადობის ამოცანებში ფართოდ გამოიყენება გაღუნული ღეროს ღერძის განტოლების მიახლოებითი წარმოდგენა (აპროქსიმაცია), რომელიმე შესაბამისი მრუდით, ასევე ხდება ამ მიახლოებითი წარმოდგენის დასაბუთება.

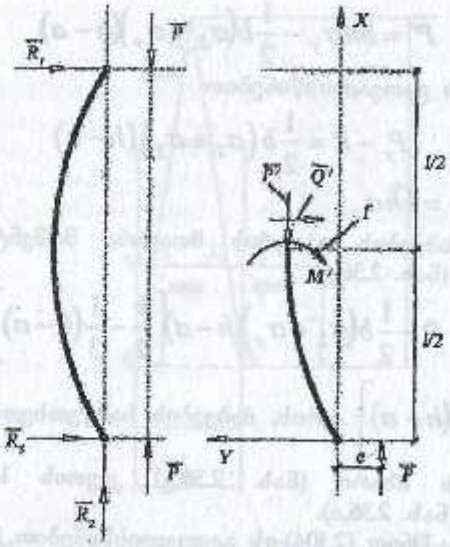
ქვემოთ მოყვანილია ერთ-ერთი ასეთი მიახლოებითი ამოხსნა, რომელიც გამოიყენება პრაქტიკაში. კონსტრუქციების მდგრადობაზე გაანგარიშების ნორმების შედგენისას, მიახლოებით ამოხსნაში, აღმოჩნდა, რომ შესაძლებელია განხილული იქნას მხოლოდ ერთი შუა კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობა. დაუშვათ, რომ ეს კვეთი მართკუთხაა.

განვიხილოთ ცალმხრივი დენადობის შემთხვევა, რომელიც ჩნდება ღეროს შუა კვეთში. ნახ. 2.36.

ბმებისაგან გათავისუფლების პრინციპის საფუძველზე თავდაპირველად მოვხსნათ სისტემაზე მოდებული ბმები და მათ ნაცვლად მოვდოთ საყრდენთა რეაქციები ნახ. 2.37. წონასწორობის 3 განტოლებიდან ვპოულობთ, რომ საყრდენთა რეაქციები R_1, R_2, R_3 ტოლია ნულის. შემდგომ გავკვეთოთ ღერო შუაზე C კვეთში და მოვაცილოთ ზედა ნაწილი ნახ. 2.38.



ნახ. 2.36. კვეთში ფარდობითი დეფორმაციებისა და ძაბვების განაწილება ცალმხრივი დენადობის შემთხვევაში



ნახ. 2.37. ღეროზე საყრდენი რეაქციების მოდება

ნახ. 2.38.ბ. ღეროს გაკვეთა

P' ძალა არის ნორმალური ძაბვების ეპიურის მთავარი ვექტორი (ნახ 2.36); M' მომენტი არის ნორმალური ძაბვის ეპიურის მთავარი მომენტი. შუა კვეთში განიცდის ძალა Q' ტოლია ნულის.

კვეთის დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის ანალიზისას გამოიყენება ორი ჰიპოთეზა. პირველი: ბრტყელ კვეთთა ჰიპოთეზა; მეორე: ითვლება, რომ კვეთში ყოველ ბოჭკოს გააჩნია $\sigma - \varepsilon$ დიაგრამა პრანდტლის დიაგრამის სახით ნახ. 2.33. ამ ორი ჰიპოთეზის საფუძველზე მოინახება მთავარი ვექტორის $\overline{P'}$ და მთავარი მომენტის $\overline{M'}$-ის სიდიდეები ნახ. 2.38.

ვწერთ შუა კვეთით მოცილებული ნაწყვეტი ღეროს წონასწორობის ორ განტოლებას (ნახ. 2.38).

$$P = P'; \tag{2.101}$$

$$M = P(e+f) = -M' \tag{2.102}$$

ნორმალური ძაბვების ეპიურის მთავარი ვექტორის $\overline{P'}$-ის მოდული ტოლია (ნახ. 2.36,გ)

$$\overline{P'} = bh\sigma_y - \frac{1}{2}b(\sigma_2 + \sigma_y)(h-a) \qquad (2.103)$$

აქედან (2.101)-ის გათვალისწინებით

$$P_y - P = \frac{1}{2}b(\sigma_2 + \sigma_y)(h-a) \qquad (2.104)$$

სადაც $P_y = bh\sigma_y$

ნორმალური ძაბვების ეპიურის მთავარი მომენტი (2.103)-ის მიხედვით ტოლია, (ნახ. 2.36,გ)

$$M' = P_y \cdot 0 - \frac{1}{2}b(\sigma_2 + \sigma_y)(h-a)\left[\frac{h}{2} - \frac{1}{3}(h-a)\right], \qquad (2.105)$$

სადაც $\left[\frac{h}{2} - \frac{1}{3}(h-a)\right]$ არის, ძაბვების სამკუთხედის a_1, a_2, a_3 ტოლქმედი ძალის მხარი (ნახ. 2.36,გ) კვეთის სიმძიმის O ცენტრის მიმართ (ნახ. 2.36,ა).

(2.105)-ის გარდაქმნით (2.104)-ის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$M' = -(P_y - P)\left(\frac{h+2a}{6}\right) \qquad (2.106)$$

(2.106)-ის (2.102)-ში ჩასმით ვპოულობთ:

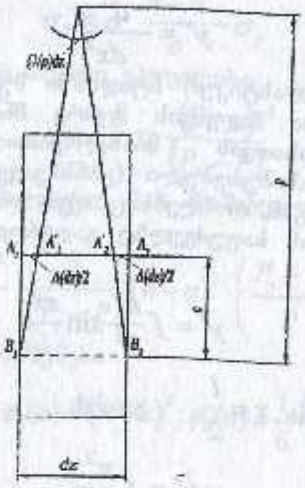
$$P(e+f) = (P_y - P)\frac{h+2a}{6} \qquad (2.107)$$

აქედან განისაზღვრება ღეროს შუა კვეთში ჩაღუნვა:

$$f = \frac{P_y - P}{P} \cdot \frac{h+2a}{6} - e \qquad (2.108)$$

მეორეს მხრივ ეს ჩაღუნვა შეიძლება განისაზღვროს შუა კვეთის დეფორმირებული მდგომარეობის პარამეტრებით (ნახ. 2.36,ბ). ამისათვის გამოვიყენოთ ორი ჰიპოთეზა. პირველი მათგანი, ბრტყელ კვეთთა ჰიპოთეზა, აღნიშნული გვქონდა ზემოთ. მისი საშუალებით ღეროს სიმრუდე განსახილველ კვეთში გამოითვლება შემდეგნაირად:

ამოვჭრათ ღეროდან ელემენტი, რომლის სახე დეფორმაციამდე და დეფორმაციის შემდეგ ნაჩვენებია ნახ. 2.39-ზე. განვიხილოთ ნეიტრალური ღერძის პარალელური და მისგან c მანძილზე განლაგებული (A_1A_2) ბოჭკო, ამასთან



ნახ. 2.39. გაღუნული ღეროდან ამოჭრილი ელემენტარული უბანი

$$A_1A_2 = dz;\quad A_1'A_2' = dz - \Delta(dz);\quad \varepsilon_z = \Delta(dz)/dz,$$
$$\Delta(dz) = \varepsilon_z \cdot dz;\quad A_1'A_2' = dz - \varepsilon_z \cdot dz = dz(1-\varepsilon_z);$$

სამკუთხედების B_1OB_2 და $A_1'OA_2'$ მსგავსებიდან მივიღებთ:

$$\frac{A_1'A_2'}{dz} = \frac{\rho}{\rho - c}. \qquad (2.109)$$

როცა $\varepsilon_z = \varepsilon_y$: $1 - \varepsilon_y = 1 - \frac{c}{\rho}$, $\varepsilon_y = \frac{c}{\rho}$, $\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_y}{c}$; $\chi = \frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_y}{c}$ (1.110)

სადაც, ρ -გაღუნული ღეროს ნეიტრალური შრის სიმრუდის რადიუსია; χ -სიმრუდე.

მეორე ჰიპოთეზა გულისხმობს ღეროს გაღუნულ წირის განტოლების სინუსოიდასთან აპროქსიმაციას

$$y = f\sin\frac{\pi x}{l} \qquad (2.111)$$

(2.111) განტოლების გამოყენებით იპოვება გაღუნული ღერძის სიმრუდე, ამასთან გამოიყენება სიმრუდისათვის მიახლოებითი მნიშვნელობა

$$y'' = -\frac{d^2y}{dx^2} \qquad (2.112)$$

ღეროს დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში მუშაობისას მდგრადობის დაკარგვა ხდება ჩაღუნვის მცირე მნიშვნელობებისას, ამ მიზეზით სიმრუდისათვის მიახლოებითი გამოსახულების გამოყენება არის დასაბუთებული (განსხვავებით დრეკად არეში მომუშავე ღეროებისაგან, რომლებსაც აქვთ დიდი ჩაღუნვები).

(2.111) და (2.112)-ის საფუძველზე გაღუნული ღერძის სიმრუდე ტოლია

$$y'' = f\frac{\pi^2}{l^2}\sin\frac{\pi x}{l} \qquad (2.113)$$

შუა კვეთში, როცა $x = \frac{l}{2}$ გვაქვს

$$y'' = f\frac{\pi^2}{l^2} \qquad (2.114)$$

თუ შევადარებთ (2.110) და (2.114) მივიღებთ

$$f\frac{\pi^2}{l^2} = \frac{\varepsilon_y}{c}$$

აქედან ვპოულობთ ჩაღუნვის მნიშვნელობას

$$f = l^2\frac{\varepsilon_y}{\pi^2}\frac{1}{c} \qquad (2.115)$$

ეს სიდიდე ჩავსვათ წონასწორობის (2.108) განტოლებაში

$$l^2\cdot\frac{\varepsilon_y}{\pi^2\cdot c} = \frac{P_y - P}{P}\cdot\frac{h+2a}{6} - e, \qquad (2.116)$$

საიდანაც ვპოულობთ წონასწორობის პირობების დამაკმაყოფილებელ ღერძის სიგრძეს.

$$l^2 = \left(\frac{P_y - P}{P}\cdot\frac{h+2a}{6} - e\right)\frac{\pi^2}{\varepsilon_y}c \qquad (2.117)$$

ნახ. 2.36-ზე ნაჩვენები მსგავსი სამკუთხედებიდან ვწერთ:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_y} = \frac{d}{c} = \frac{h-a-c}{c} = \frac{h-a}{c} - 1,$$

$$\sigma_2 = \sigma_y\frac{h-a}{c} - \sigma_y \qquad (2.118)$$

(2.118)-ის (2.114)-ში ჩასმით ვპოულობთ:

$$c = \frac{1}{2}b\sigma_y\frac{(h-a)^2}{(P_y - P)} \qquad (2.119)$$

(2.119)-დან განსაზღვრულ c-ს მნიშვნელობას ვსვამთ (2.117)-ში, გვექნება

$$l^2 = \frac{1}{2}\cdot b\sigma_y\frac{\pi^2}{\varepsilon_y}\cdot\frac{1}{(P_y - P)}(h-a)^2\cdot\left(\frac{P_y - P}{P}\cdot\frac{h+2a}{6} - e\right) \qquad (2.120)$$

შემოვიტანოთ აღნიშვნები

$$k = \frac{1}{2}bE\frac{\pi^2}{(P_y - P)};\varphi_1(a) = (h-a)^2;\varphi_2(a) = \frac{1}{6}\frac{P_y - P}{P}(h+2a) - e \qquad (2.121)$$

აქედან

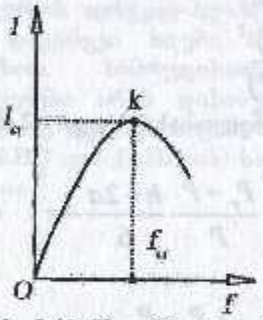
$$l^2 = k\varphi_1(a)\varphi_2(a) \qquad (2.122)$$

(2.122), (2.102) და (2.103) გამოსახულებებით ისაზღვრება ღეროს წონასწორული მდგომარეობა. ამოცანა შედგება მდგრადობის დაკარგვის პირობების მოძებნაში. 2.40 ნახაზზე 1 წრფით წარმოდგენილია დრეკად-პლასტიკური ღეროსთვის „დატვირთვა-ჩაღუნვის" დიაგრამა.

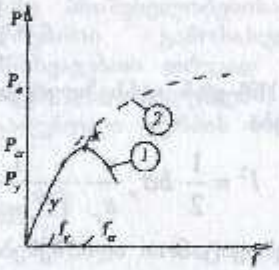
მრუდი 1-ს მაქსიმუმის წერტილი შეესაბამება დრეკად-პლასტიკურ ღეროს კრიტიკულ მდგომარეობას-მდგრადობის დაკარგვის მომენტში. ნახ. 2.40-ის მე 2-ე წრფე ახასიათებს დრეკად გარეცენტრალურად შეკუმშულ ღეროს, რომელსაც არ აქვს მდგრადობის დაკარგვა. y წერტილში, რომელიც ხასიათდება P_y ძალით, დრეკადი ღეროს ყველაზე მეტად დატვირთულ ბოჭკოში ძაბვები აღწევენ დენადობის ზღვარს σ_y (მდგრადი სიმტკიცე) ნახ. 2.33. განსხვავება P_y და P_{cr} ძალებს შორის არის არსებითი. კრიტიკულ ძალად P_y-ძალის გამოყენებისას, ხდება ელემენტის ზიდვის უნარის არსებითი გამოუყენებლობა.

მდგრადობის ამოცანაში 1 მრუდის განხილვა, სამეცნიერო ლიტერატურაში „მეორე გვარის მდგრადობის თეორიის" სახელითაა ცნობილი. კრიტიკული ძალა P_{cr} ხასიათდება კრიტიკული ჩაღუნვით f_{cr}. ამ ჩაღუნვის სიდიდე მცირეა ღეროს l

სიგრძესთან შედარებით და f_{cr}-ის პოვნისას დასაბუთებულია სიმრუდისათვის მიახლოებითი მნიშვნელობის გამოყენება



ნახ. 2.41. "სიგრძე ჩაღუნვის მრუდი"



ნახ. 2.40. "დატვირთვა-ჩაღუნვის" დიაგრამა

ნახ. 2.40-ზე წირი 1-ს ეწოდება ღეროს მდგომარეობის მრუდი. ღერო oyk წრფის მიხედვით დატვირთვისას იმყოფება მდგრად მდგომარეობაში. მაქსიმალურ-k წერტილში ხდება დრეკად-პლასტიკური ღეროს მდგრადობის დაკარგვა (პუანკარეს ხდერული წერტილი). k-წერტილის შემდგომ ღერო ხდება არამდგრადი.

მდგრადობის დაკარგვის ანალიზური კრიტერიუმი ჩაიწერება ასეთი სახით:

$$dP/df = 0 \qquad (2.123)$$

ამასთან ღეროს სიგრძე l ითვლება ფიქსირებულად.

ღეროს კრიტიკული მდგომარეობის პოვნის ამოცანა შეიძლება დასმული იქნას სხვაგვარადაც. ფიქსირდება P-ძალის სიდიდე. ამ შემთხვევაში მრუდს „სიგრძე-ჩაღუნვა"-ს აქვს ნახ. 2.41-ზე ნაჩვენები სახე. ასეთი შემთხვევისათვის მდგრადობის დაკარგვის პირობას აქვს სახე

$$dl/df = 0 \qquad (2.124)$$

აღსანიშნავია, რომ კრიტიკული მდგომარეობის პირობების გამოყენებას (2.123), (2.124) ტოლობების სახით მივყავართ ერთი და იგივე შედეგებამდე. თუ ღეროს სიგრძე გამოსახულია, რომელიღაც a-პარამეტრით, მაშინ მდგრადობის დაკარგვის პირობები ჩაიწერება შემდეგი სახით

$$dl/da = 0 \qquad (2.125)$$

(2.125)-ის საფუძველზე და ღეროს სიგრძის l (2.122) გამოსახულებიდან შეიძლება ჩაიწეროს

$$2l\frac{dl}{da} = k\left(\varphi_1'(a)\cdot\varphi_2(a)+\varphi_1(a)\cdot\varphi_2'(a)\right) \qquad (2.126)$$

აქედან კრიტიკული მდგომარეობის პირობას ექნება სახე

$$\left(\varphi_1'(a)\cdot\varphi_2(a)+\varphi_1(a)\cdot\varphi_2'(a)\right)=0 \qquad (2.127)$$

φ_1' და φ_2' წარმოებულებს ვპოულობთ (2.121)-დან

$$\varphi_1(a)=(h-a)^2;\quad \varphi_1'(a)=-2(h-a);$$
$$\varphi_2(a)=\frac{1}{6}\frac{P_y-P}{P}(h+2a)-e;\quad \varphi_2'(a)=\frac{1}{3}\frac{P_y-P}{P}. \qquad (2.128)$$

შევიტანოთ (2.126) (2.125)-ში და გავამარტივოთ, მივიღებთ:

$$-2(h-a)\left[\frac{1}{6}\cdot\frac{P_y-P}{P}(h+2a)-e\right]+(h-a)^2\frac{1}{3}\cdot\frac{P_y-P}{P}=0,$$
$$(h-a)\left\{-2\left[\frac{1}{6}\cdot\frac{P_y-P}{P}(h+2a)-e\right]+(h-a)\frac{1}{3}\cdot\frac{P_y-P}{P}\right\}=0, \qquad (2.129)$$
$$\frac{1}{3}(h-a)\frac{P_y-P}{P}-\frac{1}{3}(h+2a)\frac{P_y-P}{P}+2e=0,$$
$$-3a\frac{P_y-P}{P}+6e=0,\qquad a\frac{P_y-P}{P}=2e,$$

და ბოლოს

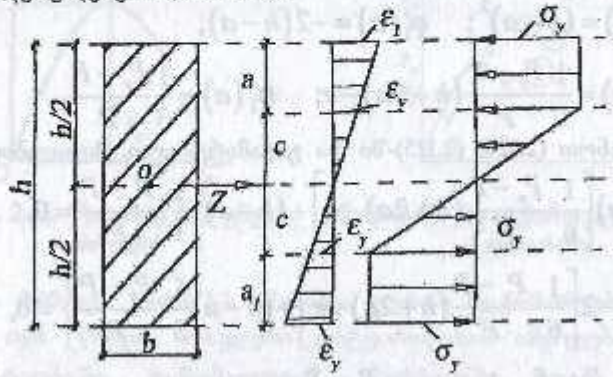
$$a=2e\frac{P}{P_y-P}\quad \text{ან}\quad a_{cr}=2e\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y-\sigma_{cr}}, \qquad (2.130)$$

P-ძალის სიდიდის და e ექსცენტრისიტეტის მოცემული მნიშვნელობისას (2.130) განტოლებიდან განისაზღვრება კრიტიკული პარამეტრის მნიშვნელობა a_{cr} (დენადობის ზონის ზომა ნახ. 2.36,ბ). ეს მნიშვნელობები a_{cr}, P და e ჩაისმება 1.120-ში და იპოვება ღეროს კრიტიკული სიგრძე l_{cr}.

ღეროს კრიტიკულ მდგომარეობას ახასიათებს სამი ერთმანეთთან დაკავშირებული სიდიდეები: e-დატვირთვის მოდების ექსცენტრიტეტი; P-მკუმშავი ძალის სიდიდე; l_{cr}-სიგრძე.

სანჟაროვსკიმ პლასტიკური ზონის საანგარიშო ფორმულა (ჩვენთან-(1.130), ხოლო ლიტ. [7]-ში 5.1.27) მიიღო არა (1.127)-ის მიხედვით, არამედ მცდარი ფორმულით: $(\varphi_1' \cdot \varphi_1 + \varphi_2' \cdot \varphi_2) = 0$.

ანალოგიური სახით გამოიყვანება ღეროს შუა კვეთის ორმხრივი დენადობის შემთხვევაში ანალიზური დამოკიდებულებები (ნახ. 2.42).



ნახ. 2.42. ორმხრივი დენადობის შემთხვევა

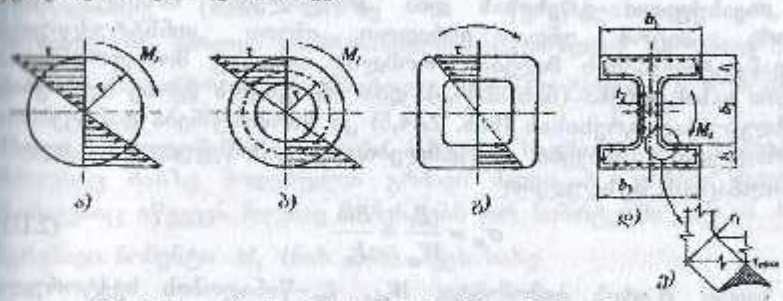
2.9. კონსტრუქციის ელემენტების გრეხაზე მუშაობა. ელემენტები, რომლებიც ყველაზე კარგად მუშაობენ გრეხაზე არიან მთლიანკედლიანი წრიული და მილისებრი ელემენტები (ნახ. 2.43,ა)-დ)).

დაგრეხისას ასეთი ღეროების განივ კვეთში აღიძვრება მხოლოდ მხები ძაბვები τ, რომლებიც აწონასწორებენ გარე მგრეხავ მომენტს M_t:

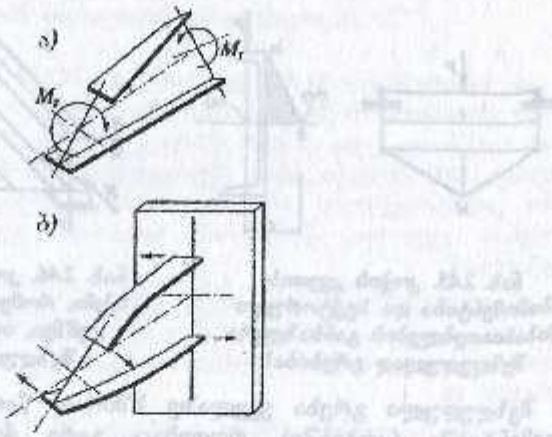
$$\tau_{max} = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t r}{I_t} \qquad (2.131)$$

სადაც, W_t და I_t-წინაღობის მომენტი და ინერციის მომენტი გრეხისას; r-წრიული ღეროს კვეთის რადიუსი ან მილის კედლის გასაშუალოებული რადიუსი. წრიული კვეთისათვის $W \approx 0{,}2d^3$, $I_t \approx 0{,}1d^4$, თხელკედლიანი მილებისათვის $(d/t > 5)$ $W_t \approx 2\pi r^2 t$, $I_t \approx 2\pi r^3 t$.

გახსნილი პროფილის მქონე ღეროების თავისუფალი გრეხისას – ორტესები, შველერები და ა. შ. (ნახ. 2.43 დ, ნახ. 2.44 ა) $I_t = \alpha \sum b_i t_i^3/3$, სადაც $\alpha = 1{,}3$ ორტესებისათვის, 1,12-შველერებისათვის, 1-კუთხოვანებისათვის, 0,5-მოკლეფურცლიანი კუთხოვანებისათვის-0,5, ამასთან r-ად მიიღება კვეთის შემადგენელი ფურცლების უდიდესი სისქე.



ნახ. 2.43. ღეროს გრეხისას ძაბვების განაწილება: ა)–მთლიანკედლიან კვეთში; ბ),გ)–მილოვან კვეთში; დ)–ღია პროფილის (ორტესების) კვეთში; ე)–პროფილის კუთხეებში ძაბვების კონცენტრაცია.



ნახ. 2.44. კოჭის თავისუფალი (ა) და შეზღუდული გრეხა (ბ)

(2.131) ფორმულა არ იძლევა ნახ. 2.43,ე-ზე ნაჩვენებ კუთხეში ძაბვების კონცენტრაციის გამოვლენის საშუალებას. გამოკვლევებით დადგენილია ასეთ კუთხეებში ძაბვების მაქსიმალური მნიშვნელობის სიდიდე

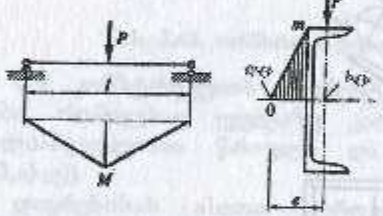
$$\tau_{max} = 1{,}74\tau_0 \sqrt[3]{t/r_1} \qquad (2.132)$$

სადაც r_0-ნომინალური ძაბვა, რომელიც განისაზღვრება (2.131) ფორმულით.

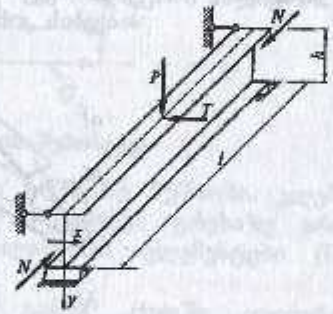
თავისუფალი გრეხისას დია პროფილების სიხისტე არის მცირე, ამიტომ უნდა ვერიდოთ ისეთი კონსტრუქციული გადაწყვეტილებების მიღებას, რომლის დროსაც მოსალოდნელია ასეთი სახის გრეხა (ნახ. 2.44,ა). დია პროფილის მქონე ღეროების შეზღუდულად გრეხისას (ნახ. 2.44,ბ) კი წარმოიქმნება დამატებითი ნორმალური ძაბვები, რომლებიც გამოწვეულია კვეთის დეპლანაციის შეზღუდვით

$$\sigma_\omega = \frac{B}{W_\omega} = \frac{B\omega}{I_\omega} \qquad (2.133)$$

სადაც B არის ბიმომენტი; W_ω, I_ω–წინაღობის სექტორული მომენტი და ინერციის სექტორული მომენტი; ω–სექტორული კოორდინატი.



ნახ. 2.45. კოჭის კვეთის ბიმომენტისა და სექტორული მახასიათებლების განსაზღვრა შეზღუდულად გრეხისას



ნახ. 2.46. კოჭის საანგარიშო სქემა, რომელზეც მოქმედებს კუმშვა, იძიბი ღუნვა და შეზღუდული გრეხა

შეზღუდული გრეხა ყველაზე ხშირად წარმოიქმნება ღუნვად ელემენტებში (კოჭებში), როდესაც გარე ძალების ტოლქმედს გააჩნია ექსცენტრისიტეტი კვეთის ღუნეის ცენტრის მიმართ. არასიმეტრიულ პროფილების (შველერი, ტესებრი, კუთხოვანა და ა. შ.) კვეთებში ღუნვის ცენტრი არ ემთხვევა სიმძიმის ცენტრს. სიმძიმის ცენტრში მოდებული დატვირთვა ღუნვასთან ერთად იწვევს შეზღუდულ გრეხას (ნახ. 2.45).

მგრეხავი მომენტი, რომელიც იწვევს გრეხისაგან გამოწვეულ მხებ ძაბვებს, ტოლია ძალისა და ექსცენტრისიტეტის ნამრავლის: $M_t = Pe$. ბიმომენტი ტოლია მღუნავი მომენტისა და ექსცენტრისიტეტის ნამრავლის: $B = Me$. სექტორული ω

კოორდინატი ტოლია ფიგურის გაორმაგებული ფართობის, რომელიც აიღწერება რადიუს-ვექტორით, ის ამოდის ღუნვის ცენტრიდან და მთავრდება კვეთის კონტურს განსახილველ წერტილამდე (ნახ. 2.45-ზე m წერტილისათვის ω_m-ის მნიშვნელობა ტოლია დაშტრიხული სამკუთხედის გაორმაგებული ფართობისა). ინერციის სექტორული მომენტი ტოლია $I_\omega = \int_A \omega^2 dA$.

ამგვარად, ღეროში ნორმალური ძაბვების საერთო გამოსახულებას, როდესაც მასზე მოდებულია გრძივი ძალა N, განივი ძალები, რომლებიც იწვევენ მღუნავ მომენტებს ორ სიბრტყეში M_x და M_y, მგრეხავი მომენტი M_t (ნახ. 2.46), აქვს სახე

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{I_x} y + \frac{M_y}{I_y} x + \frac{B\omega}{I_\omega} \qquad (2.134)$$

სადაც $M_x = \frac{Pl}{4}$, $M_y = \frac{Tl}{4}$, $B = \frac{M_y h}{2}$.

თავი 3

სორტამენტი

ფოლადის კონსტრუქციები მზადდება სხვადასხვა პროფილის ელემენტებისაგან, რომლებიც მიიღებიან მეტალურგიულ ქარხანაში გაგლინვით (ფოლადის ფურცლები, პროფილური ფოლადი), დაწნეხით (პროფილები ალუმინის შენადნობებისაგან) და დაშეფრვით (თხელკედლიანი პროფილები) იხ. დანართი 16. ყველა ეს ელემენტები გამგლინავი ქარხნებიდან მოდის მზა ნაწარმის სახით.

მეტალურგიული ქარხნიდან მიღებულ ლითონის ელემენტთა ტიპების კატალოგს სორტამენტი ეწოდება. სორტამენტში მოცემულია პროფილების განივკვეთების გეომეტრიული ზომები და მათი გეომეტრიული მახასიათებლები.

ქარხნები უშვებენ სხვადასხვა სახის ფოლადის ფურცლებს და პროფილოვან ფოლადებს, რომლებსაც ქვემოთ განვიხილავთ.

3.1. ფურცლოვანი ფოლადები (ნახ. 3.1, ა)

ა) სქელფურცლოვანი ფოლადები (ГОСТ 5681-57*). იგლინება ცხელ მდგომარეობაში, რის შემდეგ ნაპირები ჩამოიჭრება. ფურცლის სისქე იცვლება (4÷160) მმ-მდე, ფურცლის სიგანე-6000 მმ-მდე, სიგრძე 12000 მმ-მდე. ასეთი ფურცლებისაგან მზადდება ფურცლოვანი კონსტრუქციები (რეზერვუარები, აირსაცავები, შედგენილი კოჭების კედლები, წამწვების საკვანძო ფურცლები და სხვა დეტალები).

ბ) თხელფურცლოვანი ფოლადები (ГОСТ 3680-57*). იგლინება როგორც ცხელ, ისე ცივ მდგომარეობაში. ცივადნაგლინ ფურცლებს აქვს (0,2÷4) მმ-მდე სისქე, სიგრძე 5000 მმ-მდე, სიგანე 600÷2000 მმ.

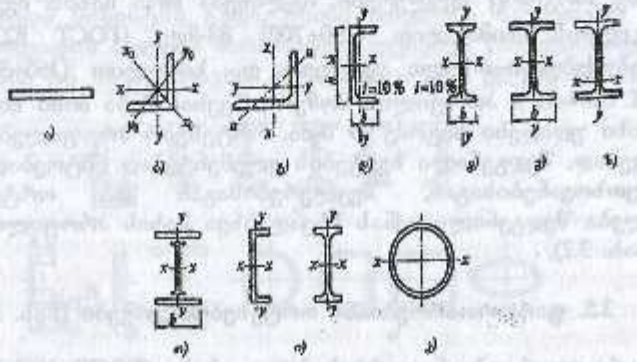
ცხლად ნაგლინის სისქე იცვლება (0,5÷14) მმ-მდე, სიგრძე — 4000 მმ-მდე, სიგანე (500÷1400) მმ-მდე. ასეთი ფურცლები ძირითადად გამოიყენება დატვიფრული პროფილებისა და რეზერვუარის სახურავებისათვის.

გ) უნივერსალური ფურცლოვანი ფოლადები (ГОСТ 82-57*). ასეთი ფოლადები იგლინება სპეციალურ საგლინავ დაზგებში, ისე რომ აქვს სწორი ნაპირები. სისქე იცვლება (4÷60) მმ-მდე, სიგანე (160÷1050) მმ მდე, სიგრძე-18000 მმ-მდე. უნივერსალური ფურცლოვანი ფოლადების გამოყენებით მცირდება კონსტრუქციის დამზადების შრომატევადობა, რადგან არ მოითხოვს ნაპირების

ჩამოჭრასა და გასწორებას. ასეთი ფურცლებისაგან მზადდება: შედგენილი, შედუღებული კოჭები და სვეტები, წამწის საკვანძო ფურცლები და სხვ.

3.2. კუთხოვანები (ნახ. 3.1, ბ,გ)

ფოლადის კუთხოვანები იგლინება ორი სახის: თანაბართაროიანი (ГОСТ 8506-57*) და არათანაბართაროიანი (ГОСТ 8510-57*). კუთხოვანის სისქე იცვლება (4÷30) მმ-მდე, თაროების სიგანე (45X45)-დან (200X200) მმ-მდე. არათანაბართაროიანი კუთხოვანების ზომები იცვლება-(56÷36)-დან (200÷125) მმ-მდე. მათი სიგრძე აღწევს 19 მ-ს. კუთხოვანები ძირითადად გამოიყენება როგორც წამწეების ელემენტები.

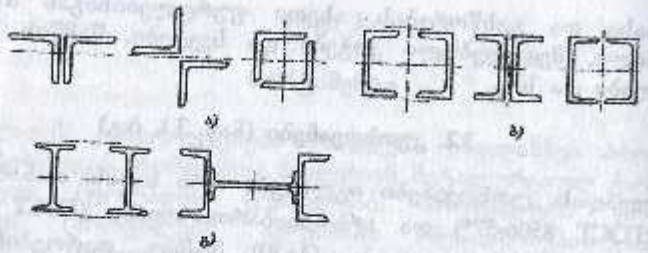


ნახ. 3.1. პროფილების ძირითადი სახეები
ა)-ფურცელი; ბ),გ)-კუთხოვანა; დ)-შველერი; ე)-ორტესი; ვ)-ფართოთაროებიანი ორტესი; ზ)-ფართოთაროებიანი ტესებრი; თ)-შედუღებული ორტესი; ი)-შველერი და ორტესი პარალელური წიბოებით; კ)-მილი.

3.3. შველერები (ნახ. 3.1, დ,ი)

შველერებს (ГОСТ 8240-56*) იყენებენ კოჭებად, გრძივებად, წამწის სარტყლებად და სვეტებად. იგლინება ორი სახის: ჩვეულებრივი განივკვეთის, სიმაღლით 50-დან 400 მმ-მდე, შემსუბუქებული-სიმაღლით (160÷300) მმ-მდე.

შველერის სიმაღლეს სმ-ში შეესაბამება შველერის ნომერი. მისი სიგრძე აღწევს 19 მ-ს.



ნახ. 3.2. გაგლინული პროფილებისაგან კვეთების შედგენა ა)-თანაბართაროებიანი კუთხოვანებისაგან, ბ)-შველერებისაგან; დ)-ორტესებისა და შველერებისაგან შედგენილი პროფილები.

3.4. ორტესებრი კოჭები (ნახ. 3.1, ე.ი)

ისე, როგორც შველერები, იგლინება ორი სახის: ვიწროფრთებრივი განიერკვეთის, სიმაღლით (100÷700) მმ-მდე (ГОСТ 8239-56*) და შემსუბუქებული–თხელი კედლით და სიმაღლით (160÷300) მმ-მდე (ГОСТ 6184-52*). პროფილის ნომერს შეესაბამება მისი სიმაღლე სმ-ში. მისი უდიდესი სიგრძე 19 მ-ია. ორტესებრ პროფილებს იყენებენ გრძივებად, შედგენილი სვეტების ელემენტებად (შტოებად) და ა.შ.

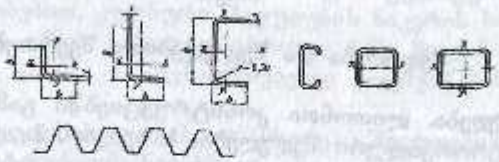
კუთხოვანებისაგან, შველერებისაგან და ორტესებისაგან შეიძლება შედგენილი იქნას სხვადასხვა სახის პროფილის კვეთები (იხ. ნახ. 3.2).

3.5. ფართოთაროებიანი ორტესებრი კოჭები (ნახ. 3.1, ვ.ზ)

ფართოთაროებიანი ორტესებრი კოჭები (ГОСТ 6183-53) იგლინება სამი დანიშნულებისთვის: კოჭებისათვის, მსუბუქი და მძიმე სვეტებისათვის. მისი სიმაღლე აღწევს 1000 მმ-ს.

3.6. დატვიფრული ფოლადები (ნახ. 3.3)

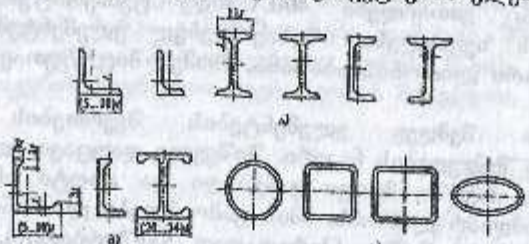
დატვიფრული (ცივად ნაღუნი) ფოლადების პროფილების სისქე (2÷10) მმ-მდეა, სიგანე-(320÷1600) მმ-მდე. მზადდება თხელი ფურცლებისაგან. პროფილის სიგრძე იცვლება (8÷12) მ-მდე. ასეთი პროფილები გამოიყენება მსუბუქი მზიდი კონსტრუქციების სახით და აქვს სხვადასხვა ფორმა. აღსანიშნავია, რომ წამწეები, შემდგარი დატვიფრული პროფილებისაგან, 10%-ით მსუბუქია კუთხოვანებისაგან შემდგარ წამწეებზე.



ნახ. 3.3. დატვიფრული თხელკედლიანი

3.7. მილები (ნახ. 3.1, კ)

მილები არსებობს ორი სახის: უნაკერო (ГОСТ 8732-70) და ელექტროშედუღებული (ГОСТ 10704-63). მათი დიამეტრი იცვლება (45-550) მმ-მდე, კედლის სისქე–16 მმ-მდე. განიკვეთის სიმეტრიულობისა და დიდი სიხისტის გამო, ისინი ითვლება საუკეთესო პროფილად. ფოლადის მილებს ძირითადად იყენებენ წამწეების, კოშკების, ანძებისა და სხვა მსგავსი კონსტრუქციების ელემენტებად.



ნახ. 3.4. ალუმინის შენადნობების პროფილები: ა)-ბულბების გარეშე; ბ)-ბულბებით; გ)-მილოვანი.

3.8. ალუმინის შენადნობის პროფილები (ნახ. 3.4)

ალუმინის შენადნობების პროფილებს დებულობენ გლინვით, წნეხით ან ღუნვით ცივ მდგომარეობაში. ფურცლები და ფილები იგლინება როგორც ცხელ, ისე ცივ მდგომარეობაში. ფურცლების სიგანე აღწევს 2000 მმ-ს. სისქე–7 მმ-ს. ფასონური პროფილები მზადდება ცხელი წნეხით. ალუმინისაგან დამზადებული გაგლინული პროფილების სიხისტის გაზრდის მიზნით, პროფილების თაროს ბოლოებს აძლიერებენ გასქელებით-ბულბებით (ნახ. 3.4). ალუმინის შენადნობების სტანდარტებია: ქიმიური შედგენილობით-ГОСТ 4784-74; მექანიკური მახასიათებლების მიხედვით: ფურცლების–ГОСТ 12592-67; პროფილების-ГОСТ 8617-75 და ГОСТ 92022-73, მილების ГОСТ 18475-73 და ГОСТ 18482-73-ით.

თავი 4

შედუღება და შედუღებითი შეერთება

4.1. შედუღება. ლითონთა კონსტრუქციებში გამოიყენება სამი სახის ელექტრორკალური შედუღება: 1. ხელით, 2. ავტომატური და 3. ნახევრად ავტომატური.

4.1.1. ხელით შედუღება. ხელით შედუღება ხორციელდება შემდეგი სახით: ელექტროდით ფოლადის მრგვალი ღეროს, დიამეტრით $4 \div 8$ მმ, რომელიც მოთავსებულია ელექტროდამჭერში, მოქნილი სადენის საშუალებით შეერთებულია დენის წყაროს ერთ პოლუსთან დენის წყაროს მეორე პოლუსი შეერთებულია შესადუღებელ ელემენტთან (ნახ. 4.1), (ნახ. 4.2). შემდუღებელი ელექტროდით ეხება შესადუღებელ ელემენტებს და შემდეგ სწრაფად გამოსწევს მას $2 \div 3$ მმ-ით. ასეთი შეხებით შესაერთებელ ელემენტსა და ელექტროდს შორის წარმოიშობა ელექტრო-რკალი, სადაც ვითარდება $400^0 C$-მდე ტემპერატურა. მაღალი ტემპერატურის ზეგავლენით შესაერთებელ ელემენტებში წარმოიშობა გამდნარი ლითონის აბაზანა, რომელშიც წვეთავს გამდნარი ელექტროდი.

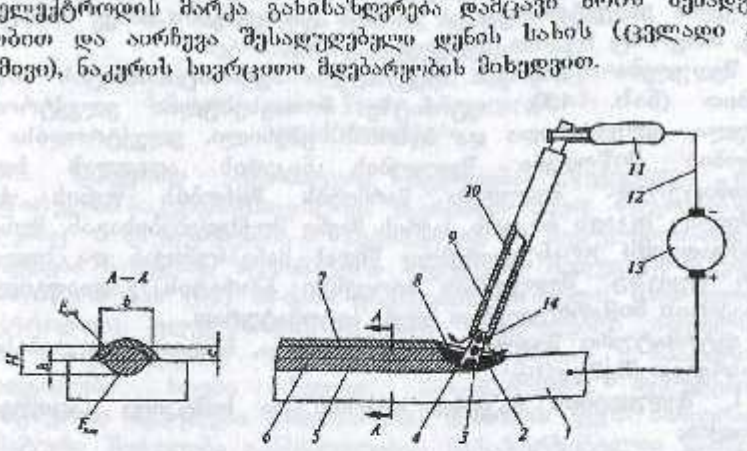
გაცივების შემდეგ ელემენტების შეერთების ადგილას წარმოიქმნება შედუღების ნაკერი. შიშველი დაუცავი ელექტროდით შედუღებისას, ჰაერში მყოფი უანგბადი და აზოტი ინტენსიურად უერთდება გამდნარ ლითონს, ამის გამო ხდება ლითონის სახარგებლო მინარევების ამოწვა (ძირითადად ნახშირბადის), რაც მკვეთრად აქვეითებს შედუღების ნაკერის ხარისხს. აღნიშნული დეფექტის თავიდან აცილების მიზნით, ელექტროდი იფარება სპეციალური საცხით. საცხი წარმოადგენს გარკვეული სისქის შენარევების ფენას და შედგება არალითონური (მაგ. ცარცი) და ლითონური (მაგნიუმის მადანი, ფერომანგანუმი და სხვ.) კომპონენტებისაგან. საცხი შედუღების დროს დნება ელექტროდთან ერთად და ქმნის გაზისებრ აპკს, რომელიც იცავს შედუღების ნაკერს ამოწვისა და ჰაერის მავნე ზემოქმედებისაგან. შედუღების სიმტკიცისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს ჩადნობის (შესაერთებელი ელემენტების გადნობის სიღრმე) სიმაღლეს. მცირე ჩადნობის სიმაღლის შემთხვევაში ძირითადი ფურცელი ვერ ასწრებს გადნობას და გაცივების შედეგად ადგილი აქვს შეუდუღებლობას. დიდი სიმაღლის მქონე შედუღების ნაკერის დროს შეიძლება შესაერთებელი ელემენტების გადახურების გამო მოხდეს მათში შემავალი ნახშირბადის ამოწვა. ამ მოვლენას ფოლადის გადაწვას უწოდებენ. როგორც შედუღებლობა, ისე გადაწვა წარმოადგენს შედუ-

ღების ნაკერის სერიოზულ დეფექტს. ამიტომ ტექნიკური ნორმებით (ტ. ნ.) და პირობებით, კეთილსური შედუღების ნაკერის სიმაღლე (კათეტი) არ უნდა იქნეს ნაკლები ცხრილი 4-ში მოყვანილ სიდიდეებზე და მეტი $1{,}2t$-ზე. t - შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქეა.

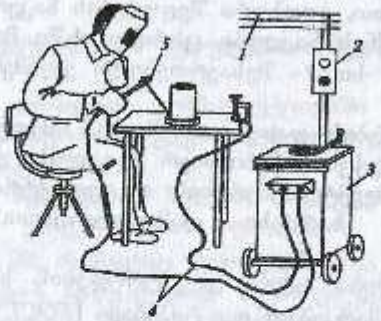
ხელით შედუღების დადებითი მხარეა: შედუღების წარმოება შეიძლება კონსტრუქციის ნებისმიერ ადგილას; უარყოფითი-მცირე მწარმოებლობა, ელექტროენერგიის და ელექტროდის საგრძნობი ხარჯი; ნაკერის ხარისხი დამოკიდებულია შემდუღებლის კვალიფიკაციაზე.

ხელით შედუღება ხდება ელექტროდების საშუალებით, რომლებიც იყოფიან მარკებად და ტიპებად (*ГОСТ 9467-75**). ელექტროდის ტიპი განსაზღვრავს ფოლადის ნაკერის სიმტკიცეს კნ/სმ²-ში (მაგ. *Э50* ან *Э50А* ტიპის ელექტროდებში $\sigma_в > 50$ კნ/სმ², ასო *А* აღნიშნავს, რომ ფოლადის ნაკერს გააჩნია ამაღლებული პლასტიკური თვისებები). ელექტროდებს არჩევენ შესადუღებელი ფოლადების მარკის მიხედვით (ცხრ. 4.1).

ელექტროდის მარკა განისაზღვრება დამცავი შრის შემადგენლობით და აირჩევა შესადუღებელი დენის სახის (ცვლადი ან მუდმივი), ნაკერის სივრცითი მდებარეობის მიხედვით.



ნახ. 4.1. ელექტრორკალური შედუღების სქემა.
1–შესაერთებელი ლითონი; 2–გამდნარი ლითონის აბაზანა; 3–გამდნარი ელექტროდის წვეთი; 4-ელექტრორკალი; 5–გამდნარი ლითონი; 6-დამდნარი ლითონი; 7-წიდის ქერქი; 8-თხევადი წიდა; 9-ელექტროდის საცხი; 10-ელექტროდის ღერო; 11-დამჭერი; 12-შედუღების წრედი; 13-კვების წყარო; 14-ორთქლ-აირის დამცავი გარემო.



ნახ. 4.2. ხელით შედუღების სქემა.
1-ელექტრო მომარაგების ქსელი; 2-კონტაქტორი; 3-რკალის კვების წყარო; 4-მავთულები; 5-ელექტროდამჭერი.

4.1.2. ავტომატური შედუღება. ავტომატური შედუღება დამყარებულია ელექტრორკალის სითბოს გამოყენების იმავე პრინციპებზე, როგორც ხელით შედუღების დროს.

შედუღება წარმოებს სპეციალური ავტომატ-აპარატის საშუალებით (ნახ. 4.3.). ავტომატზე მოთავსებულია ელექტროდის ხვეულა, ელექტროდი და მდნობის ფხვნილი. ელექტროდისა და მდნობის მიწოდება შედუღების ნაკერის ადგილას ხდება ავტომატურად. შედუღება წარმოებს მდნობის ფენის ქვეშ, რომელიც იცავს ნაკერს ჰაერის მავნე მოქმედებებისაგან. მდნობი წარმოადგენს გრანულირებულ წიდას მანგანუმოვან და სილიკატურ ფუძეზე. შედუღების პროცესში აპარატის გადაადგილება პირაპირის მიმართულებით ხდება ავტომატურად.

ავტომატური შედუღების უპირატესობა, ხელით შედუღებასთან შედარებით შემდეგია:

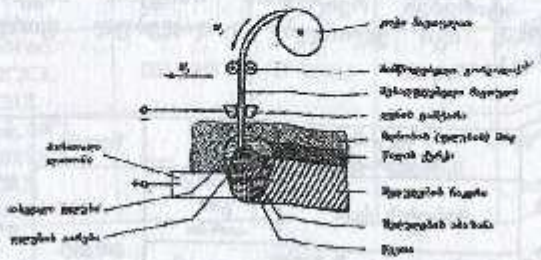
1. შედუღების ნაკერის ხარისხი და სიმტკიცე გაცილებით მაღალია;
2. შედუღების მწარმოებლობა (4-5) ჯერ მეტია;
3. ელექტროენერგიის და ელექტროდის ეკონომია აღწევს 40 ÷ 50 % -ს;
4. რადგან შედუღება წარმოებს მდნობის ფენის ქვეშ, არ არის საჭირო შემდუღებლის თვალების მუზარადით დაცვა. ეს კი აუმჯობესებს მისი მუშაობის პირობებს.
5. წარმოებს დრმა ჩადუღება, რითაც მიიღება მაღალხარისხიანი შედუღების ნაკერი,

ავტომატური შედუღების ნაკლია:

1) ავტომატის დიდი გაბარიტული ზომების გამო, კონსტრუქციის ბევრი ადგილი ასეთი შედუღებისთვის მიუდგომელია.

2) მას შეუძლია შეასრულოს მხოლოდ უწყვეტი სწორხაზოვანი ნაკერები.

ავტომატური შედუღებისათვის იყენებენ მთლიანკვეთიან ფოლადის შესადუღებელ მავთულს და სხვადასხვა მდნობებს (ცხრ. 4.1), ასევე ფხვნილისებრ მავთულს (ცხრ. 4.2.).



ნახ. 4.3. რკალით მდნობის (ფლუსის) ქვეშ ავტომატური შედუღების სქემა.
1-ელექტრო მომარაგების ქსელი; 2-კონტაქტორი; 3-რკალის კვების წყარო; 4-მავთულები; 5-ელექტროდამჭერი.

4.1.3. ნახევრად ავტომატური შედუღება. წყვეტილი და მრუდწირული ნაკერებისათვის და საერთოდ, ისეთ ადგილებში, რომლებიც ძნელდგომელია ავტომატური შედუღებისათვის, გამოიყენება ნახევრად ავტომატური შედუღება. შედუღება ასეთი ხერხით წარმოებს (1-2) მმ-იანი დიამეტრის შიშველი მავთულით (ელექტროდით). ელექტროდის მიწოდება შედუღების ადგილას ხდება სპეციალური მექანიზმით. შედუღების აპარატის გადაადგილება ხდება ხელით. ავტომატური შედუღების ანალოგიურად შედუღება მიმდინარეობს მდნობის ქვეშ. ნახევრად ავტომატური შედუღება განსაკუთრებით მოსახერხებელია წამწის კვანძების შეერთებისას.

ე. ი. ხელითა და მექანიზებული მეთოდებით შედუღებისას ელექტროდის ტიპის შერჩევა ასევე შეიძლება ცხრ. 4.1-ის მიხედვით, ხოლო თუ შედუღება ხდება ფხვნილისებური მავთულით შესადუღებელი მასალა შეირჩევა ცხრ. 4.2-ის მიხედვით.

კონტაქტური შედუღება ხდება: წერტილოვანი, ნაკერული და პირაპირული სახით.

შედუღების ნაკერების საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობების განსაზღვრა პირაპირული და კუთხური შედუღებისას ხდება ცხრ. 4.1 და ცხრ. 4.3-ის საშუალებით.

4.14. შედუღების ნაკერის კონტროლი. წარმოებისათვის უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს შედუღების ნაკერის ხარისხის განსაზღვრის სრულყოფილ და მარტივ მეთოდებს.

ნაკერის ხარისხის დასადგენად იყენებენ:

ა) რენტგენის სხივებით გაშუქებას. ამ მეთოდით შედუღების ნაკერში ატარებენ რენტგენის სხივებს. ნაკერში დეფექტის არსებობისას იგი ვლინდება გადაღებულ ფირფიტებზე შავი ლაქების სახით.

ცხრილი 4.1.

შესადუღებელი ფოლადების დროებითი წინაღობა R_u^n	ავტომატური და ნახევრადავტომატური			ხელით	ნაკერის ფოლადის დროებითი წინაღობა R_{wun} მპა	საანგარიშო წინაღობა ფოლადის ნაკერის კუთხურ ჭრაზე R_{wf} მპა
	შდნობის ქვეშ		ნახშირორჟანგის აირში			
	მარკები			ელექტროდის ტიპი		
	შდნობის	შესადუღებელი მავთულის				
R_u^n <430	АН-348-А, АН-60*	Св-08А Св-08ГА	-	Э42*; Э42А Э46*; Э46А	410 450	180 200
430<R_u^n <520	АН-47, АН-17-М	Св-08ГА*, Св-10ГА*	Св-08Г2С, Св-08Г2СЦ	Э46*; Э46А Э50*; Э50А	450 490	200 215
R_u^n >520	АН-348-А**	Св-10ГА* Св-10НМА Св-10Г2*	Св-08Г2С Св-08Г2СЦ Св-08Г2С** Св-08Г2СЦ**	Э50*; Э50А Э60	490 590	215 240

*–გამოყენებული უნდა იქნას მხოლოდ 2, 3, და 4 ჯგუფის კონსტრუქციებისათვის, როცა $t < -40^\circ C$. **–მხოლოდ კუთხური ნაკერებისათვის კათეტით $k_f < 8$ მმ; ***–სახეულობს დამატებით კონტროლს მექანიკურ თვისებებზე, როცა შედუღების სისქე მეტია 32 მმ-ზე.

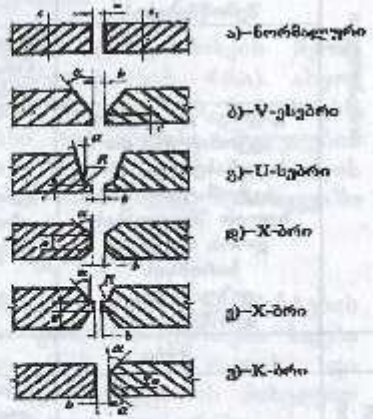
ბ) ელექტრომაგნიტურ ხერხს. ამ ხერხით ნაკერში არსებულ დეფექტებს აელენენ სპეციალური ხელსაწყოს დეფექტოსკოპის საშუალებით.

გ) რადიოაქტიური ნივთიერებების სხივებით. ეს ხერხი დამყარებულია რადიუმის რადიოაქტივობაზე და ირითადად გამოიყენება სქელი ნამზადის ($t \geq 30$ მმ) გასაშუქებლად.

ცხრილი. 4.2

შესადუღებელი ფოლადების მარკები	შედუღებული ნაკერების მარკა	შედუღებული ნაკერების ტიპი	ზომიერება	მავთულის მახასიათებლები
Ст3, Ст3Гпс, 09Г2,10Г2С1, 10ХСНД	ПП-АН8	ПГ-50-Н1	2,2;2,5	შედუღება ნახშირორჟანგ აირში
Ст3, Ст3пс, 09Г2, 09Г2С, 10ХСНД, 15ХСНД, 10Г2С1,14Г2Б, 17Гс	ПП-АН3	ПС-50-Н4	2,8;3,0	თვითდამც ავი მავთული

ზემოთ ჩამოთვლილი მეთოდები მოითხოვს ძვირად ღირებულ სპეციალურ აგრეგატებს; ამიტომ მათ ძირითადად იყენებენ საპასუხისმგებლო ნაკერების შესამოწმებლად. ამ მეთოდებს უწოდებენ ნაკერის ხარისხის შემოწმების სპეციალურ მეთოდებს. პრაქტიკის მრავალ შემთხვევაში შედუღების ნაკერის კონტროლი წარმოებს მარტივი, ე. წ. ვიზუალური ხერხით. ასეთი ხერხით ნაკერი მოწმდება სუდაპირული დათვალიერებით, ნაქუნის დარტყმით (ხმის მიხედვით), თარგების საშუალებით (ნაკერის ზომების შესამოწმებლად), ნაკერის გაბურძგნით (ნაბურძნის შემადგენლობისა და გაბურძნული ხვრეტის კედლის დათვალიერების მიზნით). ნაკერის შემოწმება ვიზუალური ხერხით არასრულყოფილია, ამიტომ ასეთი ხერხით შემოწმების დროს შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა მცირდება (10 ÷ 15 %)-ით (ცხრ. 4.3).



ნახ. 4.6. პირაპირული ნაკერების სახეები

სიგრძის მიხედვით ნაკერები შეიძლება იყოს უწყვეტი და წყვეტილი, ჯაჭვისებური და ჭადრაკისებური, ძალვის მოქმედების მიმართულების მიხედვით კი, ფლანგური, შუბლური, კომბინირებული და ირიბი (ნახ. 4.5).

სივრცეში მდებარეობის მიხედვით ანსხვავებენ ხუთი ტიპის ნაკერს: ქვეშა, ჰორიზონტალური ვერტიკალურ სიბრტყეზე, ვერტიკალური, ჭერისეული და ნავისებრი (ნახ. 4.5).

შესაერთებელი ფურცლების ნაპირების პირაპირები დამუშავების მიხედვით იყოფა:

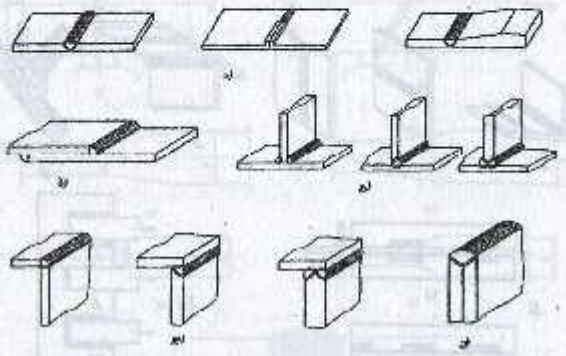
ა) ნორმალური (ნახ. 4.6,ა); ბ) V -ებრი (ნახ. 4.6,ბ); გ) U -ებრი (ნახ. 4.6,გ); დ-ე) X -ებრი (ნახ. 4.6,დ-ე); ვ) K -ებრი (ნახ. 4.6,ვ)

ცხრილი. 4.3

შედუღებითი შეერთებები	დაძაბული მდგომარეობა		პირობითი აღნიშვნა	შედუღებითი შეერთების საანგარიშო წინაღობა
პირაპირული	კუმშვა, გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური და ნახევრად ავტომატური ან ხელით შედუღების დროს ნაკერის ხარისხის ფიზიკური შემოწმებისას	დენადობის ზღვრის მიხედვით	R_{wy}	$R_{wy} = R_y$
		დროებითი წინაღობის მიხედვით	R_{wu}	$R_{wu} = R_u$
	გაჭიმვა და ღუნვა ავტომატური და ნახევრად ავტომატური ან ხელით შედუღების დროს ნაკერის ხარისხის ვიზუალური შემოწმებისას	დენადობის ზღვრის მიხედვით	R_{wy}	$R_{wy} = 0,85R_y$
	ჭრა		R_{ws}	$R_{ws} = R_s$
კუთხური ნაკერებით	ჭრა (პირობითი)	ნაკერის დიზონის მიხედვით	R_{wf}	$R_{wf} = 0,55\,R_{wun}/\gamma_{wm}$
		დიზონის დანადგის საზღვარზე	R_{wz}	$R_{wz} = 0,45R_{un}$

შენიშვნა: 1. ხელით შედუღების ნაკერებისათვის R_{wun} საჭირო ალებული იქნეს ტოლი ლითონის ნაკერის დროებითი წინაღობისა გაჭიმვაზე.

2. საიმედობის კოეფიციენტი γ_{wm} ნაკერის მასალის მიხედვით აიღება ტოლი: 1,25 როცა R_{wun} არის არა უმეტეს 490 მპა; 1,35–როცა R_{wun} არის 590 მპა და მეტი;



ნახ. 4.4. შედუღებითი შეერთების ძირითადი ტიპები.
ა)-პირაპირული; ბ)-პირგადადებითი; გ)-ტესებრი;
დ)-კუთხური; ე)-გვერდითი.

ნორმალური პირაპირი გამოიყენება მცირე სისქის მქონე ($t = 8 \div 10$ მმ.) ფურცლების შესაერთებლად (ნახ. 4.6,ა). ასეთი შეერთება ფურცლის ნაწიბურების დამუშავებას არ საჭიროებს. ფურცლის მცირე სისქის გამო მისი ნაწიბურები შედუღების პროცესში დნება. სქელი ფურცლის შეერთებისას ფურცლის ნაწიბურების დამუშავება აუცილებელია, წინააღმდეგ შემთხვევაში შეიძლება ადგილი ექნეს შეუდუღებლობას.

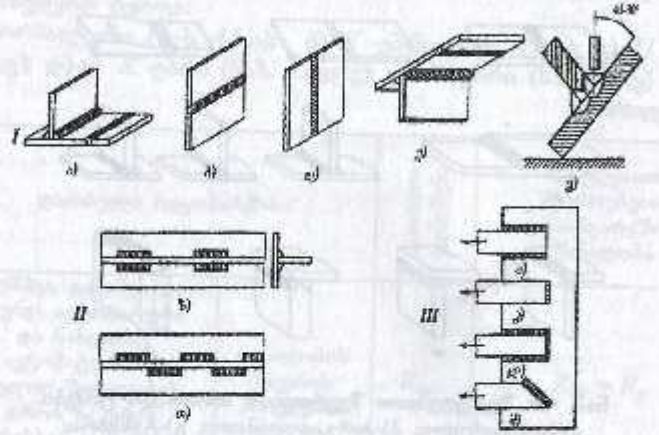
4.2. შედუღებითი შეერთება

4.2.1. პირაპირული შეერთება. შესაერთებელი ელემენტების ერთ სიბრტყეში განლაგებისას, მათი ურთიერთშეერთება ხდება პირაპირული შედუღების ნაკერებით (ნახ. 4.7). ძალისა და პირაპირის მიმართულებებს შორის მდებარე კუთხის მიხედვით პირაპირული ნაკერები სრულდება: ნორმალური და ირიბი.

პირაპირულ ნაკერებში შედუღების დასაწყისში ადგილი აქვს შეუდუღებლობას, ხოლო შედუღების დამთავრებისას, პირაპირის ბოლო ნაწილში წარმოიშობა კრატერი. როგორც ერთი, ისე მეორე წარმოადგენს შედუღების ნაკერის დეფექტს, ამიტომ

რეკომენდებულია, სპეციალური ქვესადებით ნაკერი გადაყვანილი იქნას პირაპირის სახღვრებს გარეთ. შედუღების დამთავრების შემდეგ ნაკერები ჩამოიჭრება. ქვესადების გამოუყენების შემთხვევაში შედუღების ნაკერის საანგარიშო სიგრძე აიღება ფურცლის სიგანის ტოლი

$$l_w = b$$



ნახ. 4.5. შედუღებითი ნაკერების კლასიფიკაცია
I - სივრცეში მდებარეობის მიხედვით; ა)-ქვედა; ბ)-ჰორიზონტალური; გ)-ვერტიკალური; დ)-ჭერისეული; ე)-ნაკისებრი. *II* -განფენილობის მიხედვით; ვ)-ჯაჭვისებური; ზ)-ჭადრაკისებური. *III* - ძალვის მოქმედების მიმართულების მიხედვით თ)-ფლანგური; ი)-შუბლური; კ)-კომბინირებული; ლ)-ირიბი.

თუ ნაკერის გადაყვანა არ ხდება, მაშინ

$$l_w = b - 2t \qquad (4.1)$$

სადაც t შესაერთებელი ელემენტის უმცირესი სისქეა.

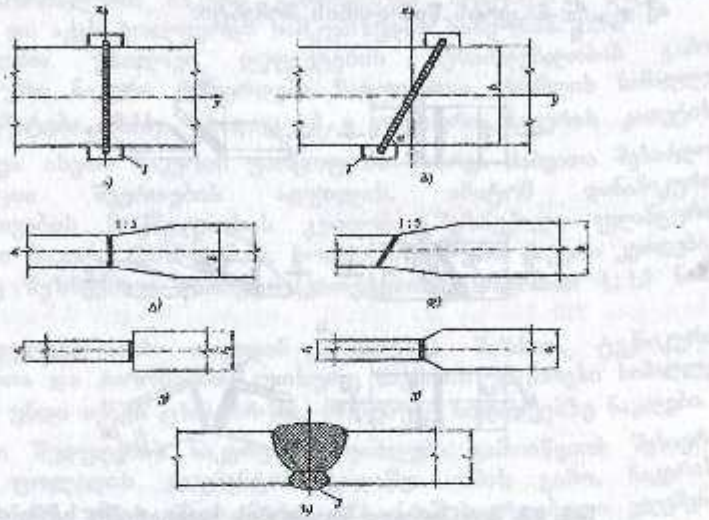
ნორმალური ტიპის შედუღებას - ნაკერის გაანგარიშება ძირითადად მდგომარეობს მისი სიმტკიცის შემოწმებაში (ნახ. 4.8). გულისხმობენ, რომ ნაკერის მთელ სიგრძეზე ძაბვები ნაწილდება თანაბრად. ასეთი დაშვების საფუძველზე შედუღების ნაკერის სიმტკიცე გაჭიმვაზე ან კუმშვაზე მოწმდება ფორმულით

$$\sigma_w = \frac{N}{t l_w} \le R_{wy}\gamma_c \qquad (4.2)$$

N -შეერთებაში მოქმედი ძალა.

γ_c -მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (დან. 14)

R_{wy} -პირაპირული შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა (ცხრ. 4.3).



ნახ. 4.7. პირაპირული შედუღების სახეები.
ა)–ნორმალური; ბ)–ირიბი; გ),დ)-შესაერთებელი ელემენტების სახვადასხვა სიგანისას; ე),ვ)-შესაერთებელი ელემენტების სხვადასხვა სისქისას; ზ)-ფუძის ერთშრიანი ჩადუღებისას; 1-ტექნოლოგიური თამასა; 2-ჩასადუღებელი ნაკერი.

როდესაც ნაკერის ხარისხი მოწმდება მარტივი ხერხით, ნაკერის საანგარიშო წინაღობა (R_{wy}) ნაკლებია ფოლადის საანგარიშო წინაღობაზე $R_{wy} = 0{,}85R_y$, ამის გამო ზოგჯერ ნორმალური ნაკერის სიმტკიცე საკმარისი არ არის. ნაკერის სიმტკიცის გაზრდის მიზნით საჭიროა ნაკერის სიგრძის გაზრდა. ასეთ შემთხვევაში მიმართავენ ირიბ პირაპირულ ნაკერებს (ნახ. 4.6.ბ, ნახ. 4.7,ბ). ამ შემთხვევაში სიმტკიცის პირობა ასე ჩაიწერება

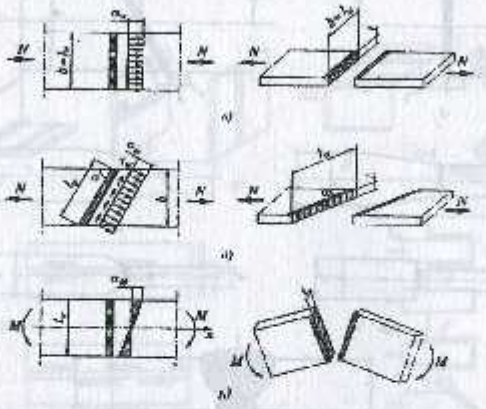
$$\sigma_w = \frac{N\sin\alpha}{t l'_w} \le R_{wy}\cdot\gamma_c \qquad (4.3)$$

აქ $l'_w = \dfrac{l_w}{\sin\alpha}$ -ირიბი ნაკერის საანგარიშო სიგრძეა.

თუ შეერთებაში მოქმედებს მღუნავი მომენტი, მაშინ ძაბვა ნაკერში ტოლია

$$\sigma_w = \frac{M}{W_w} \le R_{wy}\gamma_c \qquad (4.4)$$

აქ $W_w = \frac{\beta_f^2}{6}$ -ნაკერის წინაღობის მომენტი.



ნახ. 4.8. პირაპირული შეერთების საანგარიშო სქემები.
ა)-გრძივი ძალის მოქმედებისას; ბ)-გრძივი ძალის მოქმედებისას ირიბი შეერთებისას; გ)-ღუნვისას.

როცა ნაკერში ერთდროულად მოქმედებს მღუნავი მომენტი (M) და განივი ძალა (Q), მაშინ ნაკერის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{wx} + 3\tau_{wxy}} \le 1.15 R_{wy}\gamma_c \qquad (4.5)$$

აქ σ_{red} -დაყვანილი ძაბვა, $\sigma_{wx} = M/W_w$, $\tau_{wxy} = Q/A_w$

პირაპირული ნაკერების დადებითი მხარეა: კონსტრუქციის სიმარტივე. ძალვების გადაცემა ერთი ელემენტიდან მეორეზე ხორციელდება თანაბრად, ძაბვათა კონცენტრაციის გარეშე. მისი უარყოფითი მხარეა: სქელი ფურცლები მოითხოვს ნაწიბურების დამუშავებას, ჩნელდება პირაპირის მთელ სიგრძეზე თანაბარი სიდიდის ღრეჩოს დაცვა.

4.2.2. კუთხური შედუღების ნაკერები. როდესაც შესაერთებელი ელემენტები განლაგებულია სხვადასხვა სიბრტყეში, მათი შეერთება წარმოებს კუთხური შედუღების ნაკერით (იხ. ნახ. 4.4,ბ,გ,დ). მოქმედი ძალისა და ნაკერის ურთიერთგანლაგების მიხედვით, კუთხური შედუღების ნაკერები შეიძლება იქნეს: შუბლური ფლანგური და ირიბი (იხ. ნახ. 4.5,ა,ი,ლ).

მოქმედი ძალის სახის მიხედვით შედუღების ნაკერი არსებობს ნორმალური ნახ. 4.10,ა. შეზნექილი ნახ. 4.10,ბ. და დამრეცი ნახ. 4.10,გ. ნორმალური ნაკერი გამოიყენება სტატიკური დატვირთვებისას და აქვს ტოლფერდა სამკუთხედის სახე (ნახ. 11,ბ).

თვალით უხილავი დეფექტების შესაძლებლობის გამო ნორმალური ნაკერი ძლიერდება ჩადუღებით, რომლის სიმაღლე არ აღემატება $0,1k_f$, სადაც k_f კუთხური ნაკერის კათეტის სიმაღლეა. ასეთი ნაკერის უარყოფითი მხარეა ძაბვათა შესაძლო კონტრაცია შეერთების ადგილას, ამიტომ დინამიკური დატვირთვების მოქმედებისას კეთდება შეზნექილი ფლანგური კუთხური ნაკერი (ნახ. 4.10,ბ), ხოლო შუბლური ნაკერი კეთდება, როგორც შეზნექილი დამრეცი (კათეტების ფარდობით 1 : 1,5 ნახ. 4.10,გ).

შეუდუღებლობის თავიდან აცილების მიზნით, ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით კუთხური ნაკერის უმცირესი სიმაღლე (k_f) არ უნდა იქნეს ცხრ. 4.4-ში მოცემულ სიდიდეებზე ნაკლები.

დიდი შედუღების ნაკერებმა შეიძლება გამოიწვიოს შესაერთებელი ფოლადის ელემენტის გადაწვა. ამის გამო, ნაკერის სიმაღლე არ უნდა იქნეს მეტი $1,2t$ (t-შესაერთებელი ელემენტების უმცირესი სისქეა).

შეერთებისას კუთხური ნაკერი სრულდება უწყვეტი და წყვეტილი სახით. წყვეტილ ნაკერებს შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს: შეკუმშულ ელემენტებში $15t$-ს. გაჭიმულ ელემენტებში $30t$-ს. ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით ორივე შემთხვევაში ნაკერის სიგრძე არ უნდა იქნეს მეტი $85\beta_f k_f$ –ის. β_f აიღება ცხრილი 5-დან. ეს მითითება არ ვრცელდება ისეთ ნაკერებზე, სადაც ძალები მოქმედებენ ნაკერის მთელი სიგრძის გასწვრივ. მაგ. შედუღებული კოჭის სარტყლის ნაკერები.

როგორც ექსპერიმენტებით გამოირკვა, კუთხური ნაკერები მუშაობენ რთულ დაძაბულ პირობებში. მათი ზუსტი გაანგარიშება უადრესად რთულ ამოცანას წარმოადგენს, ამიტომ ანგარიშის გამარტივების მიზნით მიმართავენ შემდეგ დაშვებებს:

ა) გულისხმობენ, რომ კუთხური ნაკერების რღვევა ხდება ჭრის ძაბვების ზეგავლენით, ისე როგორც ეს ნახ. 4.9,ა-ზეა ნაჩვენები.

ბ) ძაბვები ჭრის სიბრტყეზე ნაწილდება თანაბრად.

ასეთ დაშვებათა საფუძველზე ღერძული ძალის მოქმედებისას კუთხური ნაკერების სიმტკიცე მოწმდება ორ კვეთში, ნაკერის ლითონში (კვეთი 1-ში, ნახ. 4.11,ა).

$$\tau = \frac{N}{\beta_f \kappa_f l_w} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c; \qquad (4.6)$$

შენადნობის ლითონის საზღვარზე (კვეთი-2, ნახ. 4.11,ა).

$$\tau = \frac{N}{\beta_z \kappa_f l_w} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c; \qquad (4.7)$$

სადაც l_w არის კუთხური ნაკერის საანგარიშო სიგრძე

$$l_w = l - 10 \text{ მმ}.$$

l - ნაკერის მთლიანი სიგრძე;

β_f, β_z – კოეფიციენტები, აიღება ცხრილი 4.5-დან.

როდესაც შესადუღებელი ელემენტების დენადობის ზღვარი ნაკლებია 580 მპა-ზე β_f და β_z აიღება ცხრილი 4.5-დან. როდესაც დენადობის ზღვარი მეტია 580 მპა-ზე $\beta_f = 0{,}7$ და $\beta_z = 1$-ს.

γ_{wf}, γ_{wz} არის კუთხური ნაკერების მუშაობის პირობების კოეფიციენტები, რომლებიც უდრის 1 გარდა I_1, I_2, II_2, II_3 კლიმატურ რაიონებში მომუშავე კონსტრუქციებისათვის, სადაც $\gamma_{wf} = 0{,}85$ როცა $R_{wun} = 410$ მპა-ს, და ყველა ფოლადისათვის $\gamma_{wz} = 0{,}85$.

R_{wf}, R_{wz} არის კუთხური ნაკერების საანგარიშო წინაღობა და აიღება ცხრ. 4.3-დან.

პრაქტიკული გაანგარიშების დროს წინასწარ ნიშნავენ ნაკერის სიმაღლეს k_f და (4.6) და (4.7) ფორმულებით ანგარიშობენ ნაკერის ჯამურ სიგრძეს.

$$l_w = \frac{N}{\beta_f \kappa_f \gamma_{wf}\gamma_c R_{wf}} \qquad (4.8)$$

$$l''_w = \frac{N}{\beta_z \kappa_f \gamma_{wz}\gamma_c R_{wz}} \qquad (4.9)$$

l'_w და l''_w-დან საბოლოოდ აიღება უდიდესი.

შესაძლებელია ანგარიში ჩატარდეს პირიქით დაიწიშნოს ნაკერის სიგრძე და ვიანგარიშოთ ნაკერის სიმაღლე.

$$\kappa'_f = \frac{N}{\beta_f l'_w \gamma_{wf}\gamma_c R_{wf}} \qquad (4.10)$$

$$\kappa'_f = \frac{N}{\beta_z l''_w \gamma_{wz}\gamma_c R_{wz}} \qquad (4.11)$$

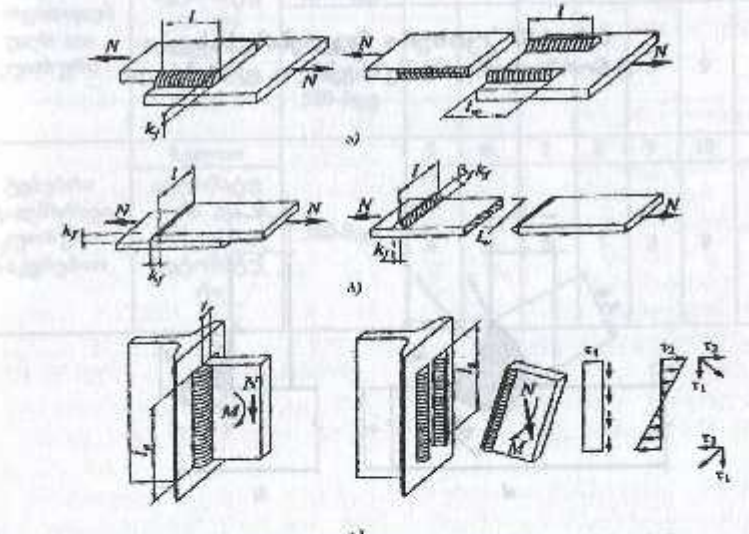
k'_f და k''_f-დან საბოლოოდ აიღება უდიდესი.

მდუნავი მომენტისა და გრძივი ძალების ერთობლივი მოქმედებისას, კუთხური ნაკერის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით

შედუღების ნაკერის ლითონში:

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{M}{W_f} + \frac{N}{A_f}\right)^2 + \left(\frac{Q}{A_f}\right)^2} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c \qquad (4.12)$$

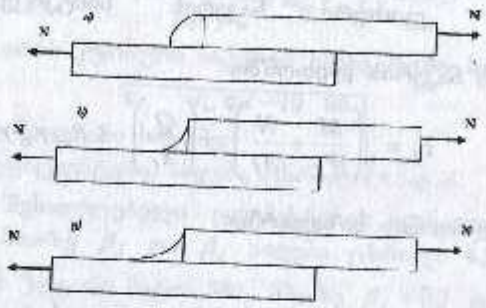
ნაკერის ლითონის საზღვარზე:



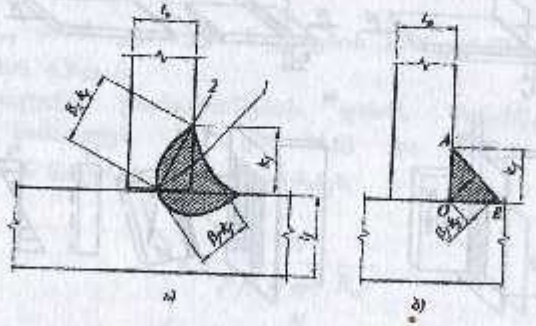
ნახ. 4.9. კუთხური შედუღების ნაკერების საანგარიშო სქემები.
ა)-შეერთების რღვევა ფლანგური ნაკერებით; ბ)-შუბლური ნაკერებით; გ)-ღუნვაზე და ჭრაზე მომუშავე ნაკერები.

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{M}{W_z} + \frac{N}{A_z}\right)^2 + \left(\frac{Q}{A_z}\right)^2} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c \qquad (4.12)$$

სადაც $W_f = \frac{\beta_f k_f l_w}{6}$, $W_z = \frac{\beta_z k_z l_w}{6}$, $A_f = \beta_f k_f l_w$, $A_z = \beta_z k_z l_w$.



ნახ. 4.10. კუთხური ნაკერების სახეები
ა)-ნორმალური; ბ)-შეზნექილი; გ)-დამრეცი



ნახ. 4.11. კუთხური ნაკერების რღვევის სქემა
1-ნაკერის ლითონში; 2-შენადნობის ლითონის საზღვარზე

ცხრილი 4.4

შეერთების სახე	შედუღების ხერხი	დუღილის დენებლობის ზღვარი მპა	შედუღების მინიმალური კათეტები k_f, (მმ) როდესაც უფრო სქელი შესადუღებელი ელემენტის სისქეა (t მმ)						
			4-5	6-10	11-16	17-22	23-32	33-40	41-80
ტავრები ორმხრივი კუთხური ნაკერით, პირგადადებული და კუთხური	ხელით	430-დან	4	5	6	7	8	9	10
		430-დან 580-მდე	5	6	7	8	9	10	12
	ავტომატური და ნახევრად ავტომატური	430-მდე	3	4	5	6	7	8	9
		>430-დან 580-მდე	4	5	6	7	8	9	10
ტავრები ერთმხრივი კუთხური ნაკერებით	ხელით	380-მდე	5	6	7	8	9	10	12
	ავტომატური და ნახევრად ავტომატური		4	5	6	7	8	9	10

ცხრილი 4.5

შედუღების სახე ელექტროდის შესადუღებელი მავთულის დიამეტრის (d მმ) მიხედვით	ნაკერის მდებარეობა	კოეფიციენტები	β_f და β_z კოეფიციენტების მნიშვნელობები ნაკერის კათეტების შემთხვევაში, მმ			
			3-8	9-12	14-18	18 და მეტი
ავტომატური, როცა $d = 3 \div 5$	ნაცისებრი	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	ქვედა	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
ავტომატური და ნახევრად ავტომატური, როცა $d = 1,4 \div 2$	ნაცისებრი	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	ქვედა	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
ხელით, ნახევრად ავტომატური მოლიანკუთიანი მავთულის შემთხვევაში $d < 1,4$ ან ფხვნილიანი მავთულის შემთხვევაში	ნაცისებრი ქვედა ჰორიზონტალური ვერტიკალური	β_f	0,7			
		β_z	1,0			

შენიშვნა: კოეფიციენტის მნიშვნელობები შეესაბამება შედუღების ნორმალურ რეჟიმს.

ჭანჭიკებით შეერთება

5.1. სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენებული ჭანჭიკების ტიპები. ამჟამად ფოლადის კონსტრუქციებში, შედუღებით შეერთებასთან ერთად, იყენებენ ჭანჭიკებით შეერთებას. ჭანჭიკები (ნახ. 5.1) ისმება წინასწარ მომზადებულ შესაერთებელი ელემენტების ხახვრეტებში (ნახ. 5.3). მათი დაყენების პროცესი გაცილებით მარტივია, ვიდრე მოქლონებისა, რადგან იგი არ მოითხოვს კვალიფიციურ მუშახელს და რთულ მოწყობილობას. ამავე დროს, ჭანჭიკებით შეერთება მოქლონურ შეერთებასთან შედარებით, ნაკლებად მოხოლითურია. ლითონის კონსტრუქციებში ჭანჭიკებით შეერთებას ძირითადად იყენებენ:

1. ასაწყობ დასაშლელ კონსტრუქციებში;
2. მინტაჟის დროს (მაგ. წამწის საყრდენი კვანძების მისამაგრებლად სვეტებთან, კავშირების მისაერთებლად წამწის კვანძებთან და სხვა);
3. მოქლონვისა და შედუღების დროს დროებითი სამონტაჟო სამაგრის სახით;
4. სახსროვანი კვანძების მოსაწყობად;
5. სვეტების საძირკველში მოსაწყობად;
6. როდესაც შესაერთებელი პაკეტის დიდი სისქის გამო ტექნიკურად შეუძლებელია მოქლონებით შეერთება.

ჭანჭიკები, რომლებსაც იყენებენ ლითონის კონსტრუქციებში, იყოფა ოთხ ჯგუფად:

1)-უხეში (*ГОСТ* 15589–70) ან (*ГОСТ* 15591–70), 2)-ნორმალური (*ГОСТ* 7798–70) ან (*ГОСТ* 7796), 3)-ამაღლებული (*ГОСТ* 7805–70) სიზუსტის, 4)-მაღალი სიმტკიცის (*ГОСТ* 1050–74) ჭანჭიკებად; არსებობს ასევე თვითსაჭრელი კუთხეილიანი და საძირკვლის ჭანჭიკები (ნახ. 5.1).

სიმტკიცის მიხედვით ჭანჭიკები იყოფა კლასებად: 4.6; 5.6; 6.6; 4.8; 5.8; 8.6.

ნორმალური და უხეში სიზუსტის ჭანჭიკები მზადდება ნახშირბადმცირე* (მარკით Ст3, *Ст*5) და მცირედლეგირებული (09*Г*2, 14*Г*2, 15*ГС*, 15*ХСНД*) ფოლადებისაგან. ასეთი ჭანჭიკების, ნახვრეტში ადვილად ჩასმის მიზნით, ნახვრეტის დიამეტრს ღებულობენ 2÷3 მმ-ით მეტს ჭანჭიკის დიამეტრზე. უხეში და ნორმალური სიზუსტის ჭანჭიკები ძირითადად გამოიყენება, როგორც სამონტაჟო ხაშუალებები (შეერთების ფიქსაციისათვის) და ხშირად მათ შავ ჭანჭიკებს უწოდებენ.

მაღალი სიზუსტის ჭანჭიკები მზადდება 8.8 კლასის ფოლადისაგან (დან. 21). ასეთი ჭანჭიკებით შეერთების დროს ჭანჭიკისა და ნახვრეტის დიამეტრების სხვაობა 0,3÷0,5 მმ-ია. სუფთა ჭანჭიკებით შეერთება ხასიათდება საკმაო სიმძლავრით და ნაკლები დეფორმაციულობით. ამიტომ მათ იყენებენ, როდესაც საჭიროა მოქლონური შეერთების შეცვლა ჭანჭიკური შეერთებით ან სამონტაჟო შეერთებებში, როდესაც ჭანჭიკებს გადაეცემა ძვრის ძალები. მაღალი სიზუსტის ჭანჭიკებს ზოგჯერ სუფთა ჭანჭიკებს უწოდებენ. სუფთა ჭანჭიკების ქანჩებით მჭიდროდ მოსაჭერად იყენებენ ქანჩსაჭერებს, სახელურის სიგრძით 400, 800 და 1200 მმ. ქანჩები მზადდება იმავე მარკის ფოლადისაგან, რისგანაც ჭანჭიკები. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკები მზადდება ნახშირბადიანი ან ლეგირებული ფოლადების თერმული დამუშავებით (*38ХС*, *Cm35*, *40Х40ХФА*). თერმული დამუშავების შედეგად ჭანჭიკების სიმტკიცე იზრდება 800÷1350 მპა-მდე. ნახვრეტების დიამეტრი, ისე როგორც შავი ჭანჭიკების დროს, 3 მმ-ით მეტია ჭანჭიკების დიამეტრზე. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით შეერთებების სიმძლავრე ძირითადად დამოკიდებულია ჭანჭიკების მოჭიმვის ძალაზე. ამიტომ ჭანჭიკების მოჭიმვა ხდება სპეციალურად ტარირებული ქანჩსაჭერების საშუალებით. ასეთი ქანჩსაჭერებით შეიძლება მოჭიმვის ძალის გაზომვა და შემოწმება.

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკური შეერთება ხასიათდება მცირე დეფორმაციულობით და დიდი სიმტკიცით. მაგრამ ასეთი შეერთების დირებულება სხვა შეერთებებთან შედარებით მეტია. მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებს იყენებენ მხოლოდ სახასუხისმგებლო სამონტაჟო შეერთებებში.

5.2. ჭანჭიკებით შეერთების გაანგარიშება. ჭანჭიკურ შეერთებაში გარე ძალები ცდილობენ შესაერთებელი ელემენტების ერთიმეორის მიმართ გადაადგილებას-ძვრას. ასეთ ძვრას ეწინააღმდეგება ელემენტების ნახვრეტებში ჩასმული ჭანჭიკები. ისინი მუშაობენ საკმაოდ რთულ დეფორმაციაზე (გაჭიმვის, თელვის, ჭრის და ღუნვის ერთდროული მოქმედებაზე) (ნახ. 5.2). ამიტომ მათი ზუსტი გაანგარიშება უაღრესად რთულ ამოცანას წარმოადგენს. გაანგარიშების გამარტივების მიზნით პირობით მიმართავენ შემდეგ დაშვებებს.

1. ჭანჭიკებით შეერთების რღვევა ხდება ჭრის, თელვის ან გაჭიმვის პირობით (ნახ. 5.2).

2. შეერთებაში მოქმედი ძალა ჭანჭიკებზე ნაწილდება თანაბრად. აქედან გამომდინარე, შავი, ნორმალური ან სუფთა ჭანჭიკის ზიდვის უნარი (ან, რაც იგივეა, ერთი ჭანჭიკის

საანგარიშო ძალა, რომლის ატანაც შეუძლია ჭანჭიკს) გამოითვლება ფორმულებით:

ჭრაზე

$$N_{bs} = R_{bs}\gamma_b A n_s \gamma_c \qquad (5.1)$$

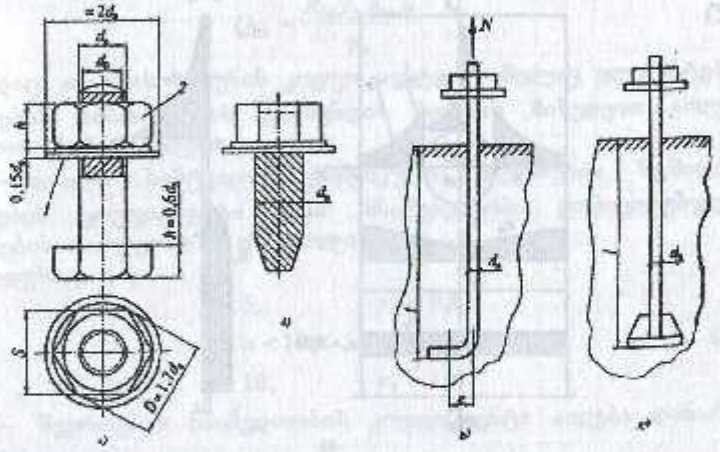
თელვაზე

$$N_{bp} = R_{bp}\gamma_b\gamma_c d\sum t \qquad (5.2)$$

გაჭიმვაზე

$$N_{bt} = R_{bt}A_{bn}\gamma_c \qquad (5.3)$$

N_{bs}, N_{bp}, N_{bt} სიდიდეებიდან უმცირესს ჭანჭიკის უმცირეს საანგარიშო ძალას უწოდებენ და აღნიშნავენ $N_{\min}$-ით



ნახ. 5.1. ჭანჭიკების სახეები
ა)-ჭანჭიკი საყელურით (1) და ქანჩით(2); ბ)-თვითსაჭრელი კუთხოვანიანი ჭანჭიკი; გ)-დ)-საძირკვლის ჭანჭიკები, ტიპი 1- $d_b \le 36$ მმ., ტიპი 1- $d_b \ge 30$ მმ.

$N_{\min}$ განსაზღვრის შემდეგ შეერთებისათვის საჭირო ჭანჭიკების რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით:

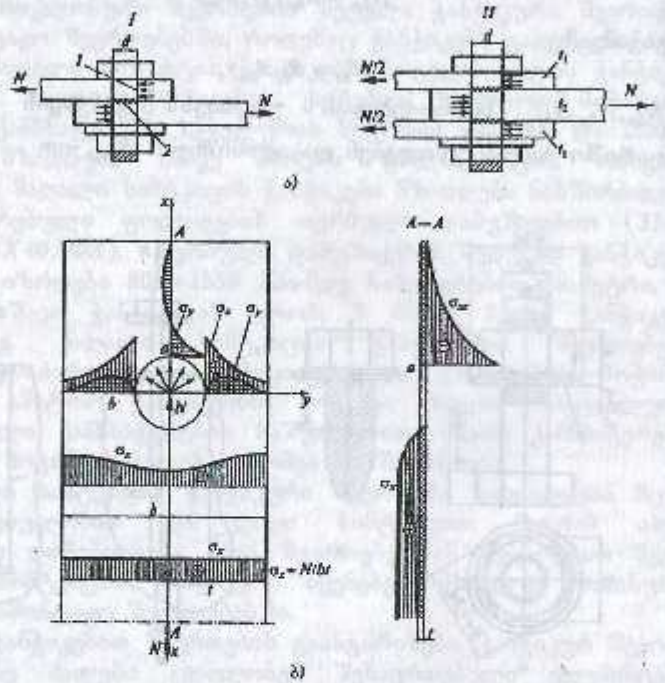
$$n \ge \frac{N}{N_{\min}} \qquad (5.4)$$

ზემოთ მოყვანილ ფორმულებში:
n_s არის ერთი ჭანჭიკის საანგარიშო ჭრების რიცხვი;

$A = \pi d^2/4$ –ჭანჭიკის ღეროს განიკვეთის ბრუტო ფართობი;

A_{bn} –ჭანჭიკის ღეროს განიკვეთის ნეტო ფართობი. მისი მნიშვნელობა ჭანჭიკის დიამეტრის მიხედვით განისაზღვრება მე–19 დანართის მიხედვით;

d –ჭანჭიკის ღეროს დიამეტრი;



ნახ. 5.2.. ჭანჭიკების მუშაობის სქემა: ა)–ერთჭრადი (*I*) და ორჭრადი (*II*) ჭანჭიკების "ჭრა"; ბ)–ჭანჭიკების ხვრეტის თელვა; 1-თელვის ზედაპირი; 2-ჭრის ზედაპირი.

$\sum t$ –შესაერთებელი ელემენტების თელვის უმცირესი ჯამური ფართობი;

γ_b –ჭანჭიკური შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, მისი მნიშვნელობა აიღება დანართი 20-იდან;

γ_c -მუშაობის პირობების კოეფიციენტი აიღება დანართი 14-დან;

R_{bn}, R_{bp}, R_{bt} –ჭანაჭიკის სანგარიშო წინაღობა ჭრის, თელვისა და გაჭიმვის შემთხვევაში.

ერთი ჭანჭიკის შეერთების დროს R_{bs}, R_{bp} და R_{bt} განისაზღვრება ცხრილი 1-ში მოყვანილი ფორმულებით, ჭანჭიკებით შეერთების შემთხვევებში–21 და 22 დანართის მიხედვით.

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების გაანგარიშება ხდება შესაერთებელი ელემენტების შეერთების სიბრტყეში მოქმედი ხახუნის ძალების მიხედვით. მაღალი სიმტკიცის მქონე ჭანჭიკის მოჭერით წარმოშობილი ხახუნის ძალის გაზრდის მიზნით, შესაერთებელი ელემენტების ზედაპირებს წინასწარ წმენდენ ქანგს, ზეთისა და ჭუჭყისაგან. გაწმენდა წარმოებს ლითონის ჯაგრისით, ქვიშის ჭავლით, ზედაპირების ქიმიური დამუშავებით და სხვა საშუალებით. ჭანჭიკის მოჭიმვით წარმოშობილი ხახუნის ძალა (ან რაც იგივეა ჭანჭიკის საანგარიშო ძალა), გამოითვლება ფორმულით:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh}\gamma_b A_{bn}\mu}{\gamma_h} \qquad (5.5)$$

სადაც μ არის ხახუნის კოეფიციენტი, რომელიც ელემენტების შეერთების სიბრტყეების გაწმენდის ხერხის მიხედვით აიღება დანართი 23-ის მიხედვით;

γ_b –მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკური შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია ჭანჭიკების რაოდენობაზე და ტოლია:

რომელსაც

$$\begin{aligned} &n < 5, && \gamma_b = 0{,}8 \\ &5 \le n < 10, && \gamma_b = 0{,}9 \\ &n \ge 10, && \gamma_b = 1{,}0 \end{aligned} \qquad (5.6)$$

γ_h – შეერთების საიმედოობის კოეფიციენტი აიღება დანართი 23-ის მიხედვით;

R_{bh} –ჭანჭიკის საანგარიშო წინაღობა გამოითვლება ფორმულით:

$$R_{bh} = 0{,}7R_{bun} \qquad (5.7)$$

R_{bun} –მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკის დროებითი წინაღობის უმცირესი ნიშვნელობა გაჭიმვის დროს; აიღება დანართი 24-ის მიხედვით;

Q_{bh} –ის განსაზღვრის შემდეგ, შეერთებისათვის საჭირო მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების რაოდენობა გამოითვლება ფორმულით

$$n = \frac{N}{\gamma_c Q_{bh}} \qquad (5.8)$$

ხოლო ძალა, რომლითაც მოჭიმული უნდა იქნეს ჭანჭიკი, ტოლობით

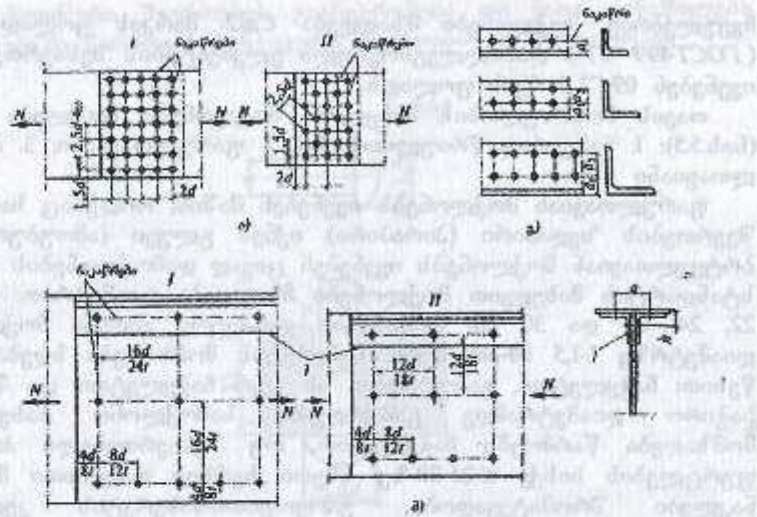
$$P = R_{bh} A_n \qquad (5.9)$$

ცხრილი. 5.1

დაძაბული მდგომარეობა	პირობითი აღნიშვნები	ცრუჭანჭიკიანი შეერთების ჭანჭიკის საანგარიშო წინადობები			
		ჭრაზე და გაჭიმვაზე ჭანჭიკებისათვის, კლასით:			შესაერთებელი ელემენტების თხელაზე, რომელშიც ელემენტების ფოლადის დენადობის ზღვარი ≤ 440 მპა
		4,6; 5,6; 6,6;	4,8; 5,8	8,8	–
ჭრა	R_{bs}	$R_{bs} = 0,38 R_{bun}$	$R_{bs} = 0,4 R_{bun}$	$R_{bs} = 0,4 R_{bun}$	–
გაჭიმვა	R_{bt}	$R_{bt} = 0,42 R_{bun}$	$R_{bt} = 0,4 R_{bun}$	$R_{bt} = 0,5 R_{bun}$	–
თელა ა) ამაღლებული სიზუსტის ჭანჭიკები ბ) ნორმალური და უხეში სიზუსტის ჭანჭიკები		–	–	–	$R_p = \left(0,5 + \frac{R_{bun}}{+390 E}\right) R_{un}$
		–	–	–	$R_p = \left(0,5 + \frac{R_{bun}}{+280 E}\right) R_{un}$

ზემოთ მოყვანილი ფორმულებით ჭანჭიკის რაოდენობის განსაზღვრის შემდეგ, საჭიროა მათი განაწილება შეერთებაში. ჭანჭიკების განაწილება ხდება საწარმოო და კონსტრუქციული მოსაზრებებით. საწარმოო მოსაზრებით არჩევენ ჭანჭიკების განლაგების ისეთ სქემას, რომლის დროს ჭანჭიკების ქანჩების მოჭერა ადვილია ქანჩსაგრეხით.

ამ მოსაზრებით, ყველაზე მიზანშეწონილია ჭანჭიკის რიგობრივი განლაგება (ნახ. 5.3,ა). ჭანჭიკების დიდი რიცხვის შემთხვევაში, მათი რიგობრივი განლაგების დროს პირაპირის სიგრძე გამოდის დიდი. პირაპირის სიგრძის შემცირების მიზნით მიმართავენ ჭანჭიკების ჭადრაკული წესით განლაგებას (ნახ. 5.3,ბ).



ნახ. 5.3. ჭანჭიკების განაწილების სქემა; ა)-ჭანჭიკების *I* რიგითი და *II* ჭადრაკული განლაგება; ბ)-ელემენტების *I* გაჭიმვისა და *II* კუმშვისას ჭანჭიკების შორის უდიდესი მანძილი; გ)-ჭანჭიკების პროფილურ ელემენტებზე განლაგების სქემა;

ნახაზი 5.3-ზე ნაჩვენები ნახვრეტების (ჭანჭიკების) ცენტრების განლაგების ხაზებს კაწრულებს უწოდებენ. ჭანჭიკების ცენტრებს შორის მანძილს ძალის მიმართულებით ბიჯი ეწოდება (*a*). კონსტრუქციული მოსაზრებით ჭანჭიკების ბიჯი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ჯერ ერთი, უზრუნველყოფილი იქნეს პირაპირის სიმტკიცე, და მეორეც-პირაპირის სიგრძე იქნეს მინიმალური. ამ მოსაზრებათა საფუძველზე ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით დადგენილი ბიჯის უდიდესი და უმცირესი მნიშვნელობები მოცემულია დანართი 25-ში.

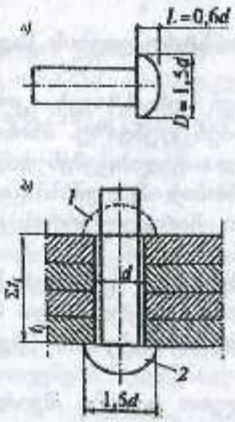
5.3. მოქლონებით შეერთება. შედულებით შეერთებასთან შედარებით, მოქლონურ შეერთებაში მასალის ხარჯი და ღირებულება 10÷15%-ით მეტია. ის ხასიათდება დიდი შრომატევადობით, ამიტომ ასეთი შეერთება ამჟამად გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ იქ სადაც მოქმედებენ დიდი დინამიკური ძალები (მაგ. დიდი ტვირთამწეობის მქონე ამწისქვეშა კოჭებში, ხიდებში და სხვ.). მოქლონური შეერთება ხორციელდება მოქლონების საშუალებით (ნახ. 5.4) მოქლონები წარმოადგენენ მრგვალ ცილინდრულ ღეროს, თავით. მეორე თავი უკეთდება დამოქლონების დროს. მოქლონები მზადდება სპეციალურ წნეხებში, რბილი ფოლადის ცხელ მდგომარეობაში დაწნეხით.

ჩვეულებრივ, მოქლონები მზადდება *Cm2* მარკის ფოლადისაგან (*ГОСТ*499 – 77). დაბალლეგირებული ელემენტების შესაერთებლად იყენებენ 09*Г*2 მარკის ფოლადს.

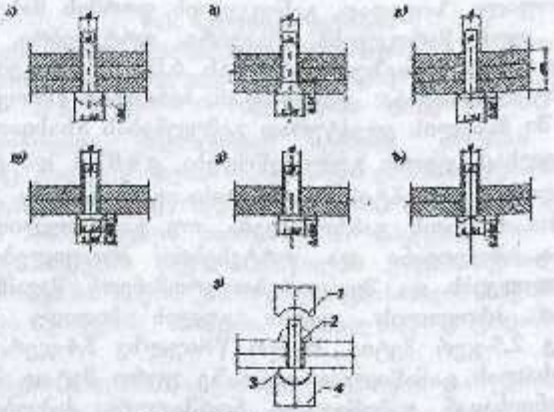
თავის მოხაზულობის მიხედვით მოქლონები შეიძლება იქნეს (ნახ.5.5): 1. ნახევრად წრიულთავიანი; 2. ფარულთავიანი; 3. ბრტყელთავიანი

ფარულთავიან მოქლონებს იყენებენ მაშინ, როდესაც საჭიროა შეერთების ზედაპირი (პირაპირი) იქნეს გლუვი (ამოუბურცავი). ბრტყელთავიან მოქლონებს იყენებენ ცივად დამოქლონების დროს. სტანდარტის მიხედვით მოქლონები მზადდება დიამეტრით: 16, 20, 22, 24, 27 და 30 მმ. ნახვრეტის დიამეტრი აიღება მოქლონის დიამეტრზე 1-1,5 მმ-ით მეტი. ნახვრეტის მომზადება ხდება სამი წესით: ჩაჭყლეტით, გაბურღვით, ან ჯერ ჩაჭყლეტით და შემდეგ საჭირო დიამეტრამდე გაბურღვით. სამოქლონო ნახვრეტის მომზადება წარმოებს ჩაჭყლეტით, თუ შესაერთებელი პაკეტის ფურცლების სისქე ≤ 25 მმ-ზე. ასეთი ხერხის დადებითი მხარეა: ნაკლები შრომატევადობა, უარყოფითი-ნახვრეტის კედლები გამოდის არაგლუვი. ამის გამო, იზრდება ნახვრეტის ახლო მდებარე მასალის სიმყიფე, რაც იწვევს მოქლონის საანგარიშო წინაღობის შემცირებას. როდესაც შესაერთებელი ფურცლების სისქე ≥ 25 მმ–ზე, ნახვრეტები მზადდება „გაბურღვით" ან ჯერ ჩაჭყლეტით და შემდეგ გაბურღვით. ნახვრეტების მომზადების შემდეგ დამოქლონება ხდება ცხელი ან ცივი წესით: დამოქლონების ძირითადი სახეა ცხლად მოქლონვა. ასეთი წესით დამოქლონების დროს 800-1000^0-მდე (დია წითელ ფერამდე) გახურებული მოქლონები ისმება წინასწარ მომზადებულ შესაერთებელი პაკეტის ნახვრეტებში და შემდეგ ჩაქუჩის (ხელის ან პნევმატური) საშუალებით უკეთდება მეორე ჩამკეტი თავი (ნახ.5.5). გაცივების შემდეგ მოქლონები მოკლდება და თავებით მჭიდროდ უჭერს შესაერთებელ ელემენტებს, რის შედეგად, ძერის დროს პაკეტის შეერთების სიბრტყეში წარმოიშობა დიდი ხახუნის ძალები; უკანასკნელი საგრძნობლად ზრდის შეერთების ზიდვის უნარს. ცივად გლინვის შემთხვევაში, მოქლონის ჯდომა და ჩამკეტი თავის გაკეთება წარმოებს დიდწნევიანი სპეციალური მანქანების საშუალებით. ასეთი ხერხით დამოქლონების უპირატესობად ითვლება: მოქლონურ სამუშაოთა სისწრაფე და სიმარტივე, საწვავის ეკონომია, ნახვრეტების მჭიდროდ შევსება. უარყოფითი მხარეა: დიდწნევიანი სამოქლონე მანქანების აუცილებლობა, შესაერთებელი ელემენტების ზედაპირებს შორის მცირე ხახუნის ძალების არსებობა, მოქლონების პლასტიკური თვისებების შემცირება და ფოლადის სიმყიფის გაზრდა.

მოქლონური შეერთების გაანგარიშება და მათი განაწილება შეერთებაში წარმოებს ჭანჭიკური შეერთების ანალოგიურად.



ნახ. 5.4.. მოქლონებით შეერთება
ა)-მოქლონი ნახევრად მრგვალი თავით; ბ)-მოქლონის დაყენება შეერთებაში; 1-ჩამკეტი თავი; 2-ჩასატანებელი თავი.



ნახ. 5.5. მოქლონების ტიპები:
ა)-ფოლადის ნახევრად წრიულთავიანი; ბ)-ფოლადის ფარულთავიანი; გ)-მოქლონი ცივადგლეჯისათვის; დ),ე),ვ)-მოქლონები ალუმინის შენადნობებისაგან; ზ)-ჩამკეტი თავის გამოჭედვა ცხლად დამოქლონების შემთხვევაში: 1-მომჭერი; 2-ჩამკეტი თავი; 3-მოქლონის თავი; 4-დამჭერი.

თავი 6

კოჭები და კოჭოვანი კონსტრუქციები

6.1. კოჭოვანი კონსტრუქციების საერთო დახასიათება

კოჭები წარმოადგენენ უმარტივეს კონსტრუქციულ ელემენტებს, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე. ისინი ღებულობენ დატვირთვებს გადახურვისაგან და გადასცემენ საყრდენებს. მშენებლობაში კოჭებს იყენებენ შენობის მალების გადახურვებში, კოჭოვანი მოედნების გადახურვებში, სართულშორის გადახურვებში, ხიდების აგებისას, და ა. შ.

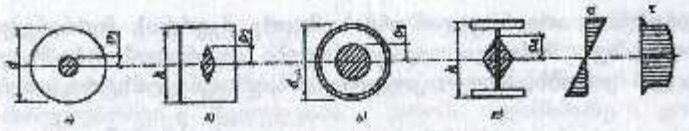
შენობის მალი, რომელშიც გამოიყენება კოჭები, საშუალოდ შეიძლება იყოს 24 მეტრამდე. უფრო დიდი მალის შემთხვევაში გამოიყენება სხვა სახის კონსტრუქციები (ფურმები, თაღები, ნარჩოები და ა. შ.).

დანიშნულების მიხედვით კოჭები შეიძლება იყოს: გრძივების, რიგელების და ზღუდარების სახით.

სტატიკური სქემის მიხედვით კოჭები იყოფა, როგორც ჭრილი, უჭრი და კონსოლური.

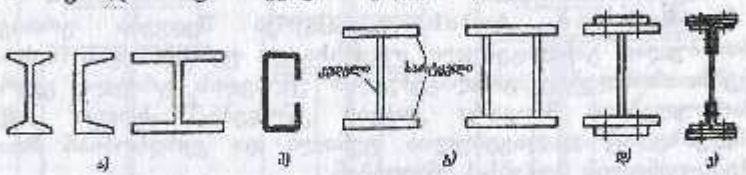
6.1.1. კოჭებისა და მისი კვეთების ტიპები. ლითონის კოჭების კვეთის ყველაზე მეტად გავრცელებულ ტიპს წარმოადგენს ორტესებრი პროფილი. ზოგადად, განივკვეთის ფორმის მიხედვით კოჭი შეიძლება იყოს მართკუთხა, ტესებრი, ორტესებრი, შეელერის, წრიული და სხვა მოხაზულობის (ნახ. 6.1). ის შედგება ზედა და ქვედა სარტყლებისაგან, კედლისაგან, სიხისტის წიბოებისაგან და ა. შ. კვეთში მასალის ეფექტურად გამოყენებას ახასიათებენ სიდიდით, რომელსაც კვეთის გული ეწოდება $\rho = W/A$ და ტოლია კვეთის წინაღობის მომენტის ფარდობისა განივკვეთის ფართობზემას გააჩნია სიგრძის განზომილება. თუ გამოვთვლით წრიული, მართკუთხა, მილოვანი და ორტესებრი პროფილების კვეთის გულის სიდიდეებს და შევადარებთ ერთმანეთს შევამჩნევთ, რომ ორტესებრი პროფილის კვეთის გულის სიდიდე მართკუთხა პროფილზე 2,5-ჯერ მეტია, ხოლო წრიულზე 3,4-ჯერ, რადგან ამ კვეთში მასალის განაწილება ყველაზე უფრო მეტად შეესაბამება კოჭის ღუნვისაგან გამოწვეული ნორმალური ძაბვების განაწილების ეპიურას. ამიტომ ლითონის კოჭებს ძირითადად პროექტებენ ორტესებრი პროფილის, რაც უზრუნველყოფს ლითონის მხებ ძაბვებზე კარგ მუშაობას. ეს პირობები იძლევა საშუალებას გავაკეთოთ კოჭის კედელი საკმაოდ თხელი. (იხ. ნახ. 6.1).

კოჭები ზოგადად არსებობს გაგლინული და შედგენილი ტიპის.



ნახ. 6.1. კოჭის კვეთის ტიპების შედარება:
ა)-წრიული, $\rho_1 = 0{,}125d$; ბ)-მართკუთხა, $\rho_2 = 0{,}17h$;
გ)-წრიული, $\rho_3 = 0{,}25d_{\text{საშ}}$; დ)-ორტესებრი, $\rho_4 = 0{,}42d$;

დატვირთვისა და მალის მიხედვით გამოიყენება ორტესებრი, შეელერის, გაგლინული ან შედგენილი პროფილების კოჭები (ნახ. 6.2). შედგენილი პროფილების კოჭები შეიძლება იყოს შედუღებული და ჭანჭიკებიანი ან მოქლონებიანი. ზოგადად უპირატესობა ენიჭება გაგლინულ კოჭებს, რადგან ისინი ნაკლებად შრომატევადია, მაგრამ სორტამენტის შეზღუდულობა არ იძლევა მათი გამოყენების საშუალებას დიდი მდუნავი მომენტების არსებობისას. ასეთ დროს გამოიყენება შედგენილი კოჭები.



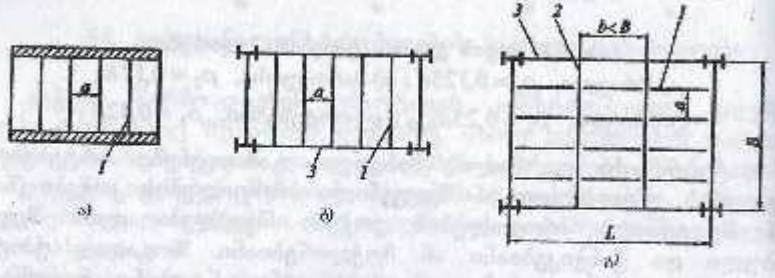
ნახ. 6.2. კოჭის კვეთები:
ა)-გაგლინული; ბ)-თხელკედლიანი ნაღუნი; გ)-შედგენილი შედუღებული; დ)-შედუღებული გაძლიერებული ჭანჭიკებით ე)-ჭანჭიკებით ან მოქლონებით შედგენილი.

6.1.2. კოჭოვანი გადახურვის სქემები. კოჭების სისტემას, რომლებითაც გადახურულია სხვადასხვა დანიშნულების მოედნები კოჭოვანი გადახურვა ეწოდება. ლითონის კოჭებით გადახურვა გამოიყენება სამრეწველო სააშქროებში სპეციალური მოედნების მოსაწყობად, ხიდების საეალი ნაწილის გადასახურად და სხვა სახის ნაგებობებში. ასეთი კონსტრუქციებისათვის საჭიროა შევარჩიოთ მზიდი კოჭების სისტემა, რომელსაც კოჭოვანი უჯრედი ეწოდება.

გადახურვის მალის, დატვირთვის სიდიდის და ფენილის სახის მიხედვით, კოჭოვანი გადახურვა იყოფა: 1)-გამარტივებული, 2)-ნორმალური და 3)-გართულებული ტიპის კოჭოვანი უჯრედებად (ნახ. 6.3).

გამარტივებული ტიპის გადახურვა (ნახ. 6.3,ა) შედგება გადახურვის ფენილისაგან და ფენილის კოჭებისაგან-1. ფენილის კოჭები ეყრდნობა სვეტებს ან მზიდ კედლებს. ისინი ხვეულებრივ,

განლაგებული არიან გადახურვის მცირე გეერდის პარალელურად. გადახურვაზე მოსული დატვირთვები ფენილის საშუალებით გადაეცემა კოჭებს, ხოლო კოჭებიდან-საყრდენ კონსტრუქციებს.



ნახ. 6.3. კოჭოვანი უჯრედის ტიპები:
ა)-გამარტივებული; ბ)-ნორმალური; გ)-გართულებული;
1-ფენილის კოჭები; 2-დამხმარე კოჭები; 3-მთავარი კოჭები.

ნორმალური ტიპის გადახურვა შედგება ურთიერთმართობულად განლაგებული კოჭებისა და ფენილისაგან (ნახ.6.3,ბ). კოჭებს, რომლებიც განლაგებულია უჯრედის გრძელი გეერდის მიმართულებით, მთავარი კოჭები ეწოდება-3, ხოლო კოჭები, რომლებზედაც დალაგებულია ფენილი და ეყრდნობიან მთავარ კოჭებს-ფენილის კოჭებს-1 უწოდებენ.

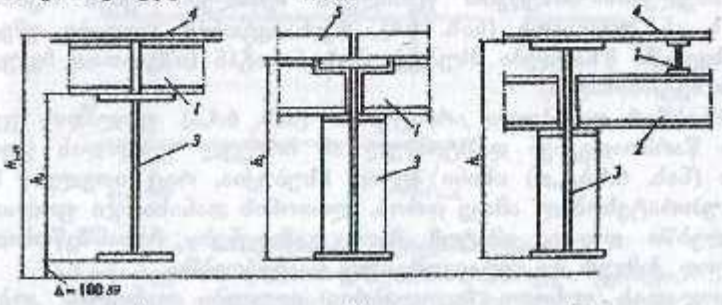
გართულებული ტიპის გადახურვა, მთავარი-3 და ფენილის კოჭების-1 გარდა, დამატებით შედგება დამხმარე კოჭებისაგან-2 (ნახ. 6.3,გ). ფენილის კოჭები-1 განლაგებულია დამხმარე კოჭების-2 მართობულად და უშუალოდ ეყრდნობა მას.

დამხმარე და ფენილის კოჭებად გამოიყენება გაგლინული ორტესებრი პროფილი (ნახ. 6.2,ა). მთავარ კოჭებად - დიდი ნომრის ორტესებრი გაგლინული პროფილი. თუ ასეთი პროფილის ზიდვის უნარი საკმარისი არ არის $(h > 70)$, მაშინ გეგმარდება შედულებული ან მოქლონური შედგენილი კოჭები (ნახ. 6.2,გ,დ,ე). მოქლონური კოჭების დირებულება და მახალის დანახარჯი, შედულებულ კოჭებთან შედარებით, 10÷15 %-ით მეტია, ამიტომ გამოიყენება იშვიათად. მოქლონური კოჭების გამოყენება მიზანშეწონილია, თუ ადგილი აქვს დიდი დინამიკური დატვირთვების ზემოქმედებას.

გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის მიხედვით, (სამშენებლო სიმაღლედ-$h_{ა.ვ}$ ითვლება მანძილი გადახურვის ქვედა კიდური წერტილიდან ფენილის ზედაპირამდე ნახ. 6.5. იგი ჩვეულებრივ წინასწარ მოცემულია ტექნოლოგის ან არქიტექტორის მიერ, საჭირო მოწყობილობათა განლაგების ან არქიტექტურული მოსაზრებებით) კოჭოვანი უჯრედის მთავარი და დამხმარე კოჭების ურთიერთშედულება შეიძლება იყოს: სართულებრივი (ნახ. 6.5,ა); ერთ დონეზე (ნახ. 6.5,ბ) და დადაბლებული (ნახ. 6.5,გ).

სართულებრივი შედულების დროს დამხმარე კოჭები-2 უშუალოდ ეყრდნობა მთავარი კოჭების-3 ზედა სარტყელს, რაც ამარტივებს მათი ურთიერთშედულების კონსტრუქციას. ასეთი შეერთების უარყოფითი მხარეა დიდი სამშენებლო სიმაღლე, როდესაც სართულებრივი შეუღლების კონსტრუქციული სიმაღლე არ თავსდება გადახურვის სამშენებლო სიმაღლის საზღვრებში, მიმართავენ კოჭების ერთ დონეზე შედუღებას.

ერთ დონეზე შედუღების შემთხვევაში, დამხმარე და მთავარი კოჭების ზედა სარტყელები განლაგებულია ერთ თარაზულ სიბრტყეში, ასეთი შეუღლების დადებითი მხარეა მცირე კონსტრუქციული სიმაღლე, უარყოფითი-კოჭების ურთიერთშედუღების კონსტრუქციის სირთულე.



ნახ. 6.5. კოჭების შეუღლება:
ა)-სართულებრივი; ბ)-ერთ დონეზე; გ)-დადაბლებული;
($h_{ა.ვ}$ -გადახურვის სიმაღლე; $h_ბ$ -კოჭის სიმაღლე; Δ -კოჭის ჩაღუნვა; 1-ფენილის კოჭები; 2-დამხმარე კოჭები; 3-მთავარი კოჭები; 4-ფენილი; 5-რკინაბეტონის ფილები)

გართულებული კოჭოვანი უჯრედის შემთხვევაში გამოიყენება გადახურვის კონსტრუქციული სიმაღლის კიდევ უფრო შემცირების მიზნით, კოჭების დადაბლებული შეუღლება, რომელშიც მთავარი-3 და ფენილის კოჭების-1 ზედა თაროები ერთ სიბრტყეში არიან განლაგებული, ხოლო დამხმარე კოჭის-2 ზედა თაროს სიბრტყე დადაბლებულია. შეუღლების ეს სახეც ეკონომიურია, მაგრამ ურთულესია სამეფე სახეს შორის.

კოჭოვანი უჯრედის ძირითადი ზომები (მთავარი კოჭის მალი, მთავარ და დამხმარე კოჭებს შორის მანძილი) დამოკიდებულია სვეტების განლაგებაზე, ეს უკანასკნელი კი სათავსის ტექნო-

ლოგიური პროცესის ხასიათზე. თუ სექტების განლაგება ტექნოლოგიური პროცესით შეზღუდული არ არის, მაშინ ძირითადი ზომები შეირჩევა ისე, რომ გადახურვის დირებულება (ან ლითონის დანახარჯი) დაყვანილი გადახურვის ფართობის 1 მ²-ზე იქნეს უმცირესი. ასეთი მოსაზრებით შერჩეულ ზომებს კოჭოვანი გადახურვის ოპტიმალურ ზომებს უწოდებენ.

პრაქტიკის უმეტეს შემთხვევებში, კოჭოვანი უჯრედის ოპტიმალურ ზომებად იღებენ

$$L \times B = (12 \times 6)\,\text{მ} \quad \text{ან} \quad (10 \times 5)\,\text{მ-ზე},$$

L და B -კოჭოვანი უჯრედის გრძივი და განივი ბიჯებია (ნახ.6.3).

6.13. კოჭოვანი უჯრედების ფენილები. თავისი დანიშნულებისა და გადახურვის კონსტრუქციული გადაწყვეტის მიხედვით კოჭოვანი უჯრედების ფენილები მრავალგვარია. გადახურვის დანიშნულების მიხედვით ფენილები შეიძლება იქნეს რკინაბეტონის ან ფოლადის (ნახ. 6.4). რკინაბეტონის ფილები უმეტეს შემთხვევაში მზადდება მსუბუქი ბეტონისაგან (იშვიათად ჩვეულებრივი ბეტონისაგან).

წინასწარ დაძაბული არმატურით (ნახ. 6.4,ა). ფოლადის ფენილები წარმოადგენენ დაშტამპულ ან ბრტყელ ფოლადის ფურცლებს (ნახ. 6.4,ბ,გ,დ) იხინი მეტად მსუბუქია, რაც ითვლება მათ დიდ უპირატესობად, ამავე დროს, ლითონის დანახარჯი ფოლადის ფენილებში დიდია; ამიტომ მათი გამოყენება მიზანშეწონილია მხოლოდ ქიმიურ და მეტალურგიულ საამქროებში.

ფოლადის ფენილი ჩვეულებრივ ედებება ფენილის კოჭებს (ნახ. 6.4,ბ), თუ არის საჭიროება, იმისა რომ ფენილი იქნეს დასაშლელ-ასაწყობი კონსტრუქციის, მაშინ მას აძლიერებენ ხიხისტის წიბოებით (მცირე ზომის კუთხოვანებით) (ნახ. 6.4,გ).

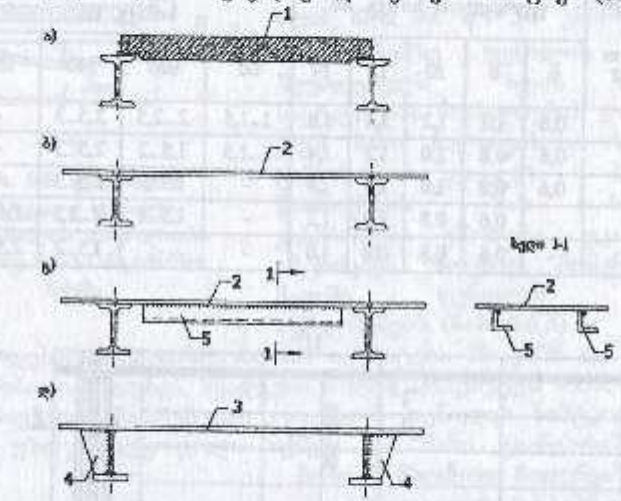
კოჭებზე მიდებული ფოლადის ბრტყელი ფენილის საკმაო სისქის შემთხვევაში, იგი შეიძლება გამოყენებული იქნეს როგორც კოჭის ზედა სარტყელი (ნახ. 6.4,დ).

ფენილის კოჭები გეგმაში განლაგებული უნდა იყვნენ მუდმივი ბიჯით, რომელიც ისაზღვრება ფენილის ხიდვის უნარითა და სიხისტით. ფენილის კოჭების ბიჯი (a), ფოლადის ფენილისას რეკომენდებულია დაინიშნოს 0,6...1,6 მ. ფარგლებში, ხოლო რკინაბეტონის ფენილისას 1...3 მ-დე (იხ. ცხრ. 6.1).

დამხმარე კოჭების ბიჯი (b), რეკომენდებულია დაინიშნოს 2...5მ-ის ფარგლებში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ყველაზე ხშირად მსხმ ფენილად ფოლადის ბრტყელ ფურცლებს ან რკინაბეტონის ფილების ასაწყობ ფენილს იყენებენ. ბოლო დროს დაიწყეს ფარის ფენილის

გამოყენება, რომელიც შედგება მზიდი ფოლადის ფურცლისგან. მას ზემოდან დამცავი ფენა აქვს, ხოლო ქვემოდან გრძივი და განივი წიბოებით არის გამაგრებული. ფენილის ფარების ზომაა 3×12 მ. იგი გადახურვების კოჭებზე თავსდება. ასეთი ფენილი ინდუსტრიულია და მნიშვნელოვნად აჩქარებს მონტაჟს (ნახ. 6.5).



ნახ. 6.4. კოჭოვანი უჯრედის ფენილი.
1-რკინა-ბეტონის ფილა; 2-ფოლადის დადარული ფენილი; 3-ფოლადის ფურცლოვანი ფენილი; 4-შვეული ხიხისტის წიბო; 5-ფენილის ხიხისტის წიბო.

დიდი დატვირთვებისას ფარის ფენილის კონსტრუქცია შედგება გრძივი და განივი წიბოების სისტემისაგან, რომლებიც ქმნიან კოჭოვან როსტვერკს, უჯრედის ზომებით დაახლოებით-0,5×1,5 მ. მასზე ზემოდან დადებულია ფურცლოვანი ფენილი. როსტვერკის კოჭებს-წიბოებს, რომლებიც იჭერენ ფენილს, ხშირად ნადენი პროფილებისგან ამზადებენ. ფენილზე მათი მიდებება შესაძლებელს ხდის, ფენილის ზოლს, სიგანით $b = 1{,}3t\sqrt{E/R_y}$, როგორც კოჭის ზედა სარტყლად გაანგარიშებაში ჩართვას.

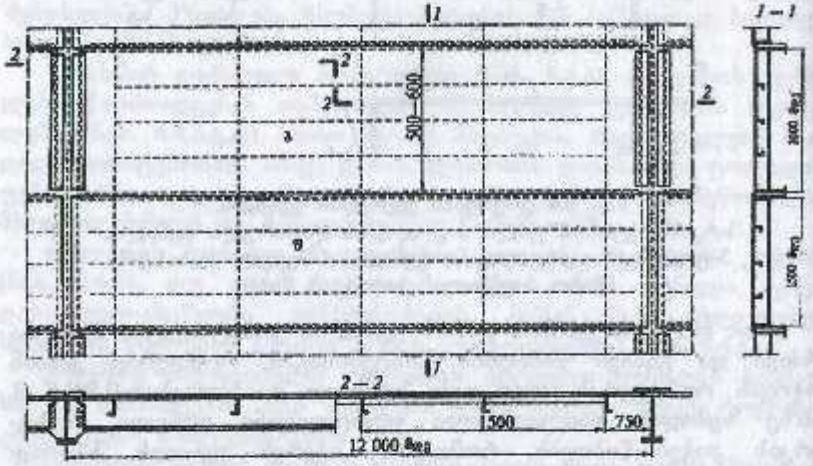
თავად ფურცლოვანი ფენილი, ეყრდნობა რა წიბოებს, მუშაობს როგორც ფირფიტა, რომლებიც ოთხივე გვერდს ეყრდნობა და კონტურზეა დამაგრებული.

გადახურვების ფენილის სასარგებლო დატვირთვად მიზანშეწონილია მიღებული იქნას თანაბრად განაწილებული

დატვირთვა, ინტენსივობით 40 კნ/მ², ხოლო ზღრული ფარდობითი ჩაღუნვა $[f/l] \le 1/150$.

ცხრილი 6.1

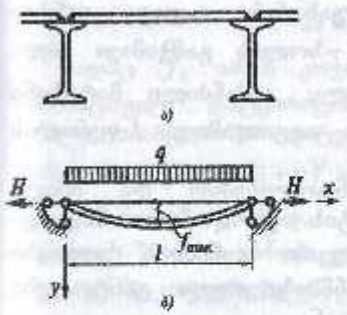
სახარგებლო დატვირთვა კნ/მ²	ფურცლის სისქე მმ.					რკინაბეტონის ფილის სისქე, მმ.			
	6	8	10	12	14	60	100	140	180
10...15	0,6	1,0	1,2	1,4	1,6	1...1,5	2...2,5	2,5...3	-
15...20	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1...1,5	1,5...2	2,5...3	-
20...25	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	-	1,5...2	2,5...3	-
25...30	-	0,6	0,8	1,0	1,2	-	1,5...2	2...2,5	2,5...3
30...35	-	0,6	0,8	0,8	1,0	-	-	1,5...2	2,5...3



ნახ. 6.5. ფარის ფენილი: ბ-ბლოკის ფ-ფარი

ფოლადის ფენილი. მზიდი ფენილის უმარტივესი კონსტრუქცია შედგება ფოლადის ფურცლისგან, რომელიც განლაგებულია კოჭებზე და შედუღებულია მათთან (ნახ. 6.6,ა). ფენილების დამჭერ კოჭებს შორის მანძილი მისი სიდეისუნარით, ან სიხისტით პირობით განისაზღვრება.

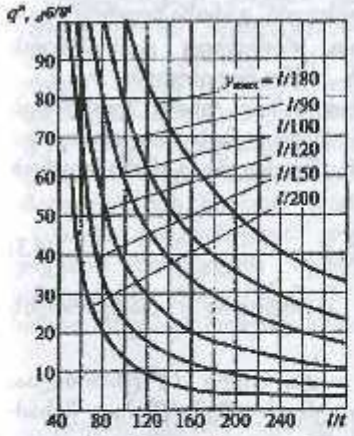
მასალის დანახარჯების შემცირებასთან დაკავშირებით ყველაზე ხელსაყრელი გადაწყვეტილება, მიიღება ფენილის მინიმალური სისქის შემთხვევაში.



ნახ. 6.6. ფოლადის ბრტყელი ფენილი
ა)–ფენილის დაყრდნობა კოჭზე; ბ)–საანგარიშო სქემა.

ამიტომ, რეკომენდებულია ფენილებისთვის 6–8მმ სისქის ფურცლების გამოყენება როცა $q \le 10$ კნ/მ², $11 \le q \le 20$ კნ/მ² დატვირთვის შემთხვევაში 8–10 მმ; $21 \le q \le 30$ კნ/მ²-თვის 10-12 მმ; $q > 30$ კნ/მ²-თვის 12-14 მმ. კოჭებზე ფენილის მიდუღება შეუძლებელს ხდის ფენილის საყრდენების მიახლოებას დატვირთვის ქვეშ მისი ჩაღუნვისას, რაც მასში გამჭიმავ ჯაჭვურ ძალებს- H წარმოქმნის. მას სხვაგვარად განმბრჯენი ეწოდება. უკანასკნელნი ამცირებენ მდუნავ მომენტს, რაც მასში ფენილის მუშაობას აუმჯობესებს (ნახ. 6.6,ბ).

როდესაც დატვირთვები არ აღემატება 50 კნ/მ² და ზღრული ფარდობითი ჩაღუნვა შეადგენს მალის არაუმეტეს 1/150, კიდეებში სახსროვნად-დამაგრებული ფოლადის ფენილის სიმტკიცე ყოველთვის უზრუნველყოფილი იქნება და მისი გაანგარიშება უნდა მოხდეს მხოლოდ ჩაღუნვაზე.



ნახ. 6.7. ფურცლოვანი ფენილის l/t დამოკიდებულება ნორმატიულ დატვირთვასთან

პარალელურ კოჭებზე ფენილის დაყრდნობა საშუალებას იძლევა ჩაითვალოს, რომ ის ცილინდრულ ზედაპირზე იღუნება. ასეთი ფენილის გასაანგარიშებლად მასში წარმოსახვით ამოვჭრათ ერთეულოვანი სიგანის ზოლი, რომელიც ბოლოებით, უძრავი სახსრებით, არის გამაგრებული (იხ. ნახ. 6.6,ბ). მაშინ დატვირთვის ქვეშ მისი ჩაღუნვა ტოლი იქნება

$$f = f_0 \frac{1}{1+\alpha} \sin\frac{\pi x}{l} \qquad (6.1)$$

სადაც $f_0 = (5/384)(q^n l^4 / E_1 I)$ არის ნორმატიული განივი დატვირთვისგან (q^n) მალის შუაში კოჭის ჩაღუნვა; $E_1 I$ -ცილინდრული ღუნვის სიხისტეა, როდესაც განივი დეფორმაციები

შეუძლებელია; $E_1 = E/(1-\nu^2)$; ν -პუასონის კოეფიციენტია (ფოლადისთვის $\nu = 0,3$); $\alpha = H/P_e$; H –ზოლის გამჭიმავი ძალა (განმბჯენი); $P_e = \pi^2 E_1 I/l^2$ -ეილერის ძალა; x -მანძილი მარცხენა საყრდენიდან ჩანაღუნის განსაზღვრის ადგილამდე; l -ფენილის მალი.

ისარგებლა რა ტიმოშენკოს განტოლებებით და მიიღო ნორმატიული დატვირთვისგან ფირფიტის ფარდობითი ჩაღუნვა $[f/l]$ მოცემულად, ტელოიანმა გამოიყვანა ფენილის უდიდესი მალის მის სისქესთან ფარდობის განმსაზღვრელი განტოლება მოცემული ზღვრული ჩაღუნვის პირობიდან

$$\left(\frac{l}{t}\right)^3 - \frac{96}{5n_0^3}\frac{E_1}{q^n}\left(\frac{l}{t}\right)^2 - \frac{32}{5n_0}\frac{E_1}{q^n} = 0, \qquad (6.1)$$

საიდანაც მიახლოებით

$$\frac{l}{t} \approx \frac{4n_0}{15}\left(1 + \frac{72E_1}{n_0^4 q^n}\right), \qquad (6.2)$$

სადაც (l/t)-არის ფირფიტის მალის საძიებელი ფარდობაა მის სისქესთან; $n_0 = [l/f]$ -ფენილის მალის ფარდობა მის ზღვრულ ჩაღუნვასთან; q^n -ნორმატიული დატვირთვა ფენილზე.

საძიებელი ფარდობა (l/t) ასევე შეიძლება განისაზღვროს ნახ. 6.7-ზე ნაჩვენები გრაფიკების მიხედვით, რომელიც ტიმოშენკოს შრომებზე დაყრდნობით ლეიტესის მიერ იქნა მიღებული.

ჯაჭვური ძალა H, რომლის მოქმედებაზეც უნდა შემოწმდეს ფენილის დამჭერი კონსტრუქცია და შედუღების ნაკერები, და რომლებიც ფენილს ამაგრებენ კოჭთან, შეიძლება განისაზღვროს მიახლოებითი ფორმულით

$$H = \gamma_f \frac{\pi^2}{4}\left[\frac{f}{l}\right]^2 E_1 t, \qquad (6.3)$$

სადაც γ_f -ფენილზე მოქმედი დროებითი დატვირთვის საიმედობის კოეფიციენტია.

თუკი ფენილის ზომები (სისქე t და მალი l) ცნობილია, მაშინ მისი ხიდვის უნარისა და ჩაღუნვის შემოწმება შესაძლებელია შემდეგი ტოლობების მეშვეობით:

$$f = f_0/(1+\alpha); \qquad (6.4)$$

$$\sigma = H/A + M/W \le \gamma_c R_y; \qquad (6.5)$$

$$H = \pi^2 E_1 I\varepsilon/l^2; \qquad (6.6)$$

$$M = M_0/(1+\alpha), \qquad (6.7)$$

სადაც f_0 არის კოჭის ჩაღუნვა, რომელიც განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვისაგან (6.4) მიხედვით შემოწმებისას, ხოლო საანგარიშო დატვირთვისაგან (6.5)-ით შემოწმებისას; α განისაზღვრება $\alpha(1+\alpha)^2 = 3(f_0/t)^2$ განტოლებით; $A = 1 \cdot t$ და $W = 1 \cdot t^2/6$ -შესაბამისად, არის ერთეულოვანი სიგანის მქონე ფენილის ზოლის განივი კვეთის ფართობი და წინაღობის მომენტი; $M_0 = ql^2/8$ -კოჭური მღუნავი მომენტია.

6.2. გაგლინული კოჭები

გაგლინულ კოჭებად, რომლებიც მუშაობენ ღუნვაზე, ჩვეულებრივ იყენებენ ორტესებს (*ГОСТ* 8239 – 89), *Б* ტიპის ნორმალურ ორტესებს (*ГОСТ* 26020 – 83), *Ш* ტიპის ფართოთაროებიან ორტესებს. ქანობიანი გადახურვისათვის გაგლინულ გრძივებად იყენებენ შველერებს (*ГОСТ* 8240 – 89). გლინული სორტამენტის სხვადასხვაობა საკმაოდ დიდია და გაგლინული კოჭები ფართოდ გამოიყენება კონსტრუქციებში, სადაც საჭიროა წინაღობის მომენტი $W \le 13000$ სმ³.

გაგლინული კოჭები გლინვის პირობიდან გამომდინარე, მიიღება საკმაოდ "სქელკედლიანი", რაც უზრუნველყოფს მისი სარტყელებისა და კედლის "კარგ მდრადობას". ასეთი "კარგი მდგრადობის" მიზეზია ის, რომ კრიტიკული ძაბვები ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვისას ყოველთვის არის დენადობის ზღვარზე მეტი. გაგლინული კოჭების სქელკედლიანობა ღუნვისას უწყობს ხელს მასალის მუშაობას დრეკად-პლასტიკურ არეში, რაც ამაღლებს მის ხიდვის უნარს.

6.2.1. გაგლინული კოჭების კვეთის შერჩევა. გაგლინული კოჭების სიმტკიცის შემოწმება, რომლებიც მუშაობენ დრეკად საზღვრებში და იღუნებიან ურთ-ერთ მთავარ სიბრტყეში (ნახ. 2.13), ხდება მღუნავი მომენტის მიხედვით, შემდეგი ფორმულით:

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W^{nt}} \le R_y\gamma_c \qquad (6.8)$$

კოჭის კვეთის შერჩევისას მისი საჭირო წინაღობის მომენტი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულით:

$$W_{tre\check{s}}^{nt} = \frac{M_{max}}{R_y\gamma_c} \qquad (6.9)$$

სადაც R_y არის ფოლადის საანგარიშო წინაღობა (აიღება დან. 5); γ_c-მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (აიღება დან. 14).

წინაღობის მომენტის მიხედვით პროფილის ტიპის შერჩევის შემდგომ, სორტამენტიდან შეირჩევა კოჭის პროფილის უახლოესი ნომერი მეტობით. შერჩეული კვეთი მოწმდება სიმტკიცეზე მხები ძაბვების მოქმედებისას ფორმულით

$$\frac{Q_{max}S}{It_w} \le R_s\gamma_c \qquad (6.10)$$

სადაც Q_{max} არის უდიდესი მლუნავი მომენტი საყრდენთან ახლოს; S-კვეთის იმ ნაწილის სტატიკური მომენტი, რომელზეც ხდება ძერა; I-მთელი კვეთის ინერციის მომენტი; t_w-კოჭის კედლის სისქე; R_s-ფოლადის საანგარიშო წინაღობაა ჭრაზე (აიღება დან. 5).

გაგლინული ჭრილი კოჭებისათვის, რომლებიც დამზადებულია არიან ფოლადებისაგან ნორმატიული საანგარიშო წინაღობით 530 მპა-მდე, მასზე სტატიკური დატვირთვის ზემოქმედებისას, უზრუნველყოფილი საერთო მდგრადობის დაკარგვისაგან, ამასთან მხები ძაბვების შეზღუდული მნიშვნელობისას M და Q-ს ყველაზე მეტად არახელსაყრელი შეთანწყობისას, მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობა და შემოწმებული იქნას მათი სიმტკიცე შემდეგი ფორმულებით:

ერთ მთავარ სიბრტყეში ღუნვისას, როცა მხები ძაბვები $\tau \le 0{,}9R_s$

$$\sigma = \frac{M_{max}}{c_1W_{xn}} \le R_y\gamma_c \qquad (6.11)$$

და ორ სიბრტყეში ღუნვისას, როდესაც მხები ძაბვები $\tau \le 0{,}5R_s$

$$\sigma = \frac{M_x}{c_xW_{x.n.min}} + \frac{M_y}{c_yW_{y.n.min}} \le R\gamma \qquad 6.12)$$

სადაც M_x და M_y არის მლუნავი მომენტების მნიშვნელობები მთავარი $(x,\ y)$ ღერძების მიმართ; როცა $\tau \le 0{,}5R_s$ მაშინ მხები ძაბვების გავლენა პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებაზე არ არის არსებითი და კოეფიციენტი $c_1 = c$ და მისი მნიშვნელობა მოყვანილია დან. 6-ში. ხოლო როცა $0{,}5R_s < \tau < 0{,}9R_s$, მაშინ c_1 კოეფიციენტის მნიშვნელობა მიიღება ფორმულით:

$$c_1 = 1{,}05\beta c = 1{,}05c\sqrt{\frac{1-(\tau/R_s)^2}{1-\alpha(\tau/R_s)^2}}$$

სადაც α არის კოეფიციენტი და ტოლია 0,7 ორტესებრი კოჭებისათვის, რომლებიც კედლის სიბრტყეში იღუნებიან (სხვა ტიპის კვეთებისათვის $\alpha = 0$); $\tau = Q/th$ საშუალო მხები ძაბვაა, t და h-კვეთის სისქე და სიმაღლე, Q-უდიდესი განივი ძალა (საყრდენებზე); c_x და c_y აიღება დან. 6-ის მიხედვით; W_{xnt} და W_{ynt} კვეთის ნეტო წინაღობის მომენტებია შესაბამისად x და y ღერძების მიმართ.

სუფთა ღუნვის ზონის არსებობისას (6.11) და (6.12) ფორმულებში c_1, c_x და c_y კოეფიციენტების ნაცვლად შესაბამისად ვღებულობთ: $c_{1n} = 0{,}5(1+c)$; $c_{xn} = 0{,}5(1+c_x)$; $c_{yn} = 0{,}5(1+c_y)$.

კოჭების სიმტკიცე საყრდენ კვეთში, როცა $M = M_x = M_y = 0$, მოწმდება მხები ძაბვების მოქმედებაზე ფორმულით:

$$\tau = \frac{Q}{th} \le R_s\gamma_c$$

მასალის დრეკად-პლასტიკური მუშაობის გათვალისწინებით, ერთ მთავარ სიბრტყეში ღუნვისას, კვეთის შერჩევა ხდება საჭირო ნეტო წინაღობის მომენტის მიხედვით:

$$W_{საქ}^{ნტ} = \frac{M_{max}}{c_xR_y\gamma_c} \qquad (6.13)$$

სადაც თავდაპირველად მიიღება $c_x = 1{,}1$ ტოლად, შემდგომ ეს მნიშვნელობა ზუსტდება.

კოჭები საერთო მდგრადობაზე (ღუნვის ბრტყელი ფორმის მდგრადობა) შემოწმებას არ საჭიროებს თუ:

1. დატვირთვის გადაცემა ხდება ხისტი ფენილით, რომელიც უწყვეტად (მთელ სიგრძეზე) ეყრდნობა კოჭის შეკუმშულ სარტყელს და საიმედო კავშირშია მასთან (რკინაბეტონის ფილები, ბრტყელი და პროფილირებული ლითონის ფენილი, ტალღოვანი პროფილი და სხვა).

2. კავშირებს შორის კოჭის საანგარიშო სიგრძის l_{ef}, რომელიც ეწინააღმდეგება კოჭის შეკუმშული სარტყლის განივ გადაადგილებას, ფარდობა შეკუმშული სარტყლის სიგანესთან b_f-არ აღემატება ქვემოთ მოყვანილ სიდიდეს, როცა $1 \le h/b_f < 6$ და $15 \le b_f/t_f < 35$

$$h_{opt} = \sqrt[3]{3\lambda_w W / 2} \qquad (6.22)$$

ეს ფორმულა ადვილად შეიძლება მივიღოთ (6.21) ფორმულიდან, თუ ავიყვანთ ორივე მხარეს კვადრატში და გავამრავლებთ h-ზე, მივიღებთ

$$\left(h^2\right)h = \left(k\sqrt{W/t_w}\right)^2 h \Rightarrow h^3 = k^2\left(W/t_w\right)h = k^2\lambda_w W ,$$

აქედან

$$h = \left(\sqrt[3]{k^2}\right)\sqrt[3]{\lambda_w W} = k_1\sqrt[3]{\lambda_w W} ,$$

რაც შეესაბამება (6.21). აქ $\lambda_w = h_w / t_w$ -კედლის მოქნილობაა.

ცხრ. 6.3.-ში მოცემულია კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქის შორის დამოკიდებულებები.

ცხრილი 6.3

კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქის რეკომენდებული დამოკიდებულებები

h_b, მ	1	1,5	2	3	4	5
t_w, მმ	8-10	10-12	12-14	16-18	20-22	22-24
$\lambda_w = h_b / t_w$	100-125	125-150	145-165	165-186	185-200	210-230

ოპტიმალური სიმაღლის მქონე კოჭში კედლის მასა ტოლია სარტყლების მასისა. კოჭის სიმაღლის შერჩევისას უნდა გვახსოვდეს, რომ კოჭის მასის ფუნქცია თავისი მინიმუმის უბანში (h_{opt}-ის განმსაზღვრელი) იცვლება ცოტა, ამიტომ h_{opt}-დან გადაცდენა დასაშვებია. მაგ. ნამდვილი სიმაღლის გადაცდენას ოპტიმალურიდან 20%-ით მივყავართ კოჭის მასის, დაახლოებით, 4%-ით ცვლილებასთან (ნახ. 6.8).

კოჭის უმცირესი რეკომენდებული სიმაღლე h_{min} განისაზღვრება კოჭის სიხისტით-მისი ზღვრული ჩაღუნვით (მეორე ზღვრული მდგომარეობა).

გამოვიყვანოთ შედგენილი კოჭების განიკვეთის სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა კოჭის მაქსიმალური დასაშვები ჩაღუნვის პირობის გათვალისწინებით.

განვიხილოთ ორ საყრდენზე მდებარე შედგენილი, შედუღებული განიკვეთის მქონე ფოლადის კოჭი მალით-l, რომელიც დატვირთულია თანაბრადგანაწილებული ნორმატული და საანგარიშო დატვირთვებით, ინტენსივობით, შესაბამისად $q^n = p^n + g^n$ და

$q = n_p p^n + n_g g^n$. ამ შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, კოჭის ჩაღუნვის ისარი გამოითვლება მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილი ფორმულით:

$$f = \frac{5}{384}\frac{\left(P^n + g^n\right)\cdot l^4}{EI} \qquad (6.23)$$

სადაც E-კოჭის მასალის დრეკადობის მოდულია, I-კოჭის განიკვეთის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ. კოჭის მალის შეფარდება ჩაღუნვის ისრის მნიშვნელობასთან $[l/f]$ რეგლამენტირებულია ნორმებით კოჭის დანიშნულების შესაბამისად, ახლა მოვახდინოთ (6.23) ფორმულის გარკვეული მოდიფიცირება კოჭის განიკვეთის სიმაღლის h-ის განსაზღვრისათვის, კერძოდ, (6.23) ფორმულაში შეტანილია მაქსიმალური მღუნავი მომენტის გამოსახულება ნორმატიული დატვირთვებისაგან:

$$M^n = \frac{\left(p^n + g^n\right)l^2}{8} \qquad (6.24)$$

გათვალისწინებულია აგრეთვე, რომ $I = W(h/2)$ და $M^n = W\sigma_{(p+g)}$, რის შედეგადაც (6.23) გამოსახულება ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$f = \frac{5\sigma_{(p+g)}l^2}{24Eh}$$

საიდანაც

$$h = \frac{5\sigma_{(p+g)}l}{24E}\left[\frac{l}{f}\right] \qquad (6.25)$$

$\sigma_{(p+g)}$ წარმოადგენს ძაბვას გამოწვეულს $(P^n + g^n)$ ნორმატიული დატვირთვისაგან და მიზნად დასახულია, რომ ზემოთ ხსენებული ძაბვა გამოსახული იქნას R_y-მასალის საანგარიშო წინაღობის საშუალებით. ამისათვის გამოყენებულია W კოჭის საჭირო განიკვეთის წინაღობის მომენტის ორგვარი გამოსახულება:

$$W = \frac{M^n}{\sigma_{(p+g)}} \qquad (6.26)$$

და

$$W = \frac{M}{R} \qquad (6.27)$$

მათი გატოლებით მიიღება, რომ

აქ $[f/l]$ ზღვრული ჩაღუნვების მნიშვნელობებია, რომელიც მოყვანილია ცხრ. 6.2-ში.

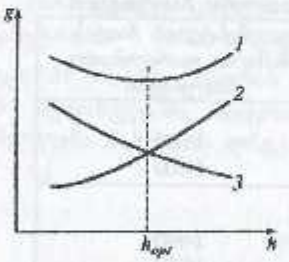
ერთმალიანი კოჭებისათვის რომელზეც მოქმედებს თანაბრად განაწილებული დატვირთვა ჩაღუნვის (დეფორმაციების) გაანგარიშება ხდება ფორმულით:

$$f = \frac{5}{384}\frac{ql^4}{EI} \qquad (6.18)$$

6.3. შედგენილი კოჭები. შედგენილი კოჭების განიკვეთის შერჩევა

შესავალი. შედგენილი კვეთის კოჭებს იყენებენ იმ შემთხვევაში, როდესაც გაგლინული კოჭები არ აკმაყოფილებენ, სიმტკიცის, სიხისტის და საერთო მდგრადობის პირობებიდან თუნდაც ერთ-ერთს. ისინი გამოიყენება დიდი მალებისა და დიდი მლუნავი მომენტებისას, ასევე ისინი უფრო ეკონომიურები არიან. შედგენილი კოჭების კვეთების ძირითადი ტიპები ნაჩვენებია ნახ. 6.2-ზე.

შედგენილი კოჭები ძირითადად მზადდება შედუღებით. მისი კვეთი ჩვეულებრივ შედგება სამი ფურცლისაგან: ვერტიკალური (კედელი) და ორი ჰორიზონტალური (თაროები), რომლებსაც ერთმანეთთან ადუღდებენ ქარხანაში ავტომატური შედუღებით.



ნახ. 6.8. კოჭის მასის სიმაღლეზე დამოკიდებულების გრაფიკი. 1–კოჭი; 2–კედელი; 3–სარტყლები.

თუ შედგენილ კოჭებზე მოქმედებს დიდი, მოძრავი დატვირთვა (დინამიკური), მიზანშეწონილია კედლისა და თაროების შესაერთებლად გამოყენებული იქნას ჭანჭიკებით ან მოქლონებით შეერთება.

6.3.1. კოჭების სიმაღლე. შედგენილი კოჭების განიკვეთის სიმაღლის შერჩევა ხდება ეკონომიური მოსაზრებით, კოჭის მაქსიმალური დახაშვები ჩაღუნვის და ზოგიერთ შემთხვევაში, სამშენებლო სიმაღლის (სხვაობა ფენილის ზედა და გადახურვის ქვედა ნიშნულს შორის) მიხედვით.

კოჭის მასა შედგება სარტყლებისა და კედლის მასების ჯამებისაგან. კოჭის სიმაღლის გაზრდისას სარტყლების მასა მცირდება და კედლის მასა იზრდება ე.ი. სიმაღლე იცვლება, როგორც კედლისა და სარტყლის მასის ფუნქცია. რადგანაც სარტყლებისა და კედლის მასა იცვლება, სიმაღლის ცვლილებასთან ერთად არათანაბრად-ერთი მცირდება, მეორე იზრდება (იხ. ნახ. 6.8) უნდა არსებობდეს ორივე ფუნქციის მინიმალური მნიშვნელობა. მიღებულ სიმაღლეს ეწოდება ოპტიმალური სიმაღლე- h_{opt} .

1 მეტრი სიგრძის კოჭის მასა შედგება სარტყლებისა და კედლის მასისაგან

$$g_b = g_f + g_w = 2\frac{cM}{hR_y}\psi_f\rho + ht_w\psi_w\rho \qquad (6.19)$$

სადაც c-მომენტის ის წილია, რომელსაც დებულობს კოჭის სარტყლები; M-კოჭზე მოქმედი საანგარიშო მომენტი. R_y-კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა; h-კოჭის სიმაღლე; t_w-კოჭის კედლის სისქე; ψ_f-კოჭის სარტყლების კონსტრუქციული კოეფიციენტი ψ_w-კოჭის კედლის კონსტრუქციული კოეფიციენტი; (ψ_f და ψ_w გვიჩვენებს თეორიული ფართობიდან რეალურ ფართობზე გადასვლას); ρ-ფოლადის სიმკვრივე.

იმისათვის რომ, მივიღოთ კოჭის წონის მინიმუმი უნდა გავაწარმოოთ (6.19) ტოლობა სიმაღლის მიხედვით და გავუტოლოთ ნულს.

$$\frac{dg_b}{dh} = -\frac{2cM}{h^2R_y}\psi_f\rho + t_w\psi_w\rho = 0 \qquad (6.20)$$

აქედან, თუ შევცვლით $M/R_y = W$. მივიღებთ

$$h_{opt} = \sqrt{2c\psi_f / \psi_w}\sqrt{W/t_w} = k\sqrt{W/t_w} \qquad (6.21)$$

კოეფიციენტი k დამოკიდებულია კოჭის კონსტრუქციულ გაფორმებაზე-სარტყლებისა და კედლის კონსტრუქციულ კოეფიციენტებზე. კოჭებისათვის, რომლებიც განხორციელებულია ფრიქციული შეერთებით, კვეთის ნახვრეტებით შესუსტების გამო, ამ კოეფიციენტების მნიშვნელობა მეტია შედუღებულთან შედარებით. ამ და სხვა მიზეზების გათვალისწინებით რეკომენდებულია მიღებული იქნას შედუღებული კოჭებისათვის $k = 1{,}2 \cdots 1{,}15$, ხოლო $k = 1{,}25 \cdots 1{,}2$ ფრიქციული შეერთებით განხორციელებული კოჭებისათვის.

(6.21) ფორმულიდან ჩანს, რომ რაც უფრო თხელია კედელი, მით უფრო მალალია კოჭი და ეკონომიურია კვეთი.

კოჭის ოპტიმალური სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა, დამოკიდებული კედლის დანიშნულ მოქნილობაზე გამოყვანილია რუსი მეცნიერის ვასურკინის მიერ,

$$h_{opt} = \sqrt[3]{3\lambda_w W / 2} \qquad (6.22)$$

ეს ფორმულა ადვილად შეიძლება მივიღოთ (6.21) ფორმულიდან, თუ ავიყვანთ ორივე მხარეს კვადრატში და გავამრავლებთ h-ზე, მივიღებთ

$$\left(h^2\right)h = \left(k\sqrt{W/t_w}\right)^2 h \Rightarrow h^3 = k^2\left(W/t_w\right)h = k^2\lambda_w W,$$

აქედან

$$h = \left(\sqrt[3]{k^2}\right)\sqrt[3]{\lambda_w W} = k_1\sqrt[3]{\lambda_w W},$$

რაც შეესაბამება (6.21). აქ $\lambda_w = h_w/t_w$ -კედლის მოქნილობაა.

ცხრ. 6.3.-ში მოცემულია კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქის შორის დამოკიდებულებები.

ცხრილი 6.3

კოჭის სიმაღლისა და კედლის სისქის რეკომენდებული დამოკიდებულებები

h_h, მ	1	1,5	2	3	4	5
t_w, მმ	8-10	10-12	12-14	16-18	20-22	22-24
$\lambda_w = h_h/t_w$	100-125	125-150	145-165	165-186	185-200	210-230

ოპტიმალური სიმაღლის მქონე კოჭში კედლის მასა ტოლია სარტყლების მასისა. კოჭის სიმაღლის შერჩევისას უნდა გვახსოვდეს, რომ კოჭის მასის ფუნქცია თავისი მინიმუმის უბანში (h_{opt}-ის განმსაზღვრელი) იცვლება მცირედით, ამიტომ h_{opt}-დან გადაცდენა დასაშვებია. მაგ. ნამდვილი სიმაღლის გადაცდენას ოპტიმალურიდან 20%-ით მივყავართ კოჭის მასის, დაახლოებით, 4%-ით ცვლილებასთან (ნახ. 6.8).

კოჭის უმცირესი რეკომენდებული სიმაღლე h_{min} განისაზღვრება კოჭის სიხისტით-მისი ზღვრული ჩაღუნვით (მეორე ზღვრული მდგომარეობა).

გამოვიყვანოთ შედგენილი კოჭების განიკვეთის სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა კოჭის მაქსიმალური დასაშვები ჩაღუნვის პირობის გათვალისწინებით.

განვიხილოთ ორ საყრდენზე მდებარე შედგენილი, შედუღებული განივკვეთის მქონე ფოლადის კოჭი მალით-l, რომელიც დატვირთულია თანაბრადგანაწილებული ნორმატული და საანგარიშო დატვირთვებით, ინტენსივობით, შესაბამისად $q^n = p^n + g^n$ და

$q = n_p p^n + n_g g^n$. ამ შემთხვევაში, როგორც ცნობილია, კოჭის ჩაღუნვის ისარი გამოითვლება მასალათა გამძლეობის კურსიდან ცნობილი ფორმულით:

$$f = \frac{5}{384}\frac{\left(p^n + g^n\right)l^4}{EI} \qquad (6.23)$$

სადაც E-კოჭის მასალის დრეკადობის მოდულია, I-კოჭის განიკვეთის ინერციის მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ. კოჭის მალის შეფარდება ჩაღუნვის ისრის მნიშვნელობასთან $[l/f]$ რეგლამენტირებულია ნორმებით კოჭის დანიშნულების შესაბამისად, ახლა მოვახდინოთ (6.23) ფორმულის გარკვეული მოდიფიცირება კოჭის განიკვეთის სიმაღლის h-ის განსაზღვრისათვის, კერძოდ, (6.23) ფორმულაში შეტანილია მაქსიმალური მღუნავი მომენტის გამოსახულება ნორმატიული დატვირთვებისაგან:

$$M^n = \frac{\left(p^n + g^n\right)l^2}{8} \qquad (6.24)$$

გათვალისწინებულია აგრეთვე, რომ $I = W(h/2)$ და $M^n = W\sigma_{(p+g)}$, რის შედეგადაც (6.23) გამოსახულება ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$f = \frac{5\sigma_{(p+g)}l^2}{24Eh}$$

საიდანაც

$$h = \frac{5\sigma_{(p+g)}l}{24E}\left[\frac{l}{f}\right] \qquad (6.25)$$

$\sigma_{(p+g)}$ წარმოადგენს ძაბვას გამოწვეულს ($P^n + g^n$) ნორმატიული დატვირთვისაგან და მიზნად დასახულია, რომ ზემოთ ხსენებული ძაბვა გამოსახული იქნას R_y-მასალის საანგარიშო წინაღობის საშუალებით. ამისათვის გამოყენებულია W კოჭის საჭირო განიკვეთის წინაღობის მომენტის ორგვარი გამოსახულება:

$$W = \frac{M^n}{\sigma_{(p+g)}} \qquad (6.26)$$

და

$$W = \frac{M}{R} \qquad (6.27)$$

მათი გატოლებით მიიღება, რომ

$$\sigma_{(p+g)} = \frac{M^n}{M} R = \frac{P^n + g^n}{n_p P^n + n_g g^n} R \qquad (6.28)$$

(6.28)-ის გათვალისწინებით და $[l/f]$-დასაშვები ნორმატიული სიდიდის შეტანით (6.25)-ში, საბოლოოდ მიიღება თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას მუდმივკვეთიანი კოჭის მინიმალური სიმაღლის საანგარიშო ფორმულა:

$$h_{\min} = \frac{5}{24} \frac{Rl}{E} \left[\frac{l}{f}\right] \frac{P^n + g^n}{n_p P^n + n_g g^n} \qquad (6.29)$$

კოჭის კვეთის სიმაღლის min ინდექსის აზრი ის არის, რომ კოჭის მინიმალური სიმაღლე ანუ მინიმალური ინერციის მომენტი შეუსაბამება $[l/f]$-ის დასაშვებ მნიშვნელობას. კვეთის სიმაღლის უფრო შემცირება გამოიწვევდა დასაშვებზე მეტ ჩაღუნვას. (6.29) გამოსახულება წარმოადგენს, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, (6.23) ფორმულის სახესხვაობას და მას კოჭის სიხისტის პირობას უწოდებენ.

$[l/f]$-ჩაღუნვის ფარდობითი ზღვრული სიდიდე აიღება ცხრ. 6.2.-დან. n_p და n_g გადატვირთვის კოეფიციენტებია.

კოჭის კვეთის შერჩევისას გასაანალიზებელია, რომ კოჭის სიმაღლე უნდა მივიღოთ, ეკონომიური მოსაზრებებით დადგენილი, ოპტიმალურ სიმაღლესთან-h_{opt} ახლოს და არაუმცირეს მინიმალური სიმაღლისა-$h_{\min}$, რომელიც დადგენილია კოჭის დასაშვები ჩაღუნვის პირობიდან.

კოჭის კედლის სიმაღლე მიზანშეწონილია შესაბამისობაში იქნას მოყვანილი სორტამენტთან. მისი სიმაღლე არ უნდა იქნეს მეტი 2000-2200 მმ.-ზე მეტი. წინააღმდეგ შემთხვევაში საჭირო იქნება გრძივი პირაპირის მოწყობა, რაც სერიოზულ სირთულეს წარმოადგენს. ყველა შემთხვევაში კოჭის სიმაღლე მიზანშეწონილია, კონსტრუქციის უნიფიცირების პირობიდან გამომდინარე, იყოს 100 მმ-ის ჯერადი.

ცვლადკვეთიანი კოჭის სიმაღლე ანგარიშება იგივე ფორმულით მხოლოდ მას ადიდებენ 20%-ით.

6.3.2. კედლის სისქე. კოჭის სიმაღლის შემდეგ კედლის სისქე წარმოადგენს კვეთის მეორე ძირითად პარამეტრს, რადგან ის მნიშვნელოვან გაელენას ახდენს შედგენილი კოჭის ეკონომიურობის პირობაზე. კედლის უმცირესი სისქის განსაზღვრისათვის მისი მხებ ძაბვებზე მუშაობის პირობიდან გამომდინარე შეიძლება ვისარგებლოთ ჟურავსკის ცნობილი ფორმულით:

$$\tau = \frac{QS}{It_w} \le R_s \gamma_c \qquad (6.30)$$

სადაც Q-კოჭის საყრდენთან ახლოს მაქსიმალური განივი ძალაა; S-კოჭის ნახევარი კვეთის სტატიკური მომენტი ნეიტრალური ღერძის მიმართ; I-კოჭის კვეთის ინერციის მომენტი; R_s-კედლის მასალის საანგარიშო წინაღობა ჭრაზე.

ოპტიმალური კვეთის მქონე კოჭში, სარტყლების ფართობისა და კედლის ფართობის ტოლობისას, შიგა წყვილძალის მხარი $I/S \approx 0{,}85h$.

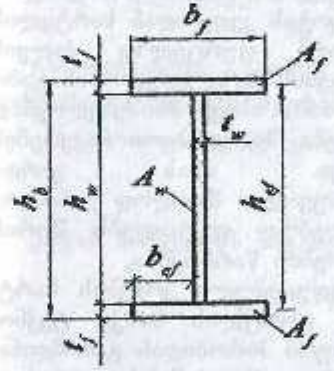
ჩაესვათ I/S ჟურავსკის ფორმულაში და მოვახდინოთ გარდაქმნა, მივიღებთ

$$t_w = \frac{QS}{IR_s\gamma_c} \approx \frac{1{,}2Q}{hR_s\gamma_c} \qquad (6.31)$$

იმისათვის, რომ უზრუნველვყოთ კედლის ადგილობრივი მდგრადობის პირობა დამატებით გრძივი სიხისტის წიბოების გამოყენების გარეშე, აუცილებელია სრულდებოდეს პირობა $\bar{\lambda}_w < 5{,}5\sqrt{R/\sigma}$, მაშინ

$$t_w \ge \left(h_w/5{,}5\right)\sqrt{\sigma/E}, \qquad (6.32)$$

სადაც σ არის ძაბვა კოჭის შეკუმშულ სარტყელში. $h_w = h_{opt} - 2t_f$ არის კოჭის კედლის სიმაღლე (ნახ. 6.9).



ნახ. 6.9. კოჭის განივი კვეთის სქემა და მიღებული აღნიშვნები

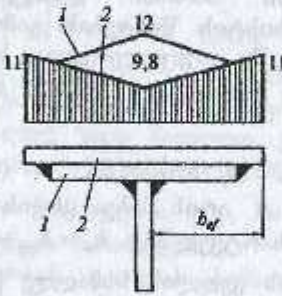
თუ კოჭის სიმაღლე მეტია 2 მეტრზე, მაშინ კონსტრუქციული ფორმის ასეთი გამარტივება (სიხისტის წიბოების არგამოყენება) არ არის გამართლებული, კედლები მიიღება ჰედმეტად სქელი. მაღალ კოჭებში კედლის სისქე იღება მცირე სიდიდის, დაახლოებით სიმაღლის 1/200-1/250, რაც მოითხოვს კედლის გამაგრების გრძივი წიბოებით მისი მდგრადობის შესანარჩუნებლად.

კედლის სისქე უნდა იქნეს მიღებული მინიმალური, ოპტიმალური სიმაღლის-h_{opt} განსაზღვრისას დანიშნული სისქეზე (6.21-ე ფორმულა) და (6.31) და (6.32) ფორმულებიდან განსაზღვრულ სისქეებს შორის.

კედლის სისქე უნდა იქნეს შესაბამისობაში გლინული ფურცლოვანი ფოლადების არსებულ სისქეებთან. ჩვეულებრივ კედლის უმცირეს სისქედ ღებულობენ არაუმცირეს 8 მმ-ისა (ძალიან იშვიათად 6 მმ) და ინიშნება 1 მმ-ის ჯერადი 12 მმ-მდე სისქისას. თუ კედლის სისქე მეტია 12 მმ-ზე, მაშინ მისი სისქედ ინიშნება 2 მმ-ის ჯერადი.

თუ (6.21) ფორმულაში მიღებული კედლის სისქე განსხვავდება (6.31) და (6.32) ფორმულებიდან მიღებული სისქისგან 2 მმ-ით და მეტით, საჭიროა ვავსვათ მათ შორის უდიდესი და ხელახლა ვიანგარიშოთ ოპტიმალური სიმაღლე h_{opt}.

6.3.3. სარტყლების ჰორიზონტალური ფურცლები. შედუღებულ კოჭებში სარტყლებად იღებენ უნივერსალური ფოლადისაგან დამზადებულ ცალმაგ ფურცლებს. ორი და მეტი ფურცლებისაგან სარტყლების დამზადება არარაციონალურია, რადგან ფლანგური ნაკერებით ფურცლების ერთმანეთთან შედუღებისას იზრდება ფურცლების არათანაბარი მუშაობა, კოჭის კედლიდან სარტყლის განაპირა ფურცელზე ძალების გადაცემის შეზღუდულობის გამო (ნახ. 6.10). ასევე მნიშვნელოვნად იზრდება შედუღებითი ნაკერების რიცხვი. ამას გარდა გარდაუვალია მხოლოდ განაპირა შედუღებულ ფურცლებს შორის ღრეჩოების წარმოქმნა.



ნახ. 6.10. ნორმალური ძაბვების განაწილება შედუღებული კოჭის სარტყლის პაკეტის სიგანეზე: 1-ქვედა ფურცელი; 2-ზედა ფურცელი.

შედუღებული კოჭების სარტყლის ფურცლის სისქე, ტექნოლოგიური პირობიდან გამომდინარე (ხშვადასვა სისქის ფურცლების შედუღების პირობა), არ უნდა აღემატებოდეს კედლის სისქეს (t_w) გამრავლებულს სამზე. სარტყლის ფურცლებად 30 მმ-ზე მეტი სისქის მქონე ფურცლის გამოყენება არარაციონალურია, რადგან სქელ ფურცლებს გააჩნიათ დაბალი საანგარიშო წინაღობა (იხ. დან. 5).

საორიენტაციოდ, სარტყლის ფურცლის სისქე შეიძლება განისაზღვროს ემპირიული ფორმულითაც

$$t_f \approx 0{,}02h \qquad (6.33)$$

მოქლონებითა და მაღალი სიმტკიცის მქონე ჭანჭიკებით შედგენილ კოჭებში, შედუღებულისაგან განსხვავებით, გამოიყენება

ორი-სამი სასარტყლე ფურცლებისაგან შედგენილი პაკეტები. შეერთების ზემოთაღნიშნული სახე იძლევა ფურცლების ერთობლივად მუშაობის კარგ საშუალებას.

სარტყლის ფურცლების სიგანეს, საერთო მდგრადობისა და გრძივი ძაბვების ფურცლის სიგანეზე თანაბრად განაწილების პირობიდან, ღებულობენ კოჭის სიმაღლის $(1/3 \div 1/5)$. კონსტრუქციული მოსაზრებებით სარტყლის სიგანე მიღებული უნდა იქნას არა უმცირეს 180 მმ-ისა ან $h/10$. შედუღებულ კოჭებში სარტყლის ფურცლების უდიდესი სიგანე განისაზღვრება მათი ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან.

მასალის დრეკად არეში მომუშავე კოჭებისათვის, შეკუმშული სარტყლის კიდულის b_{ef} დამოკიდებულება სისქესთან t_f არ უნდა აღემატებოდეს

$$b_{ef}/t_f \le 0{,}5\sqrt{E/R} \qquad (6.34)$$

ხოლო, პლასტიკური არეში მომუშავე კოჭებისათვის

$$b_{ef}/t_f \le 0{,}1(h_{ef}/t_w) \qquad (6.35)$$

გამოვიყვანოთ კოჭის სარტყლის უმცირესი საჭირო საანგარიშო სიგანის b_f საანგარიშო ფორმულა: სარტყლის უმცირესი საჭირო ფართობი განისაზღვრება ფორმულით

$$A_f = \frac{3}{4}\frac{W}{h}$$

კოჭის სარტყლის სიგანე აღინიშნება b_f-თ, სისქე t_f-თ, მაშინ

$$A_f = b_f t_f = \frac{3}{4}\frac{W}{h}$$

საიდანაც მიიღება კოჭის სარტყლის უმცირესი საჭირო სიგანის b_f საანგარიშო ფორმულა:

$$b_f = \frac{3W}{4ht_f} \qquad (6.36)$$

აქ სარტყლის ფურცლის სისქეს t_f წინასწარ ნიშნავენ $8 \div 40$ მმ-ის ტოლს, მაგრამ არა უმეტეს $(2 \div 3)\cdot t_w$ (იხ. ნახ. 6.9).

კოჭის სარტყლის საბოლოო ზომები მიზანშეწონილია, შეთანხმებული იქნას უნივერსალური ფურცლის სტანდარტულ ზომებთან. ამ პირობიდან გამომდინარე, 420 მმ-მდე სარტყლის სიგანე აიღება 20 მმ-ის ჯერადი. იმ შემთხვევაში, როდესაც სარტყლის სიგანე მეტია 420 მმ-ზე, b_f აიღება 450, 480, 500 მმ და ა. შ.

6.3.4. კოჭის კვეთის შერჩევა. კვეთის შერჩევისას ისაზღვრება კოჭის სარტყლებისა და კედლის ზომები ტექნოლოგიური, ეკონომიური, სიმტკიცის, სიხისტის და საერთო მდგრადობის პირობების გათვალისწინებით. კვეთის შერჩევის პროცესი და ალგორითმი ნაჩვენებია საკურსო გეგმარში კოჭოვანი უჯრედის დაპროექტებაზე.

6.3.5. შედგენილი კოჭის განიკვეთის ცვლილება სიგრძეზე. ჭრილ, შედგენილ კოჭებში განივკვეთი, შერჩეულია მალის უდიდესი მღუნავი მომენტის მიხედვით და საყრდენებთან ახლოს ზედმეტი მარაგითაა, ამიტომ ლითონის დანახარჯის შემცირების მიზნით, კოჭის განივკვეთს საყრდენთან ახლოს ამცირებენ (ნახ. 6.11). მხოლოდ კვეთის ყოველი შემცირება, რომელიც იძლევა მასალის ეკონომიას, რამდენადმე ზრდის შრომატევადობას კოჭის დამზადებაზე. ამ მიზეზით განივკვეთის ცვლილება მიზანშეწონილია მხოლოდ ისეთი კოჭებისათვის, რომელთა სიგრძე მეტია 10-12 მეტრის.

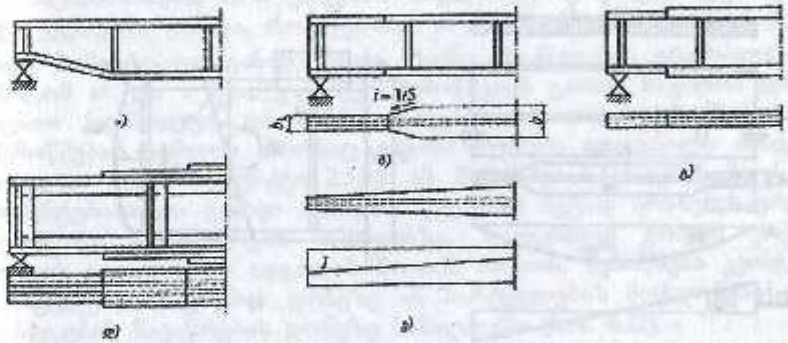
განივკვეთის შემცირება კოჭის ერთ ადგილზე იძლევა მასალის 10-12%-ით ეკონომიას. ორ ადგილზე დამატებით 3-4%-ით ეკონომიას. ამავე დროს-ცვლადკვეთიანი კოჭების დამზადება მუდმივკვეთიან კოჭებთან შედარებით ძნელია, ამიტომ მას იშვიათად იყენებენ. კოჭის დამზადების გამარტივებისათვის რეკომენდებულია კოჭის განივკვეთი შეცვლილი იქნას მხოლოდ ერთ ადგილას. განივკვეთის შემცირება შეიძლება განხორციელდეს ორი წესით:

1) საყრდენთან ახლოს კოჭის სიმაღლის თანდათანობითი შემცირებით (ნახ. 6.11,ა)

2) კოჭის სარტყლის განივკვეთის შემცირებით (ნახ. 6.11,ბ)

განივკვეთის შემცირება პირველი ხერხით ართულებს კოჭის დამზადებას, რის გამოც მიმართავენ იშვიათად. კერძოდ, დიდი მალისა და დატვირთვების შემთხვევაში (მაგ. სიდებში). კოჭის განივკვეთის შემცირება მეორე წესით წარმოებს შემდეგნაირად: თუ სარტყელი შედგება რამდენიმე ფურცლისაგან (მაგ. ჭანჭიკურ კოჭებში) განსაზღვრულ ადგილას წყვეტენ ერთ ან რამოდენიმე სარტყლის ფურცელს (ნახ. 6.11,დ). როდესაც სარტყელი შედგება ერთი ფურცლისაგან (მაგ. შედუღებულ კოჭებში), მაშინ ამცირებენ სარტყლის ფურცლის სიგანეს ან სისქეს (ნახ. 6.11,გ). სარტყლის ფურცლის სისქის ცვლილების ადგილას შეიძლება მოხდეს ძაბვათა კონცენტრაცია, რის შედეგად წარმოიქმნება ბზარები. ასეთი არასასურველი დეფორმაციის თავიდან ასაცილებლად რეკომენდებულია შედუღებულ კოჭებში განივკვეთი შემცირდეს სარტყლის ფურცლის სიგანის ცვლილების ხარჯზე. მასალის უფრო მნიშვნელოვანი ეკონომია შეიძლება მოგვცეს სარტყლების სიგანის უწყვეტმა ცვლილებამ (ნახ. 6.11,ე). ჟანგბადით დიაგონალური ჭრის გამოყენებით. თუმცა ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვნად იზრდება შრომატევადობა. რის გამოც ის იშვიათად გამოიყენება.

ერთმალიანი კოჭის, თანაბრადგანაწილებული დატვირთვისას მასალის დანახარჯის მიხედვით, სარტყლების ცვლილების ყველაზე მეტად ხელსაყრელი ადგილი შეიძლება განისაზღვროს განტოლებით $x = (l/6)\left(2 - \sqrt{4 - 3/c}\right)$, სადაც $c = R_y / R_{y1}$; აქ R_y არის სარტყლის საანგარიშო წინაღობა კოჭის შუა უბანში; R_{y1}-იგივე განაპირა უბანში, ე. ი. იქ სადაც არ იყენებენ ნაკერის შემოწმების ფიზიკურ მეთოდებს, რის გამოც $R_{y1} = 0,85R_y$. სხვა შემთხვევაში, როგორც ფორმულიდან ჩანს ცვლილების ადგილი არის მალის მეექვსედი- $x = l/6$ (ნახ. 6.12).



ნახ. 6.11. კოჭის განიკვეთის ცვლილება სიგრძეზე:
ა)–კოჭის სიმაღლის შეცვლით; ბ)–სარტყლების სიგანის ცვლილებით; გ)–სარტყლების სისქის ცვლილებით; დ)–მოქლონურ კოჭებში სარტყლების ფურცლების შეწყვეტით; ე)–სარტყლების სიგანის მდორე ცვლილებით; I–გადაჭრის ხაზი.

სარტყლის ფურცლის ცვლილების ადგილის განსაზღვრა წარმოებს გრაფიკული ან ანალიზური წესით. ანალიზური წესი მარტივია და მდგომარეობს შემდეგში:

შედუღებულ ერთმალიან კოჭებში, საყრდენიდან $x = l/6$ მანძილზე, ნიშნავენ სარტყლის ფურცლის სიგანის შემცირების ადგილს (ნახ. 6.12). ეს მანძილი დადგენილია კოჭის წონის მინიმალური პირობით. ამის შემდეგ, განივკვეთის ცვლილების ადგილას ხაზღვრავენ კოჭის განივკვეთის საჭირო წინაღობის მომენტს

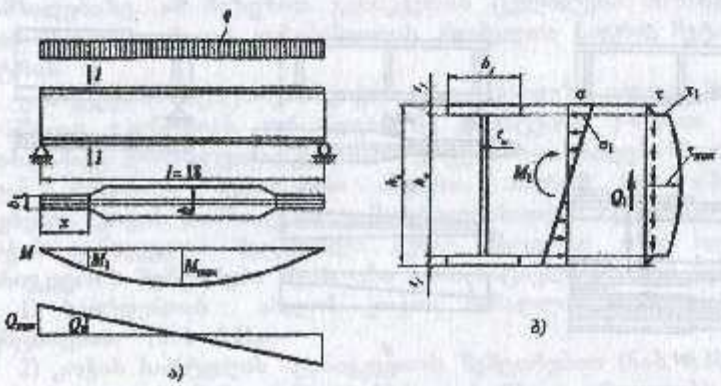
$$W_x = \frac{M_{x=l/6}}{R_{wy}} \qquad (6.37)$$

სადაც $M_{x=l/6}$ არის მღუნავი მომენტი საყრდენიდან $x = l/6$ მანძილით დაცილებულ განივკვეთში.

თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში

$$M_{x=l/6} = \frac{qx(l-6)}{2} \qquad (6.38)$$

q არის თანაბრადგანაწილებული საანგარიშო დატვირთვა; l არის კოჭის მალი; R_{wy} -შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა და აიღება $0.85 \cdot R_y$-ის ტოლი ნაკერის შემოწმების ფიზიკური მეთოდების არგამოყენებისას.



ნახ. 6.12. კოჭის განიკვეთის ცვლილება-საანგარიშო სქემა: ა)-კვეთის ცვლილების ადგილი; ბ)-I-I კვეთში დაყვანილი ძაბვების შემოწმება.

ამგვარად, მომენტის მიხედვით ისაზღვრება კვეთის წინაღობის მომენტი და ჩვეულებრივი წესით შეირჩევა სარტყლების ახალი კვეთი. ამასთან სარტყლების კვეთის სიგანე უნდა პასუხობდეს შემდეგ პირობებს:

$$b_1 > h/10; \quad b_1 \geq 180 \text{ მმ}; \quad b_1 \geq b/2. \qquad (6.39)$$

არსებობს ასევე სხვა მიდგომაც. ინიშნება შემცირებული კვეთის სარტყლის სიგანე b_1 და ისაზღვრება ის მღუნავი მომენტი, რომელიც შეუძლია აიტანოს (მიიღოს) კვეთმა:

$$I_1 = I_w + 2b_1 t_f \left(h_w/2 + t_f/2\right)^2; \quad W_1 = 2I_1/h; \quad M_1 = W_1 R_y \gamma_c.$$

შემდგომ თუ გაუტოლებთ $M(x) = M_1$, ეპოვით საყრდენიდან იმ x მანძილს, სადაც ხდება სარტყლის კვეთის ცვლილება.

6.4. შედგენილი კოჭების სიმტკიცის, ხალუნვების და მდგრადობის შემოწმება.

6.4.1. კოჭების სიმტკიცისა და ხალუნვების შემოწმება. კოჭებში სიმტკიცის შემოწმება დაიყვანება უდიდესი ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედების შემოწმებაზე.

ჭრილ კოჭებში უდიდესი ნორმალური და მხები ძაბვების ერთმანეთს ჩვეულებრივ არ უმხვევიან; მათ ამოწმებენ (6.8) და (6.10) ან (6.11) ფორმულებით ცალ-ცალკე დრეკად-პლასტიკური მუშაობისას.

აღსანიშნავია, რომ კოჭების მთელ სიგრძეზე (განსაკუთრებული კვეთების გარდა, რომლებშიც M და Q ნულის ტოლია) მღუნავი მომენტი და განივი ძალა, მაინც მოქმედებენ ერთობლივად. ამიტომ σ და τ ცალკ-ცალკე შემოწმების გარდა საჭიროა დამატებით ნორმალურ და მხები ძაბვების ერთობლივ მოქმედებაზე შემოწმება, რომლის დროსაც განისაზღვრება დაყვანილი ძაბვები (იხილეთ თავი 2. პუნქტი 2.5.9.). ამ შემოწმებას ახდენენ მღუნავი მომენტებისა და განივი ძალების ყველაზე მეტად არახელსაყრელ კვეთებში: უჭრი კოჭის საყრდენზე, შედგენილი ჭრილი კოჭის კვეთის ცვლილების ადგილას და ა.შ. ამასთან, შემოწმება კეთდება სარტყლების ნაკრების დონეზე ან სარტყლების მოქლონების ან ჭანჭიკების ნაკაწრების დონეზე სიმაღლეში (ნახ. 6.12).

დაყვანილი ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} \leq 1{,}15 R_y \gamma_c \qquad (6.40)$$

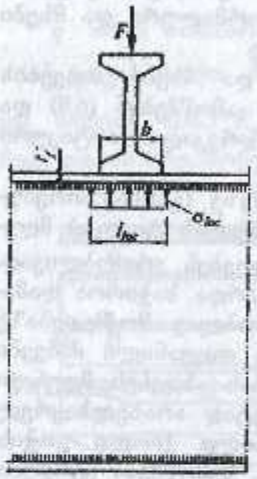
სადაც $\sigma_1 = \frac{M_1}{W_1}\frac{h_w}{h}$ და $\tau_1 = \frac{Q_1 S_f}{I_1 t_w}$ არის საანგარიშო ნორმალური და მხები ძაბვები კოჭის კედლის განაპირა უბანში სარტყლების ნაკრების (ან ჭანჭიკების) დონეზე.

(6.40) ფორმულით მოწმდება მოცემულ წერტილში ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას მასალის გადასვლა პლასტიკურ მდგომარეობაში.

კოჭის ზედა სარტყელზე კონსტრუქციის დაყრდნობისას, რომელიც გადასცემს მას შეკუმშულ დატვირთვას, აუცილებელია კოჭის კედლის დამატებით ადგილობრივ თელვის ძაბვებზე შემოწმება (ნახ. 6.13)

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{t_w \cdot l_{loc}} \le R_y \gamma_c \qquad (6.41)$$

სადაც σ_{loc} -დატვირთვის ქვეშ მყოფ კედელში აღძრული თელვის ძაბვაა; F -შეყურსული დატვირთვის საანგარიშო მნიშვნელობა; $l_{loc} = b + 2t_f$; t_w და t_f -კედლის და თაროს სისქე; b -კოჭზე ადგილობრივი დატვირთვის გადაცემის უბნის სიგრძე.



ნახ. 6.13 კოჭების სართულებრივი შეუღლება

ამ შემთხვევაში კედლის სიმტკიცეს ამოწმებენ (დაყვანილ ძაბვებზე) კვეთში, რომელიც იმყოფება ტვირთის ქვეშ:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_{loc}^2 - \sigma_1 \sigma_{loc} + 3\tau_1^2} \le 1{,}15 R_y \gamma_c \qquad (6.42)$$

თუ ამ შემოწმების პირობა არ სრულდება, მაშინ კოჭის კედელი აუცილებელად უნდა იქნას გამაგრებული ხიხიჭის წიბოებით, რომლის ზედა ბოლო მორგებული უნდა იქნას კოჭის დატვირთულ სარტყელთან. ეს წიბო თავისი მორგებული ბოლოთი ღებულობს შეყურსულ დატვირთვას და კოჭის კედელზე მიმაგრებული შედუღების ნაკერებით ან მოქლონებით და მდოგრედ ანაწილებს მას კოჭის კედლის მთელ სიმაღლეზე. კოჭის კედლის ასეთი წიბოების არსებობისას კოჭს ადგილობრივ მდგრადობაზე არ ამოწმებენ.

ნორმატიული დატვირთვებისაგან გამოწვეულ კოჭების ჩაღუნვას სააშენებლო მექანიკის მეთოდებით. ჩაღუნვა არ უნდა იყოს მეტი ნორმებში მოცემულ მნიშვნელობებზე. შედგენილი კოჭების ჩაღუნვა შეიძლება არ ეანგარიშოთ, თუ კოჭის ფაქტობრივი სიმაღლე მეტია მინიმალურზე, რომელიც განისაზღვრება (6.29) ფორმულით.

6.4.2. კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმება. კოჭის საერთო მდგრადობას ამოწმებენ (6.15) $\sigma = M/(\varphi_b W_c) \le R_y \gamma_c$ ფორმულით, სადაც φ_b -ს, შედგენილი ორტესებრი კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი, ანგარიშობენ φ_1-ის მიხედვით (ისევე როგორც გაგლინულ კოჭებში),

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \frac{E}{R_y}$$

ორტესებრი კვეთის მქონე კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი როცა $\varphi_1 \le 0{,}85$, ღებულობენ $\varphi_b = \varphi_1$, როცა $\varphi_1 > 0{,}85$ ღებულობენ $\varphi_b = 0{,}68 + 0{,}21\varphi_1$.

ψ კოეფიციენტის მნიშვნელობა განისაზღვრება დანართი 7-დან. ψ-ს განსაზღვრისათვის აუცილებელია გავიანგარიშოთ α პარამეტრი, რომელიც დამოკიდებულია კოჭის გრეხაზე წინაღობის უნარით, შედგენილი კოჭებისათვის

$$\alpha = 8 \left(\frac{l_{ef} \cdot t_f}{h_b \cdot b_f} \right)^2 \left(1 + \frac{a t_w^3}{b_f \cdot t_f^3} \right)$$

სადაც l_{ef} -კოჭის შეკუმშული სარტყლის საანგარიშო სიგრძეა, რომელიც ჩამაგრებულია (შეზღუდულია) განივი გადაადგილებისაგან. $a = 0{,}5 h_{ef}$; h_{ef} -არის სარტყლების ფურცლების ღერძებს შორის მანძილი (სიმაღლე); b_f და t_f -შესაბამისად შეკუმშული სარტყლის სიგანე და სისქე, t_w -კოჭის კედლის სისქე.

შედგენილი მთავარი კოჭებისათვის, რომლებიც იმყოფებიან კოჭოვანი მოედნის სისტემაში და დაკავშირებულია არიან ერთმანეთთან განივი კოჭებით რომლებზეც განლაგებულია ფენილი, შეკუმშული სარტყლის საანგარიშო სიგრძედ (l_{ef}) მიიღება განივ კოჭებს შორის მანძილი.

6.4.3. კოჭის ელემენტების ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება. კონსტრუქციის ცალკეული ელემენტების მდგრადობის დაკარგვას, რომელზეც მოქმედებს ნორმალური და მხები ძაბვები, თან ახლავს ელემენტის სიბრტყიდან ადგილობრივი გამობურცვა.

კოჭებში მდგრადობა შეიძლება დაკარგოს შეკუმშულმა სარტყელმა, ნორმალური ძაბვების ზემოქმედებით და კედელმა მხები ან ნორმალური ძაბვების ზემოქმედებით, ასევე მათი (მხები და ნორმალური ძაბვების) ერთობლივი მოქმედებით.

კოჭის ელემენტებიდან ერთ-ერთის მიერ მდგრადობის დაკარგვას მთლიანად ან ნაწილობრივ გამოიყავს კოჭი მუშაობიდან, კოჭის მუშა კვეთი მცირდება, ხშირად ხდება არასიმეტრიული, ღუნვის ცენტრი გადაინაცვლებს, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს მთლიანი კოჭის ზიდვის უნარის ნაადრევი დაკარგვა.

ფირფიტების მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვების ზოგად განტოლებას აქვს შემდეგი სახე

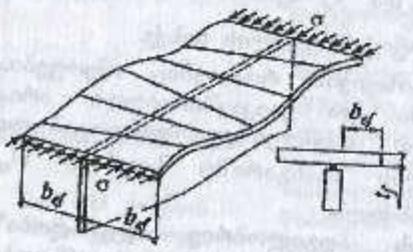
$$\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{t} = \frac{k\pi^2 E}{12(1-\nu^2)}\left(\frac{t}{b}\right)^2 = 0{,}9kE\left(\frac{t}{b}\right)^2$$

კოჭის ელემენტებმა მდგრადობა შეიძლება დაკარგოს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ კოჭში მოქმედი ძაბვები არ მათი ერთობლივი ზემოქმედება მეტი იქნება მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობებზე.

ამიტომ არასასურველია, რომ σ_{cr}-ის მნიშვნელობები იყოს ნაკლები მასალის სიმტკიცის საანგარიშო მნიშვნელობებზე და მდგრადობის დაკარგვა მოხდეს სიმტკიცის მიხედვით კოჭის ზიდვის უნარის დაკარგვაზე ადრე. ასეთ შემთხვევაში მოხდებოდა მასალის გამოუყენებლობა, რაც არაეკონომიურია.

განვიხილოთ ცალკ-ცალკე კოჭის სარტყელებისა და კედლის მდგრადობა.

შეკუმშული სარტყლის მდგრადობა. შეკუმშული სარტყელი წარმოადგენს გრძელ ფირფიტას, რომელიც სახსრულად ჩამაგრებულია თავისი გრძელი ნაწილით კოჭის კედელთან. მასზე მოდებულია ფირფიტის განივკეთში თანაბრად განაწილებული ნორმალური ძაბვები, რომლებიც მოქმედებენ გრძივი მხარის გასწვრივ. ასეთი ფირფიტის მდგრადობის დაკარგვა ხდება მისი თავისუფალი ნაწილის ტალღისებურად გამობურცვის შედეგად. სარტყლის კედელთან სახსრულად ჩამაგრება იძლევა ზიდვის უნარის ძარაგს, რადგან მოქნილ კედელს არ შეუძლია მნიშვნელოვნად შეუწინააღმდეგოს მდგრადობის დაკარგვისას სარტყლის მობრუნებას (ნახ. 6.14).



ნახ. 6.14. სარტყლით, კოჭის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა

სარტყლის მდგრადობის უზრუნველყოფის პირობას, როდესაც კოჭის მასალა მუშაობს დრეკად არეში, აქვს სახე:

$$\bar{\lambda}_f = \lambda_{uf} \qquad (6.43)$$

სადაც $\bar{\lambda}_f = \left(b_{sf}/t_f\right)\sqrt{R_y/E}$ და $\lambda_{uf} = 0{,}5\sqrt{R_y/\sigma}$

თუ გავუტოლებთ $\sigma = R_y$ და ჩავატარებთ გარდაქმნებს, მივიღებთ

$$b_{sf}/t_f \le 0{,}5\sqrt{E/R_y} \qquad (6.44)$$

სადაც b_{sf}-სარტყლის მოუჭარხოებელი კიდული ნაწილია (სარტყლის სიგანის ნახევარი); t_f-სარტყლის სისქე; σ-შეკუმშული სარტყელში გარე დატვირთვიდან გამოწვეული ძაბვა.

აქედან ნახს, იმისათვის რომ უზრუნველყოფილი იქნას სარტყლის მდგრადობა მასალის დრეკადი მუშაობის გათვალისწინებით, აუცილებელია სარტყლის კიდული ნაწილის (შეერის) მის სისქესთან შეფარდება არ უნდა აღემატებოდეს (6.44) ფორმულით მიღებულ მნიშვნელობას, რაც მცირენახშირბადიანი ფოლადებისათვის შეადგენს დაახლოებით 15. როდესაც კოჭებში გათვალისწინებულია პლასტიკური დეფორმაციების განვითარება, სარტყლის მდგრადობა უარესდება. ამ შემთხვევაში ნორმები ითვალისწინებენ კედლის გამამგრებელ მოქმედებას, როცა $2{,}2 < \bar{\lambda}_w > 5{,}5$ კოჭის მოუჭარხოებელი კიდული ნაწილის ზღვრული მოქნილობის მნიშვნელობა ტოლია

$$\bar{\lambda}_{uf} = 0{,}17 + 0{,}06\bar{\lambda}_w \qquad (6.45)$$

სადაც $\bar{\lambda}_w$-კოჭის კედლის ზღვრული პირობითი მოქნილობაა.

კედლის მდგრადობა. კოჭის კედელი წარმოადგენს გრძელ, თხელ ფირფიტას, რომელზეც მოქმედებს მხები და ნორმალური ძაბვები, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიონ კედლის მდგრადობის დაკარგვა. ჩვეულებრივ, კედლის მდგრადობას უზრუნველყოფენ არა მისი სისქის გაზრდით (რაც იწვევს მასალის მნიშვნელოვან გადახარჯვას), არამედ სპეციალური სიხისტის წიბოების გამოყენებით. სიხისტის წიბოებს აყენებენ ფურცლის გამობურცვის მართობულად, რომლებიც ასევე ამაღლებენ კოჭის სიხისტეს.

სიხისტის წიბოები კედელს ყოფენ ნაკეთურებად (პანელებად), ისინი მდგრადობას კარგავენ, პრაქტიკულად, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად (ნახ. 6.15). განვიხილოთ ცალკ-ცალკე კოჭის მდგრადობის დაკარგვა მხები და ნორმალური ძაბვების ზემოქმედებით.

კედლის მდგრადობის დაკარგვა მხები ძაბვების ზემოქმედებით. კოჭის საყრდენთან ახლოს კედელზე მოქმედებს მნიშვნელოვანი მხები ძაბვები, რომელთა მოქმედებით კედელი გამრუდდება (ნახ. 6.17,ა) და მთავარი მკუმშავი ძაბვების მიმართულებით იკუმშება (ნახ. 6.17,ბ). კუმშვის მიმართულებით კედელი შეიძლება გამობურცოს, ტალღების შექმნით, რომლებიც დახრილი იქნება კოჭის ღერძის მიმართ დაახლოებით 45^0-იანი კუთხით (ნახ. 6.16,ა).

კოჭებისათვის, რომელთა კედელი არ არის ჩამაგრებული სიხისტის წიბოებით, კრიტიკული მხები ძაბვა, რომელიც მიღებულია

კედლის სარტყელებთან დრეკადი ჩამაგრების პირობიდან, იანგარიშება ფორმულით

$$\tau_{cr} = 10{,}3\left(R_s / \lambda_w^2\right) \qquad (6.46)$$

ტოლობიდან $\tau_{cr} = R_s$ ვღებულობთ კედლის ზღვრულ პირობით მოქნილობას

$$\lambda_w = \left(h_{ef} / t_w\right)\sqrt{R_y / E} = 3{,}2,$$

რომლის დროსაც კედლის მდგრადობის დაკარგვა მხები ძაბვების მოქმედებით არ შეიძლება მოხდეს სიმტკიცის დაკარგვაზე ადრე.

ამის გამო სამშენებლო ნორმები და წესები მოითხოვს კოჭის კედელი გამაგრებული უნდა იქნას განივი სიხისტის წიბოებით შემდეგი პირობებით:

ა) კოჭის სარტყელზე ადგილობრივი დატვირთვის არარსებობისას, როცა

$$\bar{\lambda}_w > 3{,}2 \qquad (6.47)$$

ბ) კოჭის სარტყელ'ზე ადგილობრივი დატვირთვის არსებობისას, როცა

$$\lambda_w > 2{,}2 \qquad (6.48)$$

გ) დიდი შეყურსული ტვირთების მოქმედებისას და კოჭის ღუნვისაგან გამოწვეული პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების ზონაში, სიხისტის წიბოები დაყენებული უნდა იქნეს ყოველი ტვირთვის ქვეშ.

კოჭის კედელში პლასტიკური დეფორმაციების ზონის (უბნის) სიგრძე l_{plast} შეიძლება განისაზღვრული იქნას მომენტების ტოლობის პირობიდან, რომლებიც შეიძლება აითვისოს კოჭმა მისი პლასტიკური დეფორმაციებით მუშაობის გათვალისწინებითა და კოჭის მთელ სიმაღლეზე კედლის დრეკადად მუშაობის გათვალისწინების პირობიდან. კოჭზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ეს ზონა შეიძლება განისაზღვროს დამოკიდებულებით

$$l_{plast} = l\sqrt{1-(1/c)(h/h_w)} \qquad (6.49)$$

სადაც c კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს პლასტიკური დეფორმაციების განვითარებას (იხ. დან. 6).

სიხისტის განივ წიბოებს შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს $2h_{ef}$, როცა $\bar{\lambda}_w > 3{,}2$ და $2{,}5h_{ef}$, როცა $\lambda_w \le 3{,}2$. დასაშვებია გაიზარდოს აღნიშნული მანძილი $3h_{ef}$-მდე იმ პირობით, რომ კოჭი შემოწმებული იქნება საერთო და ადგილობრივ მდგრადობაზე შესაბამისი ფორმულებით. მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნას

ცალმხრივი სიხისტის წიბოები სიგანით არა უმცირეს $b_r = h_w / 24 + 50$ მმ.

სიხისტის ცალმხრივი წიბოები, რომლებიც განლაგებული არიან ზედა სარტყელზე მოდებული შეყურსული ძალის გასწრივ (მაგ. კოჭების სართულებრივი შეუღლებისას), მიზანშეწონილია გაანგარიშებული იქნას, როგორც ექსცენტრულად შეკუმშული დგარი. ექსცენტრისიტეტი ტოლია მანძილისა კოჭის კედლის შუალედი სიბრტყიდან დგარის საანგარიშო კვეთის სიმძიმის ცენტრამდე. ამ დგარის საანგარიშო კვეთში აუცილებელია შეყვანილი იქნას სიხისტის წიბოს კვეთი და კედლის ზოლი სიგრძით $0{,}65t_w\sqrt{E / R_y}$, წიბოს ორივე მხრიდან. დგარის სიგრძედ საჭიროა მიღებული იქნას-კედლის სიმაღლე. ცალკეულ შემთხვევებში დასაშვებია სიხისტის წყვილი წიბოები (მაგ. მეორე სარისხოვანი კოჭების მთავარ კოჭებთან გვერდიდან მიერთებისას) ამ შემთხვევაში დგარი იანგარიშება, როგორც ცენტრალურად შეკუმშული და ყოველი წყვილი სიმეტრიული სიხისტის წიბოების სიგანე არ უნდა იყოს ნაკლები $b_r = h_w / 30 + 40$ მმ, წიბოების სისქე არ უნდა იყოს ნაკლები $t_r = 2b_r\sqrt{R_y / E}$.

სიხისტის წიბოები კედელთან შედუღებული უნდა იქნას მთლიანი ცალმხრივი ნაკერებით. ეს ნაკერები არ უნდა იქნას მიყვანილი სარტყელების ნაკერებამდე 40-50 მმ-ით, ნაკერების თერმული ზემოქმედებების შემცირების მიზნით.

კოჭის სიხისტის წიბოებით გამაგრებული კედელი, რომელიც კვეთს კედლის შესაძლო გამობურცვის ტალღას, ზრდის კრიტიკულ მხებ ძაბვას, რომელიც ახლა უკვე განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau_{cr} = 10{,}3\left(1+0{,}76/\mu^2\right)\cdot\left(R_s / \bar{\lambda}_d^2\right) \qquad (6.50)$$

სადაც μ-დიდი გვერდის a ან h_w (ნახ 6.17,გ) მცირესთან d შეფარდებაა; $\bar{\lambda}_d = \left(d / t_w\right)\sqrt{R_y / E}$; t_w-კედლის სისქეა.

ნორმებით სიხისტის წიბოების მაქსიმალურად დასაშვებ მანძილზე დაყენებისას $a_{max} = 2h_{ef}$, ე.ი. როცა $\mu = 2$ კრიტიკული ძაბვა იზრდება $\tau_{cr} = 12{,}26\left(R_s / \bar{\lambda}_w^2\right)$ მნიშვნელობამდე. ხოლო კედლის პირობითი მოქნილობა არ არის საშიში $\lambda = 3{,}5$-მდე. ამის გათვალისწინებით, ნორმებით დასაშვებია, სიხტის წიბოებით გამაგრებული კოჭის კედლის მდგრადობა არ იქნას შემოწმებული შემდეგ შემთხვევებში:

ა) იმ კოჭებისათვის, რომლებსაც აქვთ სარტყელების ორმხრივი ნაკერები, ადგილობრივი დატვირთვის არარსებობისას და როცა

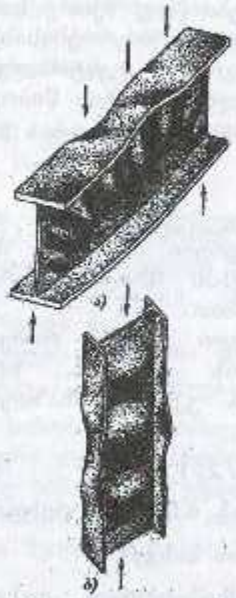
$$\lambda_w \le 3{,}5 \qquad (6.51)$$

ბ) ასეთივე კოჭებისათვის, სარტყელების ცალმხრივი ნაკერისას

$$\lambda_w \le 3{,}2 \qquad (6.52)$$

გ) კოჭებისათვის სარტყელების ორმხრივი ნაკერებით და რომელზეც მიღებულია (სარტყელზე) ადგილობრივი დატვირთვა, და როცა

$$\lambda_w \le 2{,}5 \qquad (6.53)$$



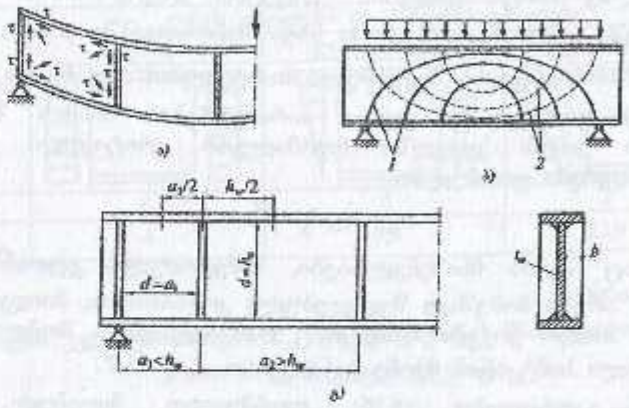
ნახ. 6.16. თხელკედლიანი ელემენტების მდგრადობის დაკარგვა: ა)-კოჭის; ბ)-სვეტის



ნახ. 6.15. კოჭის კედლის მდგრადობის დაკარგვა

სიმეტრიული, ორტესებრი კვეთის მქონე, დრეკადად მომუშავე კოჭის კედლის მდგრადობა, რომელზეც მოქმედებს ნორმალური ძაბვები. კოჭის მალის შუა უბანში მხები ძაბვების გაკლება არის უმნიშვნელო. აქ კოჭზე ძირითადად მოქმედებს ღუნვისაგან გამოწვეული ნორმალური ძაბვები, რომლებმაც შეიძლება გამოიწვიოს მისი მდგრადობის დაკარგვა. გამობურცვისას, კედელი კოჭის შეკუმშულ ზონაში ქმნის ტალღებს, რომლებიც არიან მათი სიბრტყის მართობული. განივ წიბოებს არ შეუძლიათ მნიშვნელოვანი გავლენა იქონიონ კედლის გამობურცვაზე, რადგან

გამობურცვის ტალღის სიგრძე არის მცირე (დაახლოებით $\approx 0{,}67h$), ხოლო მათი მიმართულება არის განივი სიბრტყის წიბოების პარალელური, ამიტომ კედელი ყველა შემთხვევაში გამოიბურცება მათ შორის (ნახ. 6.16,ა). იმისათვის რომ კოჭის კედელმა არ დაკარგოს მდგრადობა ზემოთ ჩამოთვლილი მიზეზების გამო, კედლის შეკუმშულ ზონაში აყენებენ სიხისტის გრძივ წიბოს, რომელიც ამცირებს ფირფიტის საანგარიშო სიგანეს და ზრდის კრიტიკულ ძაბვებს.



ნახ. 6.17. კოჭის კედლის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა: ა)-მხები ძაბვების მოქმედებით; ბ)-მთავარი მკუმშავი (1) და გამჭიმავი (2) ძაბვები; გ)-კედლის მდგრადობის შემოწმებისათვის დაძაბულობების ადგილების განსაზღვრა.

კრიტიკული ნორმალური ძაბვების მნიშვნელობები ასევე დამოკიდებულია კედლის მართკუთხა ფირფიტის ნაწიბურზე მოდებული ნორმალური ძაბვების განაწილების კანონზე. ის ხასიათდება, კედლის სარტყელებთან ჩამაგრების ხარისხით, α კოეფიციენტით, δ კოეფიციენტით, ასევე კედლის შემთხვევითი ჩაღუნვებით:

$$\alpha = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / \sigma_{max},$$

სადაც σ_{max} არის უდიდესი მკუშავი ძაბვა კედლის საზღვართან, σ_{min} - განაპირა ძაბვა კედლის საპირისპირო მხარეს, აღებული თავისი ნიშნით.

$$\sigma_{cr} = 0{,}9k E \left(\frac{t}{b}\right)^2 \qquad (6.54)$$

k-ს მნიშვნელობა α-სთან დამოკიდებულებაში ნაჩვენებია ცხრ. 6.4.-ში.

კედლის სარტყელებთან დრეკადი ჩამაგრების ხარისხს ითვალისწინებს δ კოეფიციენტი:

$$\delta = \frac{\beta \cdot b_f}{h_{sf}} \cdot \left(\frac{t_f}{t_w}\right)^3 \qquad (6.55)$$

სადაც ყველა კოჭებისათვის, ამწისქვეშას გარდა, კოჭის სარტყელზე ხისტი ფილების უწყვეტად დაყრდნობისას $\beta = \infty$; ამწისქვეშა კოჭებისათვის $\beta = 2$; სხვა შემთხვევებში $\beta = 0{,}8$; b_f და t_f-შესაბამისად კოჭის შეკუმშული სარტყლების სიგანე და სისქეა.

(6.54) ფორმულაში, ყველა პარამეტრების ჩასმის შემდგომ ღუნვადი კოჭის კედელში ნორმალური კრიტიკული ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{cr} = c_{cr} R_y / \bar{\lambda}_w^2 \qquad (6.56)$$

სადაც c_{cr}-ის მნიშვნელობები, სიმეტრიული კვეთის მქონე, დრეკად არეში მომუშავე შედუღებული კოჭისათვის, მიიღება ცხრ. 6.5.-დან, ხოლო კოჭები რომლებიც დამზადებულია მოქლონებითა და მაღალი სიმტკიცის მქონე ჭანჭიკებით $c_{cr} = 35{,}2$.

თუ გაუტოლებთ (6.56) ფორმულით მიღებულ σ_{cr}-ს საანგარიშო წინაღობას და β კოეფიციენტს ავიღებთ უმცირესს 0,8 ტოლს, მივიღებთ კედლის პირობით მოქნილობას $\lambda_w = 5{,}5$ ტოლს. ე.ი. ეს ის სიდიდეა, რომლის დროსაც მხოლოდ ნორმალური ძაბვების (კოჭის სუფთა ღუნვის ზონა) მოქმედებისას კედლის მდგრადობის დაკარგვა მოხდება კოჭის საანგარიშო სიმტკიცის დაკარგვასთან ერთად. ამიტომ, ასეთი კოჭის კედლები განივი ხიხისტის წიბოებთან ერთად გამაგრებული უნდა იქნას გრძივი ხიხისტის წიბოებით შეკუმშულ ზონაში.

კოჭის კედლის მდგრადობა ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას. კოჭებში ნორმალური და მხები ძაბვები მოქმედებენ ერთდროულად, ამიტომ მდგრადობის დაკარგვა შეიძლება მოხდეს მათი ერთობლივი მოქმედებისაგან. რა თქმა უნდა, კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები ნორმალური და მხები ძაბვების ერთობლივი მოქმედებისას არის უფრო დაბალი ვიდრე ერთ-ერთი მათგანის მოქმედებისას. განვიხილოთ კოჭის კედლის მდგრადობის შემოწმების რამდენიმე შემთხვევა.

1. კედლების მდგრადობა, როდესაც კოჭები მუშაობენ დრეკადად, აქვთ სიმეტრიული ორტესებრი კვეთი, გამაგრებული

არიან მხოლოდ განივი ხისტის წიბოებით და მასზე არ არის მოდებული კედლის მთელანი ძაბვა ($\sigma_{loc} = 0$) და $\lambda_w < 6$. ასეთი შემოწმება ხდება როცა $\lambda_w \geq 3{,}2$ კოჭებში სარტყლების ცალმხრივი ნაკერებისას და $\lambda_w \geq 3{,}5$ კოჭებში სარტყლების ორმხრივი ნაკერებისას.

ცხრილი. 6.4

კოჭის კედლისათვის, (6.54) ფორმულიდან k კოეფიციენტის მნიშვნელობები

კოჭის კედელში σ ძაბვების ეპიურები	კუმშვა	კუმშვა+ღუნვა	ღუნვა
α	0	1	2
k_{min}	4	7,8	23,9

ცხრილი. 6.5

კოჭის კედლებისათვის c_{cr} კოეფიციენტის მნიშვნელობები δ-სთან დამოკიდებულებაში

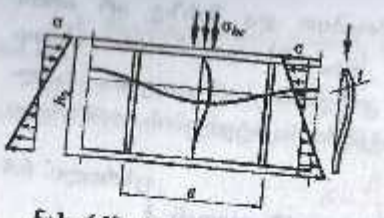
δ	≤0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	≥30
c_{cr}	30,0	31,5	33,3	34,6	34,8	35,1	35,5

ფაქტობრივი σ და τ ძაბვები არ უნდა აღემატებოდეს კრიტიკულებს ანუ $\sigma \leq \sigma_{cr}^{\sigma}$ და $\tau \leq \tau_{cr}^{\sigma}$.

ასეთ შემთხვევაში მდგრადობის შემოწმების ფორმულას აქვს სახე

$$\sqrt{(\sigma/\sigma_{cr})^2 + (\tau/\tau_{cr})^2} \leq \gamma_c \qquad (6.57)$$

სადაც σ_{cr} და τ_{cr}-კრიტიკული ნორმალური და მხები ძაბვებია, რომლებიც მიღებულია (6.56) და (6.50) ფორმულებით. σ და τ-მოქმედი ნორმალური და მხები ძაბვებია, რომლებიც იანგარიშება $\sigma = (M/W)(h_w/h)$ და $\tau = Q/(h_w t_w)$; აქ M და Q არის ნაკეთურის საზღვრებში მდუნავი მომენტი და განივი ძალა; თუ ნაკეთურის სიგრძე მეტია მის საანგარიშო სიმაღლეზე, მაშინ M და Q მიზანშეწონილია გამოითვალოს, როგორც საშუალო, უფრო მეტად დაძაბული უბნისათვის. მისი სიგრძე ტოლი იქნება ნაკეთურის



ნახ. 6.18. კედლის მდგრადობის დაკარგვა ადგილობრივი დატვირთვისაგან

სიმაღლისა (ნახ. 6.17,ბ). თუ შესამოწმებელ ნაკვეთურს ემთხვევა კოჭის კვეთის სიგრძეზე ცვლილება, მაშინ M, Q და W აღებულია შემცირებული კვეთის მიხედვით.

2. სიმეტრიული კვეთის მქონე, დრეკად არეში მომუშავე კოჭების მდგრადობა, რომლებიც გამაგრებული არიან სიხისტის წიბოებით, ადგილობრივი ძაბვების არსებობისას $\sigma_{loc} \neq 0$. ამ შემთხვევაში კოჭის კედლის მდგრადობა მიზანშეწონილია შემოწმებული იქნას იმ პირობით, როცა კედლის პირობითი მოქნილობა $\bar{\lambda}_w > 2,5$.

თვით შემოწმება, კი ხორციელდება ფორმულით, რომელიც ანალოგიურია (6.57) ფორმულის.

$$\sqrt{\left(\sigma / \sigma_{cr} + \sigma_{loc} / \sigma_{loc,cr}\right)^2 + \left(\tau / \tau_{cr}\right)^2} \le \gamma_c \qquad (6.58)$$

აქ ნორმალური σ, მხები τ და მათი შესაბამისი კრიტიკული ძაბვების მნიშვნელობები, ასევე მუშაობის პირობების კოეფიციენტს γ_c განისაზღვრება იხვევე, როგორც ამას ვაკეთებდით (6.57) ფორმულაში, ხოლო σ_{loc}, ადგილობრივ ძაბვას, (6.41) ფორმულის მიხედვით. ადგილობრივი ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვა ძალიან ჰგავს ნორმალური ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვის სურათს (ნახ. 6.18).

ადგილობრივი ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძაბვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 c_2 R_y / \bar{\lambda}_w^2 \qquad (6.59)$$

მაგრამ ერთმანეთის პერპენდიკულარული ნორმალური და ადგილობრივი ძაბვების ურთიერთგავლენას, ასევე ფირფიტის მდგრადობაზე სიხისტის წიბოების ურთიერთგანლაგების ძლიერ გავლენას და ადგილობრივი დატვირთვით ფირფიტის ფარდობით სიგრძეზე დაძაბვას, მიეყაცართ კოჭის კედლის მდგრადობის დაკარგვის სამ შემთხვევამდე.

ა. სიხისტის წიბოების ხშირი განლაგებისას $a/h_{ef} \le 0,8$ სიხისტის წიბოებს შორის კედელი მხოლოდ ერთი ნახევარტალღით შეიძლება გამოიბურცოს (ნახ. 6.18). ამ შემთხვევაში (6.58) ფორმულით მდგრადობის შემოწმებისას σ_{cr} განსაზღვრავენ (6.56) ფორმულით ისევე როგორც ადგილობრივი ძაბვების არარსებობისას.

ადგილობრივი ძაბვების მოქმედებით მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკულ ძაბვას განსაზღვრავენ (6.59) ფორმულით, სადაც c_1 კოეფიციენტია, რომელიც მიიღება 6.6 ცხრილის მიხედვით, a/h_{ef} - შესამოწმებელი ფირფიტის მხარეთა შესაბამისობებისა და $\rho = 1,04 l_{ef} / h_{ef}$ ადგილობრივი დატვირთვით ფირფიტის სიგრძის ფარდობითი დატვირთულობის მიხედვით; $l_{ef} = l_{loc}$ უნდა გახისაზღვროს ფორმულით (6.41).

c_2 კოეფიციენტი მიიღება 6.7 ცხრილით a/h_{ef} შესაბამისობისა და δ-სარტყელში კედლის მდგრადი წამაგრების ხარისხის მნიშვნელობის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრება (6.55) ფორმულით.

სიხისტის წიბოების $a/h_{ef} > 0,8$ -ზე მეტ მანძილზე განლაგებისას მდგრადობის შემოწმებას (6.58) ფორმულით ახდენენ ორჯერ.

ცხრილი 6.6

c_1 კოეფიციენტის მნიშვნელობა

ρ	როცა a/h_{ef} ან a_1/h_{ef}									
	0,50	0,60	0,67	0,80	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2.0
0,10	56,7	46,6	41,8	34,9	28,5	24,5	21,7	19,5	17,7	16,2
0,15	38,9	31,3	27,9	23,0	18,6	16,2	14,6	13,6	12,7	12,0
0,20	33,9	26,7	23,5	19,2	15,4	13,3	12,1	11,3	10,7	10,2
0.25	30,6	24,9	20,3	16,2	12,9	11,1	10,0	9,4	9,0	8,7
0.30	28,9	21,6	18,5	14,5	11,3	9,6	8,7	8,1	7,8	7,6
0.35	28,0	20,6	18,1	13,4	10,2	8,6	7,7	7,2	6,9	6,7
0.40	27,4	20,0	16,8	12,7	9,5	7,9	7,0	6,6	6,3	61,

ცხრილი 6.7

c_2 კოეფიციენტის მნიშვნელობა

δ	როცა a/h_{ef} ან a_1/h_{ef}							
	0,50	0,60	0,66	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60
1	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56	1,56
2	1,64	1,64	1,64	1,66	1,66	1,82	1,84	1,85
4	1,66	1,66	1,69	1,65	1,88	2,01	2,09	2,12
6	1,66	1,68	1,60	1,66	1,92	2,08	2,19	2,26
10	1,68	1,69	1,61	1,68	1,96	2,14	2,28	2,38
≥ 30	1,68	1,60	1,62	1,80	1,99	2,20	2,38	2,52

ბ. ანგარიშობენ σ_{cr}-ს (6.56) ფორმულით ისევე, როგორც ადგილობრივი ძაბვების არარსებობისას, ხოლო $\sigma_{loc,cr}$ (6.59) ფორმულის საშუალებით. აქ c_1 და c_2 კოეფიციენტების განსაზღვრისათვის 3 და 4 ცხრილებში a-ს ნაცვლად იყენებენ $a_1 = 0{,}5a$ მნიშვნელობას, როცა $0{,}8 \le a/h_{ef} \le 1{,}33$, ან იყენებენ $a_1 = 0{,}67h_{ef}$, როცა $a/h_{ef} > 1{,}33$.

გ. (6.58) ფორმულისთვის $\sigma_{loc,cr}$ გამოითვლება (6.59) ფორმულის მიხედვით a/h_{ef} მხარეთა ფაქტობრივი ფარდობით, ხოლო (6.56) ფორმულის მიხედვით σ_{cr} მნიშვნელობის განსაზღვრისთვის c_{cr} მნიშვნელობას იღებენ ცხრილი 6.8-ის მიხედვით.

ცხრილი 6.8

კოჭებისთვის c_{cr} კოეფიციენტის მნიშვნელობა a/h_{ef} ფარდობის შესაბამისად

a/h_{ef}	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	≥2,0
c_{cr}	ცხრ.6.5-ის	37	39,2	45,2	52,8	62,0	72,6	84,7

ჭედლა შემთხვევაში τ_{cr} უნდა გამოითვალოს ნაკეთურის ნამდვილი ზომების მიხედვით.

3. განივი სიხისტის და ერთი გრძივი სიხისტის წიბოებით გამაგრებული სიმეტრიული კვეთის მქონე კოჭების კედლების მდგრადობა.

თხელ კედლიანი დიდი სიმაღლის კოჭებში $\bar{\lambda}_w > 5{,}5$ დამოკიდებულებისას კედლის მდგრადობის უზრუნველსაყოფად სიხისტის განივი წიბოების გარდა რაციონალურია გრძივი წიბოს დაყენება, რომელიც განივებს ეყრდნობა და ნაკეთურის შეკუმშულ ნაწიბურთან $h_1 = (0{,}2...0{,}3)h_{ef}$ მანძილზეა განლაგებული (ნახ. 6.19).

განივი წიბოს არსებობა, რომელიც კედელს გრძივად ყოფს ორ ნაწილად და რომელთა მდგრადობაც ცალკ-ცალკე მოწმდება, არსებითად აუმჯობესებს კედლის მდგრადობას მისი ცალკეული ნაწილების მოქნილობის შემცირების ხარჯზე. ეს წიბო, ისევე როგორც განივი წიბოები, კედლის ორივე მხარეს არის

განლაგებული და შეიძლება შედგებოდეს ერთი ან რამოდენიმე წიბოსაგან. გრძივ წიბოს ჩვეულებრივ აყენებენ კოჭის შუა საკვეთურებში, მღუნავი მომენტების დიდი მნიშვნელობების შესაბამისად, დიდი ნორმალური ძაბვის ზონებში. განივი წიბოების ზომებს ისეთივეს ნიშნავენ, როგორც კოჭებში გრძივი წიბოს გარეშე. მაგრამ ამასთან მათი ინერციის მომენტები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

ა) განივი წიბოებისთვის $I_x \ge 3h_{ef}t_r^3$;

ბ) გრძივი წიბოსთვის როცა $h_1/h_{ef} = 0{,}3$ და $I_x \ge 1{,}5h_{ef}t_r^3$.

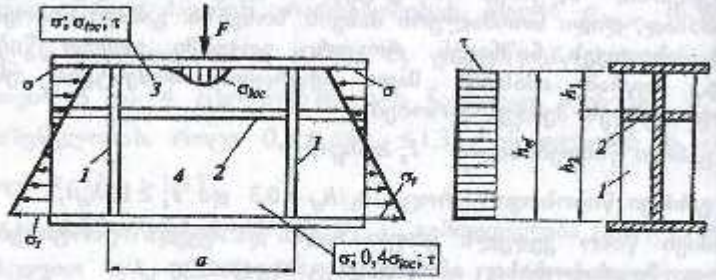
გრძივი წიბო კედელს ყოფს ზედა და ქვედა ფირფიტებად, რომელთა მდგრადობასაც ამოწმებენ ცალკ-ცალკე.

ზედა ფირფიტა, რომლის ზომა სიმაღლით არის $(0{,}2...0{,}3)h_{ef}$, განლაგებულია შეკუმშულ სარტყელსა და გრძივ წიბოს შორის და არათანაბარი შეკუმშვის პირობებში იმყოფება, რაც ადგილობრივი მდგრადობისთვის (იხ. ცხრ. 6.4) ფრიად არახელსაყრელია. მაგრამ მცირე სიმაღლის გამოისობით გააჩნია კედლის მცირე მოქნილობა და ამის ხარჯზე აქვს კრიტიკული ძაბვების საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა.

ქვედა ფირფიტა, რომლის ზომაც სიმაღლით არის $(0{,}8...0{,}7)h_{ef}$, განლაგებულია გრძივ წიბოსა და გაჭიმულ სარტყელს შორის. ნორმალური ძაბვების ეპიურა მასში შეესაბამება ღუნვას გაჭიმვით, ხოლო ადგილობრივი ძაბვები შეადგენენ კოჭის ზედა სარტყელთან მოქმედ ძაბვათა მხოლოდ 40%, კოჭის კედლის სიმაღლეზე მათი განაწილების ხარჯზე. ფირფიტის შემცირებული სიმაღლე კოჭის კედლის სრულ სიმაღლესთან შედარებით, გამჭიმავ ძაბვათა გაზრდილი ზონა და შემცირებული ადგილობრივი ძაბვები, მისი ადგილობრივი მდგრადობისთვის უზრუნველყოფის ხელსაყრელ პირობებს ქმნიან.

თუ კოჭის შეკუმშულ სარტყელზე არსებობს ხშირად განლაგებული ადგილობრივი დატვირთვები, ასევე თუ შედუღებული კოჭის ზედა ფირფიტის ადგილობრივი მდგრადობა აუცილებელია, ასევე თუ კოჭს სიხისტის გრძივი წიბო გააჩნია, შესაძლოა კოჭის კედლის შეკუმშული ზონის გამაგრება სიხისტის მოკლე შუალედური ვერტიკალური წიბოების დაყენებით, გრძივ წიბოზე მიდგმებით გზით (ნახ. 6.20). ამ შემთხვევაში ზედა შეკუმშული ფირფიტის შემოწმებისას a მანძილს ცვლიან a_1-მუზობელ წიბოთა ღერძებს შორის მანძილით; მდგრადობის ყველა გათვლა ზედა და ქვედა ფირფიტებისათვის უნდა მოხდეს იგივე

ფორმულების მიხედვით, რაც კოჭებისათვის მოკლე წიბოების გარეშე შემთხვევაში გვქონდა.



ნახ. 6.19. სიხისტის განივი და გრძივი წიბოებით გამაგრებული კოჭის სქემა: 1-განივი წიბოები; 2-გრძივი წიბო; 3-ფირფიტა შეკუმშულ სარტყელთან; 4-ფირფიტა გაჭიმულ სარტყელთან.

კოჭებში, რომლებიც მუშაობენ პლასტიკური დეფორმაციების გამოყენებით, ასევე ბისტალურებში, შეზღუდული პლასტიკური დეფორმაციების არეში აღგილობრივი ძაბვების არსებობა არ დაიშვება, ხოლო ორმაგადსიმეტრიული ორტესებრი კვეთის კედლის მდგრადობა ითვლება უზრუნველყოფილად, თუკი კედლის პირობითი მოქნილობა არ აღემატება მის კრიტიკულ სიდიდეს (იხ. ფორმულა (2.82) ლიტ. [3]):

$$\bar{\lambda}_w \le \lambda_{uw} \qquad (6.60)$$

სადაც $\bar{\lambda}_w$ განისაზღვრება 6.9 ცხრილის საშუალებით კოჭის სარტყლის ფარდობითი დეფორმაციისა-ε და კედლის მხები ფარდობითი დაძაბულობების მიხედვით-τ/R_y.

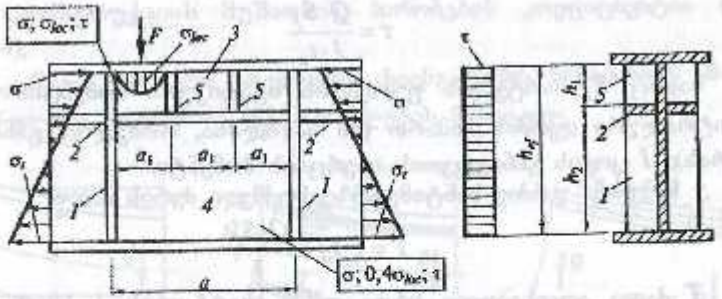
აქ საშუალო მხები დაძაბულობა ტოლია $\tau = Q/A_w$, ხოლო პარამეტრი $\bar{\varepsilon}$ ერთნაირი ფოლადისგან დამზადებული კოჭების კედლისა და სარტყელისთვის განისაზღვრება გამოსახულებით

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon E/R_y = \frac{0{,}29}{\sqrt{0{,}0833 - (c_{1x} - 1)(\alpha_f + 0{,}167)}},$$

სადაც $\alpha_f = A_f/A_w$; $c_{1x} = M/(W_n R_y \gamma_c)$ ან β_{cx}; $1 < c_{1x} < c_x$;

$$\beta = 1 - \frac{0{,}20}{\alpha_f + 0{,}25}(\tau_x/R_y)^4;$$

c_x მიიღება დანართი 6-ის მიხედვით.



ნახ. 6.20. სიხისტის განივი (1) და გრძივი წიბოებით (2) გამაგრებული კოჭის სქემა, რომლებიც აცალკევებენ კედლის ნაკვეთურს შეკუმშულ სარტყელთან ფირფიტა (3)-ით და ფირფიტა (4)-ით გაჭიმულ სარტყელთან, ასევე სიხისტის მოკლე წიბოებით (5).

ცხრილი 6.9

λ_{uw} ზღვრული მნიშვნელობები

τ/R_s	ε შემთხვევაში								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0	5,50	4,00	3,42	3,00	2,72	2,52	2,37	2,27	2,20
0,5	4,45	3,70	3,13	2,75	2,51	2,35	2,26	2,20	2,20
0,6	4,25	3,52	2,98	2,64	2,42	2,28	2,20	2,20	2,20
0,7	4,00	3,34	2,84	2,53	2,34	2,20	2,20	2,20	2,20
0,8	3,75	3,04	2,62	2,37	2,26	2,20	2,20	2,20	2,20
0,9	3,50	2,73	2,39	2,2	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20

6.5. შედგენილი კოჭების კონსტრუქციის დაპროექტება

6.5.1. შედგენილი კოჭის სარტყლის კედელთან შეერთების გაანგარიშება. განივი ღუნვის დროს შედგენილი კოჭის კედელსა და სარტყელს შორის წარმოიშობა მხები ძაბვები იმისათვის, რომ არ მოხდეს კედელსა და სარტყელების ურთიერთძვრა (ნახ. 6.20,ა), შედუღებულ კოჭებში მხები ძაბვები აუცილებელი უნდა იქნენ სარტყლებისა და კედლის შემაერთებელი ნაკერების მიერ (ნახ. 6.20,ბ). სარტყლის შედუღების ნაკერების დონეზე მოქმედი მხები ძაბვები განისაზღვრება ფორმულით:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_f}{I \cdot t_w} \qquad (6.61)$$

სადაც S_f -სარტყლის ფურცლის სტატიკური მომენტია კოჭის ნეიტრალური ღერძის მიმართ (იმ ნაწილისა, რომელიც განიცდის ძვრას); I -კოჭის განივკვეთის ინერციის მომენტი.

ნაკერის გრძივ სანტიმეტრზე მოქმედი ძვრის ძალა

$$T = \tau \cdot t_w = \frac{Q \cdot S_f}{I} \qquad (6.62)$$

T -ძალა ათვისებული უნდა იქნეს სარტყლის 1 სმ სიგრძის მქონე ორი შედუღების ნაკერის მიერ; ნაკერების მუშა ფართობი (ნახ. 6.20,გ).

$$A_k = 2\beta k_f$$

იმგვარი რომ არ ექნეს სარტყლის შედუღების ნაკერების რღვევას, დაცული უნდა იქნეს სიმტკიცის პირობა:

$$T \le 2\beta_f k_f \gamma_{wf} \gamma_c$$
$$T \le 2\beta_z k_f \gamma_{wz} R_{wz} \gamma_c \qquad (6.63)$$

თუ (6.63)-დან გამოვრიცხავთ k_f -ს, მივიღებთ კუთხური ნაკერის კათეტის სიმაღლის საანგარიშო ფორმულებს:

$$k_f' = \frac{T}{2\beta_f \gamma_{wf} R_{wf} \gamma_c}$$
$$k_f'' = \frac{T}{2\beta_z \gamma_{wz} R_{wz} \gamma_c} \qquad (6.64)$$

k_f' და k_f''-დან კუთხური ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი, მოყვანილ ფორმულებში:

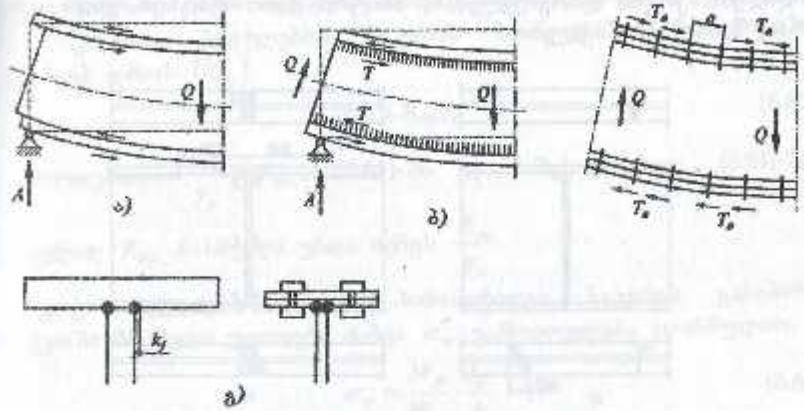
β -უმცირესი რიცხვითი მნიშვნელობის კოეფიციენტია β_f და β_z კოეფიციენტებიდან.

β_f და β_z-ის მნიშვნელობების განსაზღვრება მოყვანილია მეოთხე თავში.

γ_{wf}, γ_{wz}-ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტია მათი რიცხვითი მნიშვნელობაც განისაზღვრება ისე, როგორც ეს განმარტებულია მეოთხე თავში (იხ. ცხრილი 4.5);

γ_c -კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტია (იხ. დან. 14);

R_{wf}, R_{wz} - კუთხური ნაკერების საანგარიშო წინაღობაა. მათი მნიშვნელობა აიღება 4.1, 4.3. ცხრილების მიხედვით.



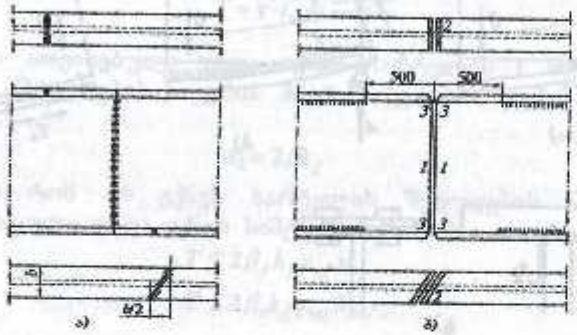
ნახ. 6.21. სარტყლის კედელთან შეერთების მუშაობა:
ა)-ჩაუმაგრებელი სარტყლების ძვრა კედლის მიმართ;
ბ)-სარტყლის ნაკერებისა და ფრიქციული ჭანჭიკების მუშაობა; გ)-სარტყლის ნაკერები და ჭანჭიკები.

(6.64) ფორმულით, სარტყლის ნაკერების სიმაღლის (კათეტის) განსაზღვრა წარმოებს კოჭის საყრდენთან (სადაც გადამჭრელ ძალას აქვს უდიდესი მნიშვნელობა). საყრდენთან განსაზღვრული შედუღების ნაკერების სიმაღლე კოჭის მთელ სიგრძეზე რჩება უცვლელი. რეკომენდებულია, თუ სარტყლის ნაკერის სიმაღლე მეტია 16 სმ-ზე, ნაკერის მასალის ეკონომიის მიზნით, მისი სიმაღლე კოჭის სიგრძეზე აღებულ იქნეს ცვლადი, ასეთ შემთხვევაში, ნაკერის სიმაღლე ცალკეულ უბნებში იანგარიშება (6.64) ფორმულებით.

6.5.2. შედუღებული კოჭების პირაპირები. შედგენილი შედუღებული კოჭების პირაპირები იყოფა ორ ჯგუფად: სამონტაჟო და საქარხნო პირაპირებად (ნახ. 6.22).

სამონტაჟო პირაპირები ეწყობა მაშინ, როდესაც კოჭის მასა და ზომები აღემატება ქარხნიდან მშენებლობის ადგილზე გადასაზიდად საჭირო ტრანსპორტის ტვირთამწეობას და გაბარიტულ ზომებს (რკინიგზის ტრანსპორტის გადაზიდვის დროს, სამონტაჟო ერთეულის სიგრძე შეიძლება იქნეს $(18 \div 27)$ მ,

სიმაღლე 3,8 მ, სიგანე 3,2 მ, მასა(50÷60) ტონა. ავტოტრანსპორტით გადაზიდვის დროს $l \le 18$ მ, სიმაღლე 3,8 მ, სიგანე 3,6 მ). ასეთ შემთხვევაში, შედგენილი კოჭები ქარხანაში მზადდება რამდენიმე გადასაზიდი ერთეულის სახით. კოჭის ცალკეული ერთეულების შეერთება ხდება მშენებლობის ადგილზე, სამონტაჟო პირაპირები ადიდებს კოჭის დირებულებას, ამიტომ მათი რიცხვი უნდა იქნეს რაც შეიძლება ნაკლები.



ნახ. 6.22. შედგენილი კოჭის ქარხნული (ა) და სამონტაჟო (ბ) პირაპირი

საქარხნო პირაპირების მოწყობა განპირობებულია ისეთი სტანდარტული ელემენტების გამოყენებით, რომელთა სიგრძე ნაკლებია კოჭის ელემენტების საპროექტო სიგრძეზე. საქარხნო პირაპირების შეერთების ძირითად ტიპად მიღებულია შეერთება სწორი შედუღების ნაკერით (ნახ. 6.22,ა).

როდესაც სწორი პირაპირული შედუღების ნაკერები სრულდება ავტომატურად, ნახევრად ავტომატურად, ან ხელით და შედუღების ხარისხი მოწმდება ფიზიკური ხერხით, შედუღების ნაკერისა და ძირითადი ელემენტის სიმტკიცე ერთმანეთის ტოლია. ასეთ შემთხვევაში კოჭის კედლისა და სარტყლის პირაპირები შეიძლება განლაგდეს კოჭის სიგრძის ნებისმიერ ადგილას და მათი სიმტკიცეზე შემოწმება საჭირო არ არის.

ჩვეულებრივ, მუდმივკვეთიან შედუღებულ კოჭებში ფურცლის საქარხნო პირაპირები ეწყობა საყრდენიდან $l/4$ მანძილზე, კედლის ფურცლის პირაპირები კი კოჭის შუა ნაწილში (იქ სადაც გადამჭრელი ძალა მღუნავ მომენტთან შედარებით მცირეა).

ცვლადკვეთიან კოჭებში, სარტყლის ფურცლის პირაპირები განლაგებულია კოჭის განიკვეთის ცვლილების ადგილას.

პირაპირული შედუღების ნაკერის ხელით შესრულების დროს, როდესაც ნაკერის ხარისხი მოწმდება ვიზუალურად, შედუღების ნაკერის სიმტკიცე შესაბამისი ელემენტების სიმტკიცეზე ნაკლებია. ასეთ შემთხვევაში, კოჭის ელემენტების სწორი პირაპირული შედუღების ნაკერები განლაგებული უნდა იქნეს კოჭის სიგრძის ისეთ ადგილას, სადაც ძაბვა ნაკერში (σ_w) ტოლია ან ნაკლებია შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობაზე გაჭიმვის დროს (R_{wy}).

$$\sigma_w \le R_{wy}\gamma_c \tag{6.65}$$

როდესაც $\frac{R_{wu}}{\gamma_u} > R_{wy}$, (6.65)-ში და, შესაბამისად, (6.68)-ში, ნაცვლად R_{wy} ჩასმული უნდა იქნეს $\frac{R_{wu}}{\gamma_u}$

კოჭის კედლის სწორი პირაპირული ნაკერის გაანაპირა ბოჭკოში მოქმედი უდიდესი ძაბვა σ_w გამოითვლება ფორმულით.

$$\sigma_w = \frac{M_p}{W_p}\cdot\frac{l_w}{h} \tag{6.66}$$

(6.66) შევიტანოთ (6.65)-ში, მივიღებთ კედლის სწორ პირაპირული ნაკერის სიმტკიცის შესამოწმებელ ფორმულას

$$\sigma'_w = \frac{M_p}{W_p}\cdot\frac{l_w}{h} \le R_{wy}\gamma_c \tag{6.67}$$

აქედან, მღუნავი მომენტის სიდიდე, რომლის ატანაც შეუძლია კოჭის სწორ პირაპირს, განისაზღვრება ფორმულით.

$$M_p = W_p \cdot R_{wy}\gamma_c \frac{h}{l_w}, \tag{6.68}$$

სადაც W_p არის კოჭის იმ განიკვეთის წინაღობის მომენტი, სადაც ნაგულისხმევია პირაპირის მოწყობა; h-კოჭის სიმაღლე; l_w-სწორი პირაპირული ნაკერის სიგრძე, როდესაც ნაკერის გადაყვანა არ ხდება კოჭის კედლის სიმაღლის გარეთ. $l_w = h_w - 2t_w$, სადაც h_w და t_w კოჭის კედლის ფურცლის სიმაღლე და სისქეა.

კედლის ფურცლის პირაპირის ადგილის განსაზღვრა ხდება გრაფიკული ან ანალიზური ხერხით; პრაქტიკის უმეტეს შემთხვევაში მიმართავენ ანალიზურ ხერხს. ეს ხერხი მდგომარეობს შემდეგში: კოჭის საყრდენიდან x მანძილით დაცილებულ კვეთში, იქ სადაც ნაგულისხმევია კედლის ნორმალური პირაპირის მოწყობა, საანგარიშო მღუნავი მომენტის სიდიდეს M_x-ს და

უტოლებებ მას (6.68) ფორმულით განსაზღვრულ მომენტის მნიშვნელობას, რის შედეგადაც მიიღება განტოლება, საიდანაც განისაზღვრება საყრდენიდან x მანძილით დაცილებულ კოჭის კედლის პირაპირის მდებარეობა, მაგალითად, კოჭზე თანაბრად განაწილებული დატვირთვის შემთხვევაში

$$M_x = \frac{q \cdot x(l-x)}{2} = M_p$$

საიდანაც

$$x = \frac{l}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 - \frac{2M_p}{q}} \qquad (6.69)$$

როდესაც კედლის სწორი პირაპირული ნაკერი ეწყობა მალის შუა ნაწილში და ნაკერის სიმტკიცე, განსაზღვრული (6.66) ფორმულით, საკმარისი არ არის, პირაპირის ქვედა ნაწილს აძლიერებენ ორი ზესადებით. ზესადების ზომები ისაზღვრება შედუღების ნაკერის სიმტკიცის პირობით

$$\sigma_n = \frac{M_p}{I} y_w \le R_{wp} \gamma_c , \qquad (6.70)$$

სადაც M_p არის კოჭის განიკვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი პირაპირის ადგილას; I -კოჭის განივკვეთის ინერციის მომენტი; y_w-მანძილი კოჭის განივკვეთის სიმძიმის ცენტრიდან ზესადების ქვედა განაპირა წერტილამდე.

როდესაც სარტყლის სწორი პირაპირული ნაკერის სიმტკიცე საკმარისი არ არის, სარტყლის ფურცლებს აერთებენ ირიბი პირაპირული ნაკერით (ნახ. 6.22). ნაკერის დახრის კუთხეს ჰორიზონტთან იღებენ $\alpha = 45^0$. ასეთ დახრის კუთხის დროს სარტყლის ფურცლისა და ნაკერის წინაღობა ტოლია, ამიტომ პირაპირი გაანგარიშებას არ საჭიროებს.

სამონტაჟო პირაპირების კონსტრუქცია და გაანგარიშება საქარხნო პირაპირების ანალოგიურია; განსხვავებაა მხოლოდ სარტყლისა და კედლის პირაპირების განლაგებაში, სამონტაჟო პირაპირების კონსტრუქციებში სარტყლისა და კედლის პირაპირები შეთესებულია ერთ შეუღ სიბრტყეში (ნახ. 6.22,ბ).

სამონტაჟო პირაპირების არასწორი შედუღებით შეძლება წარმოიშვას დიდი სიდიდეების ჯდომითი ბაბგები, უკანასკნელის თავიდან აცილების მიზნით, სამონტაჟო პირაპირების შედუღება წარმოებს იმ თანმიმდევრობით, როგორც ეს აღნიშნულია (ნახ. 6.22,ბ) ნახაზზე ციფრებით.

6.5.4. კოჭების ურთიერთშეუღლების კონსტრუქცია და გაანგარიშება. როგორც მეექვსე თავის პუნქტი 6.1.2.-ში იყო აღწერილი, მთავარი და დამხმარე კოჭების შეუღლება შეიძლება იქნეს სართულებრივი, ერთ დონეზე და დადაბლებული (ნახ. 6.24).

სართულებრივი შეუღლების კონსტრუქცია, დამზადებისა და მონტაჟის მიხედვით, ყველაზე მარტივი და მოსახერხებელია.

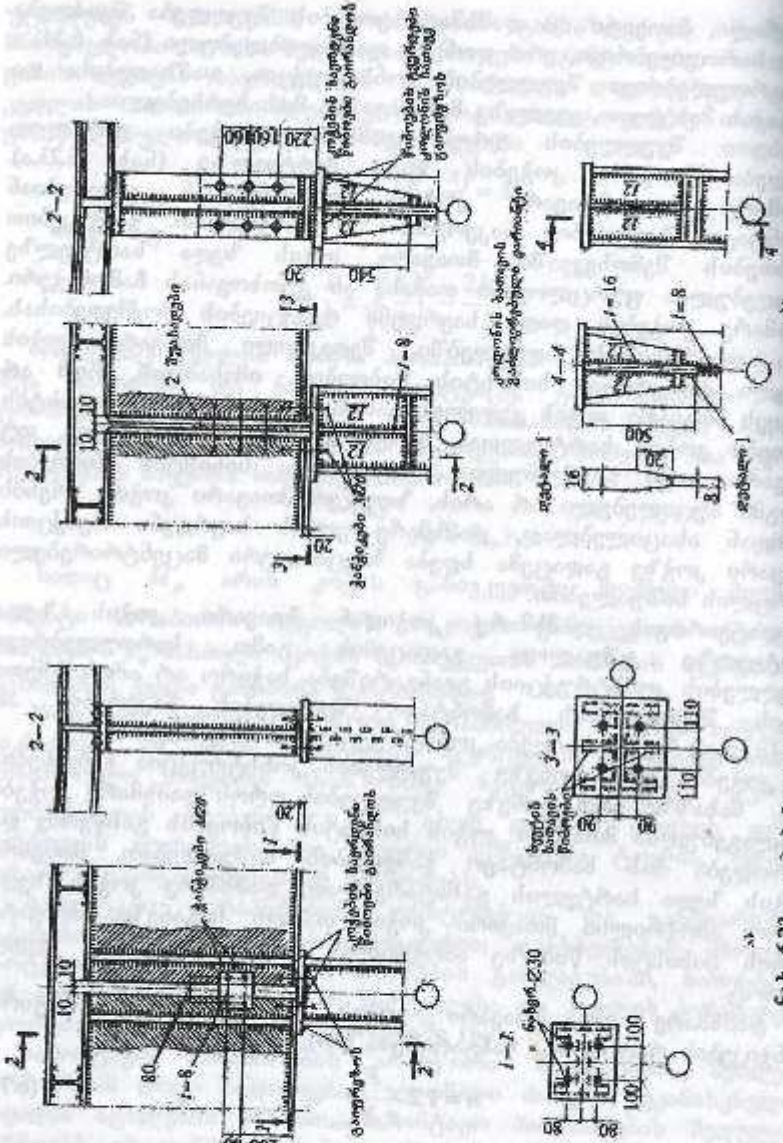
ასეთი შეუღლების დროს დამხმარე კოჭები უშუალოდ ლაგდება მთავარი კოჭების ზედა სარტყელზე (ნახ. 6.23,ა). დამხმარე და მთავარი კოჭები ერთმანეთთან ერთდებიან სამონტაჟო შედუღების ნაკერებით ან ჭანჭიკებით. ჭანჭიკებით შეერთების შემთხვევაში, მთავარი კოჭის ზედა სარტყელზე მიდუღებულია ფურცლოვანი თამასა ან კუთხოვანას ნამოჭაჭერი. დამხმარე კოჭების დიდი საყრდენი რეაქციების მოქმედებისას, მათი დაყრდნობის ადგილებში, შედგენილი მთავარი კოჭის კედელი ძლიერდება სიხისტის წიბოებით. იმისათვის, რომ არ მოხდეს მთავარი კოჭის კედლის გამობურცვა, საჭიროა სიხისტის წიბოები კოჭის სარტყელთან მჭიდროდ იქნეს მორგებული. თუ მთავარი კოჭი გაგლინული პროფილისაა, სიხისტის წიბოების დადგმა აუცილებელი არ არის, ზოგჯერ მთავარი კოჭის გრეხის თავიდან ასაცილებლად, დამხმარე კოჭის საყრდენი რეაქციის მთავარი კოჭზე გადაცემა ხდება სპეციალური მაცენტრირებელი ფურცლის საშუალებით.

დატვირთვის დამხმარე კოჭიდან მთავარი კოჭის ზედა სარტყელზე უშუალოდ გადაცემის გამო, სართულებრივი შეუღლების კონსტრუქციის გაანგარიშება საჭირო არ არის. ასეთი სახის შეერთებისას სამონტაჟო შედუღების ნაკერების ან ჭანჭიკების ზომები აიღება კონსტრუქციული მოსაზრებით.

კოჭების ერთ დონეზე შეუღლების კონსტრუქცია ნაჩვენებია 6.24. ნახაზზე ერთ დონეზე შეუღლების დროს დამხმარე კოჭები განლაგებულია მთავარი კოჭის სიხისტის წიბოების გასწვრივ და უერთდება მას სამონტაჟო ჭანჭიკების საშუალებით. მთავარი კოჭის ზედა სარტყლის გასატარებლად, დამხმარე კოჭის ზედა თარო ამოჭრილია მთავარი კოჭის თაროს სიგანეზე. მთავარი კოჭის სიხისტის წიბოზე ამოჭრილია დამხმარე კოჭის ქვედა თაროც.

დამხმარე და მთავარი კოჭის შესაერთებლად საჭირო ჭანჭიკების რაოდენობა იანგარიშება (5.4) ფორმულით

$$n = 1.2 \frac{F_p}{\gamma_c N_{min}} \qquad (6.71)$$



ნახ. 6.23. კოჭების კედლებზე დაყრდნობა ზემოდან

სადაც F_p არის ორ საყრდენზე თავისუფლად მდებარე დამხმარე კოჭის საყრდენი რეაქცია; N_{min}-ერთჭრადი ჭანჭიკის ჭიდეის უჩარი ჭრის ან თელვის პირობით, გამოითვლება (5,1), (5,2), ფორმულების მიხედვით.

1,2-კოეფიციენტი, რომელიც გამოხატავს F_p რეაქციის მთავარი კოჭის კედელზე ექსცენტრული გადაცემის გაუთვალისწინებლობას, ზოგჯერ, დამხმარე კოჭის რეაქციის დიდი სიდიდის გამო, (6.71) ფორმულით გამოთვლილი ჭანჭიკების რაოდენობა დამხმარე კოჭის კედლის სიმაღლის ფარგლებში არ ეტევა. ასეთ შემთხვევაში კოჭებს ერთმანეთთან აუღლებენ მაგიდისა და თევზურის დახმარებით (ნახ. 6.25).

მთავარი და დამხმარე კოჭების თევზურით შეერთებისას დამხმარე კოჭები განიხილება, როგორ უჭრი ელემენტი. ჩამაგრების საყრდენი მომენტები, რომლებიც გადაეცემა თევზურას და მაგიდას, გამოითვლება ფორმულით

$$M = 0.6 M_0 \tag{6.72}$$

სადაც M_0 არის ჭრილი კოჭის უდიდესი მღუნავი მომენტი. თევზურაში და მაგიდის ჰორიზონტალურ ფურცლებში მოქმედი ძალა, რომლის მიხედვით წარმოებს მათი განივკვეთის შერჩევა, გამოთვლება ფორმულით (ნახ. 6.25).

$$N_H = \frac{M}{h} \tag{6.73}$$

h-დამხმარე კოჭის სიმაღლეა.

დამხმარე კოჭის ვერტიკალური რეაქცია მთლიანად გადაეცემა მაგიდას, შედუღების ნაკერების ზომები, რომლითაც მაგიდა უერთდება კოჭის კედელს, იანგარიშება $Q = F_p$, გადამჭრელი ძალისა და $M = F_p \cdot l$ მომენტის მიხედვით.

კოჭების შეუღლების კონსტრუქცია მაგიდისა და ზესადების საშუალებით საკმაოდ რთულია, ამიტომ იშვიათად მიმართავენ.

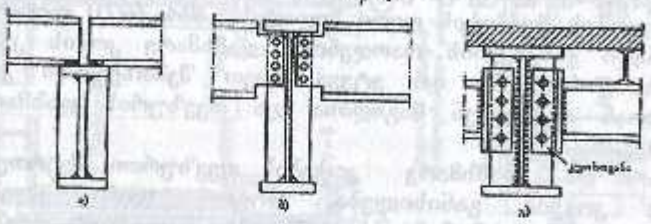
კოჭების შეუღლების დადაბლებული კონსტრუქცია ანალოგიურია კოჭების ერთ დონეზე შეუღლების კონსტრუქციისა. განსხვავებაა მხოლოდ დამხმარე კოჭების განლაგებაში.

კოჭების დადაბლებული შეუღლება ჭანჭიკებით ნაჩვენებია 6.24,გ ნახაზზე.

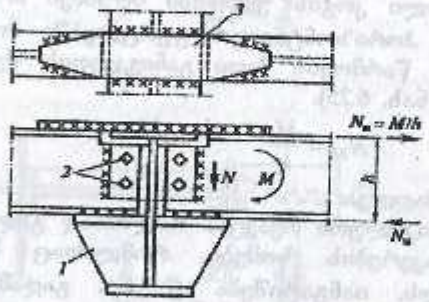
6.5.5. საყრდენი სიხისტის წიბოები. საყრდენი რეაქციის გადაცემა კოჭიდან საყრდენზე წარმოებს საყრდენი სიხისტის წიბოების საშუალებით (ნახ. 6.23,ბ). რეაქციის უკეთ გადაცემის მიზნით, საყრდენი სიხისტის წიბოები მჭიდროდ მიერთებული უნდა იქნეს კოჭის ქვედა სარტყელთან. წყვილი სიხისტის წიბო შეიძლება

შეიცვალოს ერთი საყრდენი ტორსის ფურცლით. საყრდენი ფურცლის საყრდენ კონსტრუქციაზე მჭიდროდ დაყრდნობის მიზნით, ტორსის ფურცლის ქვედა ბოლო ირახდება. საყრდენი სიხისტის წიბოს ან საყრდენი ფურცლის საჭირო განიგკვეთის ფართობი ისაზღვრება სიმტკიცის პირობით თელვაზე

$$A_p = \frac{F}{R_p \gamma_c} \qquad (6.74)$$



ნახ. 6.24. მთაგარი და დამხმარე კოჭების შეუღლება შეიძლება იქნეს ა)-სართულებრივი, ბ)-ერთ დონეზე და გ)-დადაბლებული



ნახ. 6.25. კოჭების ხისტი შეუღლება: 1-მაგიდა; 2-ასაკრები ჯანჭი,ებით; 3-თეჭზური.

სადაც F არის კოჭის საყრდენი რეაქცია; R_p-სიხისტის წიბოს ქვედა ტორსულ ზედაპირზე თელვის ძაბვა; A_p-ფართობის გამოთვლის შეღუბ. საყრდენი წიბო მოწმდება მდგრადობაზე

$$\sigma = \frac{F}{\varphi A} \le R_y \gamma_c \qquad (6.75)$$

სადაც R_y არის ფოლადის საანგარიშო წინაღობა; γ_c-კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი; A-პირობითი დგარის განიკვეთის ფართობი და შედგება საყრდენი სიხისტის წიბოს განიკვეთის ფართობისა და კედლის ზოლის ფართობისაგან. ზოლის სიგრძე სიხისტის წიბოს ორივე მხარეს აიღება $l_1 = 0{,}65 t_w \sqrt{E/R_y}$; φ არის გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი. იგი აიღება მოქნილობისა $\lambda = l_{ef}/i$ და საანგარიშო წინაღობის-R_y-ის მიხედვით;. l_{ef} -საყრდენი წიბოს საანგარიშო სიგრძე და აიღება კედლის

სიმაღლის ტოლი $(l_{ef} = h_w)$; i - პირობითი დგარის განიკვეთის ინერციის რადიუსი $x-x$ ღერძის მიმართ.

კუთხური შედუღების ნაკერის ზომები, რომლითაც საყრდენი წიბოები უერთდება კოჭის კედელს, განისაზღვრება (4.6) და (4.7) ფორმულებით.

6.6. წინასწარ დაძაბული კოჭები

წინასწარი დაძაბვით კოჭების ზიდვის უნარი დრეკადობის ზღვრებში მკვეთრად იზრდება. ამის გამო მასალის დანახარჯი ასეთ კოჭებში მცირდება 10-15%-ით, ხოლო ლირებულება-5-10%-ით.

არსებობს კოჭების წინასწარი დაძაბვის სხვადასხვა ხერხები, აქედან ყველაზე მეტად გავრცელებულია კოჭების დაძაბვა ალუნვით ან კოჭების გაჭიმულ მხარეს განლაგებული საკოჭების მოჭიმვით.

პირველ შემთხვევაში, ერთმანეთზე დადგმულ კოჭის ელემენტებს წინასწარ ალუნავენ გარე დატვირთვების შესაბამისი ჩაღუნვების საწინააღმდეგო მიმართულებით და ასეთ დეფორმირებულ მდგომარეობაში აერთებენ გრძივი შედუღების ნაკერებით (ნახ. 6.26,ა). კოჭის იძულებითი ალუნვისაგან განთავისუფლების შემდეგ, მის განიკვეთში რჩება ე.წ. საკუთარი ძაბვები, რომლებსაც გარე დატვირთვებით აღძრული ძაბვათა საწინააღმდეგო მიმართულება აქვთ. ამის შედეგად იზრდება კოჭის დრეკადი მუშაობის ზღვრები, მცირდება დროებითი დატვირთვებით გამოწვეული ძაბვათა მნიშვნელობები და შესაძლებელი ხდება მასალის უფრო ეფექტურად გამოყენება.

მიუხედავად წინასწარი დაძაბვის ასეთი ხერხის სიმარტივისა, მისი გამოყენების არე შეზღუდულია, რაც აიხსნება, უპირველეს ყოვლისა, უწყვეტი გრძივი შედუღების ნაკერების არასასურველი გავლენით. ზოგჯერ, განსაკუთრებით გრძელი კოჭების შემთხვევაში, შედუღების ტემპერატურული ძაბვების ზეგავლენით კოჭი დებულობს არასასურველ დეფორმირებულ სახეს.

კოჭის დაძაბვის ყველაზე გავრცელებული და ეფექტური საშუალება არის დაძაბვა საკოჭების საშუალებით. წინასწარი დაძაბვა ხდება ორმაგი მოქმედების ჰიდრავლიკური დომკრატებით.

დომკრატი ებჯინება კოჭზე მიმაგრებულ სპეციალურ საყრდენ კონსოლებს და ჭიმავს ბოლოებით ჩაანკერებულ საკოჭებს (ნახ. 6.26,ბ). იმის შემდეგ, როდესაც საკოჭში გასაკოჭავი ძალა მიაღწევს დაჭიმვის საკონტროლო ძალას, ანკერებსა და საყრდენ კონსოლებს შორის იდგმება ჩანგლისებრი ფოლადის საყელურები ან საყრდენამდე მჭიდროდ ეჭირება საანკერო ქანჩი. ამის შემდეგ დომკრატები იხსნება. საკოჭში მოქმედი ძალის ექსცენტრული მოქ-

მედებით, კოჭის განიკვეთებში წარმოიქმნება წინასწარ დაჭიმულობის ნორმალური ძაბვები, რომლებსაც დაჭიმულობის საკუთარ ძაბვებს უწოდებენ. საკუთარ ძაბვებს დროებით დატვირთვის ნორმალური ძაბვების საწინააღმდეგო მიმართულება აქვთ და ამცირებენ მათ მნიშვნელობას. წინასწარ დაძაბული კოჭის კონსტრუქციის ერთ-ერთი ვარიანტი ნაჩვენებია 6.26 ნახაზზე.

კოჭის წინასწარი დაძაბვის არხის უკეთ გაგებისა და საანგარიშო ფორმულების გამოყვანის მიზნით, განვიხილოთ კოჭის მუშაობა ქვედა სწორხაზოვანი საკოჭით (ნახ. 6.26,გ).

მუშაობის პირველ ეტაპზე, მოჭიმვის შედეგად, კოჭი აღუნებულია. წინასწარი დაჭიმულობის N_a ძალის ექსცენტრული მოქმედებით ზედა ხარტყელი იჭიმება, ქვედა კი–იკუმშება. კოჭის მუშაობის ამ ეტაპზე ნორმალურ ძაბვათა ეპიურას აქვს 6.26,გ ნახაზზე ნაჩვენები სახე.

ასეთი დაძაბვისას ყველაზე მეტად იძაბება ქვედა სარტყელი. დაჭიმულობის ძალა შეზღუდულია სიმტკიცის ან ქვედა შეკუმშული სარტყლის მდგრადობის პირობით:

$$\sigma_{\check{g}} = -\frac{n_1 X}{A} - \frac{n_1 X h_a}{W_{\check{g}}} \le \varphi R_y \gamma_c$$

სადაც $n_1 = 1{,}1$ წინასწარ დაძაბვის ძალის გადატვირთვის კოეფიციენტია; A -კოჭის განიკვეთის ფართობი; $W_{\check{g}}$ -განიკვეთის ქვედა განაპირა ბოჭკოების წინაღობის მომენტი; φ -ქვედა სარტყლის კუმშვისას გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი; R_y -კოჭის მასალის საანგარიშო წინაღობა.

კოჭის დატვირთვის ქვეშ მუშაობისას (ნახ. 6.26,გ) მასში წინასწარი დაძაბვის ძალა იწურება და მისი კვეთების იდეალურად შერჩევისას სარტყლების და საკოჭის ძაბვების მნიშვნელობები მისაწრაფვიან თავიანთი საანგარიშო წინაღობის მნიშვნელობისაკენ, რაც განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_{\check{v}} &= -\frac{n_2 x + x_1}{A} - \frac{M_q - (n_2 x + x_1) h_a}{W_{\check{v}}} \le R_y \gamma_c \\
\sigma_{\check{g}} &= -\frac{n_2 x + x_1}{A} + \frac{M_q - (n_2 x + x_1) h_a}{W_{\check{g}}} \le R_y \gamma_c \\
\sigma_a &= \frac{n_2 x + x_1}{A_a} \le R^a \gamma_c
\end{aligned}\right\} \qquad (6.76)$$

საკოჭში თვითდაძაბვის ძალა განისაზღვრება ფორმულით:

$$x_1 = \frac{\int \frac{M_1 M}{EI}\, dx}{\int \frac{M_1^2}{EI}\, dx + \frac{l_a}{E_a A_a} + \frac{l_q}{EA}}$$

სადაც M_1 და M_q არის მომენტები გამოწვეული საკოჭში $x = 1$ ერთეულოვანი ძალისაგან და გარე დატვირთვისაგან q. EI -კოჭის სიხისტე ღუნვისას; $E_a I_a$ -საკოჭის სიხისტეა გაჭიმვისას; $n_2 = 0{,}9$ წინასწარ დაძაბვის ძალის დაუტვირთაობის კოეფიციენტია; R^a -საკოჭის საანგარიშო წინაღობაა; A, A_a -კოჭისა და საკოჭის განივკვეთის ფართობი; I -კოჭის განიკვეთის ინერციის მომენტი.

კოჭის განიკვეთის შერჩევისა და სიმტკიცეზე შემოწმების შემდეგ კოჭებს ამოწმებენ სიხისტეზე

$$f = f_{\check{g}} - f_x - f_{x1} \le [f] \qquad (6.77)$$

სადაც $f_{\check{g}}$ არის ნორმატიული დატვირთვებით გამოწვეული კოჭის უდიდესი ჩაღუნვა საკოჭის გაუთვალისწინებლად;

f_x, f_{x1} -კოჭის აღუნვები, გამოწვეული წინასწარი დაძაბვისა x და თვითდაძაბვის (x_1) ძალების მიერ;

$f_{\check{g}}, f_{x1}$ -ამოითვლება მორის მეთოდით, ისე როგორც ჩვეულებრივ მარტივ კოჭებში.

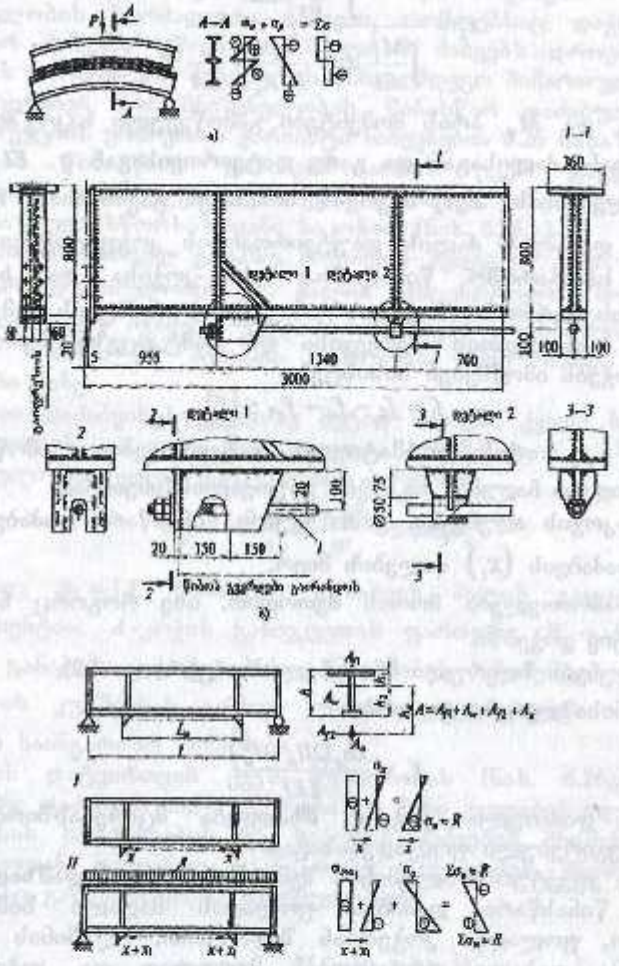
$[f]$ -აღუნვის ზღვრული მნიშვნელობა (ცხრილი 6.2);

f_x -განისაზღვრება ტოლობით

$$f_x = \frac{x h_a \left(2 l l_a - l_a^2\right)}{8 EI} \qquad (6.78)$$

წინასწარ დაძაბული კოჭები მზადდება მცირენახშირბადიანი დაბალ ლეგირებული ფოლადებისაგან.

უაღრესად ეფექტურია ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებული კოჭების წინასწარი დაძაბვა ფოლადის მაღალი სიმტკიცის საკოჭებით. ფოლადის კოჭებთან შედარებით, ალუმინის კოჭები ხასიათდება დაბალი დრეკადობის მოდულით და კოჭისა და საკოჭის ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტების სხვადასხვაობით, ამიტომ ასეთი კოჭების დაგეგმარების დროს განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ტემპერატურული ძაბვების გაანგარიშებას და მდგრადობის უზრუნველყოფის საკითხებს.



ნახ. 6.26. წინასწარ დაძაბული კოჭები: ა)-კოჭების წინასწარი დაძაბვა ალუნვით და შემდგომ მისი შედულებით; ბ)-წინასწარ დაძაბული კოჭი დაძაბული მაღალი სიმტკიცის საკოჭით; გ)-კოჭის მუშაობა მისი წინასწარი დაძაბვისას (I) და გარე დატვირთვით დატვირთვისას (II); 1-დაძაბული ღერო.

ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები და ღეროები

7.1. საერთო დახასიათება

ლითონთა კონსტრუქციებში ფართოდ გამოიყენება ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები ან ღეროები, რომლებიც შედიან შენობა-ნაგებობების კონსტრუქციულ კომპლექსებში.

ცენტრალურად შეკუმშული სვეტები (ნახ. 7.1,ა) გამოიყენება სართულშუა გადახურვისა და შენობის გადახურვის საყრდენებად. ისინი მუშაობენ მძიმე გისოსოვანი ფეშებისა და ჩარჩოების, კონსტრუქციული ელემენტებისა და კომპლექსების შემადგენლობაში (ნახ. 7.1,ბ), ვანტური სისტემების შეკუმშულ ელემენტებში და ა. შ.

სვეტი ეწოდება კონსტრუქციას, რომლის საშუალებით დატვირთვა მასზე დაყრდნობილი კონსტრუქციიდან გადაეცემა საძირკველს.

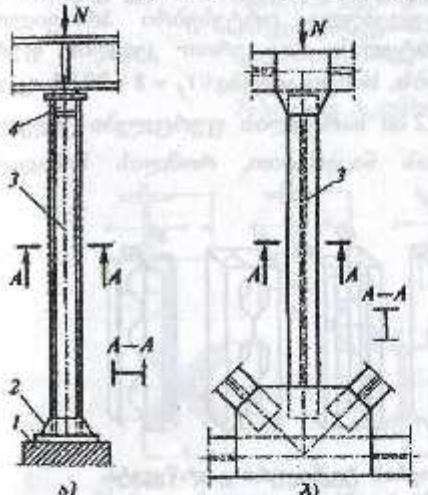
სვეტი შედგება სამი ნაწილისაგან: 1. სათავისაგან 2. ღეროსა და 3. ბაზისაგან.

სვეტის სათავე წარმოადგენს სვეტის ზედა გაფართოებულ ბოლოს, რომელზეც ყრდნობა გადასვრის კონსტრუქცია.

სვეტის ღეროს უწოდებენ ელემენტს, რომლის საშუალებით დატვირთვა სვეტის სათავიდან გადაეცემა სვეტის ბაზას.

სვეტის ღერო კონსტრუქციის მიხედვით იყოფა მთლიანკედლიან და გამჭოლკედლიანად (ნახ. 7.2).

სვეტის ბაზა წარმოადგენს სვეტის ქვედა გაგანიერებულ ბოლოს, რომლითაც დატვირთვა ღეროდან გადაეცემა საძირკველს და შეიძლება იქნეს ხისტი ან სახსროვანი. სახსროვანი ბაზის უარყოფითი მხარეა მისი კონსტრუქციის სირთულე და სვეტის მონტაჟის ხიძნელე, რის გამოც ასეთი



ნახ. 7.1. ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე ღეროების სქემები. ა) სვეტი; ბ) მძიმე ფერმის შეკუმშული ღერო; 1-საძირკველი; 2-ბაზა; 3-ღერო; 4-სათავე

ბაზები გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ ყამირების დიდი ჯდომების დროს.

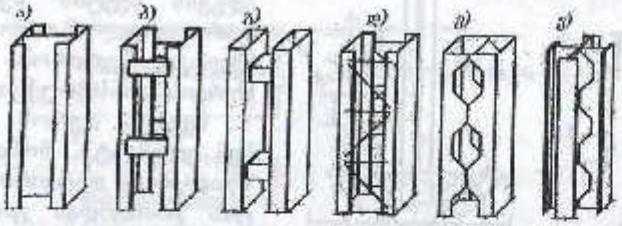
ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტებს დატვირთა შეკუმშული ძალის სახით გადაეცემა უშუალოდ მისი ღერძის გასწვრივ ან სვეტის ღერძის სიმეტრიულად.

ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები ძირითადად გამოიმარდება კოჭოვანი გადახურვის მთავარი კოჭების საყრდენებად.

სილუეტის ფორმის მიხედვით კონსტრუქციები შეიძლება იყოს მუდმივი კვეთის, ცვლადი კვეთის და საფეხუროვანი. სიგრძეში კვეთის ცვლილება იძლევა ფოლადის ეკონომიას (ნახ. 7.3).

7.2. მთლიანკედლიანი სვეტები

მთლიანკედლიანი სვეტების კვეთებს ჩვეულებრივ აპროექტებენ ფართო თაროებიანი ორტესებრი პროფილისაგან, გაგლინულს ან შედგენილს. მათი კვეთების სხვადასხვა ტიპები მოცემულია ნახ. 7.4 და 7.5. შედგენილი შედუღებული ორტესებრი პროფილის განიკკეთი შედგება ორი სარტყლისა და ერთი კედლის ფურცლისაგან, სარტყლის ფურცლის სისქე აიღება $t_f = 8 \div 20$ მმ. კედლის ფურცლის სისქე $t_f = 6 \div 12$ მმ სარტყლის ფურცლები კედელს უერთდება უწყვეტი შედუღების ნაკერებით, რომლის სიმაღლე აიღება $h_f \approx 0{,}5t_w$.

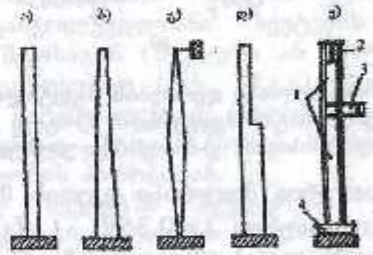


ნახ. 7.2. შედგენილი ღეროების ტექნიკური გადაწყვეტა.
ა)-მთლიანკედლიანი ღერო; ბ)-ე)-გამჭოლკედლიანი ღეროები; ბ)-თამახებით; გ)-ხისტი განმბრჯენებით; დ)-გისოსოვანი; ე)-პერფორირებული ჩაკეტილი ტიპის; ვ)-იგივე ღია ტიპის.

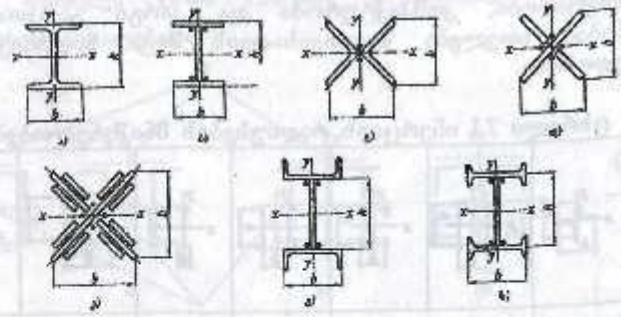
იმისათვის, რომ სვეტი იყოს თანაბარმდგრადი, საჭიროა მისი მოქნილობა x ღერძის გასწვრივ სიბრტყეში უდრიდეს მოქნილობას y ღერძის გასწვრივ მდებარე სიბრტყეში, ე.ი.

$$\lambda_x = \lambda_y \quad \text{ან} \quad l_{0x}/i_x = l_{0y}/i_y$$

ხოლო ორტესებრ კვეთებში ერთი და იგივე საანგარიშო სიგრძეებისას $l_{0x} = l_{0y}$ ეს პირობა არ სრულდება, რამდენადაც მათი ინერციის რადიუსები მიიღება სხვადასხვა სიდიდის ორტესებრ კვეთში (ცხრ. 7.1.) x ღერძის მიმართ ინერციის რადიუსი $i_x \approx 0.43h$, ხოლო y ღერძის მიმართ $i_y \approx 0.24b$ აქედან გამომდინარე თანაბარმდგრადი კვეთის მისაღებად საჭიროა, რომ $0.43h = 0.24b$ ან $b \approx 2h$.



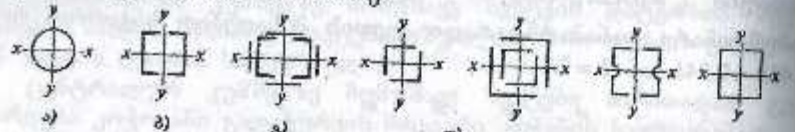
ნახ. 7.3. ღეროების სილუეტი.
ა)-მუდმივი კვეთის; ბ)-გ)-ცვლადი კვეთის; გ)-საფეხუროვანი; დ)-მუდმივი კვეთის კონსოლით; 1-ღერო; 2-სათაური; 3-კონსოლი; 4-ბაზა.



ნახ. 7.4 მთლიანკედლიანი ღეროების ღია კვეთები: ა)-გაგლინული ორტესი; ბ)-შედგენილი შედუღებული ორტესი; გ)-ჯვარედინი გაგლინული კუთხოვანებისაგან; დ)-იგივე ფურცლებისაგან; ე)-იგივე გამაძლიერებელი ელემენტებისაგან; ვ)-შველერებისაგან; ზ)-ორტესებისაგან.

ჯვარედინი კვეთის მქონე სვეტები არიან თანაბარმდგრადი ორივე მიმართულებით. ასევე მარტივია დასამზადებლად (იხ. ნახ 4,გ,დ,ე). მისი ინერციის რადიუსები $i_x = i_y = 0.29b$ ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან ჯვარედინი კვეთის მქონე კოლონის

ფურცლების თავისუფალი შვერილები არ უნდა აღემატებოდეს ფურცლის სისქის 15-22-ს. დიაპაზონი დამოკიდებულია კოლონის საერთო მდგრადობის პირობაზე.



ნახ. 7.5. მთლიანკედლიანი ღეროების ჩაკეტილი კვეთები:
ა)-მილღოვანი; ბ)-შველერებისაგან შედგენილი; გ)-იგივე გაძლიერებით; დ)-გაგლინული კუთხოვანებისაგან; ე)-ნაღუნ-შედუღებული პროფილები.

საკმაოდ რაციონალურია მილღოვანი კვეთის მქონე კოლონები (ნახ. 7.5,ა), ინერციის რადიუსით $i = 0.35d$ აქ d არის დიამეტრი. შედუღება იძლევა საშუალებას მივიღოთ ჩაკეტილი პროფილის სხვადასხვა ტიპების სვეტები. მაგ: ორი შველერისაგან (ნახ. 7.5,ბ)

მსუბუქი სვეტების ძალიან ეკონომიური კვეთი შეიძლება მიღებული იქნას თხელკედლიანი გაღუნულ-შედუღებული პროფილებისაგან (ნახ. 7.5,ე)

სხვა ტიპის პროფილებთან შედარებით ჩაკეტილი პროფილის მქონე სვეტების უპირატესობებს წარმოადგენს: თანაბარმდგრადობა, კომპაქტურობა და კარგი გარეთა ხედი; ნაკლოვანებად ითვლება შეღებვისათვის შიგა სიღრმეებისადმი ხელმიუწვდომობა.

ცხრილი 7.1 ინერციის რადიუსების მნიშვნელობები

კვეთი							
$i_x = \alpha_1 h$	0,21h	0,38h	0,43h	0,38h	0,43h	0,43h	0,47h
$i_y = \alpha_2 b$	0,21b	0,44b	0,43b	0,60b	0,24b	0,50b	0,40b

ფოლადის მილის ბეტონით შევსებისას მიიღება ეფექტური კომპლექსური კონსტრუქცია, სადაც მილი წარმოადგენს გარსს, რომელიც უწინაალმდეგება ბეტონის ცილინდრის განივ დეფორმაციებს. ამ დროს ბეტონის მუშაობა კუმშვაზე

საგრძნობლად იზრდება, გამოირიცხება მილის ადგილობრივი მდგრადობის დაკარგვა და შიდა ზედაპირის კოროზია.

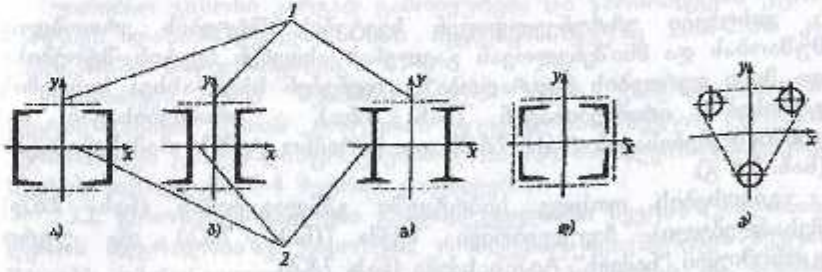
7.3. გამჭოლკედლიანი სვეტები

7.3.1 გამჭოლკედლიანი სვეტის ტიპები. ცენტრალურად შეკუმშული გამჭოლკედლიანი სვეტების ღერო ძირითადად შედგება ორი შტოსაგან (შველერი ან ორტესი), დაკავშირებული ერთმანეთთან გისოსებით (ნახ. 7.6,ა,გ). ღარძი, რომელიც კვეთს შტოს იწოდება მატერიალურად; შტოების პარალელური ღერძი კი თავისუფალ ღერძად. შტოებს შორის მანძილი დგინდება ღერძის თანაბარმდგრადობის პირობიდან.

შედურებულ სვეტებში შველერები უფრო ხელსაყრელია დაყენებული იქნას თაროებით შიგნით (ნახ. 7.5,ა), რადგან ამ შემთხვევაში გისოსები მიიღება ნაკლები სიგანის და სვეტი გაბარიტულ ზომებშიც ნაკლები გამოდის.

უფრო მძლავრი სვეტებისათვის შტოებად იყენებენ გაგლინულ ან შედგენილ ორტესებს (ნახ. 7.6,გ).

ისევ გამჭოლკედლიანი სვეტებში, რომლებიც შედგენილი არიან ორი შტოსაგან აუცილებელია უზრუნველყოთ შტოებს შორის მანძილი $(100 \div 150)$ მმ. ეს მანძილი საჭიროა შიდა ზედაპირის შესაღებად.

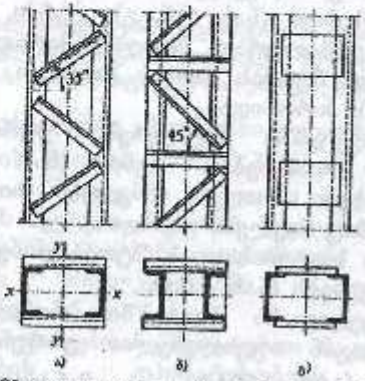


ნახ. 7.6. გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთები: ა)-შველერებისაგან თაროებით შიგნით; ბ)-იგივე თაროებით გარეთ; გ)-ორტესებისაგან; დ)-კუთხოვანებისაგან; ე)-მილებისაგან; 1-თავისუფალი ღერძი; 2-მატერიალური ღერძი.

დიდი სიგრძის მქონე ღეროებზე, რომლებზეც მოდებული არ არის მნიშვნელოვანი დატვირთვა აუცილებელი სიხისტის შესანარჩუნებლად უნდა ჰქონდეთ განვითარებული კვეთი, ამიტომ მათ ამოიქტებენ ოთხი კუთხოვანისაგან, რომლებიც გისოსებით

შეერთებული არიან ერთმანეთთან ოთხივე მხრიდან (ნახ. 7.6,დ) ასეთ სვეტებს დაზადებაზე აქვთ მეტი შრომის დანახარჯები სხვებთან შედარებით.

თუ შტოებად გამოიყენება მილოვანი კვეთები, მაშინ შესაძლებელია მათ სამკუთხედად განლაგება. ასე მივიღებთ საკმაოდ ხისტ და მასალის დანახარჯების თვალსაზრისით ეკონომიურ სვეტს. (ნახ. 7.6,ე).



ა) ბ) გ)

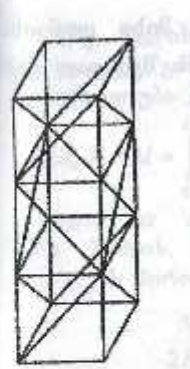
ნახ. 7.7. გამჭოლკედლიანი ღეროების გისოსების ტიპები: ა)-ორიბნებიანი; ბ)-იგივე განმბრჯენებით; გ)-თამასებით.

გისოსები უზრუნველყოფენ სვეტების შტოების ერთობლივ მუშაობას და მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ სვეტის შტოებისა და მისი ღეროების მდგრადობაზე. იყენებენ სხვადასხვა სისტემის გისოსებს: ორიბნებისაგან (ნახ. 7.6,ა), ორიბნებისაგან და განმბრჯენებისაგან (ნახ. 7.6,ბ) და უორიბნო ტიპის თამასებისაგან (ნახ. 7.6 გ).

გისოსების ოთხივე სიბრტყეში განლაგებისას (ნახ. 7.6,დ) შესაძლებელია ჩვეულებრივი სქემა (ნახ. 7.8,ა) და უფრო ეკონომიური "ნაძვის" ტიპის სქემა (ნახ. 7.8,ბ).

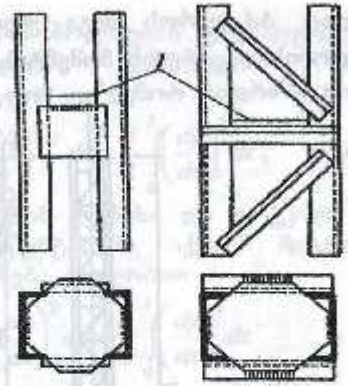
ღერძული ძალით შეკუმშულ სვეტებში შესაძლებელია ღუნვა წარმოიქმნას შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტებიდან. ღუნვისაგან წარმოიქმნება განივი ძალები, რომლებსაც ღებულობს გისოსები და ეწინააღმდეგებიან სვეტის შტოების ძვრას მისი გრძივი ღერძის მიმართ.

სამკუთხა გისოსები, რომლებიც შედგებიან მხოლოდ ორიბნებისაგან (ნახ. 7.7,ა), ან ორიბნებისა და განმბრჯენებისაგან (ნახ. 7.7,ა) წარმოადგენენ უფრო ხისტს გისოსს ვიდრე უორიბნო. თუმცა ისინი დამზადებაზე უფრო მეტად შრომატევადია.



ა) ბ)

ნახ. 7.8. გისოსების განლაგება ოთხივე სიბრტყეში



ნახ. 7.9. გამჭოლკედლიანი ღეროების დიაფრაგმები; I-დიაფრაგმა.

თამასები (ნახ. 7.7,გ) სვეტის წიბოებში ქმნიან უორიბნო სისტემას, ღუნვაზე მომუშავე, ხისტი კვანძებითა და ელემენტებით. ამის გამო უორიბნო გისოსი ხდება ნაკლებად ხისტი. თუ შტოებს შორის მანძილი მნიშვნელოვანია (0.8-1 მ. და მეტი), მაშინ უორიბნო გისოსის ელემენტები მიიღება მძიმე; ამ შემთხვევაში უპირატესობა ენიჭება ორიბნებიან გისოსს.

უორიბნო გისოსი კარგად გამოიყურება და წარმოადგენს უფრო მარტივს დასამზადებლად. მას იყენებენ სვეტზე 2000-2500 კნ. საანგარიშო დატვირთვისას.

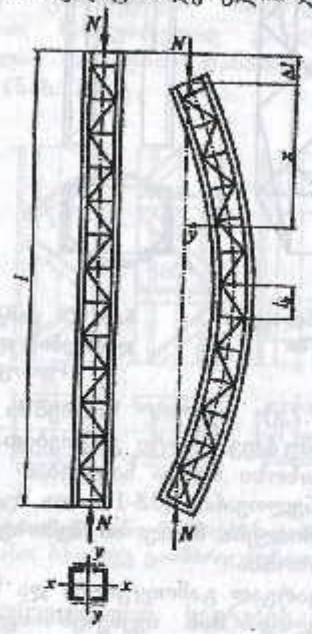
იმისათვის, რომ შენარჩუნებული იქნას გამჭოლკედლიანი სვეტის განივი კვეთის კონტურის უცვლელობა, სვეტის ღეროებს აერთიანებენ განივი დიაფრაგმებით (ნახ. 7.9), რომლებსაც აყენებენ სვეტის სიმაღლეში 3-4 მეტრის დაცილებით.

7.3.2. გისოსების გავლენა გამჭოლკედლიანი სვეტის (კოლონის) ღეროს მდგრადობაზე. გისოსები, რომლებიც აკავშირებენ სვეტის შტოებს უზრუნველყოფენ მათ ერთობლივ მუშაობას და ღეროს საერთო მდგრადობას. გისოსების დეფორმაციულობის შედეგად გამჭოლი სვეტის ღეროს მოქნილობა თავისუფალი ღერძის მიმართ (იხ. ნახ. 7.6,ა-გ) აღემატება მთლიანკედლიანი სვეტის მოქნილობას $\lambda = l_{ef}/i_x$, სადაც l_{ef}-სვეტის საანგარიშო სიგრძეა.

თავისუფალი ღერძის მიმართ, შედგენილი სვეტის მდგრადობის დაკარგვის კრიტიკული ძალის განსაზღვრა, შეიძლება ღეროს მიერ მდგრადობის საერთო დაკარგვის პირობიდან

$$\Delta A_i = \Delta A_e \qquad (7.1)$$

სადაც ΔA_i-ღეროს შიგა ენერგიის ნაზრდია მისი ღუნვისას მდგრადობის დაკარგვის მომენტისთვის; ΔA_e-ღუნვის შედეგად გარე ძალების ნაზრდია, რომელიც მოდებულია ღეროზე.



ნახ. 7.10. გრძივი ღუნვისას ღეროს დეფორმაცია

მოცემულ შემთხვევაში (ნახ. 7.10) შიგა ენერგიის ნამატი შედგება ღუნვის ენერგიის ნაზრდისაგან

$$\Delta A_{iM} = \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI_y} = \frac{N^2}{2EI_y}\int_0^l y^2 dx \qquad (7.2)$$

და ძვრის ენერგიის ნაზრდისაგან

$$\Delta A_{iQ} = \int_0^l \left(\frac{Q\gamma}{2}\right) dx, \qquad (7.3)$$

სადაც N-სვეტში გრძივი ძალაა; I_y-სვეტის განივი კვეთის ინერციის მომენტი თავისუფალი y ღერძის მიმართ; Q-ღუნვის განივი ძალაა; γ-ძვრის კუთხე.

გარე ძალის მუშაობა ღეროს ბოლოების გადაადგილებისას, რომელიც გამოწვეულია ღერძის გამრუდების შედეგად, განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta A_e = N\Delta l = \int_0^l N(1-\cos\alpha)dx = \int_0^l \frac{Ntg^2\alpha}{2}dx = \frac{N}{2}\int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx, \qquad (7.4)$$

სადაც α არის კუთხე, ღეროს ღერძსა და დრეკადი წირის მხებს შორის, განსახილველ წერტილში. აქედან მდგრადობის დაკარგვის პირობა (7.1) გამოისახება ტოლობით

$$\frac{N^2}{2EI_y}\int_0^l y^2 dx + \frac{N^2\gamma}{2}\int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx = \frac{N}{2}\int_0^l \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx \qquad (7.5)$$

აქ ტოლობის მარცხენა ნაწილის მეორე წევრში გათვალისწინებულია

$$M = Ny;\ Q = \frac{dM}{dx} = \frac{Ndy}{dx};\ \gamma = \gamma_1 Q = \gamma_1 \frac{Ndy}{dx},$$

სადაც γ_1-ძვრის კუთხეა, როცა $Q=1$ და არის მუდმივი სიდიდე გისოსის მოცემული ტიპის შემთხვევაში.

დავნიშნოთ ღეროს გაღუნული ღერძის სახე

$$y = c\sin(\pi x/l)$$

და თუ მოვახდენთ (7.5) ტოლობაში ინტეგრირებას მივიღებთ კრიტიკულ ძალას

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{ef}^2\left(1+\gamma_1\dfrac{\pi^2 EI_y}{l^2}\right)} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu l)^2}. \qquad (7.6)$$

ამრიგად, შედგენილი ღეროს სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტი

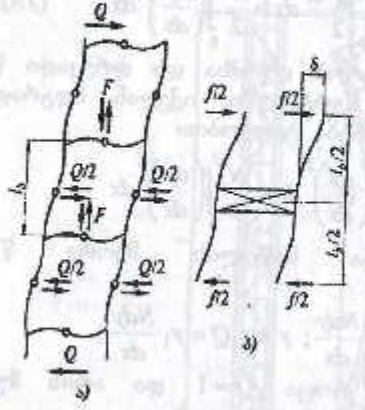
$$\mu = \sqrt{1+\gamma_1\frac{\pi^2 EI_y}{l^2}} \qquad (7.7)$$

და დამოკიდებულია γ_1 ძვრის კუთხეზე, რომლის სიდიდეც განსხვავებულია გისოსთა სხვადასხვა სისტემებისათვის.

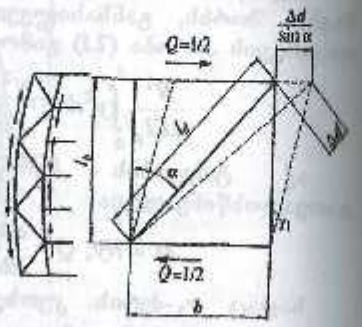
7.3.3. სვეტები უირიბნო გისოსით. შეკუმშული სვეტები უირიბნო გისოსით წარმოადგენს ჩარჩოვან სისტემას, რომლის ყველა ელემენტი სვეტის საერთო ჩაღუნვისას იღუნება S-ის მაგვარი მრუდის სახით (ნახ. 7.11,ა).

თამასებს შორის თანაბარ მანძილებისას და მათი ერთნაირი სიმძლავრეების (ზომების) შემთხვევაში მიახლოებით შეიძლება მივიღოთ, რომ მომენტების ეპიურის ნულოვანი წერტილები

განლაგებულია თამასების შუაში მათი სიგრძის მიხედვით და სვეტის შტოებში თამასებს შორის მანძილის შუაში. ნულოვან წერტილებში მოქმედებს განივი ძალები, რომლებიც ღეროს ღუნვისას წარმოიქმნება



ნახ. 7.11. თამასებიანი ღეროების დეფორმაციები გრძივი ღუნვისას:
ა)–სვეტის დეფორმირებული სქემა;
ბ)–საანგარიშო ფრაგმენტი.



ნახ. 7.12. ირიბნებიანი გისოსის გადახრა ღეროს გრძივი ღუნვისას:

შტოებთან შედარებით საკმაოდ ხისტი თამასების დეფორმაციის უგულებელყოფითა (გრძივ სიხისტეთა ფარდობა მეტია 5-ზე) და იმის მიჩნევით, რომ განივი ძალა შტოებს შორის თანაბრად ნაწილდება, მიიღება, რომ γ_1 ძვრის კუთხე იქნება შესაბამისი კონსოლური ღეროს δ ჩაღუნვისა, გამოწვეული 1/2 სიდიდის ტოლი ძალისაგან, (ნახ. 7.11,ბ):

$$\gamma_1 = \frac{\delta}{l_b/2} = \frac{1}{2}\left(\frac{l_b}{2}\right)^3 \frac{1}{3EI_1}\frac{2}{l_b} = \frac{l_b^2}{24EI_1}. \qquad (7.8)$$

თუ ჩავსვავთ γ_1 მნიშვნელობას (7.7) ფორმულაში, მივიღებთ სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტს

$$\mu = \sqrt{1+\frac{\pi^2 I_y}{24I_1}\left(\frac{l_b}{l}\right)^2}.$$

ვითვალისწინებთ რა, რომ $I_1 = A_b i_1^2$; $I_y = 2A_b i_y^2$; $l_b/i_1 = \lambda_1$ (შტოს მოქნილობა); $l/i_y = \lambda_y$ (ღეროს მოქნილობა), სადაც A_b და I_1 - კვეთის ფართობი და შტოს ინერციის მომენტი საკუთარი ღერძის

მიმართ, რომელიც სვეტის კვეთის თავისუფალი ღერძის პარალელურია; i_1 -ერთი შტოს კვეთის ინერციის რადიუსი; i_y - თამასების სიბრტყეების პარალელურ სიბრტყეში ღეროს კვეთის ინერციის რადიუსი (იხ. ნახ. 7.6,ა), მივიღებთ

$$\mu = \sqrt{1+2\pi^2/24\left(\lambda_1/\lambda_y\right)^2} \approx \sqrt{1+\left(\lambda_1/\lambda_y\right)^2}. \qquad (7.9)$$

აქედან ორ სიბრტყეში თამასებიანი ღეროს დაყვანილი მოქნილობა:

$$\lambda_{ef} = \mu\lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2+\lambda_1^2} \qquad (7.10)$$

თამასებიანი ღეროების დაყვანილი მოქნილობა ოთხ სიბრტყეში განისაზღვრება პირობითი მოქნილობის ფორმულით:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2+\lambda_1^2+\lambda_2^2}. \qquad (7.11)$$

სამკუთხა კვეთის ღეროების დაყვანილი მოქნილობა (იხ. ნახ. 8.4,დ) ასევე განისაზღვრება პირობითი მოქნილობის ფორმულით

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2+1{,}3\lambda_3^2}, \qquad (7.12)$$

სადაც λ -მთლიანი ღეროს უდიდესი მოქნილობაა; λ_1 - λ_3 - ცალკეული შტოების მოქნილობა საკუთარ ღერძების მიმართ, რომლებიც ღეროს კვეთის მთავარი ღერძების პარალელურია (იხ. ნახ. 7.6).

ფორმულებში (7.10)-(7.12) $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ -ცალკეული შტოების მოქნილობა განისაზღვრება თამასებს შორის არსებულ უბნებზე (ღერძებში); სასურველია, მათი მნიშვნელობა არ აღემატებოდეს 40.

(7.10) და (7.11) ფორმულების გამოყვანისას თამასების დეფორმაციები არ იყო გათვალისწინებული, ამიტომ ისინი შეიძლება ჩაითვალოს სამართლიანად, თამასისა და ღეროს გრძივი სიხისტეების ფარდობისას 5-ზე მეტის შემთხვევაში. ნაკლები დამოკიდებულების შემთხვევაში გათვალისწინებული უნდა იქნას თამასების დეფორმაციების გავლენა დაყვანილ მოქნილობაზე.

7.3.4. სვეტები სამკუთხა გისოსებითა და დამატებითი განმბჯენებით. სამკუთხა გისოსიანი სვეტებისთვის (ნახ. 7.12) გადახრის კუთხე ტოლია: $\gamma = \Delta d/(l_b \sin\alpha)$,

სადაც l_b არის პანელის სიგრძე; Δd ირიბანას დაგრძელება, როდესაც $Q = 1$.

განვსაზღვროთ განივი ძალის მოქმედების სიბრტყეში განლაგებული გისოსის ირიბანას დაგრძელება, როდესაც $Q = 1$ და

ორი გისოსის არსებობისას. ძალვა ირიბანაში ტოლია $N_d = 1/(2\sin\alpha)$.

ირიბანას დაგრძელება

$$\Delta d = N_d l_d/(EA_d) = l_b/(2\cos\alpha\sin\alpha EA_d), \qquad (7.13)$$

სადაც A_d ირიბანას განივი კვეთის ფართობია.

ამგვარად, გისოსის გადახრის კუთხე

$$\gamma_1 = \Delta d/(l_b\sin\alpha) = 1/(2\cos\alpha\sin^2\alpha EA_d), \qquad (7.14)$$

შესაბამისად, საანგარიშო სიგრძის დაყვანის კოეფიციენტი არის

$$\mu = \sqrt{1+\frac{\pi^2 l_y}{2l_d^2 A_d\sin^2\alpha\cos\alpha}}.$$

აქედან მივიღებთ

$$\mu = \sqrt{1+\frac{\pi^2}{2\sin^2\alpha\cos\alpha}\frac{A}{A_d\lambda_y^2}} = \sqrt{1+\alpha\frac{A}{A_d\lambda_y^2}}. \qquad (7.15)$$

დაყვანილი მოქნილობა ორი სამკუთხა გისოსით ორ სიბრტყეში (იხ.ნახ. 7.7,ა):

$$\lambda_{ef} = \mu\lambda_y = \sqrt{\lambda_y^2+\alpha(A/A_d)}. \qquad (7.16)$$

დაყვანილი მოქნილობა ოთხი სამკუთხა გისოსით (იხ. ნახ. 7.6,დ) განისაზღვრება პირობითი მოქნილობის ფორმულით

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda+A(\alpha_1/A_{d1}+\alpha_2/A_{d2})}. \qquad (7.17)$$

ტოლგვერდა სამწახნაგა გამჭოლი კვეთის მქონე ღეროებისთვის (იხ. ნახ. 7.6,ე) დაყვანილი მოქნილობა განისაზღვრება ფორმულით

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2+\alpha(2A/3A_d)}, \qquad (7.18)$$

სადაც A-ღეროს მთლიანი განივი კვეთის ფართობია; $\lambda_y = l/i_y$ - ღეროს მოქნილობა თავისუფალი y ღერძის მიმართ, λ-მთელი ღეროს უდიდესი მოქნილობა; A_{d1} და A_{d2}-გისოსების ირიბანების განივი კვეთის ფართობებია, რომლებიც მდებარეობენ შესაბამისად x და y ღერძების პერპენდიკულარულ სიბრტყეებში (იხ. ნახ. 7.6,დ).

α_1 და α_2 კოეფიციენტები დამოკიდებულია ირიბანას დახრის კუთხეზე და განისაზღვრება ფორმულით (იხ. ნახ. 7.12):

$$\alpha = 10l^3/(b^2 l_b).$$

გისოსებიან შედგენილ ღეროებში ცალკეული ღერძის მოქნილობა არ უნდა იყოს 80-ზე მეტი და არ უნდა აღემატებოდეს ღეროს დაყვანილ მოქნილობას- λ_{ef}.

მთლიანად ღეროს მდგრადობის შემოწმების გარდა უნდა შემოწმდეს კვანძებს შორის ცალკეულ უბანზე მტოვების მდგრადობა.

7.3.5. **განივი ძალა გრძივი ღუნვის შემთხვევაში.** გრძივი ღუნვისას შედგენილი ღეროების გისოსები მუშაობენ განივ ძალაზე. ეს განივი ძალა ჩნდება ღეროების ღუნვის შედეგად მათ მიერ მდგრადობის დაკარგვისას (ან შემთხვევითი ექსცენტრისიტეტისას). თუკი მივიჩნევთ, რომ ღეროს ღუნვა ხდება სინუსოიდაზე, მაშინ განივი ძალა

$$Q = \frac{dM}{dx} = N_{cr}\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{\pi}{l}f_{cr}N_{cr} = \frac{\pi f_{cr}}{l}A\sigma_{cr}, \qquad (7.19)$$

სადაც f_{cr} არის ჩაღუნვა მდგრადობის დაკარგვისას.

(7.19) ფორმულიდან ჩანს, რომ განივი ძალა დამოკიდებულია ღეროს ჩაღუნვაზე f_{cr}, მისი განივი კვეთის ფართობსა A და მდგრადობის მახასიათებელზე σ_{cr}. აქედან გამომდინარე, ნორმებში მოცემულია პირობითი განივი ძალის, შემაერთებელი ელემენტებისათვის, გასაანგარიშებელი ფორმულა ცენტრალურად შეკუმშული შედგენილი ღეროებისათვის:

$$Q_{fic} = 7{,}15\cdot 10^{-6}(2330 - E/R_y)N/\varphi, \qquad (7.20)$$

სადაც N-არის გრძივი ძალვა შედგენილ ღეროში; φ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი ცენტრალური კუმშვისას, რომელიც მიიღება თამასუბის ან გისოსების სიბრტყეში გამჭოლი ღეროს საანგარიშოდ.

ცხრილი 7.2

პირობითი განივი ძალის მნიშვნელობები Q_{fic}, კნ

ფოლადი	C235	C255	C285	C390	C440	C590
Q_{fic}, კნ	0,2A	0,3A	0.4A	0.5A	0.6A	0.7A

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა. სხვა ფოლადებისთვის უნდა მოხდეს A-ს ცხრილური მნიშვნელობების ინტერპოლაცია, სვეტის განივი კვეთის ფართობის A-ს განზომილებად მიღებული უნდა იქნას სმ².

პირობითი განივი ძალა თანაბრად უნდა განაწილდეს თამასების (გისოსების) შორის, რომლებიც ჰქვს ღერძის

პერპენდიკულარულ სიბრტყეებში, რომლის მიმართაც ხდება მდგრადობის შემოწმება.

მთლიან კედლიან სვეტებში განივ ძალას იღებს კედელი, მაგრამ რადგანაც მათში ძაბვების მნიშვნელობები უმნიშვნელოა, მათი შემოწმება ჩვეულებრივ არ არის საჭირო.

(7.20) ფორმულის მიხედვით გამოთვლილ მნიშვნელობებთან ერთად Q_{fic}-ს საკმაოდ ახლო მდგომი მნიშვნელობები შეიძლება განისაზღვროს 7.2 ცხრილით.

7.4. საანგარიშო სქემისა და სვეტის ტიპის შერჩევა

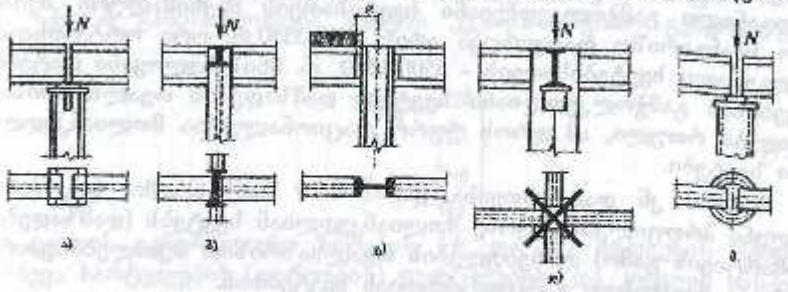
7.4.1. საანგარიშო სქემის შერჩევა. ერთიარუსიანი სვეტის საანგარიშო სქემის განისაზღვრა ხდება მათი საძირკველში ჩამაგრებისა და სვეტზე დატვირთვის გადამცემი კოჭების მიმაგრების ხერხების გათვალისწინებით.

სვეტის შეერთება საძირკველთან შეიძლება იყოს ხისტი ან სახსრული. თუკი საძირკველი საკმაოდ მასიურია, სვეტის ბაზის კვეთები კი საკმაოდ განვითარებული და არის საიმედოდ დაანკერებული, სვეტი შეიძლება ჩაითვალოს როგორც საძირკველში ხისტად ჩამაგრებული. მსუბუქი სვეტების გაანგარიშებისას მისი საძირკველში ჩამაგრება შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც სახსრული, ეს იძლევა ზიდვის უნარის დამატებით მარაგს.

ერთიარუსიანი სვეტების შემთხვევაში კოჭები ან სხვა დამჭერი კონსტრუქციები სვეტს შეიძლება ეცერწყობოდეს ზემოდან (ნახ. 7.13,ა). დატვირთვის ცენტრალურად გადაცემის სიზუსტის გარდა ასეთი შეერთება ქვემოდ ხისტად ჩამაგრებული სვეტების შემთხვევაში მოსახერხებელია დასამონდაუებლადაც. ამასთან, სვეტი გაანიხლება როგორც ზედა ბოლოში სახსრულად ჩამაგრებული. მაშინ საძირკველში სვეტის ხისტი ჩამაგრებისას სვეტის საანგარიშო სიგრძედ მიიღება $0,7l$, ხოლო სახსრული ჩამაგრებისას-l, სადაც l არის სვეტის გეომეტრიული სიგრძე საძირკველიდან კოჭების ძირამდე. გაცილებით ხისტია კონსტრუქცია კოჭოვანი კონსტრუქციის სვეტთან გვერდიდან შეერთებისას (იხ. ნახ. 7.13,ბ).

საკმაოდ მძლავრი კოჭოვანი კონსტრუქციისას და სვეტებთან კოჭების ხისტად ჩამაგრებისას უკანასკნელნი (სვეტები) შეიძლება ჩაითვალოს, როგორც ზემოდან ჩამაგრებული. მაშინ საანგარიშო სიგრძე მთავარი კოჭების სიბრტყეში, საძირკველში სვეტების სახსრულად ჩამაგრებისას, მიიღება $0,7l$-ის ტოლად, ხოლო ხისტად ჩამაგრებისას $0,5l$. მაგრამ ამ უკანასკნელ შემთხვევაშიც

საანგარიშო სიგრძე მიიღება $0,7l$ ტოლად, იმდენად რამდენადაც კოჭების ღუნვის გამო სრულად ხისტად ჩამაგრება არ სურხდება.



ნახ. 7.13. კოჭების სვეტთან შეერთების სქემები:
ა)-კოჭის ზემოდან დაყრდნობისას; ბ)-იგივე გვერდიდან სვეტის კედელზე; გ)-იგივე, სარტყელებზე; დ)-ჯვარედინი კვეთის სვეტთან; ე)-მილი-ბეტონის სვეტზე

ორტესებრი სვეტების შემთხვევაში, რომლებსაც აქვთ კვეთის მცირე სიმაღლე და ფართო თაროები, მთავარი კოჭების მიმაგრება ხელსაყრელია მოხდეს არა სვეტის კედელთან, არამედ თაროებთან (სარტყლებთან) (ნახ. 7.13,გ). ამ შემთხვევაში დროებითი დატვირთვის სვეტის ცალი მხრიდან განლაგებისას ეს უკანასკნელი (სვეტი) მუშაობს, როგორც გარეცენტრალურად შეკუმშული. ამასთან, მომენტი პირობითად მიიღება

$$M = N e$$

სადაც N-ცალმხრივი დროებითი დატვირთვისაგან საყრდენი წნევაა; e-ძალის მოდების ექსცენტრისიტეტი.

ჯვარედინ სვეტებზე გვერდიდან მიერთებისას კოჭები ჩვეულებრივ განლაგდებიან ჯვარედინი კვეთის ბისექტრისის სიბრტყეში და ეცერწყობიან სვეტის ფურცლებს შორის განლაგებულ მაგიდებს, რაც ასევე იწვევს ცალმხრივი დატვირთვისას ექსცენტრისიტეტს (ნახ. 7.13,დ), თუმცა ნაკლებს, ვიდრე ორტესებრი სვეტების შემთხვევაში.

მილი-ბეტონის სვეტებზე კოჭების მიმაგრება მოსახერხებელი არის ზემოდან (ნახ. 7.13,ე).

7.4.2. კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევა. კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევისას უნდა ვეცადოთ მივიღოთ უფრო მეტად ეკონომიური გადაწყვეტილება, დატვირთვის სიდიდის, ექსპლუატაციის პირობების, დამზადების შესაძლებლობის, სორტამენტის არსებობისა და დასაყრდენი კონსტრუქციებთან შეერთების ხელსაყრელი პირობების გათვალისწინებით.

თავდაპირველად უნდა გადაწყდეს სვეტის კვეთი მოლებული იქნეს მთლიანკედლიანი თუ გამჭოლკედლიანი. ორი შეელერისაგან შედგენილი გამჭოლკედლიანი სვეტისათვის მაქსიმალური შესაძლო საანგარიშო დატვირთვა არის 2700-3550კნ. ორი ორტესისაგან შედგენილი სვეტებისათვის - 5500-5600 კნ. მნიშვნელოვანი დატვირთვებისას გამჭოლკედლიანი სვეტები დამზადების თვალსაზრისით მიიღება რთული, ამ დროს უფრო რაციონალურია მთლიანკედლიანი სვეტები.

400-800 კნ დატვირთვისა და l=6 მ საანგარიშო სიგრძისას ნაღუნი პროფილების მქონე მთლიანკედლიან სვეტებს (დამზადების სიმარტივის გამო) ღირებულების თვალსაზრისით შეიძლება უპირატესობა მივანიჭოთ გამჭოლკედლიან სვეტებთან.

7.5. სვეტის ღეროს განივკვეთის შერჩევა და კონსტრუქციული გაფორმება

7.5.1. მთლიანკედლიანი სვეტები. *განივკვეთის შერჩევა.* კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევის შემდგომ ისახღვრება კვეთის საჭირო ფართობი

$$A_{tsj} = \frac{N}{\varphi \cdot R\gamma_c} \qquad (7.21)$$

სადაც N-სვეტში საანგარიშო ძალვაა, γ_c-მუშაობის პირობების კოეფიციენტი (დან. 14).

იმისათვის რომ წინასწარ განვსაზღვროთ φ კოეფიციენტი (დან. 8) ვნიშნავთ სვეტის მოქნილობას

$$\lambda = l_0 / i$$

მთლიანკედლიანი სვეტებისათვის, რომელთა საანგარიშო დატვირთვაა 1500-2500 კნ და სიგრძე 5-6 მ. შეიძლება დანიშნული იქნას მოქნილობა $\lambda = 100 \div 70$. უფრო მძლავრი სვეტებისათვის 2500-4000 კნ. დატვირთვით შეიძლება დანიშნული იქნას მოქნილობა $\lambda = 70 \div 50$ სიდიდით. დანიშნული მოქნილობის λ და ფოლადის საანგარიშო წინაღობის R_y-ის მიხედვით დან. 8-დან ვპოულობთ შესაბამის φ, რომლის საშუალებითაც პირველი მიახლოებით (7.21)-დან ვპოულობთ საჭირო განივკვეთის ფართობს და საჭირო ინერციის რადიუსს დანიშნული მოქნილობის მიხედვით

$$i_{tsj} = l_0 / \lambda \qquad (7.22)$$

ინერციის რადიუსის კვეთის ტიპზე დამოკიდებულება მაახლოებით გამოისახება ფორმულებით

$$r_x = \alpha_1 h; \quad r_y = \alpha_2 b$$

სადაც h და b – კვეთის სიმაღლე და სიგანეა; α_1 და α_2 – პროფილების მიხედვით რადიუსების განმსაზღვრელი კოეფიციენტები ცხრილიდან 7.1

აქედან განისაზღვრება სვეტის კვეთის საჭირო გენერალური ზომები:

$$\left.\begin{aligned} h_{tsj} &= \frac{i_{tsj}}{\alpha_1} \\ b_{tsj} &= \frac{i_{tsj}}{\alpha_2} \end{aligned}\right\} \qquad (7.23)$$

კვეთის გენერალური ზომების (h და b) დადგენის შემდეგ ირჩევა სარტყლების (თაროების) ფურცლებისა და კედლის სისქეები (ნახ. 7.14). საჭირო კვეთის ფართობის და ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე კვეთის ელემენტების სიგანის დამოკიდებულება მათ სისქესთან ირჩევა ისე, რომ ისინი იყვნენ ზღვრულ დამოკიდებულებაზე ნაკლები.

პირველი მიახლოებისას ხშირად არ ხერხდება ისეთი რაციონალური კვეთის მიღება, რომელიც დააკმაყოფილებს სამ პირობას ($A_{tsj}, b_{tsj}, h_{tsj}$), რადგან მათი განსაზღვრისას მოქნილობის საწყისი სიდიდე იყო დანიშნული მიახლოებით. შეუსაბამობის გამოვლენისას ხდება ზემოთაღნიშნული სიდიდეების კორექტირება. თუ დანიშნული მოქნილობის სიდიდე λ მიღებული იქნა ძალიან დიდი, მაშინ მიიღება ძალიან დიდი ფართობი h და b-ს შედარებით მცირე ზომებისას. აქედან გამომდინარე უნდა გაიზარდოს კვეთი, ერთდროულად საჭირო ფართობის A_{tsj} შემცირებისას, ე.ი. უნდა შემცირდეს დანიშნული მოქნილობა.

თუ დანიშნული მოქნილობა ძალიან მცირეა, მიიღება ძალიან მცირე ფართობი ძალიან გაზრდილი კვეთით, მაშინ A_{tsj} უნდა გაიზარდოს კვეთის ზომების შემცირებით.

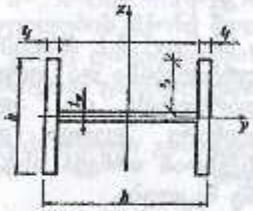
A, b და h-ის კორექტირების შემდგომ ახდენენ კვეთის შემოწმებას.

$$i_x = \alpha_1 h; \quad i_y = \alpha_2 b,$$

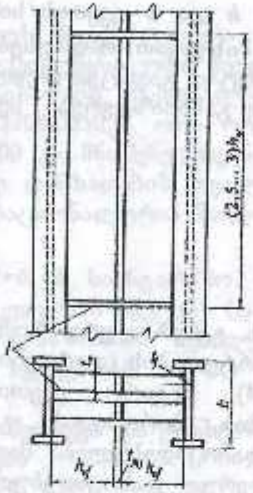
$\lambda_{max} = l_0 / i_{min}$; φ_{min}-ს ვირჩევთ λ_{max}-ის და R_y-ის მიხედვით.

ძაბვების შემოწმება მდგრადობაზე ხდება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{min} A} \le R_y \gamma_c \qquad (7.24)$$



ნახ. 7.14.
ორტესებრი კვეთის მთლიანკედლიანი სვეტი



ნახ. 7.15.
მთლიანკედლიანი სვეტების განივი და გრძივი სიხისტის წიბოები:
I-დიაფრაგმა.

კვეთის ზომების საბოლოო შერჩევის შემდგომ იანგარიშება ინერციის ფაქტობრივი მომენტები $i_x = \sqrt{I_x / A}$ $i_y = \sqrt{I_y / A}$ რომელთა მიხედვით იანგარიშება მოქნილობის მაქსიმალური მნიშვნელობა

$$\lambda_{max} = l_0 / i_{min}$$

და λ_{max}-ის და R_y-ის მიხედვით აირჩევა φ_{min}. დგინდება ასევე კვეთის უმცირესი ზომები

$$b_{min} = i_{min} / \alpha_2 \qquad h = i_{min} / \alpha_1;$$

საბოლოოდ (7.24) ფორმულით ხდება სვეტის მდგრადობაზე შემოწმება.

სვეტის ღეროს კონსტრუქციული გაფორმება და ფაქტობრივი მუშაობა. ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტებში კედელსა და სარტყელებს შორის ადძრული ძვრის ძალები არის უმნიშვნელო, რადგან განივი ძალა, გამოწვეული შემთხვევითი ზემოქმედებებისაგან, არის მცირე. ამ მიზეზის გამო შედუღებულ სვეტებში სარტყლის ნაკერები მიიღება კონსტრუქციულად, რომლებიც

დამოკიდებული არიან ფოლადის მარკასა და შესადუღებელი ელემენტების სისქეზე (იხ. ცხრ. 7.3).

ცხრილი. 7.3

ღეროს კვეთი	h_0/t ზღვრული მნიშვნელობები
ორტესებრი	$h_0/t \le \left(0{,}36 + 0{,}8\bar{\lambda}^2\right)\sqrt{E/R}$, მხოლოდ არა უმეტეს $2{,}9\sqrt{E/R}$
შველერისებრი, კოლოფისებრი	$h_0/t \le \left(0{,}85 + 0{,}8\bar{\lambda}\right)\sqrt{E/R}$, როცა $\lambda < 0{,}8 h_0/t \sqrt{R/E} = 1$

სვეტები, რომელთა ექსპლუატაცია არ ხდება საშუალო და ძლიერაგრესიულ გარემოში, ასევე აშენება არ ხდება I_1I_2,II_2, და II_3 კლიმატურ რაიონებში (როცა ტემპერატურა<-50^0), რეკომენდებულია სარტყლის ნაკერები დაყენებული იქნას ცალმხრივად. სვეტის კედლის სისქე საჭიროა მიღებული იქნას რაც შესაძლებელია მცირე, რადგან კედლის განივი კვეთი, y-ღერძის მიმართ ინერციის მომენტის გაუზრდელად, ზრდის ფართობს და შესაბამისად ამცირებს ინერციის რადიუსსა $i = \sqrt{I_x/A}$ და სვეტის სიხისტეს. მძლავრი კოჭების მიმაგრებისას კედელი არ უნდა იყოს ზედმეტად თხელი, რადგან ასეთ ადგილებში მოხდება გადაძაბვა.

ადგილობრივი მდგრადობის პირობიდან კედლის უდიდესი სიმაღლის h_0-ის შეფარდება მის სისქესთან t-სთან განისაზღვრება ფორმულებით, რომლებიც მოყვანილია ცხრ. 7.3-ში, ხოლო ორტესებრი სვეტის თაროს კიდულის-b_0-ის ფარდობა მის სისქესთან t_f-თან (ნახ. 7.14), როცა სვეტის პირობითი მოქნილობა $\bar{\lambda}$ მოთავსებულია საზღვრებში 0.8-დან 4-მდე, უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას

$$b_0/t_f \le \left(0{,}36 + 0{,}1\bar{\lambda}\right)\sqrt{E/R} \qquad (7.25)$$

ზღვრული მოქნილობის მიხედვით შეკუმშული ღეროს განივი კვეთის განსაზღვრისას, საჭიროა h_0/t და b_0/t უდიდესი მნიშვნელობები გავამრავლოთ $\sqrt{(R/\sigma)\varphi}$ კოეფიციენტზე, სადაც $\sigma = N/A$. ეს კოეფიციენტი არ უნდა აღემატებოდეს 1,25-ს. ასეთ შემთხვევაში ორტესებრი კვეთისათვის $\bar{\lambda}$ არ უნდა იყოს $3{,}2\sqrt{E/R}$-ზე მეტი.

h_0/t_f და ცხრილი 7.3-ის მიხედვით ჩანს, რომ სვეტის მოქნილობის გაზრდით განსახილველი ფარდობებიც იზრდება, ე. ი. კედელი და თაროები შეიძლება იყოს შედარებით თხელი, რადგანაც ამასთან ძაბვები სვეტის კვეთში მცირდება. ფოლადის საანგარიშო წინაღობის R_y-ის გაზრდით, კედლისა და თაროების სისქეები უნდა იყოს შედარებით დიდი, რადგან ფაქტობრივი ძაბვები იზრდება.

თუ კონსტრუქციული მოსაზრებებით h_0/t-სთან ფარდობა მიიღება ზემოთაღნიშნულ სიდიდეებზე მეტი, მაშინ კედლები უნდა იქნას გამაგრებული გრძივი წიბოთი (ნახ. 7.15), რათა არ მოხდეს კედლის მდგრადობის დაკარგვა და მოხდეს გაჩენილი ტალღის გამობურცვის გადაკვეთა (ნახ. 6.16,ბ).

ამ შემთხვევაში კედლის სანგარიშო სიმაღლედ h_0 ღებულობენ წიბოდან ღეროს კვეთის თარომდე მანძილს.

წიბო შეიძლება იყოს წყვილი ან ცალი მხრიდან იყოს განლაგებული.

კედლის წყვილი წიბოებით გამაგრებისას h_0/t-ს ზემოთგანსაზღვრული მნიშვნელობები (ცხრ. 7.3) გამრავლებული უნდა იქნას β კოეფიციენტზე, თანაც $I_{f_1}/\left(h_0 t^3\right) \le 6$

$$\beta = 1 + 0{,}4\frac{I_{f_1}}{h_0 t^3}\left(1 - 0{,}1\frac{I_{f_1}}{h_0 t^3}\right) \qquad (7.26)$$

აქ I_{f_1}-გრძივი წიბოს კვეთის ინერციის მომენტია.

კედლის ცალი მხრიდან წიბოს განლაგებისას მისი ინერციის მომენტი, უნდა გამოითვალოს კედლის უახლოეს ნაპირთან შუთავსებულ ღერძის მიმართ.

სიხისტის გრძივი წიბო შეყვანილი უნდა იქნას ღეროს საანგარიშო ფართობში.

სვეტის კვეთის კონტურისა და კედლის გამაგრებისათვის, როცა $h_0/t \le 2{,}2\sqrt{E/R}$ დაყენებული უნდა იქნას განივი სიხისტის წიბოები ერთი მეორისაგან 2,5-3მ. მანძილზე. თითოეულ ელემენტზე უნდა იყოს არაუმცირეს ორი წიბო.

ზოგჯერ სვეტის კვეთის დიდი ზომებისას გვიწევს მისი ფართო თაროების დაპროექტება, რომელთა მცირე სისქეებისას შეიძლება აღმოჩნდნენ არამდგრადები. ასეთ შემთხვევაში თაროების მდგრადობის შესანარჩუნებლად მიზანშეწონილია ისინი გამაგრებული იქნას ნაწიბურებზე მიღუდებული განივი წიბოებით (იხ. ნახ. 7.15).

7.5.2. გამჭოლკედლიანი სვეტები. *გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთის შერჩევა.* გამჭოლკედლიანი სვეტების კვეთის შერჩევისას მის მდგრადობას თავისუფალი ღერძის მიმართ ამოწმებენ არა მოქნილობის $\lambda = l_{ef}/i_y$, არამედ დაყვანილი მოქნილობის-λ_{red}-ის მიხედვით, რომელიც ყოველთვის მეტია გისოსის დეფორმაციულობის გამო.

დაყვანილი მოქნილობა დამოკიდებულია შტოებს შორის მანძილზე, ეს პარამეტრი დგინდება განივი კვეთის შერჩევის პროცესში. შტოებს შორის b მანძილი (ნახ. 7.6) განისაზღვრება გამჭოლ კედლიანი სვეტის x და y ღერძების მიმართ თანაბარმდგრადობის პირობიდან. ამ პირობის დასაკმაყოფილებლად საჭიროა დაყვანილი მოქნილობა გაუტოლდეს მატერიალური ღერძის მიმართ გამოთვლილ მოქნილობას ($\lambda_{red} = \lambda_x$).

გამჭოლკედლიანი სვეტის კვეთის შერჩევა იწყება მატერიალური x ღერძის მიმართ მდგრადობაზე გაანგარიშებით, ე.ი. კვეთის საჭირო ფართობის განსაზღვრით:

$$A_{tot} = \frac{N}{\varphi_x R\gamma_c} \qquad (7.27)$$

ისევე როგორც მთლიანკედლიანი სვეტების კვეთის შერჩევისას უნდა დავნიშნოთ მოქნილობა, რომ მივიღოთ ცხრილიდან (დან. 8) გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი φ.

გამჭოლკედლიანი სვეტებისათვის 1500 კნ-მდე საანგარიშო დატვირთვისა და 5-7 მ. სიგრძისას შეიძლება დანიშნული იქნას მოქნილობა $\lambda = 90 \div 60 -$მდე. უფრო მძლავრი სვეტებისათვის $2500 \div 3000$ ან საანგარიშო დატვირთვისას მოქნილობა შეიძლება მიღებული იქნას $\lambda = 60 \div 40$ ტოლი.

დანიშნული მოქნილობისა (λ) და მის მიხედვით განსაზღვრული φ კოეფიციენტით (7.27) ფორმულით ვსაზღვრავთ საჭირო განივკვეთის ფართობს და საჭირო ინერციის რადიუსს მატერიალური ღერძის მიმართ $i_{tot} = l_0/\lambda$ ამასთან ეითვალისწინებით, რომ მოქნილობა მატერიალური ღერძის მიმართ ტოლია საანგარიშო მოქნილობისა.

საჭირო ფართობისა და საჭირო ინერციის რადიუსის განსაზღვრის შემდგომ, სორტამენტიდან ვირჩევთ მის შესაბამის შეკვრის ან ორტესის პროფილს.

ღეროს დანიშნულ კვეთს ვამოწმებთ მდგრადობაზე ფორმულით

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_x A} \le R_y\gamma_c \qquad (7.28)$$

აქ φ_x არის რეალური მოქნილობის მიხედვით $\lambda_x = l_{ox}/i_x$ განსაზღვრული კოეფიციენტი.

თუ კვეთი შერჩეულია დამაკმაყოფილებლად, მაშინ შემდგომ ეტაპზე უნდა მოხდეს შტოებს შორის მანძილის განსაზღვრა გამომდინარე თანაბარმდგრადობის პირობიდან $\lambda_{red} = \lambda_x$.

გისოსის ტიპზე დამოკიდებულებით დაყვანილი მოქნილობა განისაზღვრება (7.10) ან (7.15) ფორმულებით. თამასებიანი კოლონებისათვის რეკომენდებულია შტოების მოქნილობა მიღებული იქნას $\lambda_1 = 30 \div 35$, მაგრამ არაუმეტეს 40-ისა.

თამასებიანი გისოსის შემთხვევაში დანიშნული λ_1-სა და (7.10) ფორმულიდან გამომდინარე ვპოულობთ თავისუფალი ღერძის მიმართ მოქნილობის საჭირო მნიშვნელობას.

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda^2_{red} - \lambda_1^2} = \sqrt{\lambda_x^2 - \lambda_1^2} \qquad (7.29)$$

აუცილებელია მივიღოთ მხედველობაში, რომ $\lambda_1 < \lambda_{red}$, წინააღმდეგ შემთხვევაში შესაძლებელია შტოს ხიდვის უნარის უფრო ადრე დაკარგვა, ვიდრე მთლიანად კოლონა დაკარგავდეს მდგრადობას.

λ_y განსაზღვრის შემდგომ ვპოულობთ მის შესაბამის ინერციის რადიუსს $i_y = l_o/\lambda_y$ და შტოებს შორის მანძილს, რომელიც დაკავშირებულია ინერციის რადიუსთან შემდეგი ფარდობით $b = i_y / \alpha_2$.

α_2 კოეფიციენტი დამოკიდებულია შტოების კვეთის ტიპზე და აიღება ცხრ. 7.1-დან.

b-ს მნიშვნელობა უნდა იყოს დაკავშირებული სვეტის გაბარიტებთან, ასევე შტოების თაროებს შორის აუცილებელ საჭირო შუალედურ ზომაზე.

რომ განვსაზღვროთ λ_y მოქნილობა ირიბნებიანი გისოსის მქონე კოლონებში უნდა დაინიშნოს ირიბანას კვეთის ფართობი $A_{ირ.}$. გვეცოდინება რა ფარდობა $A/A_{ირ.}$ ისაზღვრება

$$\lambda_y = \sqrt{\lambda_x^2 - \alpha_1 \frac{A}{A_{ირ.}}} \qquad (7.30)$$

შემდგომ ვსაზღვრავთ i_y და h (როგორც თამასებიანი სვეტის შემთხვევაში).

კვეთის საბოლოო შერჩევისას სვეტს ამოწმებენ მდგრადობაზე y ღერძის მიმართ (7.24) ფორმულით. მდგრადობის შემოწმებისათვის საჭიროა დადგინდეს განივი კვეთის ზომები, შტოებს შორის

მანძილი და დაყვანილი მოქნილობით განვსაზღვროთ φ_y. თუ კოეფიციენტი φ_y მეტია φ_x კოეფიციენტზე, მაშინ მდგრადობის შემოწმება y ღერძის მიმართ (7.24) ფორმულის მიხედვით საჭირო არ არის.

გისოსებიან სვეტებში ასევე შემოწმებული უნდა იქნას გისოსის მომიჯნავე კვანძებს შორის მდებარე შტოების მდგრადობა.

უერთბები გისოსის (თამასების) გაანგარიშება. თამასებს შორის მანძილი განისაზღვრება შტოს მიღებული მოქნილობისა და ინერციის რადიუსის მიხედვით.

$$l_1 = \lambda_1 i_{y1} \qquad (7.31)$$

შედუღებულ სვეტებში შტოს საანგარიშო სიგრძედ ღებულობენ თამასებს შორის მანძილს. (ნახ. 7.16,ა).

თამასების გაანგარიშება მოიცავს მათი კვეთის შემოწმებასა და შტოებთან მათი მიერთების ანგარიშს. გადამჭრელი Q_s ძალის მოქმედებით შტოები მუშაობენ ღუნვაზე, რომლის სიდიდე განისაზღვრება სვეტიდან ამოჭრილი კვანძის წონასწორობის პირობიდან (ნახ. 7.11,ბ.)

$$Q_s l/2 = F_s b_1/2 \qquad (7.32)$$

სადაც Q_s-განივი ძალაა. მისი სიდიდე განისაზღვრება 7.20 ფორმულით ან აიღება ცხრ. 7.2-დან. l-თამასების ღერძებს შორის მანძილია; b_1-შტოების ღერძებს შორის მანძილი. აქედან

$$F_s = Q_s l / b_1 \qquad (7.33)$$

თამასას სიმაღლეს-h ღებულობენ მისი მიმაგრების პირობიდან, ხოლო სიგანეს $(0{,}5...0{,}75)b$ ტოლად. აქ b არის სვეტის სიგანე.

თამასების სისქედ ღებულობენ კონსტრუქციულად 6 დან 10 მმ-დე $\left(\frac{1}{10}...\frac{1}{15}\right)h$ საზღვრებში.

თამასების მიმაგრების ადგილას მოქმედებს განივი ძალა F_s და მღუნავი მომენტი

$$M_s = F_s\left(b_1/2\right) \qquad (7.34)$$

შედუღებულ სვეტში თამასები მაგრდება შტოებზე პირგადაღებით და დუღდება კუთხური ნაკერებით. თამასების შტოებში შეყვანა ხდება $20 \div 30$ მმ-ით. (ნახ. 7.16,ა).

კუთხური შედუღების ნაკერის სიმტკიცე განისაზღვრება:

1)-ნაკერის ლითონში,

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{wf}^2 - \tau_{wf}^2} \le R_{wf}\gamma_c,$$

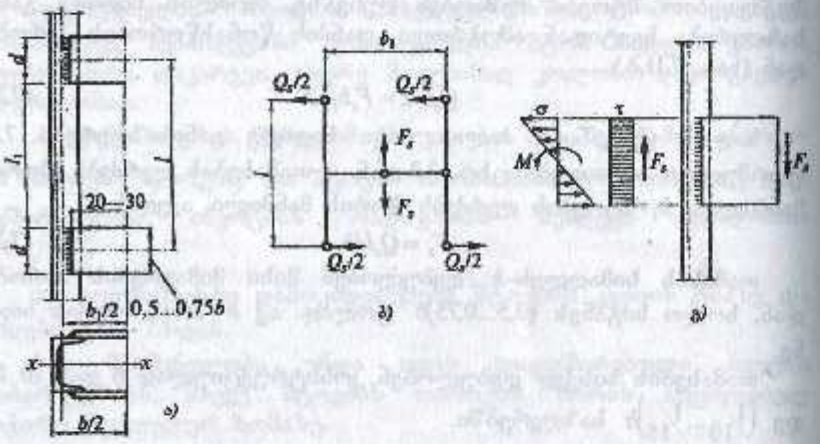
სადაც $\sigma_{wf} = M_s / W_{wf}$; $\tau_{wf} = F_s / A_{wf}$; F_s და M_s -შესაბამისად განივი ძალა და მღუნავი მომენტია თამასის მიმაგრების ადგილას; W_{wf} -წინაღობის მომენტია, რომელიც ტოლია $\beta_f k_f l_w^2 / 6$; $A = \beta_f k_f l_w$.

2)-ნაკერის ლითონის საზღვარზე

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{wz}^2 - \tau_{wz}^2} \le R_w$$

სადაც $\sigma_{wz} = M_s / W_{wz}$; $\tau_{wz} = F_s / A_{wz}$; $W_{wz} = \beta_z k_f l_w^2 / 6$; $A_{wz} = \beta_z k_f l_w$ F_s .

იმ შემთხვევაში, როცა სვეტის შტოები შეურთებულია გისოსით, გისოსის ანგარიში ტარდება ისევე, როგორც წამწის გისოსის ანგარიში.

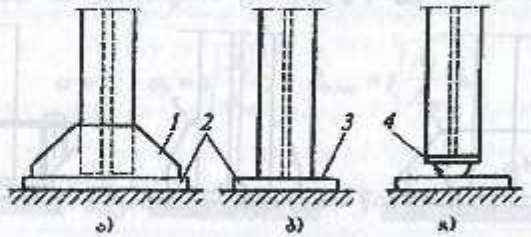


ნახ. 7.16. თამასების საანგარიშო სქემა:
ა)-კონსტრუქციული სქემა; ბ)-საანგარიშო ფრაგმენტი; გ)-თამასის შეერთება.

7.6. სვეტის ბაზები

სვეტის ბაზის დანიშნულება არის ძალვების სვეტიდან საძირკველზე ან ქვემოთ მდებარე კონსტრუქციაზე თანაბრად გადაცემა-განაწილება.

ბაზის კონსტრუქცია უნდა შეესაბამებოდეს საანგარიშო სქემაში მიღებული სვეტის საძირკველში ჩამაგრების ხერხს. სახსრულად ჩამაგრებისას შემთხვევითი მომენტების მოქმედებისას ბაზას უნდა შეეძლოს საძირკვლის მიმართ რამდენადმე შობრუნება, ხისტი ჩამაგრებისას აუცილებელია უზრუნველყოფილი იქნას ისეთი ჩამაგრება, რომელიც არ დაუშვებს მობრუნებას.



ნახ. 7.17. სვეტების ბაზის ტიპები:
ა)-ტრავერსით; ბ)-ფრეზირებული ტორსით; გ)-სახსრული ჩამაგრებისას; 1-ტრავერსი; 2-ფილა; 3-გაფრეზვა; 4-მაცენტრებელი ფილა.

კონსტრუქციული გადაწყვეტით ბაზები არსებობს სამი ტიპის-ტრავერსით (ნახ. 7.17,ა), უტრავერსოდ (ნახ. 7.17,ბ), და სახსრული ელემენტით (ნახ. 7.17,გ).

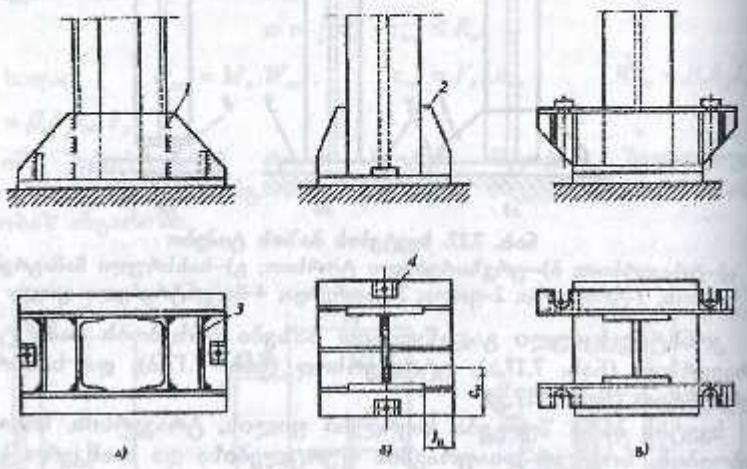
სვეტის ბაზა შედგება საყრდენი ფილის, ტრავერსის, სიხისტის წიბოების, ზოგჯერ დიაფრაგმის ფურცლებისა და საანკერო ჭანჭიკებისაგან (ნახ. 7.18).

სვეტებში 4000-5000 კნ. დატვირთვებისას ხშირად გამოიყენება ბაზები ტრავერსით. ტრავერსი ღებულობს დატვირთვას სვეტის ღეროდან და გადასცემს საყრდენ ფილას. იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილი იქნას ფილის თანაბარი წნევა საძირკველზე, ფილის სიხისტეს ადიდებენ დამატებითი წიბოებით, რომლებიც მოთავსებული არიან ტრავერსის შტოებს შორის (ნახ. 7.18,ა). მსუბუქ სვეტებში ტრავერსის ფუნქციას ასრულებს კონსოლური წიბოები, რომლებიც მიდუღებულია სვეტის ღეროსთან და საყრდენ ფილასთან (ნახ. 7.18,ბ). (ნახ. 7.18,გ)-ზე ნაჩვენებია ბაზა სახსრული ჩამაგრებით. ასეთი ჩამაგრებები ზუსტად პასუხობენ საანგარიშო სქემას, მხოლოდ სვეტის მონტაჟის სირთულის გამო გამოიყენება იშვიათად.

ნახ. 7.18,ბ-ზე ნაჩვენებია მთლიანკედლიანი სვეტის ბაზის კონსტრუქცია, ხოლო გამჭოლკედლიანი სვეტის-ნახ. 7.18,ა-ზე. არსებობს ბაზის კონსტრუქციის სხვა ვარიანტებიც.

ტრავერსისა და სიხისტის წიბოების ფურცლების სისქე აიღება $t = (12 \div 16)$ მმ. ბაზა საძირკველში მაგრდება ორი საანკერო ჭანჭიკით. ჭანჭიკები აიღება გაანგარიშების გარეშე სახსრული

ჩამაგრებისას $d = 20 \div 30$ მმ, ხოლო ხისტი ჩამაგრებისას $d = 24 \div 36$ მმ. მონტაჟის დროს, სვეტის საპროექტო მდგომარეობაში დადგმის მიზნით, ფილის ნახერეტები ჭანჭიკის დიამეტრზე $(2 \div 3)$ მმ-ით მეტი უნდა იყოს. სვეტის ბაზა იდგმება $(2 \div 3)$ სმ სისქის, საძირკვლის ზედაპირის გამასწორებელი ცემენტის ხსნარის ფენაზე.



ა) ბ) გ)

ნახ. 7.18. ცენტრალურად შეკუმშული სვეტების ბაზები:
ა)–ტრავერსებით; ბ)–თამასებით; გ)–სვეტის საძირკველში ხისტად ჩამაგრებისას; 1-ტრავერსი; 2-კონსოლური წიბო; 3-დიაფრაგმა; 4-ანკერის საყელური.

სვეტის გაანგარიშება იწყება საყრდენი ფილის ზომების განსაზღვრით. ფილის საჭირო ფართობი გამოითვლება საძირკვლის მასალის საანგარიშო წინაღობის მიხედვით

$$A_p = \frac{N}{\phi R_{b,loc}} \qquad (7.35)$$

სადაც N არის სვეტის ღერძული ძალა, სვეტის ბაზის დონეზე; A_p-საყრდენი ფილის ფართობი; ϕ-კოეფიციენტი მიღებულია ერთის ტოლად, როცა ფილის ქვეშ არის თანაბრად განაწილებული დატვირთვა; $R_{b,loc}$-ბეტონის საანგარიშო წინაღობა ადგილობრივ კუმშვაზე, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით $R_{b,loc} = \alpha\varphi_b R_b$; R_b - ბეტონის პრიზმული წინაღობა.

ჩვეულებრივ საძირკვლის ზედაპირის ფართობი A_f უმნიშვნელოდ აჭარბებს საყრდენი ფილის ფართობს A_p, ხოლო საძირკველში ბეტონის კლასს ღებულობენ $B25$-ზე ნაკლებს. საანგარიშო წინაღობის R_b-ს მნიშვნელობები კლასის შესაბამისად მოყვანილია ცხრილი 7.4-ში. ამ პირობების გათვალისწინებით შეიძლება მივიღოთ:

$$\alpha = 1; \quad \varphi_b = \sqrt[3]{\frac{A_f}{A_{pe}}}; \quad R_{b,loc} = \sqrt[3]{\frac{A_f}{A_{pe}}} R_b. \qquad (7.36)$$

ცხრილი 7.4

ბეტონის საანგარიშო წინაღობა

სიმტკიცის კლასი	B 7,5	B 10	B 12	B 15	B 20
საანგარიშო წინაღობა კნ/სმ²	0,45	0,60	0,75	0,85	1,15

A_p-განსაზღვრის შემდეგ საყრდენი ბაზის სიგრძე განისაზღვრება ტოლობით

$$L = \frac{A_p}{B_p} \qquad (7.37)$$

სადაც B_p არის საყრდენი ფილის სიგანე და წინასწარ ინიშნება კონსტრუქციული მოსაზრებით

$$B_p = b_f + 2c \qquad (7.38)$$

b_f – სვეტის სარტყლის სიგანე; c – ტრავერსიდან ფილის თავისუფალი გადმონაშვერი და აიღება (80-140) მმ.

ფილის სისქის განსაზღვრისათვის მას იხილავენ, როგორც ფირფიტას, რომელიც დაყრდნობილია ტრავერსებზე და ხისტის წიბოებზე. ფილაზე მოსულ დატვირთვად ღებულობენ საძირკვლის რეაქციულ თანაბრად განაწილებულ დაწოლას, როგორც (ნახ. 7.19)-დან ნათლად ჩანს, ტრავერსით და ხისტის წიბოებით ფილა იყოფა ცალკეულ უბნებად. უბნები მუშაობენ როგორც ოთხი (უბანი 1), ისე სამი (უბანი 2) კონტურით დაყრდნობილი და აგრეთვე კონსოლურ (უბანი 3 და 4) ფილებად. ცალკეულ უბნებში მოქმედი მღუნავი მომენტების განსაზღვრისათვის უბნიდან გამოყოფენ 1 სმ სიგანის ზოლს და განიხილავენ მას როგორც ორ საყრდენზე დაყრდნობილ კოჭს. ასეთი საანგარიშო სქემის

მიხედვით კოჭის განიკვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტები განისაზღვრება გალიორკინის მიერ შედგენილი ფორმულებით და ცხრილებით. მაგალითად: ოთხი კონტურით დაყრდნობილი ფირფიტებისათვის

$$M = \alpha q a_1^2 ; \qquad (7.39)$$

სამი კონტურით დაყრდნობილი ფირფიტებისათვის

$$M = \beta q a^2 ; \qquad (7.40)$$

ცხრილი. 7.5.

b/a ოთხ კონტურზე დაყრდნობილი ფილის ღუნვაზე გაანგარიშებისათვის საჭირო α კოეფიციენტები.

b/a	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
α	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081
b/a	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2-ზემეტი
α	0,086	0,091	0,094	0,098	0,1	0,125

ცხრილი. 7.6.

სამ კონტურზე დაყრდნობილი ფილის ღუნვაზე გაანგარიშებისათვის საჭირო β კოეფიციენტები.

b_1/a_1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
β	0,06	0,074	0,088	0,097	0,107
b_1/a_1	1,0	1,2	1,4	2	2-ზე მეტი
β	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

გალიორკინის მიერ მიღებული α და β კოეფიციენტების მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილი 7.5 და 7.6-ში. α კოეფიციენტი დამოკიდებულია უფრო დიდი მხარის b-ს უფრო ნაკლებ მხრესთან a-სთან ფარდობაზე; β კოეფიციენტი დამოკიდებულია ფირფიტის ჩამაგრებული მხარის b_1-ის ფარდობაზე თავისუფალი მხარის a_1-ის მიმართ; a და b ზომები აიღება ტრაევრსის შტოებისა და ნაწიბურებს შორის მანძილის ტოლად.

როცა გვერდების ფარდობა $b/a > 2$, საანგარიშო მომენტი განისაზღვრება ისეთივე ფორმულით, როგორც ერთმალიანი კოჭოვანი ფილის შემთხვევაში

$$M = \frac{qa^2}{8}$$

როცა გვერდების ფარდობა $a_1/b_1 > 2$, ფილა იანგარიშება, როგორც კონსოლური.

ფილის ორ კონტურზე დაყრდნობისას, მარაგის გაზრდის მიზნით შეიძლება გამოვიყენოთ (7.39) ფორმულა. ამისათვის უნდა გამოვიყენოთ a_1 მანძილი კონტურებს შორის დიაგონალის, b_1 მანძილი ტოლი კუთხიდან დიაგონალამდე (ნახ. 7.19).

ფილის კონსოლურ ნაწილში მღუნავი მომენტი ტოლია

$$M = qc^2/2 \qquad (7.41)$$

სადაც q საანგარიშოს რეაქციული წნევაა, კნ/სმ.

$$q = \sigma_f b = \frac{N}{A_f} b \qquad (7.42)$$

$b = 1$ სმ.

საერდენი ფილის სისქე განისაზღვრება უბნის უდიდესი მღუნავი მომენტის საშუალებით

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_p} = \frac{\sigma \cdot M_{max}}{t_p^2} \le R_y \gamma_c$$

საიდანაც

$$t_p = \sqrt{\frac{6 M_{max}}{R_y \gamma_c}} \qquad (7.43)$$

ფილის სისქედ დებულობენ 20–40 მმ. ზომის ფარგლებში.

სვეტის ღეროს ძალვა ტრაევრს გადაეცემა შედუღების ნაკერების საშუალებით. ტრაევრსის ფურცლის ზომების დადგენა წარმოებს ტრაევრსისა და სვეტის ღეროს შემაერთებელი შვეული შედუღების ნაკერის სიგრძის მიხედვით. თუ ნაკერის სიმაღლეს (k_f) წინასწარ დაენიშნათ, მაშინ ერთი შვეული ნაკერის სიგრძე განისაზღვრება შემდეგი ცნობილი ფორმულებით:

$$l_w' = \frac{N}{4 \beta_f k_f \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}}$$

$$l_w'' = \frac{N}{4 \beta_z k_f \gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}} ; \qquad (7.44)$$

l_w' და l_w''-დან ნაკერის სიგრძედ აიღება უდიდესი $(\max l_w)$. ნაკერის სიგრძის მიხედვით, ტრაევრსის სიმაღლე

$$h_w = \max l_w + 1 \text{ სმ}$$

ტრაეერსის ფურცლის სისქე კონსტრუქციული მოსაზრებით აიღება

$$t_{tr} = (12 \div 16)\,მმ$$

ტრაეერსის ფურცლის სიმტკიცის შემოწმების მიზნით, ტრაეერსი განიხილება როგორც ორკონსოლიანი კოჭი (ნახ. 7.19) კონსოლის სამაგრების სიბრტყეში მოქმედი მღუნავი მომენტი გამოითვლება ფორმულით

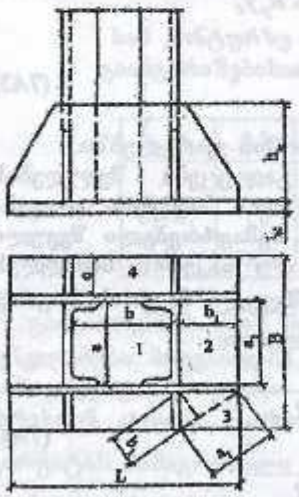
$$M_{tr} = \frac{q_{tr} l^2}{2} \qquad (7.45)$$

სადაც

$$q_{tr} = \sigma_{tr} \frac{B_p}{2} = \frac{NB_p}{2A_p}$$

M_{tr}-ის განსაზღვრის შემდეგ ტრაეერსის ფურცლის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით

$$\sigma = \frac{M_{tr}}{W_{tr}} \le R_y \gamma_c \qquad (7.46)$$



ნახ. 7.19. სვეტის ბაზის დაყოფა კონტურებად

ტრაეერსის განივკვეთის წინაღობის მომენტი

$$W_{tr} = \frac{t_{tr} h^2}{6}. \qquad (7.47)$$

შედუღების ნაკერების სიმაღლე, რომლითაც სიხისტის წიბოები უერთდება ტრაეერსის ფურცელს, გამოითვლება ფორმულებით:

$$k_f' = \frac{N_s}{2\beta_f (h_{tr} - 1)\gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}}, \qquad (7.48)$$

$$k_f'' = \frac{N_s}{2\beta_z (h_{tr} - 1)\gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}}$$

სადაც N_s სიხისტის წიბოზე მოქმედი საძირკვლის რეაქციული ძალაა.

$$N_s = (l - t_{tr})(h/2 - t_1)\sigma_p; \qquad (7.49)$$

$$\sigma_p = \frac{N}{A_p}.$$

k_f' და k_f''-დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი $(\max k_f)$.

შედუღების ნაკერის სიმაღლე, რომლითაც ტრაეერსები და სიხისტის წიბოები უდუღება საყრდენ ფილას

$$k_f' = \frac{N_s}{\beta_f \sum l_w \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}}$$

$$k_f'' = \frac{N_s}{\beta_z \sum l_w \gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}} \qquad (7.50)$$

სადაც $\sum l_w$ ნაკერის სიგრძეა.

k_f' და k_f''-დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი $(\max k_f)$.

7.7. სვეტის სათავის კონსტრუქცია

კოჭოვანი გაღახურვის სვეტის სათავის კონსტრუქცია ნაჩვენებია 7.20 ნახაზზე. სათავის კონსტრუქცია ძირითადად შედგება ფოლადის ფილისაგან, რომელიც ქმნის თარაზულ მოედანს კოჭების დასაყრდნობად.

საყრდენი ფილა უდუღება სვეტის ზედა ბოლოს მთელი კონტურით. შედუღების ნაკერის სიმაღლე განისაზღვრება (4.10, 4.11) ფორმულებით:

$$\kappa_f' = \frac{N}{\beta_f \sum l_w \gamma_{wf} \gamma_c R_{wf}};$$

$$\kappa_f'' = \frac{N}{\beta_z \sum l_w \gamma_{wz} \gamma_c R_{wz}},$$

სადაც N არის სვეტზე მოქმედი ნორმალური ძალა,

$\sum l$-სვეტის სათავის განივკვეთის კონტურის სიგრძე

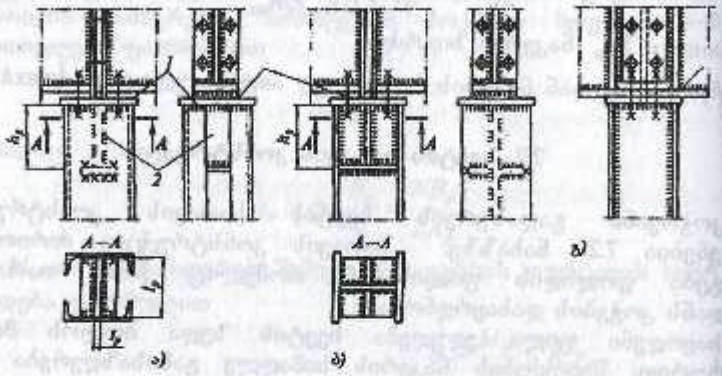
κ_f' და κ_f''-დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი $\max k_f$.

ჩვეულებრივ, საყრდენი ფილის სისქე აიღება კონსტრუქციული მოსაზრებით (20÷30) მმ-მდე. თუ საჭიროა მისი სიმტკიცის შემოწმება, მაშინ ფილის განივკვეთში მოქმედი მღუნავი მომენტი განისაზღვრება ისე, როგორც სამი გვერდით დაყრდნობილ ფილებში (ნახ. 7.20,ა,ბ). ფილის უბნებში მოქმედი მომენტები გამოითვლება გალიორკინის ცხრილებით (7.39). გისოსურკედლიანი სვეტებში სვეტის სათავეს აძლიერებენ წყვილი თამასით და შვეული დიაფრაგმით (ნახ. 7.20,ბ). დიაფრაგმა განლაგებულია სვეტის შტოებს შორის კოჭის კედლის სიბრტყეში. შედუღების ნაკერის სიმაღლე, რომლითაც დიაფრაგმა უერთდება სვეტის შტოებს, განისაზღვრება (4.10, 4.11) ფორმულებით:

$$\kappa_f' = \frac{F_A}{4\beta_f(h_p-1)\gamma_{wf}\gamma_c R_{wf}}, \quad \kappa_f'' = \frac{F_A}{\beta_z(h_p-1)\gamma_{wz}\gamma_c R_{wz}}, \quad (7.51)$$

სადაც h_p-დიაფრაგმის სიგრძეა

κ_f' და κ_f''-დან ნაკერის სიმაღლედ აიღება უდიდესი $\max k_f$.



ნახ. 7.20. სვეტის სათავის კონსტრუქცია კოჭების ზემოდან დაყრდნობისას: ა)–გისოსურკედლიანი სვეტის სათავე; ბ),გ)–მთლიანკედლიანი სვეტის სათავე; 1-საყრდენი ფილა; 2-საყრდენი წიბო.

როდესაც მთავარი კოჭის რეაქცია $F_A > (1000 \div 1500)$ კნ-ზე, კოჭი სვეტის სათავეს ეყრდნობა ქვედა სარტყელით (ნახ. 7.20,ა,გ). ასეთი კონსტრუქციის დადებითი მხარეა მისი სიმარტივე და საყრდენ ფილაზე კოჭის რეაქციის თანაბარი განაწილება, უარყოფითი კი-სვეტი მუშაობს ექსცენტრულ კუმშვაზე (დროებითი დატვირთვის ერთ მალზე განლაგების შემთხვევაში) მუშაობა. ამიტომ, როდესაც $F_A \le 1000$ კნ, კოჭის საყრდენი რეაქციის გადაცემა სვეტის სათავეზე წარმოებს კოჭის საყრდენი ხიხისტის წიბოს საშუალებით (ნახ. 7.20,ბ). რეაქციის ცენტრალურად გადაცემის მიზნით, საყრდენი წიბო კოჭის ქვედა სარტყელიდან დაცილებულია $(10 \div 15)$ მმ-ით. კოჭის შემთხვევით გადაადგილების საწინააღმდეგოდ, იგი სვეტის სათავეს ემაგრება სამონტაჟო ჭანჭიკებით ($d = 10 \div 12$ მმ).

თუ კოჭი ეყრდნობა სვეტს გავერდიდან (ნახ. 7.21), ვერტიკალური რეაქცია გადაეცემა კოჭის საყრდენი წიბოთი საყრდენ მაგიდას, რომელიც მიდუღებულია კოლონის თაროზე. საყრდენ მაგიდა უნდა გაირანდოს. მაგიდის სისქეს ღებულობან 20-40 მმ-ს. მაგიდის სისქე დაახლოებით 10 მმ-ით მეტი უნდა იყოს საყრდენ წიბოზე.

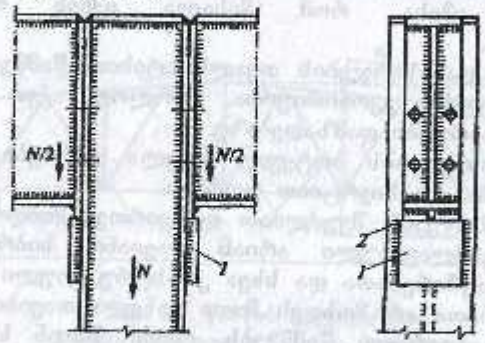
მაგიდის კოლონასთან მისადუღებელი ნაკერების სიგრძეებს ანგარიშობენ ფორმულებით:

$$\tau_w = \frac{1{,}3N}{\beta_f \kappa_f l_w} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c; \text{ თუ } \beta_f R_{wf} < \beta_z R_{wz} \quad (7.52)$$

ან

$$\tau = \frac{1{,}3N}{\beta_z \kappa_f l_w} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c; \text{ თუ } \beta_f R_{wf} > \beta_z R_{wz} \quad (7.53)$$

კოეფიციენტი 1,3 ითვალისწინებს მაგიდის და საყრდენი წიბოს არაპარალელურ დაყენებას დამზადების უზუსტობის გამო. კოჭი საყრდენი წიბოებით კოლონის თაროზე დამაგრებული უნდა იქნას ჭანჭიკებით, ისე რომ ნახვრეტის დიამეტრი 2-3 მმ-ით უნდა იყოს მეტი ჭანჭიკის დიამეტრზე.



ნახ. 7.21. კოჭის სვეტზე გვერდიდან დაყრდნობა: 1-საყრდენი მაგიდა; 2-კოჭის საყრდენი წიბოს გვერდი-გაირანდოს.

წამწეები

8.1. წამწეების კლასიფიკაცია და მისი გამოყენების არე

წამწე (ფერმა) ეწოდება ღეროების სისტემას (ძირითადად წრფივჰაზოვანს), რომლებიც შეერთებული არიან ერთმანეთთან კვანძებში და სახსრული კვანძებით ქმნიან გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას (კონსტრუქციას). წამწის კონსტრუქციაში ძალები მოდებულია კვანძებში და რეალურ პირობებში არსებული კვანძების სიხისტეს უმნიშვნელო გავლენა აქვს კონსტრუქციის მუშაობაზე. პირველი მიახლოებით ის შეიძლება ჩავთვალოთ სახსრულად. ასეთ შემთხვევაში წამწის ყველა ღერო ღებულობენ მხოლოდ ღერძული გაჭიმვის ან კუმშვის ძალვებს. კოჭებთან შედარებით ეს პირობები იძლევა უფრო ხელსაყრელ საშუალებას იმისა, რომ მასალა იქნეს მაქსიმალურად გამოყენებული.

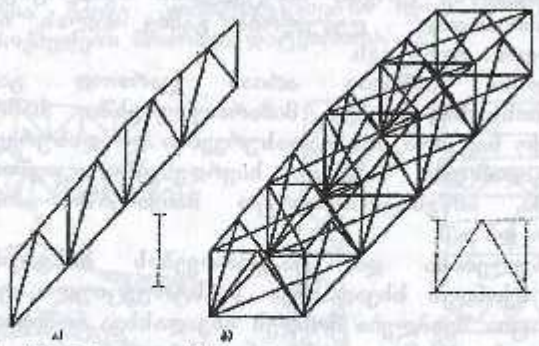
მასალაზე დანახარჯების თვალსაზრისით წამწეები კოჭებთან შედარებით უფრო ეკონომიურია, მხოლოდ აქვთ უფრო მეტი შრომის დანახარჯები დამზადებაზე.

წამწეები არსებობს ბრტყელი (ყველა ღეროები მდებარეობენ ერთ სიბრტყეში) და სივრცითი ფორმის.

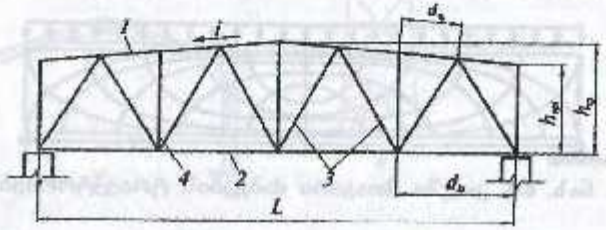
ბრტყელ წამწეებს შეუძლიათ დატვირთვა მიიღონ ძალებიდან, რომლებიც განლაგებული არიან თავიანთ სიბრტყეში. ისინი საჭიროებენ კავშირებითა და სხვა კონსტრუქციული ელემენტებით ჩამაგრებას, რათა არ მოხდეს მათი გასვლა თავისი სიბრტყიდან. რაც შეეხება სივრცით წამწეებს, ისინი ქმნიან სივრცით ხისტ ბლოკს, რომელსაც შეუძლია მიიღოს დატვირთვა ძალების ნებისმიერი მიმართულებით (ნახ. 8.1)

წამწეების ძირითად ელემენტებს წარმოადგენს სარტყლები, რომლებიც ქმნიან წამწის კონტურს და გისოსი, რომელიც შედგება ირიბანებისა და დგარებისაგან (ნახ. 8.2) ელემენტების კვანძებში შეერთება ხორციელდება ან ერთი ელემენტის სხვასთან უშუალო მიერთებით (ნახ. 8.3,ა), ან საკვანძო ფურცლების გამოყენებით (ნახ. 8.3,ბ). იმისათვის რომ შემცირებული იქნეს კვანძებში მომენტი, ახდენენ წამწის ელემენტების დაცენტრებას სიმძიმის ღერძების გასწვრივ.

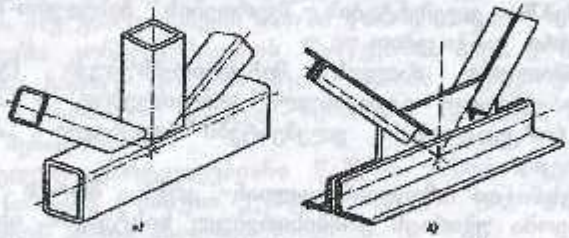
სარტყლის მეზობელ კვანძებს შორის მანძილს პანელი ეწოდება ($d_ზ$-ზედა სარტყლის პანელი; $d_ქ$-ქვედა სარტყლის პანელი), საყრდენებს შორის მანძილს კი, მალი (l).



ნახ. 8.1. ბრტყელი (ა) და სივრცითი (ბ) წამწეები.



ნახ. 8.2. წამწის ელემენტები:
1-ზედა სარტყელი; 2-ქვედა სარტყელი;
3-ირიბანები; 4-დგარები.



ნახ. 8.3. წამწის კვანძები:
ა-ელემენტების უშუალო მიერთებით; ბ-საკვანძო ფურცლებით.

წამწის სარტყელები ძირითადად მუშაობენ გრძივ ძალაზე და მღუნავ მომენტზე (კოჭის სარტყელების ანალოგიურად); წამწის გისოსი ძირითადად ღებულობს განივ ძალას. ის ასრულებს კოჭის კედლის ფუნქციას.

ფოლადის წამწეები არიან ფართოდ გავრცელებული მშენებლობის სხვადასხვა მიმართულებებში: სამრეწველო და სამოქალაქო ნაგებობების გადახურვებსა და დახურვებში ხიდებში, ელექტროგადამცემი ხაზების საყრდენებში, კავშირგაბმულობის ობიექტებში, ამწესატრანსპორტო მანქანებში, ჰიდროტექნიკურ ჩამკეტებში და ა.შ.

დანიშნულებისა და დატვირთვების მიხედვით წამწეებს შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა კონსტრუქციული ფორმები. მათი კლასიფიკაცია შეიძლება მოხდეს სხვადასხვა ნიშნებით:

სტატიკური სქემით: კოჭოვანი (ჭრილი, უჭრი, კონსოლური), თაღოვანი, ჩარჩოვანი, კომბინირებული (ნახ. 8.5).



ნახ. 8.4. კოჭში მთავარი ძაბვების ტრაექტორიები.

სარტყელების მოხაზულობით: წამწეები პარალელური სარტყელებით, ტრაპეციული, სამკუთხა, პოლიგონალური, სეგმენტური (ნახ. 8.6).

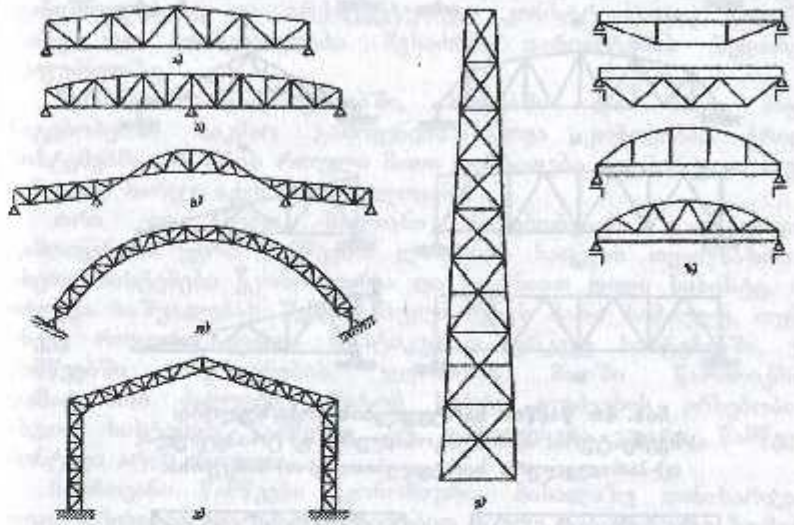
გისოსის სისტემით: სამკუთხა ირიბნებიანი, ჯვარედინი, რომბული და სხვა (ნახ. 8.7).

კვანძებში ელემენტების შეერთების მიხედვით-შედუღებული, მოქლონური, ჭანჭიკებით.

მაქსიმალური ძალვის მიხედვით-მსუბუქი (ერთკედლიანი კვეთებით უბრალო გაგლინული პროფილებით $N \leq 3000$ კნ) და მძიმე (ორკედლიანი ელემენტები-შედგენილი პროფილებით $N > 3000$ კნ).

წამწესა და მთლიანკედლიან კოჭს შორის შუალედური მდგომარეობა უჭირავს კომბინირებულ სისტემებს. ისინი შედგება კოჭისაგან, რომელიც ქვემოდან გამაგრებულია შპრენგელით ან ირიბნებით, შესაძლებელია ასევე კოჭი გამაგრებული იყოს ზემოდან თაღით. გამამაგრებელი ელემენტები ამცირებენ კოჭში მღუნავ მომენტს და ამაღლებენ სისტემის სიხისტეს. ასეთ

სისტემაში არსებული ელემენტების მცირე რიცხვის გამო შპრენგელური სისტემა ადვილია დასამზადებლად. ეს სისტემა რაციონალურია მძიმე კონსტრუქციებში და კონსტრუქციებში, რომელზეც მოქმედებს მოძრავი დატვირთვა.



ნახ. 8.5. წამწის სისტემები:
ა)-კოჭოვანი ჭრილი; ბ)-უჭრი; გ),ე)-კონსოლური;
დ)-თაღოვანი; ე)-ჩარჩოვანი;

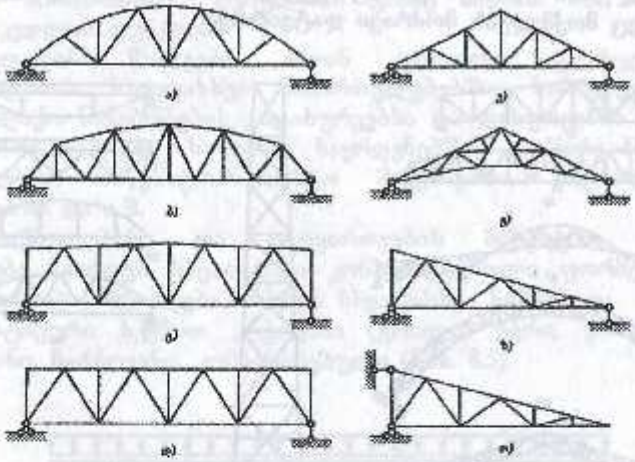
წამწეებისა და კომბინირებული სისტემის ეფექტურობა ამაღლდება, თუ გამოვიყენებთ მათში წინასწარი დაძაბვის იდეას.

ამწისქვეშა კონსტრუქციების წამწეებში და კომბინირებულ სისტემებში, სადაც კონსტრუქციის მასის შემცირება იძლევა საგრძნობ ეკონომიურ ეფექტს, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ალუმინის შენადნობები.

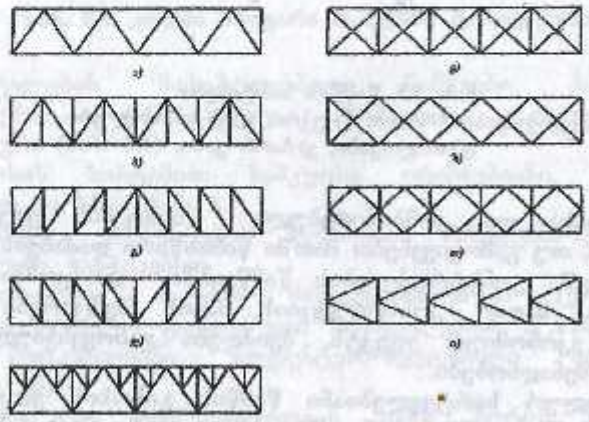
პარალელურ სარტყელებიანი წამწის გისოსის ელემენტებში ძალვების ნიშნები ("მინუსი"-კუმშვა, "პლიუსი"-გაჭიმვა) შეიძლება განისაზღვროს კოჭის ანალოგიურად.

თუ ავაგებთ კოჭებში მთავარი ძაბვების ტრაექტორიებს (ნახ. 8.4), შევამჩნევთ, რომ ირიბანები რომლებიც მიმართული არიან მთავარი გამჭიმავი ძაბვების წირების მიმართულებით მუშაობენ

გაჭიმვაზე, ხოლო ირიბანები რომლებიც მიმართული არიან მთავარი მკუშაო ძაბვების წირების მიმართულებით კუმშვაზე.



ნახ. 8.6. წამწის სარტყელების მოხაზულობა:
ა)-სეგმენტური; ბ)-პოლიგონალური; გ)-ტრაპეციული;
დ)-პარალელური სარტყელებით; ე)-თ)-სამკუთხა.



ნახ. 8.7. წამწების გისოსების ხისტემა:
ა)-სამკუთხა; ბ)-სამკუთხა დამატებითი დგარებით; გ)-ირიბანებიანი აღმავალი ირიბანებით; დ)-ირიბნებიანი დაღმავალი ირიბნებით;
ე)-შპრენგელური; ვ)-ჯვარედინი; ზ)-გადაჯვარედინებული;
თ)-რომბისებური; ი)-ნახევრადირიბნებიანი.

8.2. წამწეების კონსტრუქციის დეტალური დაგეგმარება

8.2.1. წამწის სტატიკური სქემისა და მოხაზულობის შერჩევა. სტატიკური სქემისა და მოხაზულობის შერჩევა წარმოადგენს კონსტრუქციის დაპროექტების პირველ ეტაპს. ის დამოკიდებულია დანიშნულებაზე და არქიტექტურულ კონსტრუქციულ გადაწყვეტაზე და ხორციელდება შესაძლო ვარიანტების შედარების საფუძველზე.

შენობების გადახურვებში, ხიდებში და სხვა მსგავს ნაგებობებში საკმაო გამოყენება ჰპოვა კოჭოვანმა ჭრილმა სისტემებმა. არ არის რთული მათი დამზადება და მონტაჟი, თუმცა მასალის ხარჯი აქვს მნიშვნელოვანი.

ორი და მეტი მალიანი ნაგებობების გადახურვისას გამოიყენება უჭრი წამწეები. ლითონის ხარჯის თვალსაზრისით ასეთი სისტემები ეკონომიურია და გააჩნიათ დიდი სიხისტე, რაც იძლევა საშუალებას შემცირებული იქნეს მათი სიმაღლე. თუმცა, ისევე როგორც ყველა სტატიკურად ურკვევ სისტემებში, უჭრ წამწეებში საყრდენების ჯდომისას მათში წარმოიქმნება დამატებითი ძალვები, ამიტომ სუსტი ფუძეების არსებობისას ასეთი სისტემის წამწეები არ გამოიყენება. უჭრი წამწეების მონტაჟი არის რთული.

ჩარჩოვანი წამწეები ეკონომიურია მასალაზე დანახარჯების თვალსაზრისით და აქვთ შედარებით მცირე გაბარიტული ზომები.

ა) ჩარჩოვანი სისტემის მონტაჟი არის რთული. მათი გამოყენება რაციონალურია დიდმალიან ნაგებობებში.

მართალია თაღოვანი სისტემების გამოყენება იძლევა მასალის მნიშვნელოვან ეკონომიას, მაგრამ მას მივყავართ ნაგებობის მოცულობის გადიდებასთან და ზედაპირის შემომსაზღვრელი კონსტრუქციების გაზრდასთან. მათი გამოყენება ძირითადად განპირობებულია არქიტექტურული მოთხოვნებით.

კონსოლური წამწეები გამოიყენება კიდულებში, კოშკებში, ელექტრო-გადამცემი ხაზების საყრდენებში და ა.შ.

წამწის მოხაზულობა უნდა შეესაბამებოდეს მღუნავი მომენტების ეპიურის მოხაზულობას. ასევე გასათვალისწინებელია სახურავის მასალა, წყლის გადაყვანისათვის საჭირო აუცილებელი დახრა, კოლონასთან შეერთების სახე (ხისტი და სახსრული...

წამწის სარტყლების მოხაზულობა ძირითადად განსაზღვრავს მის ეკონომიურობას. თეორიულად მასალის ხარჯვის თვალსაზრისით ის წამწეებია ეკონომიური, რომელთა სარტყლების მოხაზულობა შეესაბამება მომენტების ეპიურას. ერთმალიანი კოჭოვანი სისტემისათვის თანაბრად განაწილებული დატვირთვისას ეს არის სეგმენტური წამწე პარაბოლური მოხაზულობის

სარტყლით (ნახ. 8.6,ა). მხოლოდ სარტყლის მრუდწირული მოხაზულობა მნიშვნელოვნად ზრდის შრომატევადობას დამზადებაზე, ამიტომ ასეთი წამწეები გამოიყენება ძალიან იშვიათად. უფრო მისაღებია პოლიგონური მოხაზულობა (ნახ. 8.6,ბ), რომელიც ახლოს არის მომენტების ეპიურასთან. ეს მისაღებია მძიმე დიდმალიან წამწეებში, რადგან მისი სარტყლის ცალკეული ელემენტი უნდა აიკრიბოს მოედანზე, ტრანსპორტირების პირობების გამო.

მსუბუქი წამწეებისათვის პოლიგონური მოხაზულობა არარაციონალურია, რადგან კვანძების გართულება არ გამოისყიდება ფოლადის უმნიშვნელო ეკონომიით.

ტრაპეციული მოხაზულობის წამწეები (ნახ. 8.6,გ), თუმცა არც ისე ძალიან შეეხაბამებიან მომენტების ეპიურას, აქვთ კონსტრუქციული უპირატესობა, ყველაზე უფრო მეტად კვანძების გამარტივების საფუძველზე. ამას გარდა გადახურვაში ასეთი წამწის გამოყენება იძლევა საშუალებას შეიქმნას ხისტი საყრდენი კვანძი, რაც თავის მხრივ ამაღლებს ნაგებობის სიხისტეს.

წამწეები პარალელური სარტყლებით (ნახ. 8.6,დ) თავისი მოხაზულობით მართალია არ ემთხვევა მომენტების ეპიურას, მაგრამ გისოსის ელემენტების თანაბარი სიგრძეები, კვანძების ერთნაირი სქემები, ელემენტების ყველაზე მეტჯერ განმეორება და მათი უნიფიცირების საშუალება იძლევა მათი დამზადების ინდუსტრიალიზაციის პირობას. ამის გამო პარალელურსარტყლებიანი წამწეები გახდნენ სამრეწველო შენობების გადახურვის ძირითად ტიპად.

წამწეები სამკუთხა მოხაზულობით (ნახ. 8.6,ე-თ) რაციონალურია გამოყენებულ იქნეს კონსოლურ სისტემებში, ასევე მალის შუაში მოდებული შეყურსული ძალის მოქმედებისას (ნივნივქვეშა წამწე). განაწილებულ დატვირთვისას სამკუთხა წამწეებს აქვთ მასალის გადაჭარბებული ხარჯი. მათ აქვთ ასევე კონსტრუქციული ნაკლები, კერძოდ, საყრდენი მახვილი კვანძი არის რთული და იძლევა მხოლოდ კოლონასთან სახსრული შეერთების შესაძლებლობას. შუა ირიბნები მიიღება ძალიან გრძელი და გვიწევს მათი კვეთების შერჩევა არა საჭირო ფართობის მიხედვით, არამედ ხღვრულე მოქნილობის მიხედვით, რაც იწვევს მასალის გადახარჯვას. თუმცა, როცა არის საჭირო ცალმხრივი თანაბარი განათების მოწყობა (შედური გადახურვები) გამოიყენება ასეთი წამწეები.

8.2.2. წამწეების გენერალური ზომების დადგენა. *წამწის მალის განსაზღვრა.* მალი ანუ წამწის სიგრძე უმეტეს შემთხვევაში განისაზღვრება საექსპლუატაციო მოთხოვნებით და შენობის

დაგეგმარების პირობით. ის შეიძლება იქნეს რეკომენდებული კონსტრუქტორის მიერ.

სამკუთხა წამწის სიმაღლის განსაზღვრა. სამკუთხა წამწეებში (ნახ. 8.6,ე) სიმაღლე წარმოადგენს მალისა და სახურავის დახრის ფუნქციას, რომლებიც დამოკიდებული არიან სახურავის მასალაზე. ჩვეულებრივ სამკუთხა წამწეებს უკეთებენ $20^\circ \div 25^\circ$-იან დახრას, რასაც შეესაბამება წამწის $h = \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{2}\right) \cdot l$ სიმაღლე.

მალის შუაში წამწის სიმაღლე შეიძლება შევამციროთ, თუ მივცემთ ქვედა სარტყელს წამოწეულ მოხაზულობას (იხ. ნახ. 8.6,ვ). ამ დროს საყრდენი კვანძი არ უნდა იყოს ძალიან მახვილი.

ტრაპეციული მოხაზულობის წამწეებისა და პარალელურსარტყლებიანი წამწეების სიმაღლის განსაზღვრა. თუ არ არის კონსტრუქციული შეზღუდვა, წამწის სიმაღლე მიღებული უნდა იქნეს უმცირესი მასის პირობიდან ე.ი. ეკონომიური მოსაზრებიდან. წამწის მასა შედგება სარტყლებისა და გისოსის მასისაგან. სიმაღლის გაზრდით სარტყლების მასა მცირდება, რადგან სარტყლებში ძალები უკუპროპორციულია სიმაღლისა h.

გისოსის მასა პირიქით, წამწის სიმაღლის გაზრდით იზრდება, რადგან იზრდება ირიბანებისა და დგარების სიგრძე. აქედან გამომდინარე შესაძლებელია მოძებნილი იქნეს წამწის ოპტიმალური სიმაღლე, რომლის დროსაც სარტყლებისა და გისოსის მასა იქნება უმცირესი.

გაანგარიშებები გვაჩვენებს, რომ ასეთი მიდგომით წამწეების ოპტიმალური სიმაღლე არის $(1/4 - 1/5) \cdot l$ მალისა. ამას მივყავართ იქამდე, რომ 20 მეტრიანი წამწის სიმაღლე არის ზღვრულზე მეტი- 3,85. ეს ზღვრული პირობა დადგენილია ტრანსპორტირების პირობიდან. ამას გარდა იზრდება შენობის მოცულობა, რისთვისაც საჭიროა გათბობასთან დაკავშირებული დამატებითი დანახარჯები და სხვა მიზეზების გამო სიმაღლის განსაზღვრის ზემოთაღნიშნული მიდგომა არ გამოდგება.

ზემოთაღნიშნული მიზეზების გათვალისწინებით წამწის სიმაღლედ ღებულობენ მალის (1/7...1/12)-ს. მსუბუქი წამწეებისათვის ეს მნიშვნელობა არის უფრო მცირე.

სიხისტის პირობის მიხედვით წამწეების სიმაღლის განსაზღვრა. წამწის შესაძლო უმცირესი სიმაღლე დგინდება დასაშვები ჩაღუნვის პირობიდან. მოძრავ დატვირთვებზე მომუშავე კონსტრუქციებზე მოთხოვნები სიხისტის პირობაზე არის შედარებით მაღალი- $f/l = (1/750 + 1/1000)$.

წამწის ჩაღუნვა შესაძლებელია განსაზღვრული იქნეს მორის ანალიზური ფორმულით:

$$f = \sum \frac{N_i \bar{N}_i l_i}{EA} \qquad (8.1)$$

სადაც N_i-მოცემული დატვირთვისაგან წამწის ღეროებში აღძრული ძალეაა; $\bar{N}_i$-ძალეა იმავე ღეროში აღძრული ერთეულოვანი ძალისაგან, რომელიც მოდებულია იმ წერტილში, რომელშიც უნდა განისაზღვროს ჩაღუნვა ჩაღუნვის მიმართულებით.

მორის ფორმულის მიხედვით შეიძლება მიღებული იქნეს პარალელურსარტყლებიანი წამწის უმცირესი სიმაღლის მალთან შეფარდების ფორმულა:

$$\frac{h_{\min}}{l} = \frac{6,5}{24}\left[\frac{f}{l}\right]\frac{\sigma}{E}\left(1+2\frac{h}{l}\right); \qquad (8.2)$$

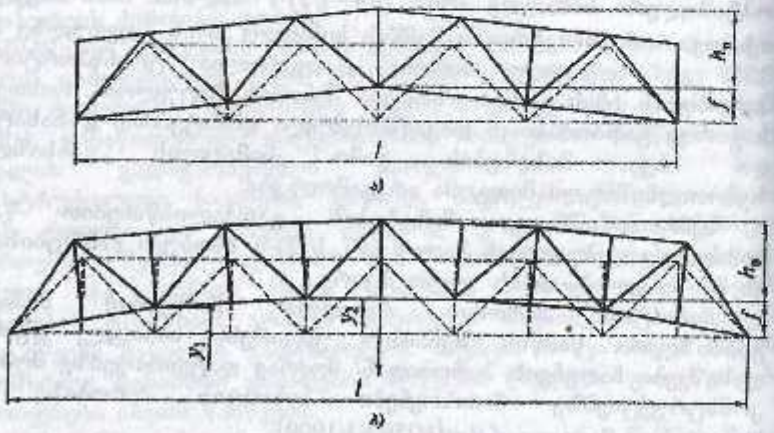
f/l-არის წამწის ზღვრული ჩაღუნვის შეფარდება მალთან.

σ-სარტყელში მაქსიმალური ძალეა; რადგანაც ძალეა განისაზღვრება ნორმატიული დატვირთვისაგან $(\gamma_f = 1)$

$$\sigma = \frac{g_n + p_n}{g_n\gamma_g + p_n\gamma_p} R_y \qquad (8.3)$$

p_n და g_n-დროებითი და მუდმივი ნორმატიული დატვირთვებია;

γ_p და γ_g-შესაბამისი საიმედობის კოეფიციენტები დატვირთვის მიხედვით.



ნახ. 8.8. სამშენებლო აწევის სქემები:
ა)-ერთი და ბ)-რამოდენიმე გამსხვილებული შეერთებისას.

სამშენებლო აწევა. როდესაც წამწის მალი $l \geq 36$ მ, აგრეთვე ალუმინის შენადნობებისაგან დამზადებულ წამწეებში, ასევე რამოდენიმე გამსხვილებული შეერთებისას, ადგილი აქვს დიდ ჩაღუნვებს, რომლებიც აუარესებენ საექსპლუატაციო პირობებს და საგრძნობი დეფორმაციის გამო ქმნიან არასასიამოვნო შთაბეჭდილებას. ამის საწინააღმდეგოდ წამწეებს სჭირდებათ სამშენებლო აწევა (ნახ. 8.8).

პარალელურსარტყლებიან წამწეებში-ბრტყელი სახურავის დროს სამშენებლო აწევა გათვალისწინებული უნდა იქნეს მალის სიდიდის მიუხედავად, იგი აიღება მთელი ნორმატიული დატვირთვით გამოწვეული ჩაღუნვის სიდიდისა და $l/200$-ის ჯამის ტოლი, სამშენებლო აწევის ეს სიდიდე f წამწეს მიეცემა მალის შუაში, ე. ი. სარტყლების პირაპირის მოწყობის ადგილზე.

8.2.3. წამწეების გისოსების სისტემა და მათი მახასიათებლები. წამწეების გისოსი მუშაობს განივ ძალაზე და ასრულებს მთლიანკედლიანი კოჭის კედლის ფუნქციას.

გისოსის სამკუთხა სისტემა ტრაპეციული მოხაზულობის ან პარალელურ-სარტყლებიანი წამწეებისათვის მეტად მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს სამკუთხა მოხაზულობის გისოსი (ნახ. 8.7,ა). გისოსის სამკუთხა სისტემას აქვს უმცირესი ჯამური სიგრძე, კვარძების უმცირესი რიცხვი. წამწეები, რომლებზეც განლაგებულია სახურავის გრძივები ან ფენილის კოჭები, გისოსის სამკუთხა სისტემას ხშირად უმატებენ დამატების დგარებს (იხ. ნახ. 8.7,ბ), ტვირთის ქვედა სარტყელზე მოდებისას სამკუთხა გისოსს უმატებენ კიდულებს. ისინი ამცირებენ წამწის კვანძებს შორის მანძილს. შეკუმშულ სარტყელში ამცირებენ საანგარიშო სიგრძეს.

სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში ხშირად იყენებენ გისოსების სამკუთხა სისტემას.

ამ სისტემის უარყოფითი მხარეა მასში შეკუმშული გრძელი ირიბანების არსებობა (პარალელურ სარტყლებიანში-აღმავალი, სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში დაღმავალი).

გისოსის ირიბნებიანი სისტემა. მისი დაპროექტებისას უნდა ვეცადოთ, რომ ყველაზე უფრო გრძელი ელემენტები-ირიბანები იყვნენ გაჭიმულები, ხოლო დგარები-შეკუმშულები. ეს მოთხოვნები დაკმაყოფილდება პარალელურ სარტყლებიან წამწეებში დაღმავალი ირიბანებისას (ნახ. 8.3,დ), ხოლო სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში აღმავალი ირიბანებისას (ნახ. 8.7,გ). მხოლოდ სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში აღმავალი ირიბნები ქმნიან კონსტრუირებისათვის მოუხერხებელ კვანძებს და აქვთ

დიდი სიგრძე, რადგან მდებარეობენ დიდი დიაგონალის გასწვრივ. ამიტომ სამკუთხა მოხაზულობის წამწეებში მიზანშეწონილია გამოყენებული იქნეს დაღმავალი ირიბანები (ნახ. 8.6,ე). მართალია ისინი მიიღება როგორც შეკუმშულები, მაგრამ მათი სიგრძეები არის უფრო მცირე და წამწის კვანძები არიან უფრო კომპაქტურები.

სპეციალური სისტემის გისოსები. წამწის დიდი სიმაღლისას (დაახლოებით 4-5 მ) და ირიბნების რაციონალური კუთხით დახრისას (დაახლოებით 35-45°) პანელები შეიძლება იქნეს ძალიან დიდი. ასეთ შემთხვევაში მოუხერხებელია გადახურვის გრძივებისა და სხვა ელემენტების განლაგება. იმისათვის, რომ შევამციროთ პანელის ზომები და შევინარჩუნოთ ირიბნების რაციონალური დახრის კუთხეები, გამოყენებული უნდა იქნეს შპრენგელური გისოსი (იხ. ნახ. 8.7,ე).

ზოგიერთ სამკუთხა წამწეს გააჩნია განსაკუთრებული სახის შპრენგელური გისოსი (ნახ. 8.6,ვ). ეს სისტემა გამოიყენება სამკუთხა წამწის დიდი დახრის კუთხეებისას $(\alpha = 35^0 \ldots 45^0)$ და სამკუთხა წამწის დიდი მალებისას ($l = 20 \cdots 24$ მ).

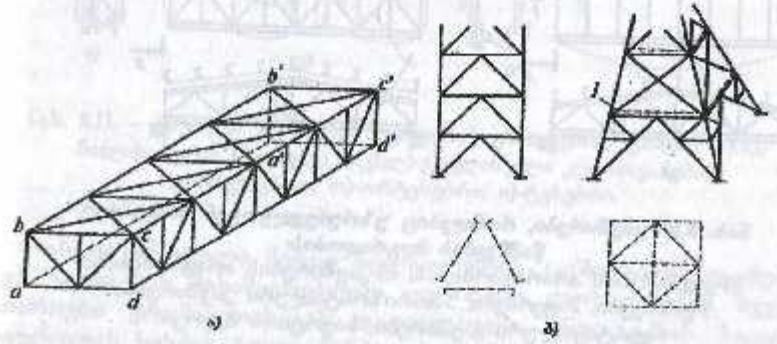
წამწეებში, რომლებიც მუშაობენ ორმხრივ დატვირთვაზე, როგორც წესი ეწყობა ჯვარედინი გისოსი (იხ. ნახ. 8.7,ვ). ასეთ წამწეებს მიეკუთვნება სამრეწველო შენობის ჰორიზონტალური კავშირის წამწეები, კოშკების ვერტიკალური წამწეები და ა.შ. წამწეებში ფართოფარფლებიანი T-ების საშუალებით დაპროექტებულ სარტყელებს ერთმანეთთან აერთებენ ცალმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილ ჯვარედინა გისოსით (იხ. ნახ. 8.7,ზ).

რომბისებურ და ნახევრადრიბნულ გისოსებს (იხ. ნახ. 8.7,თ,ი) გააჩნიათ დიდი სიხისტე. ასეთი სისტემები გამოიყენება ხიდებში, კოშკებში, ანძებში და სხვა კონსტრუქციებში.

8.2.4. წამწეების მდგრადობის უზრუნველყოფა. ბრტყელი წამწე არამდგრადია თავისი სიბრტყის მართობული სიბრტყეში. იმისათვის, რომ წამწე გახდეს მდგრადი საჭიროა იგი მივაერთოთ ხისტი კონსტრუქციით სხვა წამწესთან. ამის შედეგად შეიქმნება მდგრადი ბლოკი (ძელი) (ნახ. 8.9,ა). ასეთი ბლოკის მდგრადობის უზრუნველყოფისათვის აუცილებელია, რომ ის იყოს გეომეტრიულად უცვლელი.

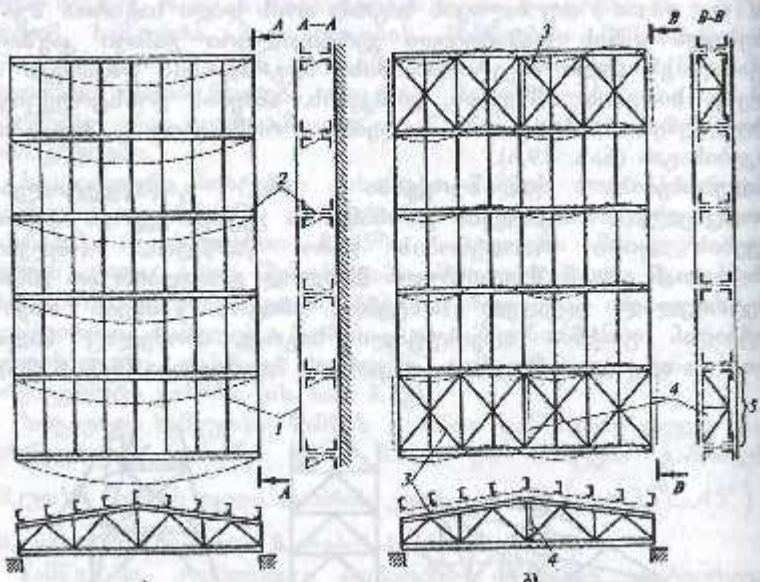
ბლოკის წიბოები (ნახ. 8.9,ა) ფორმირდება ორი ვერტიკალური ბრტყელი წამწისაგან ($abb'a'$ და $dcd'c'$), ორი მათი მართობულ ჰორიზონტალურ სიბრტყეში განლაგებული კავშირებით, რომლებიც მდებარეობენ წამწეების სარტყლებზე ($cbb'c'$ და $ada'd'$) და სულ ცოტა ორი ვერტიკალური განივი კავშირებით ($abcd$ და $a'b'c'd'$). თუ ბლოკის სიგრძე არის დიდი საჭიროა შუაში ჩაეყენებული იქნეს დამატებითი ვერტიკალური განივი კავშირი. რადგანაც ეს ძალი ჩაკეტილია მისი მდგრადობის დაკარგვა არ მოხდება. ხიდების, ამწეების, კოშკების, ანძების კონსტრუქციები წარმოადგენენ სივრცით ძელებს, რომლებიც შედგებიან ბლოკებისაგან (ნახ. 8.9,ბ).

ნაგებობების გადახურვებში ამ გადაწყვეტილების განხორციელება რთულდება ერთმანეთის გვერდი-გვერდ მდებარე წამწეების დიდი რაოდენობის გამო. წამწეები, რომლებიც ერთმანეთთან არიან შეერთებული მხოლოდ გრძივებით არ ქმნიან გეომეტრიულად უცვლელ სისტემას. ამიტომ წამწებს თავისი სიბრტყიდან გააჩნია თავისუფალი სიგრძე, რომელიც მალის ტოლია და ადვილად შეუძლია დაკარგოს მდგრადობა (ნახ. 8.10,ა).



ნახ. 8.9. წამწეების შეერთება სივრცით სისტემად: ა)-სანიმუშო წამწეები; ბ)-კოშკები; 1-დიაფრაგმა.

ასეთ შემთხვევაში წამწეების მდგრადობის უზრუნველყოფა ხდება რამდენიმე მდგრადი ბლოკის საშუალებით. ეს ბლოკები იქმნება ორი მეზობელი წამწისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეერთებული არიან ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კავშირებით (ნახ. 8.10,ბ). ამ ბლოკებთან მიმაგრებული არიან გრძივები, განმბრჯენები და ა.შ. თუ გრძივი არ არის მიმაგრებული კავშირის დიაგონალთან, მაშინ წამწის სიბრტყის მართობულ სიბრტყეში წამწის ზედა სარტყლის სიგრძე ტოლია ორი პანელის სიგრძისა (იხ. ნახ. 8.10,ბ).



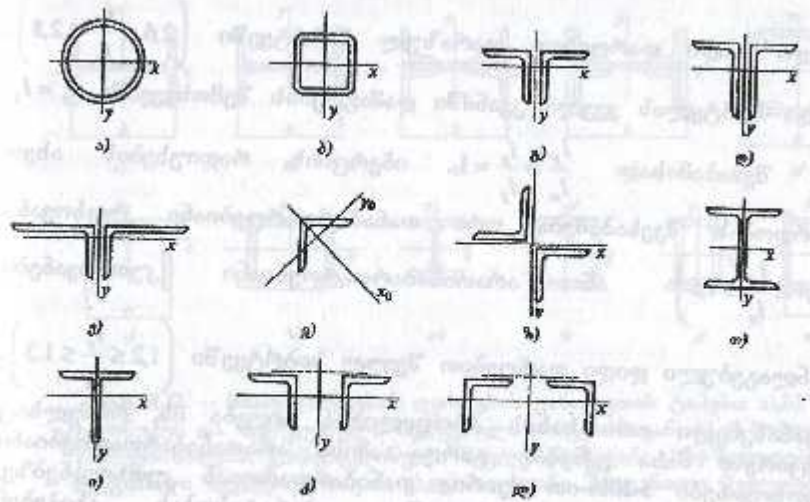
ნახ. 8.10. კავშირები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სანიენიო წამწეების მდგრადობას:
ა)-კავშირების არარსებობისას; ბ)-კავშირების არსებობისას;
1-გრძივები; 2-ფურმები; 3-ჰორიზონტალური კავშირები;
4-ვერტიკალური კავშირები; სიფრციონი ბლოკი.

8.3. წამწის ღეროების განიკვეთის ტიპები

8.3.1. მსუბუქი წამწის ღეროები. მსუბუქი წამწეების ელემენტების განივკვეთის ყველაზე მეტად გავრცელებული სახეები ნაჩვენებია ნახ. 8.11.-ზე. წამწეების შეკუმშული ღეროებისათვის ყველაზე მეტად ეფექტურ ტიპს წარმოადგენს თხელკედლიანი მილოვანი და ნალუნ-ჩაკეტილი კვეთები (ნახ. 8.11,ა,ბ). წამწეებში ასეთი პროფილების გამოყენება იძლევა დაახლოებით 20-25% მახალის ეკონომიას.

წამწის ელემენტების განიკვეთის ძირითად ტიპებად ასევე მიღებულია ტესებრი პროფილი, შემდგარი ორი თანაბართაროიანი ან არათანაბართაროიანი კუთხოვანებისაგან (ნახ. 8.11,გ,დ,ე).

გამონაკლისს წარმოადგენს წამწის საყრდენი და კვხის დგარები. ამ ელემენტებისთვის განიკვეთად აიღება ჯვარედინად განლაგებული ორი თანაბართაროებიანი კუთხოვანა (ნახ. 8.11,ზ).



ნახ. 8.11. – მსუბუქი წამწეების ღეროების განიკვეთის ტიპები: ა),ბ),-მილისებური; გ),დ),ე),ვ),ზ),კ),ლ)-გაგლინული კუთხოვანების გამოყენებით; თ)-ორტესებრი; ი)-ტუსებრი.

ასეთი პროფილი მეტად ხელსაყრელია კავშირების, დგარებისა და საკოჭების მისამაგრებლად. ღეროების კუთხოვანების შეერთების თარაოები ერთმანეთისაგან დაცილებული უნდა იქნან საკვანძო ფურცლის სისქის ტოლი მანძილით. სასურველია ზედა სარტყლის ელემენტების განიკვეთები ისე შეირჩეს, რომ მათი მოქნილობები განიკვეთების მთავარი ღერძების მიმართ იქნეს ტოლი $(\lambda_x = \lambda_y)$. განიკვეთი იქნება ტოლსიხისტიანი, თუ

$$\frac{l_x}{i_x} = \frac{l_y}{i_y} \quad \text{ან} \quad \frac{i_x}{i_y} = \frac{l_x}{l_y}; \tag{8.4}$$

აქედან გამომდინარე, თუ წამწის ზედა სარტყელი ჰორიზონტალურ სიბრტყეში დამაგრებულია თითო კვანძის გამოშვებით (მაგ. უგრძივო გადახურვებში) $l_x = 2l_y$ და, მაშასადამე, $\frac{l_x}{l_y} = \frac{i_y}{i_x} = 2$. ინერციის რადიუსების ასეთ ფარდობას ყველაზე მეტად შეესაბამება ორი არათანაბართაროებიანი კუთხოვანა, განლაგე-

ბული დიდი თაროებით თარაზულ სიბრტყეში $\left(2,6 \le \frac{i_y}{i_x} \le 2,8\right)$. ზედა სარტყლის ყველა კვანძში დამაგრების შემთხვევაში $l_x = l_y$ და შესაბამისად: $\frac{l_y}{l_x} = \frac{i_x}{i_y} = 1$. ინერციის რადიუსების ასეთ ფარდობას შეესაბამება ორი თანაბართაროვებიანი კუთხოვანა $\left(1,4 \le \frac{i_y}{i_x} \le 1,5\right)$ ან არათანაბართაროვებიანი კუთხოვანები განლაგებული დიდი თაროებით შვეულ სიბრტყეში $\left(1,2 \le \frac{i_y}{i_x} \le 1,3\right)$.

უკანასკნელი ორი სახის პროფილიდან აიღება ის, რომელსაც უმცირესი მასა ექნება. გარდა ამისა არათანაბართაროვებიანი კუთხოვანები 5–10%-ით ძვირია თანაბართაროიან კუთხოვანებზე, ამიტომ უმეტეს შემთხვევაში უპირატესობას ანიჭებენ უკანასკნელს. ქვედა სარტყლის ელემენტების განიკვეთის ძირითად პროფილად მიიღება იგივე, რაც წამწის ზედა სარტყელისათვის.

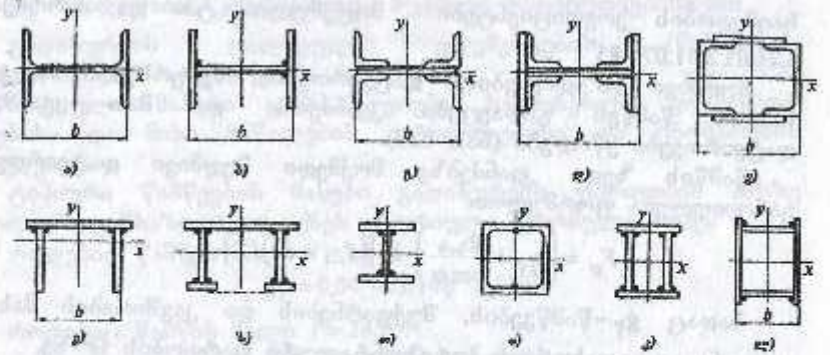
წამწის შუალედი ირიბანების და დგარების სიგრძეები ტოლია $l_x = (1 \div 0,8) \cdot l$-ს და $l_y = l$-ს, რის გამო $\frac{l_y}{l_x} = \frac{i_y}{i_x} \approx (1,25 \div 1,0)$. ინერციის რადიუსების ასეთ ფარდობას უკეთ შეესაბამება ტესებრი პროფილი შემდგარი ორი თანაბართაროვებიანი კუთხოვანისაგან (ნახ. 8.11,გ).

შედარებით მცირე დატვირთვებისას გამოიყენება კვეთები ცალი კუთხოვანისაგან, ასეთი კვეთები მარტივია დამზადების თვალსაზრისით (ნახ. 8.11,ვ).

უკანასკნელ ხანებში წამწის ზედა და ქვედა სარტყლებად გეგმარდება შედუღებული ტესებრი, ორტესებრი ან მილისებრი პროფილები (ნახ. 8.11,ი,თ,ა).

შედუღებული ტესებრი და ორტესებრი პროფილის დადებითი მხარეა: მცირე წონა, შეღებვის სიადვილე, უარყოფითი–დამზადების სირთულე. მილისებრი პროფილები ხასიათდებიან მასალის მცირე ხარჯით და ურთიერთმართობ სიბრტყეებში თანაბარი მდგრადობით, მაგრამ ასეთი პროფილის გამოყენებისას რთულდება წამწის კვანძების კონსტრუქცია.

ნახ. 8.12-ზე ნაჩვენებია მძიმე წამწეების ღუროების განიკვეთის ტიპები.



ნახ. 8.12. – მძიმე წამწეების ღუროების განიკვეთის ტიპები: ა),ბ),ზ)-გაგლინული და შედუღებული შედგენილი ორტესისაგან; გ),დ)-მოქლონური წამწეებისათვის; ე),ი)-გაგლინული შველერებისაგან; ვ),ზ)-შედუღებული შედგენილი შველერებისაგან; კ),ლ)-მილოვანი შედგენილი შედუღებული

8.4. წამწეების გაანგარიშება

წამწეების გაანგარიშება წარმოებს შემდეგი თანამიმდევრობით: ანგარიშობენ წამწის კვანძებზე მოქმედ შეყურსულ დატვირთვებს, რის შემდეგ, სამშენებლო მექანიკის ერთ-ერთი მეთოდით, სახღვრავენ მის ელემენტებში მოქმედ ძალვებს. ამ ძალვების მიხედვით არჩევენ წამწის ელემენტების განიკვეთებს და ახდენენ წამწის კვანძებისა და პირაპირების კონსტრუირებას და გაანგარიშებას.

8.4.1. დატვირთვები. წამწეზე მოქმედი დატვირთვები იყოფა ორ ჯგუფად: მუდმივ და დროებით დატვირთვებად.

მუდმივ დატვირთვებს მიეკუთვნება: წამწეების, შუქფარნების, გრძივების, კავშირების, სახურავის ფილების, თბო და ჰიდროსაიზოლაციო ფენილების და შეკიდული ჭერის მასები. სამრეწველო ნაგებობებში ამ დატვირთვებს ემატება შეკიდული ამწის საკუთარი მასაც.

დროებით დატვირთვებში შედის: თოვლის, ქარისა და სამრეწველო ნაგებობებში -ამწე მექანიზმების დატვირთვები.

ხლვრულ მდგომარეობათა მეთოდით გაანგარიშების დროს, ზემოთ აღნიშნული დატვირთვების ნორმატიული მნიშვნელობები მრავლდება საიმედობის კოეფიციენტზე დატვირთვების მიხედვით. დროებით ნორმატიული დატვირთვების სიდიდეები და შესაბამისი

საიმედობის კოეფიციენტები მოცემულია ტ.ნ. და პირობებში СНиП 2.01.07 - 85*.

მუდმივი და დროებითი დატვირთვები, შეკუმშული ძალების სახით, წამწეს გადაეცემა კვანძებში და მათ კვანძური დატვირთვები უწოდება (ნახ. 8.13).

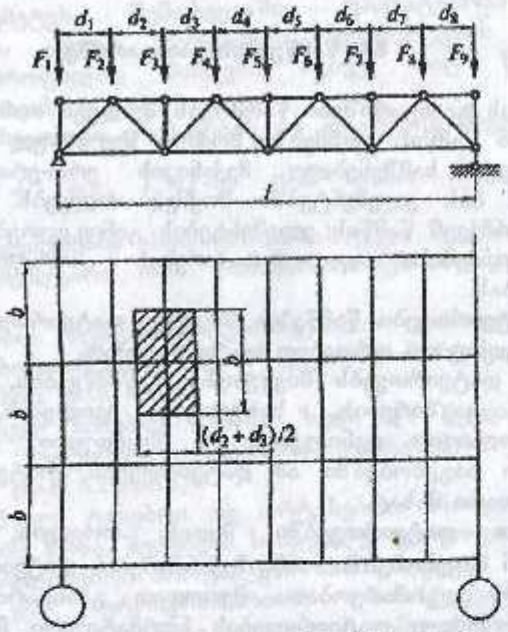
წამწის ზედა კვანძებზე მოქმედი მუდმივი დატვირთვები გამოითვლება ფორმულით:

$$F_{gi} = \left(g_{\text{ფ}} + \frac{g_{\text{სახ}}}{\cos\alpha} \right) \cdot b \cdot [(d_{i-1} + d_i)/2] \cdot \gamma_g \qquad (8.5)$$

სადაც $g_{\text{ფ}}$ – წამწეების, შუქფარნების და კავშირების მასები, დაყვანილი გადახურვის ჰორიზონტალური ფართობის 1მ²-ზე.

$g_{\text{სახ}}$ არის სახურავისა და სათბუნებელი ფილების საკუთარი მასები წამწის ქანობის სიბრტყის 1მ²-ზე;

α – წამწის ზედა სარტყლის დახრის კუთხე ჰორიზონტთან;



ნახ. 8.13.-წამწის საანგარიშო სქემა

d_{i-1} და d_i – წამწის კვანძის მომიჯნავე პანელების სიგრძე;

b – წამწეებს შორის მანძილი (გრძივი ბიჯი);

γ_g – საიმედობის კოეფიციენტი მუდმივი დატვირთვებისთვის.

გადახურვის ცალკეული ელემენტების (წამწეების, შუქფარნების, კავშირების, სახურავი ფილებისა და ა.შ.) ნორმატიული მასები განისაზღვრება სამშენებლო კონსტრუქციებისა და მისი ნაწილების კატალოგებისა და ცნობარების მიხედვით.

ტიპიური წამწეების მასები გადახურვის ფართობის 1მ²-ზე შეიძლება განსაზღვრულ იქნეს ემპირიული ფორმულებითაც:

როდესაც წამწის მალი $l = 18$ მ,

$$g_{\text{ფ}} = 0{,}04 + 0{,}014q \quad (\text{კნ/მ}^2);$$

როდესაც წამწის მალი $l = 24$ მ,

$$g_{\text{ფ}} = 0{,}04 + 0{,}03q \quad (\text{კნ/მ}^2);$$

როდესაც წამწის მალი $l = 30$ მ,

$$g_{\text{ფ}} = 0{,}05 + 0{,}03q \quad (\text{კნ/მ}^2);$$

როდესაც წამწის მალი $l = 36$ მ,

$$g_{\text{ფ}} = 0{,}05 + 0{,}04q \quad (\text{კნ/მ}^2);$$

სადაც q არის გადახურვის 1მ²-ზე მოქმედი მთლიანი საანგარიშო დატვირთვა (სახურავის მასა და თოვლის დატვირთვა).

შეკიდული ჭერის არსებობის შემთხვევაში, წამწის მასის ნახევარი გადაეცემა ზედა კვანძებს, ხოლო წამწის მასის მეორე ნახევარი – ქვედა კვანძებს. სხვენის გადახურვის დროს წამწის მასა ითვლება მის ზედა კვანძებზე მოდებულად.

კვანძური დატვირთვა თოვლისაგან გამოითვლება ფორმულით

$$F_g = S_g b[(d_{i-1} + d_i)/2] \qquad (8.6)$$

სადაც S_g არის თოვლის ნორმატიული დატვირთვა გადახურვის ჰორიზონტალური ფართობის 1მ²-ზე. მისი სიდიდე განისაზღვრება ტ. ნ. და პირობების მიხედვით СНиП 2.01.07 - 85*-დან.

უშუქფარნო ერთმალიან სახურავებში ნახევარ მალზე მოქმედმა თოვლის დატვირთვამ შეიძლება გამოიწვიოს ირიბანებში უდიდესი საანგარიშო ძალები. ამიტომ წამწის გაანგარიშება ხდება დატვირთვების ორი სქემის მიხედვით: ა) როდესაც წამწე მთელი მალის სიგრძეზე დატვირთულია მუდმივი და თოვლის დატვირთვით; ბ) როდესაც მუდმივი დატვირთვა მოქმედებს მთელ მალზე, ხოლო თოვლის დატვირთვა – მალის სიგრძის ნახევარზე.

8.4.2. ძალვების განსაზღვრა წამწის ღეროებში. წამწის არააეტომატიზებული წესით (ხელით) გაანგარიშების დროს იგულისხმება, რომ ა) წამწის კვანძები წარმოადგენენ იდეალურ სახსრებს; ბ) ყველა ღეროს ღერძები სწორხაზოვანია და

იკვეთებიან კვანძებში ერთ წერტილში; გ) დატვირთვები მოქმედებენ კვანძებზე. ასეთი იდეალური წამწის ღეროები მუშაობენ მხოლოდ გამჭიმავ ან მკუმშავ ღერძულ ძალებზე.

წამწის ღეროებში ძალვების ხელით განსაზღვრა მარტივად წარმოებს სამშენებლო მექანიკის ანალიზური ან გრაფიკული ხერხით. ანალიზურ ხერხებში იგულისხმება კვანძთა ამოკვეთის მეთოდი, დაგეგმილების წესი და სხვა, რაც შეეხება გრაფიკულ მეთოდს აღსანიშნავია მაქველ-კრემონას დიაგრამა სწრაფი, მარტივი და ზუსტი ხერხი (მე 9-ე თავის ბოლო საკითხში განხილულია გრაფიკული მეთოდის, კერძოდ მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგების ზოგადი პრინციპები და თეორიული საფუძვლები). იმისათვის, რომ განისაზღვროს წამწის ღეროებში დატვირთვების ყველაზე არახელსაყრელი შეხამების შესაბამისი უდიდესი საანგარიშო ძალვები, მუდმივ, თოვლის და ამწის დატვირთვებზე ძალვებს საზღვრავენ ცალ-ცალკე. ცალკეული დატვირთვების შესაბამისი ძალვები შეაქვთ საანგარიშო ძალვათა ცხრილში, რის შემდეგ ამ ცხრილის მიხედვით, წამწის თითოეული ღეროსათვის ადგენენ დატვირთვების ისეთ კომბინაციას რომელთა ძალვების შეჯამებით მიიღება ღეროში მოქმედი საანგარიშო ძალვების უდიდესი მნიშვნელობა. ამჟამად, კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენებით, წამწეების გაანგარიშება წარმოებს სპეციალური კომპიუტერული პროგრამებით (მაგ. *LIRA*), როგორც ხისტკვანძოვანი სისტემებისა. გაანგარიშების ასეთი გზა შედარებით ზუსტია, საანგარიშო სქემა უკეთ შეესაბამება წამწის რეალური მუშაობის სქემას. ასეთი გაანგარიშების შედეგად მასალის ხარჯის ეკონომია აღწევს 5–10 %-ს.

8.4.3. ღეროების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრა. მდგრადობის დაკარგვის მომენტში შეკუმშული ღერო გამოიბურცება, მობრუნდება შესაბამისი კვანძების ცენტრების ირგვლივ და საკვანძო ფურცლების ხახისტის გამო იწვევს ამ კვანძებში შემაერთალი ღეროების მობრუნებას და გაღუნვას (ნახ. 8.14).

კვანძში შემაერთალი ღეროები ეწინააღმდეგებიან კვანძის გაღუნვასა და მობრუნებას და ამით ხელს უშლის ღეროს, რომელიც კარგავს მდგრადობას, თავისუფალ ღუნვას. კვანძის მობრუნებას ყველაზე მეტ წინააღმდეგობას უწევს გაჭიმული ღეროები, რის გამო შეალეული შეკუმშული რიკულები მუშაობენ ისე, როგორც ნაწილობრივ ჩამაგრებული ღეროები. ხოლო შეკუმშული ღეროები მცირედით ეწინააღმდეგებიან ღუნვას.

ამიტომ, კვანძში შეკუმშული ღეროს შეკუმშვის ხარისხად ღებულობენ დამოკიდებულებას

$$\tau = i/\Sigma i_p \qquad (8.7)$$

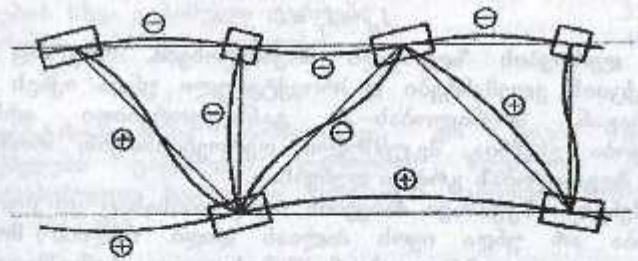
აქ i არის წამწის სიბრტყეში განსახილველი ღეროს გრძივი ინერციის მომენტი. Σi_p – განსახილველ ღეროს ორივე ბოლოზე მიერთებული გაჭიმული ღეროების ინერციის გრძივი მომენტების ჯამი.

რაც უფრო მცირეა τ, მით უფრო მეტია შეკუმშვის ხარისხი და მცირეა წამწის საანგარიშო სიგრძე

$$l_{ef} = \mu l \qquad (8.8)$$

როგორც 8.14 ნახაზიდან ჩანს, წამწის სიბრტყეში ზედა სარტყლის ღეროები, სუსტად არის შეკუმშული კვანძებში, რადგან ყოველი მხრიდან მასთან მიერთებულია მხოლოდ თითო გაჭიმული ირიბანა, რომელთა გრძივი სიხისტე მნიშვნელოვნად მცირეა სარტყლების გრძივ სიხისტეზე, ამიტომ ზედა სარტყლის შეკუმშვა შეიძლება უგულებელვყოთ და მივიღოთ მისი საანგარიშო სიგრძე მომიჯნავე კვანძებს შორის მანძილად. ე. ი. ჩამაგრების ასეთი სქემის დროს $\mu = 1$.

გისოსის შეკუმშულ ღეროებს ზედა კვანძში უერთდება გაჭიმული ირიბანა, ხოლო ქვედა კვანძში ქვედა სარტყლის გაჭიმული პანელები და ირიბანა (იხ. ნახ. 8.14). აქ შეკუმშვის ხარისხი მნიშვნელოვნად მეტია და τ-დამოკიდებულება მიიღება არც თუ ისე დიდი-0,5-თან მიახლოებული. ეს იძლევა კოეფიციენტის $\mu = 0{,}77$ მნიშვნელობას.



ნახ. 8.14. ღეროების დეფორმაციის სქემა, როდესაც შეკუმშული ღერო კარგავს მდგრადობას.

ნორმების მიხედვით კუთხოვანებისაგან შედგენილი გისოსის ელემენტებას ფურმის სიბრტყეში დაყვანის კოეფიციენტი $\mu = 0{,}8$. ე. ი. საანგარიშო სიგრძე $l_x = 0{,}8l$.

გამონაკლისს წარმოადგენს საყრდენი აღმავალი ირიბანა, რომლის მუშაობის პირობები, წამწის სიბრტყეში, იგივეა, როგორიც შეკუმშული ზედა სარტყლისა. ამის შედეგად წამწის

სიბრტყეში საყრდენი აღმავალი ირიბანას საანგარიშო სიგრძე მიიღება მომიჯნავე კვანძებს შორის მანძილად.

გაჭიმული ელემენტების (ქვედა სარტყელი, გაჭიმული ირიბანები და დგარები) საანგარიშო სიგრძედ აიღება მისი გეომეტრიული სიგრძე და $\mu = 1$.

$$l_{ef} = l_y = l \tag{8.9}$$

წამწის მართობ სიბრტყეში ზედა სარტყლის ელემენტების საანგარიშო სიგრძე დამოკიდებულია ზედა კვანძების კავშირებით დამაგრების სქემაზე და ტოლია დამაგრებული კვანძებს შორის მანძილისა.

როდესაც წამწის ზედა კვანძები დამაგრებულია პრძიეებით ან უგრძიეო გადახურვის შემთხვევაში–სახურავის ფილებით, მაშინ $\mu = 1$ და საანგარიშო სიგრძე

$$l_{ef} = l_y = l \tag{8.10}$$

როდესაც წამწის ზედა კვანძები დამაგრებულია თითო კვანძის გამოშვებით (ნახ. 8.10),

$$l_{ef} = l_y = 2l \tag{8.11}$$

წამწის მართობ სიბრტყეში ირიბანებისა და დგარების საანგარიშო სიგრძე ტოლია მისი გეომეტრიული სიგრძისა და $\mu = 1$.

$$l_{ef} = l_y = l \tag{8.12}$$

8.4.4. ღეროების ზღვრული მოქნილობები. როგორც წესი, კონსტრუქციის ელემენტები დაპროექტებული უნდა იქნეს ხისტი ღეროებისაგან. მოქნილობას– λ განსაკუთრებითი არსებითი მნიშვნელობა გააჩნია შეკუმშული ღეროებისათვის, რომლებიც კარგავენ მდგრადობას გრძივი ღუნვისას.

უმნიშვნელო მკუმშავი ძალვების არსებობისასაც კი ღეროების მოქნილობა არ უნდა იყოს ძალიან დიდი. ძალიან მოქნილი ღეროები ადვილად მრუდდებიან შემთხვევითი ზემოქმედებებით, იზნიქებიან საკუთარი მასისაგან, მათში წარმოიქმნება არასასურველი ექსცენტრისიტეტი, ხდება მათი ცირცირება დინამიკური ზემოქმედებისას. ამიტომ შეკუმშული ღეროებისათვის დადგენილია უდიდესი ზღვრული მოქნილობა,* რომელიც არის ისეთივე ნორმატიული სიდიდე, როგორიც საანგარიშო წინადობა.

ნორმებში დადგენილი ზღვრული მოქნილობის $[\lambda]$ მნიშვნელობა დამოკიდებულია ღეროს დანიშნულებაზე და მისი დატვირთულობის ხარისხზე $\alpha = N/\varphi AR_y\gamma_c$, სადაც N–საანგარიშო ძალაა; $\varphi AR_y\gamma_c$–ღეროს ზიდვის უნარი:

მოქნილობები:

შეკუმშული სარტყლები, ასევე საყრდენი დგარები და ირიბანები, რომლებიც გადასცემენ საყრდენთა რეაქციებს	$180 - 60\,\alpha$
წამწეების სხვა შეკუმშული ღეროები	$210 - 60\,\alpha$
კავშირების შეკუმშული ღეროები	200

ამასთან α მიიღება არა უმცირეს 0,5-ისა.

გაჭიმული ელემენტებიც არ უნდა იყვნენ ძალიან მოქნილები, რადგან დიდი მოქნილობების დროს, შეიძლება დაიღუნოს ტრანსპორტირებისას და მოტაიებისას.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთ ღეროებს ჰქონდეთ საკმარისი სიხისტე, რომლებზეც ხდება დინამიკური ზემოქმედება.

გაჭიმული ღეროების დიდი მოქნილობებისას ღეროები იწყებენ თრთოლვას.

ღეროებისთვის, რომლებზეც უშუალოდ ხდება დინამიკური ზემოქმედება, დადგენილია ზღვრული მოქნილობების შემდეგი მნიშვნელობები:

მოქნილობები:

გაჭიმული სარტყლები და საყრდენი ირიბანები	250
წამწეების სხვა გაჭიმული ღეროები	350
კავშირების გაჭიმული ღეროები	400

კონსტრუქციებში, რომლებზეც არ ხდება დინამიკური ზემოქმედება გაჭიმული ღეროების ზღვრული მოქნილობა განპირობებულია საკუთარი წონისაგან ჩაღუნვის პირობიდან და ტოლია $[\lambda] = 400$.

8.5. წამწის ღეროების განიკვეთის შერჩევა

წამწის ზედა და ქვედა სარტყლის განიკვეთის შერჩევა წარმოებს სარტყლის პანელებში მოქმედი უდიდესი საანგარიშო ძალვის მიხედვით. მიღებული განიკვეთის კალიბრი ერცულდება სარტყლის ყველა პანელზე. ირიბანებისა და დგარების განიკვეთი შეირჩევა ცალ-ცალკე, მათში მოქმედი საანგარიშო ძალვების მიხედვით.

პროფილების დაკვეთის გაადვილების მიზნით, სასურველია სხვადასხვა კალიბრის პროფილების რაოდენობა იქნეს უმცირესი.

ამ მიზნით, ჯერ ირჩევენ წამწის თითოეული ელემენტის განიკვეთს და შემდეგ შერჩეული კვეთების ნაწილს ცვლიან უდიდესი ფართობის მქონე პროფილით ისე, რომ სხვადასხვა კალიბრის კუთხედის რაოდენობა არ აღემატებოდეს $6+8$-ს. ამავე დროს, პროფილების ასეთი უნიფიცირება არ უნდა იწვევდეს წამწის მასის 3–5%-ზე მეტი სიდიდით გაზრდას.

8.5.1. წამწის შეკუმშული ღეროების განიკვეთის შერჩევა. შეკუმშული ელემენტების ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება მდგრადობის პირობით, ამიტომ ამ ელემენტების ზიდვის უნარი მოწმდება (2.70) ფორმულით

$$N/(\varphi A) \le R_y \gamma_c \qquad (8.13)$$

γ_c არის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი აიღება დან. 14-დან; N არის გრძივი ძალვა.

(8.13) ფორმულაში არის ორი უცნობი: განივკვეთის ფართობი A და გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი φ, რომელიც არის მოქნილობისა $(\lambda = l_0 / i)$ და საანგარიშო წინაღობის (R_y)-ის ფუნქცია და აიღება დან. 8-დან; l_0 არის ღეროს საანგარიშო სიგრძე; $i = \sqrt{I/A}$ – კვეთის ინერციის რადიუსი, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია A ფართობზე.

გაანგარიშება ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით:

ა) თავდაპირველად ინიშნება კვეთის ტიპი. ღეროების საანგარიშო სიგრძეებს l_x და l_y-ის ფარდობის მიხედვით ირჩევენ 8.11 ნახაზზე ნაჩვენები პროფილებიდან ერთ-ერთს.

ბ) ნიშნავენ ღეროს მოქნილობას. მაგ. მსუბუქ წამწეებში სარტყელების მოქნილობა $\lambda = 80 \div 60$ და გისოსების მოქნილობა $\lambda = 120 \div 100$. უფრო დიდი მოქნილობები უკირჩევა უფრო მცირე ძალებისას.

გ) დანიშნული მოქნილობისა (λ) და საანგარიშო წინაღობის (R)-ის მიხედვით დან. 8-დან ისაზღვრება გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი φ.

დ) შემდგომ საფეხურზე უნდა განისაზღვროს კვეთის საჭირო განიკვეთის ფართობი.

$$A_{საჭ} = \frac{N}{\varphi R \gamma_c} \qquad (8.14)$$

λ დანიშნული მოქნილობის მიხედვით, ასევე უნდა ვიპოვოთ კვეთის საჭირო ინერციის რადიუსები

$$i_{საჭ} = l_{0x} / \lambda \qquad (8.15)$$

$$i_{საჭ} = l_{0y} / \lambda \qquad (8.16)$$

(8.15) და (8.16) შორის აიღება უმცირესი i_{min}.

$A_{საჭ}$ და $i_{საჭ}$ მიხედვით სორტამენტიდან ირჩევენ შესაბამისი კალიბრის პროფილს და იწერენ შეასაბამის A-ს, i_x და i_y. i_x და i_y შორის უმცირესის მიხედვით იანგარიშება მოქნილობის $\lambda_{max} = l_0 / i$ მაქსიმალური მნიშვნელობა. მოქნილობის მაქსიმალურ მნიშვნელობის $\lambda_{max} = l_0 / i$ და საანგარიშო წინაღობის– R_y-ის მიხედვით ცხრილიდან ვირჩევთ გრძივი ღუნვის კოეფიციენტს φ. საბოლოოდ ძაბვებს ვამოწმებთ მდგრადობაზე ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \le R\gamma \qquad (8.17)$$

თუ პირობა დაკმაყოფილებულია ვტოვებთ მიღებულ განიკვეთს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ვახდენთ თავიდან გადაანგარიშებას.

თუ ღეროს მოქნილობა დანიშნული იქნა არასწორად, მაშინ გაანგარიშებით მივიღებთ გადაძაბვას, ან მნიშვნელოვან დაუძაბაობას. ამ შემთვევაში უნდა მოხდეს კვეთის კორექტირება დანიშნულ და ფაქტობრივ მოქნილობებს შორის აღებული მნიშვნელობების მიხედვით. ჩვეულებრივ მიზანი მიიღწევა მეორე მიახლოებით.

შეკუმშული ელემენტები, რომლებიც შესრულებული არიან გაგლინული პროფილებისაგან, ადგილობრივ მდგრადობაზე არ მოწმდება. მისი ადგილობრივი მდგრადობა უზრუნველყოფილია, რადგან კედლებისა და თაროების გაგლინვის პირობით სისქეები არის უფრო მეტი, ვიდრე ეს საჭიროა ადგილობრივი მდგრადობის პირობით. მილოვანი კვეთების კედლის მდგრადობა უზრუნველყოფილია, თუ $r/t \le 1{,}57\sqrt{E/R_y}$, სადაც r–რადიუსია; t–კედლის სისქე. ნაღუნ-ჩაკეტილი მართკუთხა ტიპის კვეთებისათვის კედლის ზღვრული მოქნილობა მდგრადობის პირობის λ_w-ს მიხედვით განისაზღვრება,

$$\bar{\lambda}_w = (h_w/t)\sqrt{R_y/E} \le \bar{\lambda}_{ue}, \quad \bar{\lambda}_{ue} = 1 + 0{,}2\bar{\lambda} \le 1{,}6,$$

სადაც $\bar{\lambda} = \left(l_{ef}/i\right)\sqrt{R_y/E}$ –ღეროს პირობითი მოქნილობაა.

8.5.2. წამწის გაჭიმული ელემენტების კვეთის შერჩევა. გაჭიმული ელემენტების ზღვრული მდგომარეობა განისაზღვრება ან გაგლეჯით, ან პლასტიკური დეფორმაციების მნიშვნელოვნად განვითარებით.

ფოლადებს, რომელთა დენადობის ზღვრის ნორმატიული მნიშვნელობა ნაკლებია $R_y^n \le 44$ კნ/სმ^2 გააჩნიათ განვითარებული დენადობის ბაქანი. ასეთი ელემენტების ზიდვის უნარი განისაზღვრება პლასტიკური დეფორმაციების განვითარების პირობიდან, ფორმულით,

$$\sigma = N/A_n \le R_y\gamma_c \qquad (8.18)$$

A_n არის განივი კვეთის ნეტო ფართობი.

ელემენტებისათვის, რომლებიც დამზადებული არიან ფოლადებისაგან, რომელთაც არ გააჩნიათ გამოკვეთილი დენადობის ზღვარი (პირობითი დენადობის ზღვარი $\sigma_{02} \ge 44$ კნ/სმ^2), ასევე კონსტრუქციის ექსპლუატაცია შესაძლებელია დენადობის ზღვრის განვითარების შემდეგაც, ზიდვის უნარის შემოწმება ხდება ფორმულით,

$$\sigma = N/A_m \le (R_u/\gamma_u)\gamma_c \qquad (8.19)$$

R_u – დროებითი საანგარიშო წინაღობა; $\gamma_u = 1{,}3$ საიმედობის კოეფიციენტი, რომელიც გამოიყენება დროებითი საანგარიშო წინაღობისას.

გაჭიმული ელემენტებისათვის, როცა $R_u/\gamma_u \le R_y$ განივკვეთის ფართობის შერჩევა ხდება ფორმულით.

$$A_{tr} = N/(R_y\gamma_c) \qquad (8.20)$$

შერჩეული განივკვეთი უნდა შემოწმდეს უდიდეს მოქნილობაზე. ის არ უნდა იყოს გაჭიმული ელემენტებისათვის მოქნილობის ზღვრულ მნიშვნელობაზე მეტი.

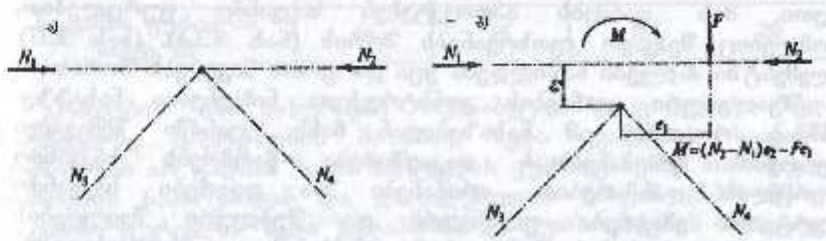
ტექნიკური ნორმებითა და პირობებით, შედუღებულ წამწეებში კუთხოვანების უმცირესი კალიბრი არ უნდა იქნეს ნაკლები 50X5-ზე, მოქლონურ წამწეებში - 65X5-ზე.

8.6. მსუბუქი წამწეების კონსტრუქციები

8.6.1. ზოგადი მითითებები. წამწეების კონსტრუირებას იწყებენ მათი გეომეტრიული სქემების გამოხაზვით, რის შემდეგ წარმოებს კვანძების კონსტრუქციების დამუშავება.

შედუღებული წამწის სქემა ისე უნდა იქნეს გამოხაზული, რომ წამწის ღეროების გეომეტრიული ღერძები (მათი განიკვეთების სიმძიმის ცენტრში გამავალი ღერძი) შეთავსებული იქნეს წამწის გეომეტრიულ ღერძებთან და იკვეთებოდნენ კვანძების ცენტრებში (ნახ. 8.15,ა), თუ ეს წესი არ იქნება დაცული, კვანძებში წარმოიშობა დამატებითი მღუნავი მომენტი $M = (N_2 - N_1)e_2 - Fe_1$, რაც საგრძნობლად აუარესებს კვანძებისა და ღეროების მუშაობას (ნახ. 8.15,ბ).

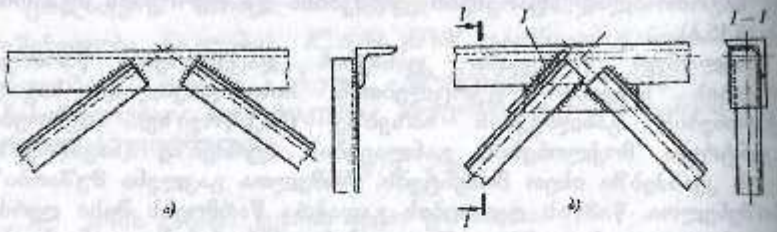
მოქლონურ წამწეებში კვანძების დაცენტრება წარმოებს ღეროების საკვანძო ფურცლებთან მისამაგრებლად საჭირო მოქლონების განლაგების ხაზებზე (ნაკაწრებზე). ღეროების დაცენტრება მოქლონების განლაგების ღერძებზე (ნაკაწრებზე) იწვევს კვანძებში ისეთ მომენტებს, რომელთა გავლენა მუშაობაზე უმნიშვნელოა. წამწის ღეროების გადაჭრა წარმოებს მისი ღერძის მართობულად. საკვანძო შედუღების ნაკერების განლაგების მიზნით, ირიბანებისა და დგარების ბოლოებსა და წამწის სარტყლების კუთხოვანებს შორის თავისუფალი მანძილი უნდა იქნეს $a = 6t - 20$ მმ, მაგრამ არა უმეტეს 80 მმ-სა (t – საკვანძო ფურცლის სისქეა მმ-ში) (ნახ. 8.17,გ). სასურველია ღეროების გეომეტრიული სიგრძეები, გამოხატული მმ-ში, ბოლოვდებოდეს 0 ან 5 მმ-ით.



ნახ. 8.15. წამწის კვანძების დაცენტრების სქემა:
ა)-შეთავსება გეომეტრიულ ღერძებთან; ბ)-დამატებითი მომენტების განსაზღვრა ცენტრის გადაწევისას

8.6.2. წამწეები ცალმაგი კუთხოვანებისაგან. ცალმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილ მსუბუქ შედუღებულ წამწეებში კვანძები შეიძლება დაპროექტებული იქნეს საკვანძო ფურცლების გარეშე. ასეთ შემთხვევაში გისოსის ღეროები უშუალოდ ედუღება სარტყლის კუთხოვანის თაროს, კუთხური ნაკერებით (ნახ. 8.16). წამწის ელემენტების სიმძიმის ცენტრები მდებარეობენ სხვადასხვა სიბრტყეებში, რაც იწვევს მგრეხავი მომენტის წარმოქმნას. იმისათვის, რომ შემცირებული იქნეს მგრეხავი მომენტი, მიზანშეწონილია გისოსი მიმაგრებული იქნეს სარტყლის შიგა თაროსთან (ნახ. 8.16,ბ).

კვანძის სიხისტის გაზრდის მიზნით მიზანშეწონილია დაყენებული იქნეს დამატებითი თამასა-1. კუთხოვანები შეერთებული უნდა იქნეს კონტურზე მიღუდებით.



ნახ. 8.16. წამწეების კვანძები ცალმაგი კუთხოვანებისაგან:
ა)-საკვანძო ფურცლის გარეშე; ბ)-საკვანძო ფურცლის დამატებით.

8.6.3. წყვილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი წამწეები, მათი შუალედური კვანძების კონსტრუქცია და გაანგარიშება. ორი კუთხოვანასაგან შედგენილი წამწეების ღეროებს აქვს ტესებრი კვეთი. მის კვანძებს აპროექტებენ საკვანძო ფურცლებით, რომლებიც შეჰკავთ კუთხოვანებს შორის (ნახ. 8.3,ბ), (ნახ. 8.17). ელემენტში ძალვები ნაწილდება ყუა და ფრთა ნაკერებს შორის.

შუალედური კვანძების კონსტრუქცია ნაჩვენებია ნახაზზე 8.17,ა,ბ. როგორც ამ ნახაზებიდან ჩანს, კვანძში შემავალი ღეროების ერთმანეთთან დაკავშირება წარმოებს საკვანძო ფურცლის დახმარებით. ირიბანები და დგარები საკვანძო ფურცელს ემაგრება ფლანგური და შუბლური შედუღების ნაკერებით. გისოსების შუბლურ ნაკერებს აქვთ კონსტრუქციული დანიშნულება და გაანგარიშებაში არ შედის. საკვანძო ფურცლების ზომები და მოხაზულობა განისაზღვრება კვანძის სქემით და შედუღების ნაკერების სიგრძით. ტ. ნ. და პირობებით კვანძის შედუღების ნაკერების სიგრძე არ უნდა იქნეს $4k_f$-ზე და 40 მმ-ზე, სიმაღლე - k_f კი 4-4 ცხრილში მოცემულ სიდიდეებზე ნაკლები.

საკვანძო ფურცლის მოხაზულობა განისაზღვრება კვანძის სქემითა და ღეროების მისამაგრებლად საჭირო შედუღების ნაკერების ზომების ან მოქლონების რაოდენობით. საკვანძო ფურცელი უნდა იქნეს რაც შეიძლება მარტივი მოხაზულობის. საკვანძო ფურცლის მარტივი მოხაზულობის დროს მარტივდება მისი კონსტრუქცია და დამზადება, მცირდება ჩამოჭრილთა რაოდენობა. საკვანძო ფურცლის ყველაზე მარტივი მოხაზულობაა სწორკუთხა, ტრაპეციული და პარალელოგრამისებური (ნახ. 8.17;8.21). სასურველია ერთნაირი ტიპის კვანძებისათვის გამოყენებულ იქნეს ერთი ზომის საკვანძო ფურცლები, დამზადებული ერთი თარგით.

ტ. ნ. და პირობებით შედუღების ფლანგური ნაკერები, რომლითაც გისოსები უერთდება საკვანძო ფურცელს, გადაყვანილი უნდა იქნეს გისოსის ტორსზე, სიგრძით არა ნაკლებ 20 მმ-ისა.

საკვანძო ფურცლის რეკომენდებული სისქეები მოცემულია ცხრ. 8.1-ში.

ცხრილი 8.1

საკვანძო ფურცლის რეკომენდებული სისქეები

გისოსის ღეროებში მაქსიმალური ძალვა, კნ	150-მდე	160-250	260-400	410-600
საკვანძო ფურცლის სისქე, მმ	6	8	10	12
გისოსის ღეროებში მაქსიმალური ძალვა, კნ	610-1000	1010-1400	1410-1800	1800-ზე მეტი
საკვანძო ფურცლის სისქე, მმ	14	16	18	20

გრძივების ან სახურავის რკინაბეტონის ფილების ზედა სარტყელზე დაყრდნობის მიზნით, ზედა კვანძების საკვანძო ფურცლები არ გადიან ზედა სარტყლის კუთხოვანების თარაზული თაროების ნაპირებიდან და დაცილებულია მისგან (5-10) მმ-ით. საკვანძო ფურცლის ზედა ზედაპირის და კუთხოვანების თარაზულ თაროს შორის წარმოშობილი სიცარიელე ივსება შედუღების ნაკერით. ამ ნაკერის ხარისხის შემოწმება ძნელია, ამიტომ მისი სიმჭიდროვე ნაკერების გაანგარიშების დროს მხედველობაში არ მიიღება.

ქვედა სარტყლის შუალედურ კვანძებში საკვანძო ფურცლები სარტყლის კუთხოვანებიდან (10-15) მმ-ით გარეთ გამოდის და სარტყლის კუთხოვანებს ედუღება მთლიანი ან წყვეტილი ფლანგური ნაკერებით (ნახ. 8.17,ა). კვანძში შემავალ ღეროებში მოქმედი ძალის მიხედვით, საკვანძო ფურცლის სისქე აიღება ცხრ. 8.1-დან.

იმისათვის, რომ მივამაგრით გრძივები წამწის ზედა სარტყელთან კუთხოვანას ნახვრეტებით ჭანჭიკებისათვის ადუღებენ მასზე (ნახ. 8.17,გ). გადახურვის ფილების დაყრდნობის ადგილას ზედა სარტყლის კუთხოვანები ძლიერდება (10-14) მმ-ის სისქის საყრდენი ფურცლებით.

ზედა კვანძების ნაკერები, რომლებითაც საკვანძო ფურცლები მიდუღებულია ზედა სარტყლის კუთხოვანებთან, იანგარიშება

$N = N_2 - N_1$ ძალებზე, $M = (N_2 - N_1)\cdot e_2 - F\cdot e_1$ მომენტზე და F კვანძურ შეკუმშულ დატვირთვაზე (ნახ. 8.15,ბ).

ამ ძალვების მიხედვით ნაკერის სიმტკიცე ნაკერის ლითონში და მის საზღვარზე მოწმდება ფორმულებით:

$$\sqrt{\tau_{wN}^2 + (\tau_{wM} + \tau_{wF})^2} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c \qquad (8.21)$$

$$\sqrt{\tau_{wN}^2 + (\tau_{wM} + \tau_{wF})^2} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c \qquad (8.22)$$

სადაც:

$$\tau_{wN} = \frac{N}{2\beta_f k_f l_w} \qquad \tau_{wzN} = \frac{N}{2\beta_z k_f l_w}$$

არის N ძალის მიერ გამოწვეული ძაბვები ერთი ნაკერის ლითონში და მის საზღვარზე;

$$\tau_{wM} = \frac{M}{\beta_f k_f l_w^2} \qquad \tau_{wzM} = \frac{M}{\beta_z k_f l_w^2}$$

M მომენტით გამოწვეული ძაბვები ნაკერის იმავე კვეთებში;

$$\tau_{wF} = \frac{F}{\beta_f k_f l_w} \qquad \tau_{wF} = \frac{F}{\beta_z k_f l_w}$$

F ძალით გამოწვეული ძაბვები ნაკერის ლითონში და მის საზღვრებზე.

k_f და l_w–ნაკერის სიმაღლე და სიგრძეა;

როდესაც შესადუღებელი ელემენტების დენადობის ზღვარი ნაკლებია 580 მპა-ზე β_f და β_z აიღება ცხრილი 4.5-დან. როდესაც დენადობის ზღვარი მეტია 580 მპა-ზე $\beta_f = 0{,}7$ და $\beta_z = 1$-ს.

γ_{wf}, γ_{wz}–კუთხური ნაკერების მუშაობის პირობების კოეფიციენტებია, რომლებიც აიღება პუნქტი 4.2.2-ის მიხედვით.

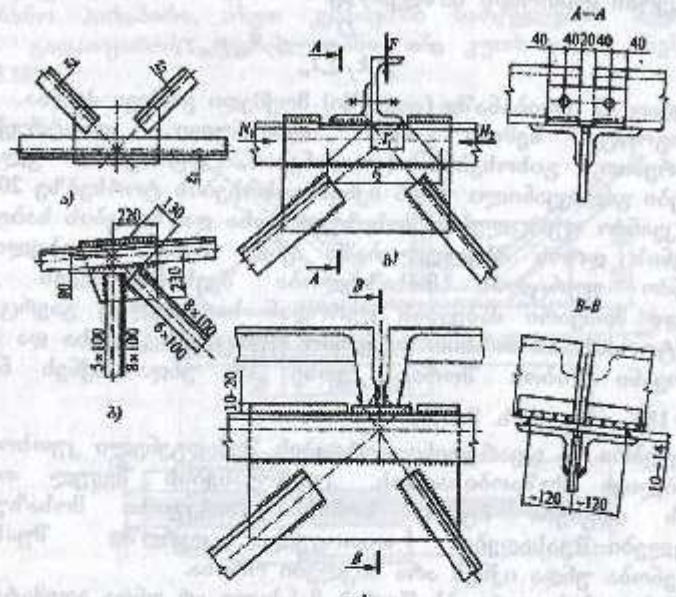
R_{wf}, R_{wz}–კუთხური ნაკერების საანგარიშო წინაღობაა აიღება ცხრ. 4.3-დან.

N_1 და N_2–ზედა სარტყლის კვანძთან მიმდებარე მარცხენა და მარჯვენა პანელებში მოქმედი მკუმშავი საანგარიშო ძალვებია.

ქვედა კვანძების საკვანძო ფურცლებთან სარტყლის კუთხოვანების მისამაგრებლად საჭირო შედუღების ფლანგური ნაკერების სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით:

ნაკერის ლითონში:

$$\frac{N}{\beta_f k_f \sum l_w} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c \qquad (8.23)$$



ნახ. 8.17. წვეული კუთხოვანებისაგან შედგენილი წამწვების კვანძები: ა)-ღეროების დაცენტრება, ქვედა კვანძი; ბ)-ზედა კვანძი ირიბნებიანი გისოსისას; გ)-გრძივების მიმაგრება;

ნაკერის ლითონის საზღვარზე:

$$\frac{N}{\beta_z k_f \sum l_w} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c \qquad (8.24)$$

სადაც $\sum l$–ფლანგური შედუღების ნაკერების ჯამური სიგრძეა;

$N = N_1 - N_2$ ქვედა კვანძის მარცხნივ და მარჯვნივ მიმდებარე პანელების სარტყლებში მოქმედი ძალვათა სხვაობა (ნახ. 8.17,ა).

ირიბანებისა და დგარების საკვანძო ფურცლებთან მისამაგრებლად საჭირო შედუღების ნაკერის ზომების შერჩევა წარმოებს მათში მოქმედი საანგარიშო ძალვების მიხედვით. ასეთი ნაკერის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით:

ნაკერის ლითონში:

$$\sigma = \frac{D}{\beta_f k_f \sum l_w} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c \qquad (8.25)$$

ნაკერის ლითონის საზღვარზე:

$$\sigma = \frac{D}{\beta_z k_f \sum l_w} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c \qquad (8.26)$$

სადაც D ორიბანაში (დგარში) მოქმედი გრძივი ძალაა.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული კონსტრუქციული მოსაზრებით, გისოსების (ორიბანების, დგარების) ფლანგური ნაკერები გადაყვანილი უნდა იქნეს გისოსების ტორსებზე 20 მმ-ით.

საკვანძო ფურცლების მოხაზულობისა და ზომების საბოლოოდ დადგენის დროს მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული, რომ საკვანძო ფურცლის მოხაზულობა შეუსაბამებოდეს კვანძში მოქმედი მთავარი ძაბვების ღეროდან სარტყელზე გავრცელების ტრაექტორიას. ამ მიზნით საკვანძო ფურცლის კიდესა და დგარის კუთხოვანი წიბოს შორის კუთხე არ უნდა იქნეს ნაკლები $<(15-18)^\circ$ –ზე (ნახ. 8.17,ბ).

ტესებრი ან ჯვარედინი ღეროების შემადგენელი კუთხოვანების ერთობლივი მუშაობისათვის, კუთხოვანების შეერთ თაროებს შორის იდგმება მცირე ზომის სწორკუთხა მოხაზულობის ფურცლები–შუასადები. თითოეულ ღეროში შუასადების რაოდენობა უნდა იქნეს არა ნაკლები ორისა.

შუასადების ღეროებს შორის მანძილი არ უნდა აღემატებოდეს

შეკუმშულ ღეროებში $l_1 \le 40i_y$ (8.27)

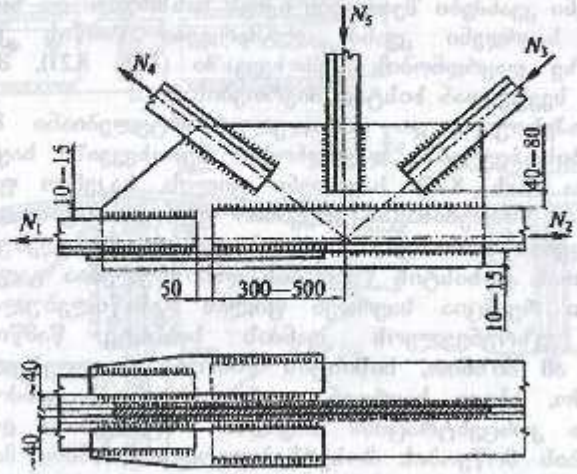
გაჭიმულ ღეროებში $l_1 \le 80i_y$ (8.28)

სადაც i_y არის განივი კვეთის შემადგენელი ერთი კუთხოვანის ინერციის რადიუსი, მისი სიმძიმის ცენტრში გამავალი შუასადების პარალელური ღერძის მიმართ

შუასადების უმცირესი სიგანე არ უნდა იქნეს ნაკლები $0,8b_f$ –სა ან 60 მმ-ის, სადაც b_f კუთხოვანას თაროს სიგანეა. შუასადების სიგრძე წამწის შეერთ სიბრტყეში 20–30 მმ-ით მეტი იყოს უნდა პროფილის სიმაღლეზე (შედუღების ნაკერების უკეთ განლაგების მიზნით).

8.6.4. სამონტაჟო შეპირაპირების კვანძი. წამწეების ლითონის კონსტრუქციების ქარხნიდან მშენებლობის ადგილზე გადაზიდვის მიზნით, აუცილებელია მათი დაგეგმარების დროს გათვალისწინებული იქნეს სამონტაჟო პირაპირების განლაგების სქემა და კონსტრუქცია. სამონტაჟო პირაპირები ისე უნდა დაინიშნოს, რომ გადასაზიდი ერთეულის ზომები და მასა არ აღემატებოდეს გადასაზიდი ტრანსპორტის გაბარიტულ ზომებსა და ტვირთამწეობას.

თუ ფოლადის ხარჯის შემცირების მიზნით კვანძებში ეწყობა საქარხნო პირაპირი, ასეთ კვანძებში სარტყელების შეერთებები უნდა გადაიფაროს ფურცლოვანი ან კუთხოვანის ზესადებით (ნახ.8.18).



ნახ. 8.18. წამწის სარტყელების საქარხნო პირაპირები კვეთის ცვლილებისას.

8.19 ნახაზზე ნაჩვენებია წამწის სამონტაჟო პირაპირების განლაგების სქემა. სარტყელის პირაპირები შეიძლება მოთავსდეს როგორც პანელის ფარგლებში, ასევე წამწის კვანძებში. ჩვეულებრივ, ქვედა სარტყელის პირაპირები ეწყობა ქვედა შუალედურ კვანძებში (ნახ. 8.19); ზედა სარტყელის პირაპირი–წამწის კეხის კვანძში (ნახ. 8.19); პირაპირების ასეთი კონსტრუქციის დროს საკვანძო ფურცელი გამოყენებულია, როგორც პირაპირის შემაერთებელი ელემენტი. ხშირად, საკვანძო ფურცლის გადაბაბეს თავიდან აცილების მიზნით, პირაპირები დამატებით გადახურულია ორი კუთხოვანას ჩამონაჭრებით.

პირაპირების კუთხოვანების (ზესადების) ზომები აიღება იგივე, რაც სარტყლის კუთხოვანებისა პირაპირების კვანძებში მოწყობის შემთხვევაში, კვანძში შემავალი სარტყლების, ორიბანებისა და დგარების საკვანძო ფურცელთან მისამაგრებლად საჭირო შედუღების ნაკერების ზომების შერჩევა წარმოებს მათში მოქმედი საანგარიშო ძალვების მიხედვით. ასეთი ნაკერების სიმტკიცე მოწმდება ფორმულებით:

$$\sigma = \frac{N}{\beta_f k_f l_w} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c \qquad \sigma = \frac{N}{\beta_z k_f \sum l_w} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c \qquad (8.29)$$

8.6.5. საყრდენი კვანძები. კონსტრუქციის მიხედვით წამწის საყრდენი კვანძები შეიძლება იქნეს სახსრული და ხისტი. პირველი ტიპის საყრდენი კვანძი გეგმარდება წამწის კვედლებზე ან სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში (ნახ. 8.21), მეორე ტიპის-წამწის სვეტებთან ხისტად მიერთებისას.

ტრაპეციული და პარალელურსარტყლებიანი მოხაზულობის წამწეების სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში საყრდენი კვანძი შედგება (ნახ. 8.21): საყრდენი ფილის, საკვანძო ფურცლისა და ხიხისტის წიბოებისაგან. საკვანძო ფურცელი გამოდის სარტყლის კუთხედების თარაზული თაროებიდან და მიდუღებულია საყრდენ ფილასთან. ხიხისტის წიბოების დანიშნულებაა გადასცეს წამწის შეკუმშული რეაქცია საყრდენ ფილას განაწილებულად და ამავე დროს უზრუნველყოს კვანძის ხიხისტე წამწის ხიბრტყის გარეთ. ამ მიზნით, ხიხისტის წიბოები მიდუღებულია, როგორც საკვანძო, ასევე საყრდენ ფურცლებთან. საკვანძო ფურცელში ძაბვათა კონცენტრაციის თავიდან აცილებისა და შედუღების ნაკერების მოწყობის მოხერხებულობის მიზნით, მანძილი ქვედა სარტყლის კუთხოვანას თარაზული თაროებიდან საყრდენ ფურცლებამდე აიღება თაროების სიგრძის ტოლი და არანაკლებ 150 მმ-სა.

საყრდენი ფილის საჭირო ფართობი განისაზღვრება საყრდენი მასალის სიმტკიცის პირობით კუმშვაზე

$$A \ge F_R / R_{sup} \qquad (8.30)$$

სადაც F_R არის წამწის საყრდენი რეაქცია;

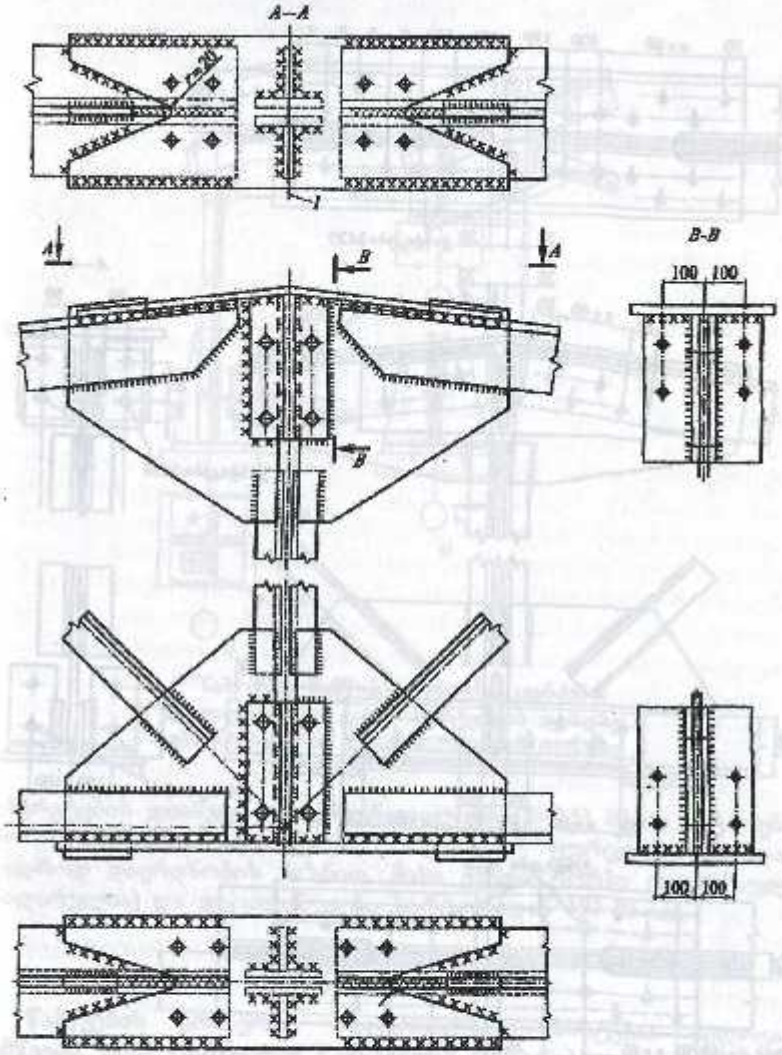
R_{sup}–საყრდენის მასალის საანგარიშო წინაღობა კუმშვაზე (მაგალითად, რკინაბეტონის სვეტებზე დაყრდნობის შემთხვევაში-ბეტონის საანგარიშო წინაღობაა კუმშვაზე. კედლებზე დაყრდნობის შემთხვევაში-კედლის წყობის საანგარიშო წინაღობა თელვაზე)

საყრდენი ფილის სისქე განისაზღვრება მისი სიმტკიცის პირობით ღუნვაზე.

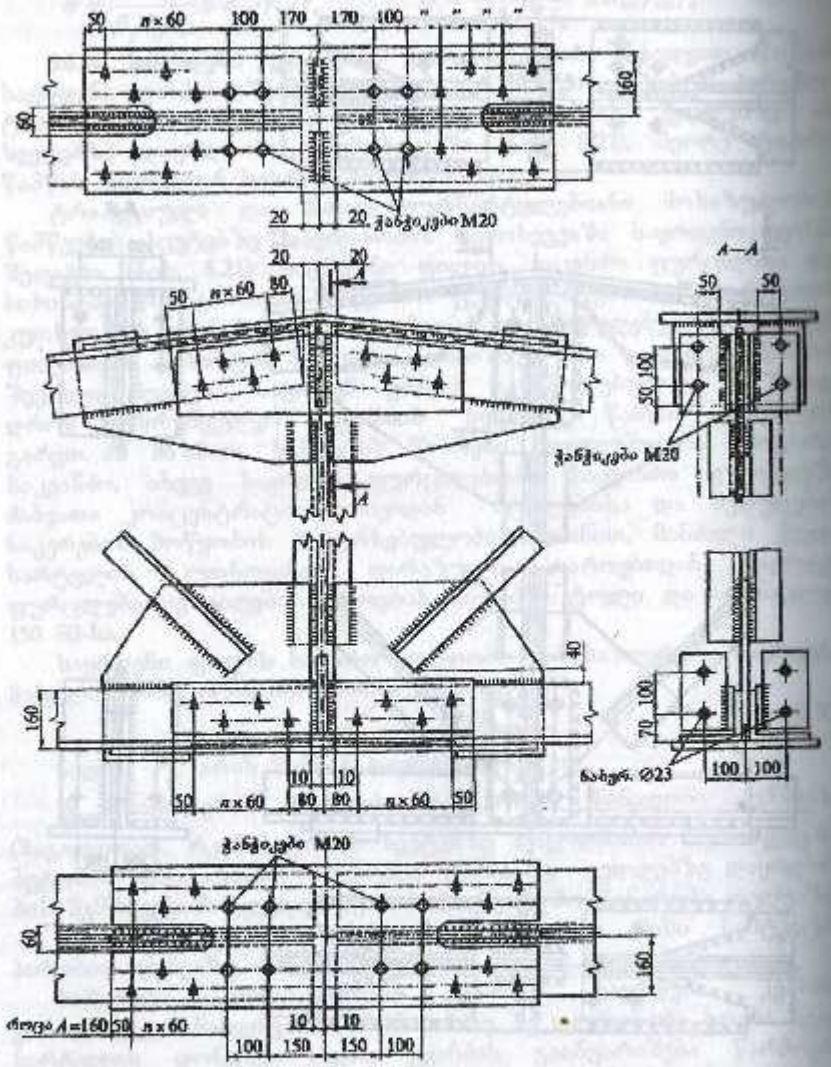
სამკუთხა მოხაზულობის წამწის საყრდენი კვანძის კონსტრუქცია ნაჩვენებია 8.21. ნახაზზე. აქ დაყრდნობა ხდება ზედა სარტყლის დონეზე. ასეთი კვანძის გაანგარიშება წარმოებს ტრაპეციული წამწის საყრდენი კვანძის ანალოგიურად.

ნაკერებს, რომლებიც ადუღებენ საკვანძო ფურცელს და საყრდენ დგარს ფილასთან, ანგარიშობენ საყრდენი რეაქციის მიხედვით

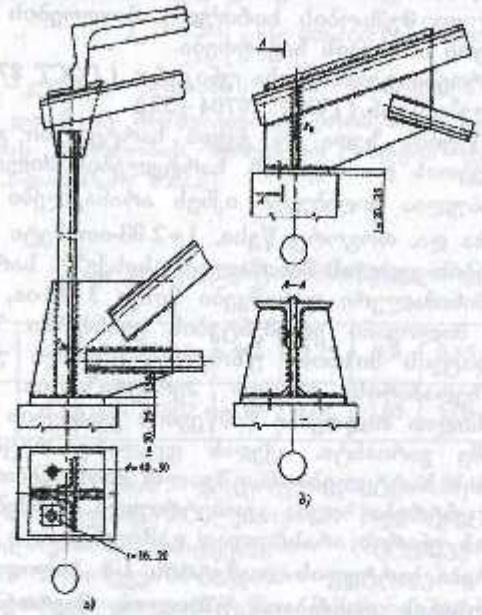
$$F_R / \left(k_f \sum l_w\right) \le \left(R_w \beta\right)_{min} \gamma_c$$



ნახ. 8.19. წყვილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი შედუღებული წამწის პირაპირა; I–გადადუნეის ხაზი.



ნახ. 8.20. წყვილი კუთხოვანებისაგან შედგენილი ჭანჭიკებიანი წამწის პირაპირა



ნახ. 8.21. წამწის საყრდენი კვანძები:
ა)-დაყრდნობა ქვედა სარტყლის დონეზე;
ბ)-დაყრდნობა ზედა სარტყლის დონეზე

ნახვრეტების დიამეტრი საყრდენ ფილაში (2–2,5) მმ-ით მეტი უნდა იყოს ჭანჭიკების დიამეტრზე. საყრდენი ფურცლის მაგიდაზე მჭიდროდ დაყრდნობის მიზნით, მისი ქვედა ტორსი დაფრეზულია (დალარულია) და დაცილებულია სარტყლიდან 150 მმ-ით.

8.7. მილოვანი წამწეები

წამწეების ერთ-ერთი რაციონალური სისტემაა მილოვანი წამწეები. სხვა განხილულ წამწეებთან შედარებით, მილოვანი წამწეების დადებითი მხარეებია: ფოლადის ხარჯისა და ღირებულების სიმცირე (10 + 30%), კოროზიისადმი მაღალი მედეგობა, სამონტაჟო და შედუღებითი სამუშაობის ნაკლები რაოდენობა, შესრულებული სამუშაოების ხარისხის შემოწმების სიადვილე, ღეროების ურთიერთმართობულ სიბრტყეებში თანაბარი მდგრადობა,

გაწმენდისა და შეღებვის სიაძვირე, კარგი გარეგანი სახე და სხვა. ამავე დროს, მათ გააჩნია უარყოფითი მხარეებიც: კვანძების კონსტრუქციებისა და მუშაობის სირთულე, ბოლოების დასამუშავებელი სპეციალური ჩარხების საჭიროება.

წამწვეების ღეროები გეგმარდება უნაკერო (*ГОСТ* 8732–58) ან შედუღებული მილებისაგან (*ГОСТ* 10704–53).

მილოვანი წამწვეების ზედა და ქვედა სარტყლები გეგმარდება ერთხაირი განიკვეთის და სიგრძის. სარტყლების მილის კედლის სისქე რეკომენდებულია მიღებული იქნეს არანაკლები 1/40 ÷ 1/50 მილის დიამეტრისა და, როგორც წესი, 1 ÷ 2 მმ-ით მეტი უნდა იყოს მილოვანი გისოსების კედლის მინიმალური სისქეზე. სარტყლის მილების კედლის მინიმალური დასაშვები სისქე 3 მმ-ია, ხოლო გისოსებისა-2,5 მმ. მილოვანი ელემენტების კვანძებში შეუღლების კოროზიისაგან დაცვის მიზნით, უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს წამწის შიგა ზედაპირის სრული ჰერმეტიზაცია. 8.22, 8.23 ნახაზებზე მოყვანილია მილოვანი წამწვეების კვანძების კონსტრუქციების რამდენიმე ვარიანტი. აქედან ყველაზე რაციონალურია კვანძები გისოსების სარტყლებთან უშუალო მიერთებით (ნახ. 8.22.) ელემენტების დაცენტრება ხდება გეომეტრიული ღერძების მიმართ. სარტყლის ხიდვის უნარის არასრულად გამოყენებისას დასაშვებია კვანძის დაცენტრება სარტყლის დიამეტრის 1/4 სიდიდის ექსცენტრისიტეტით. გისოსების კვანძებთან უშუალოდ მიერთებისას, მათი ფიგურული ამოჭრა ხდება სპეციალური მანქანებით, რაც უზრუნველყოფს შეერთების მაღალ ხარისხს. ნაკლებად შრომატევადია და მცირეა მასალის ხარჯიც ასეთი კვანძური შეუღლების თეორიული გაანგარიშება რთული ამოცანაა; იგი მიეკუთვნება ურთიერთგადაკვეთილი ცილინდრული გარსების გაანგარიშების სფეროს. გაანგარიშება რთულდება იმითაც, რომ მილოვანი წამწვეების კვანძებში შედუღების ნაკერის სიმძიმის ცენტრი არ ემთხვევა ძალვის მოქმედების წირს; ამიტომ ძალვების განაწილება კვანძის შედუღების ნაკერებში არათანაბარია. მათი ხიდვის უნარი მოწმდება ცალკეულ უბნებში. გისოსის მილოვანი ღეროს მისაერთებელი კუთხური შედუღების ნაკერის სიმტკიცე ნაკერში და ნაკერის საზღვარზე მოწმდება ფორმულებით:

$$\frac{N}{\beta_f k_f l_w} \le R_{wf}\gamma_{wf}\gamma_c \qquad \frac{N}{\beta_z k_f l_w} \le R_{wz}\gamma_{wz}\gamma_c \qquad (8.31)$$

სადაც R_{wf}, R_{wz} არის კუთხური ნაკერის საანგარიშო წინაღობები;

$\gamma_{wf}\ \gamma_{wz}$ – ნაკერის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

$\gamma_c = 0{,}85$ – კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი;

k_f და l_w – ნაკერის სიმაღლე და სიგრძე; უკანასკნელი განისაზღვრება ფორმულით:

$$l_w = \frac{\pi d\xi}{2}\left[\frac{3}{2}(1-\cos ec\alpha) - \sqrt{\cos ec\alpha}\right] \qquad (8.32)$$

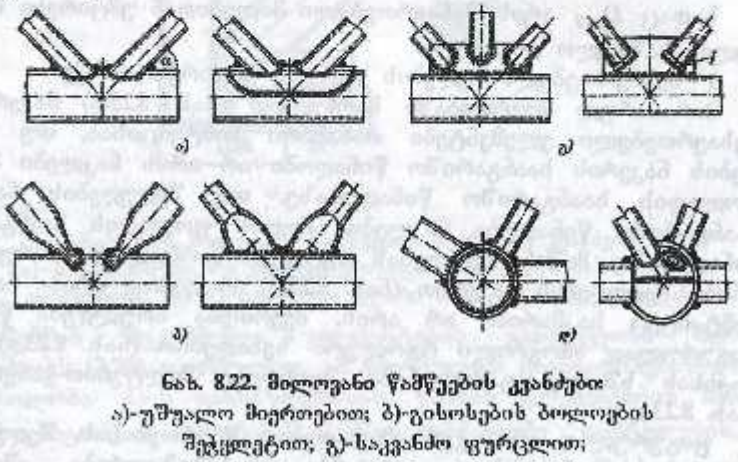
სადაც α – კუთხეა ირიბანასა და სარტყელს შორის. ξ – კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ირიბანასა სარტყლის მილების დიამეტრების ფარდობის მიხედვით აღება ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი 8.2-დან (ნახ. 8.22,ა).

ცხრილი 8.2

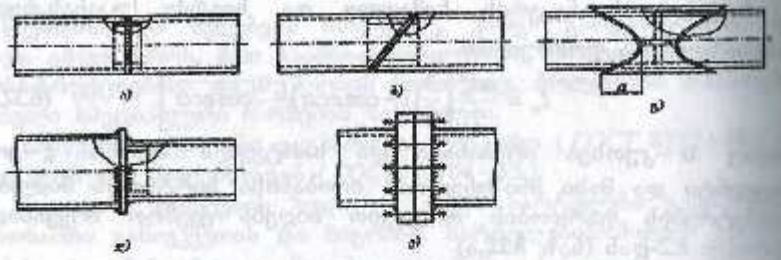
ξ – კოეფიციენტის მნიშვნელობები

$\gamma = d/D$	0,2	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95	1,0
ξ	1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,08	1,12	1,22

მილის ბოლოების ფიგურულად დამამუშავებელი ჩარხის უქონლობისას, კვანძებში ღეროების შეერთება შეიძლება გისოსების ბოლოების გაბრტყელებით (შტამპვით) (ნახ. 8.22,ბ); გამონაკლის შემთხვევაში-საკვანძო ფურცლებით (ნახ. 8.22,გ). ბოლოების გაბრტყელება დასაშვებია მცირენახშირბადიანი ფოლადის მილებისათვის.



ნახ. 8.22. მილოვანი წამწვეების კვანძები:
ა)-უშუალო მიერთებით; ბ)-გისოსების ბოლოების შეტყლეტით; გ)-საკვანძო ფურცლით;
დ)-ჩასასმელი ელემენტით; 1-დაშხეობა.



ნახ. 8.23. მილოვანი ღეროების პირაპირები:
ა)-სარჩულის საშუალებით; ბ)-ირიბი შედუღების ნაკერით; გ)-წვეთილი, რგოლური, ფიგურული ამოჭრით; დ)-მილტუხით-ჭანჭიკებზე

კვანძებში სადაც ხდება სარტყლის ღერძის გარდატეხა, ასევე მასში თაქმოკრილი ღეროების დიდი რაოდენობისას გამოიყენება ცილინდრული ან სფერული კვანძები (ნახ. 8.2,დ).

8.23 ნახაზზე მოყვანილია სარტყლის მილების პირაპირების კონსტრუქციები. ერთი სიდიდის დიამეტრის მილების პირაპირული შეერთება სრულდება მილში ჩატოვებული რგოლის-სარჩულის საშუალებით (ნახ. 8.23,ა). ასეთი შეერთების გაჭიმვასა და კუმშვაზე სიმტკიცეზე გაანგარიშება ხდება ფორმულით:

$$\sigma = \frac{N}{\pi D_{ხვ} t} \le R_y \gamma_c \qquad (8.33)$$

სადაც $D_{ხვ}$ არის შესაერთებელი მილებიდან უმცირესი სისქის მილის საშუალო დიამეტრი;

t –შესაერთებელი მილების კედლის უმცირესი სისქე.

პირაპირულ შეერთებაში სარჩულით (ნახ. 8.23,ა) ნაკერი და შესაერთებელი ელემენტები თანაბარი სიმტკიცისაა, თუ შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა არ არის ნაკლები მილის ფოლადის საანგარიშო წინაღობაზე. თუ შედუღების ნაკერის საანგარიშო წინაღობა ნაკლებია მილის ფოლადის საანგარიშო წინაღობაზე, მაშინ შეერთებას რგოლურ სარჩულზე ასრულებენ ირიბი შედუღების ნაკერით (ნახ. 8.23,ბ). როდესაც ირიბი ნაკერის სიმტკიცეც საკმარისი არ არის, შეერთება სრულდება წვეთილი ფიგურულად ამოჭრილი რგოლური ზესადებით (ნახ. 8.23,გ). მონტაჟისას ხშირად გამოიყენება შეერთება მილტუხით-ჭანჭიკებზე (ნახ. 8.23,დ).

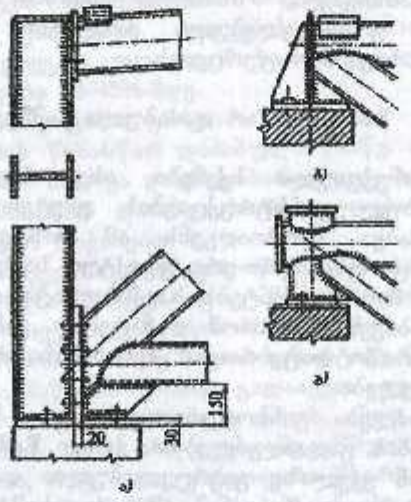
ფიგურულად ამონაჭერი ზესადებით შეერთებისას, შედუღების ნაკერის მიახლოებითი სიგრძე განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$l_w \approx 2n\sqrt{a^2 + \left(\frac{\pi D}{2n}\right)^2}, \qquad (8.34)$$

სადაც a –ზესადების ფიგურული ამონაჭრის სიღრმეა მილის ღერძის გასწვრივ; n –ამონაჭრების რიცხვი.

მილოვანი წამწვების საყრდენი კვანძები, ისე როგორც ჩვეულებრივ წამწვებში, აუცილებელია დაგეგმარდეს ხისტი საყრდენი დგარებით. ასეთი დგარებით ხდება საყრდენი რეაქციების გადაცემა საყრდენ კონსტრუქციებზე.

საყრდენი დგარი შეიძლება დაგეგმარდეს ორტესებრი პროფილის შედგენილი სამი ფურცლისაგან (ნახ. 8.24,ა), ან მილის გადანაჭრისაგან (ნახ. 8.24, გ). საყრდენი დგარი ეყრდნობა ფილას. უკანასკნელის დანიშნულებაა წამწის საყრდენი რეაქცია საყრდენ კონსტრუქციას გადასცეს განშლილად (განაწილებულად).



ნახ. 8.24. მილოვანი წამწვების საყრდენი კვანძები:
ა)–საყრდენი დგარი ფურცლებისაგან; ბ)–წამწის სახსრულად დაყრდნობა და გ)–საყრდენი დგარი მილის გადანაჭრისაგან.

წამწის შეკუმშული ელემენტების განივკვეთის შერჩევა წარმოებს (2.70) ფორმულით. ამ ფორმულით გაანგარიშების დროს, მოქნილობა λ–ს განსაზღვრისას, წამწის ელემენტების საანგარიშო სიგრძე l_0 აიღება: 1) წამწის სიბრტყეში სარტყლების, საყრდენი ირიბანებისა და დგარებისათვის $l_{ef} = l_x = l$ სხვა ელემენტებისათვის გაუბრტყელებელი ბოლოებით–$l_x = 0,9l$; თუ ბოლოები

გაბრტყელებულია- $l_x = l$; 2) წამწის სიბრტყიდან გაანგარიშებისას სარტყლების, საყრდენი ორიბანებისა და დგარებისათვის $l_{of} = l_1$; სხვა ელემენტებისათვის გაუბრტყელებელი ბოლოებით $l_{of} = l_y = 0{,}9l_1$. როდესაც ბოლოები გაბრტყელებულია $l_y = l_1$.

მოყვანილ ტოლობებში l არის მანძილი მუხობელი კვანძების ცენტრებს შორის წამწის სიბრტყეში (ელემენტის გეომეტრიული სიგრძე);

l_1–მანძილი დამაგრების წერტილების (კვანძების) შორის წამწის სიბრტყიდან.

გადახურვის სივრცითი სიხისტის უზრუნველსაყოფად ეწყობა მილოვანი, თარაზული და შვეული კავშირები. კავშირების სქემა და განლაგება ანალოგიურია ზემოთ განხილული წამწეების კავშირებისა. განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ კავშირის ღეროებს აქვს გაბრტყელებული ბოლოები და ჭანჭიკებით ემაგრება წამწის საკვანძო ფურცელს.

8.8. წინასწარ დაძაბული წამწეები.

8.8.1. კონსტრუქციული სქემები. ისე, როგორც ფოლადის წინასწარ დაძაბულ კონსტრუქციების უმეტესობაში, წამწეების წინასწარი დაძაბვა წარმოადგენს ამ სისტემებში ფოლადის დანახარჯის შემცირების ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას.

წამწეებს ან მის ელემენტებს საექსპლუატაციო დატვირთვების გადაცემამდე ძაბავენ ისე, რომ დამატებით გამოწვეულ ძაბვებს ჰქონდეთ საანგარიშო დატვირთვის შესაბამისი ძალვების საწინააღმდეგო მიმართულება.

დაძაბვა შეიძლება განხორციელდეს ორი წესით: უჯრ წამწეებში-საყრდენების გადაადგილებით, ჭრილ წამწეებში–საკოჭების მოჭიმვით. აქედან ყველაზე გავრცელებულია დაძაბვა საკოჭებით (ნახ. 8.25). საკოჭებად გამოიყენება მაღალი სიმტკიცის მავთულთა კონა ან ბაგირები. დაჭიმულობის ძალის სიდიდის მიხედვით, საკოჭის ბოლოები მაგრდება ჭიქური ან მასრული ტიპის ანკერებში (ნახ. 8.26). საკოჭების მოჭიმვა ხდება ორმაგი მოქმედების ჰიდრავლიკური დომკრატებით. ძაბავენ წამწეების ცალკეულ ელემენტებს (ნახ. 8.25,ა), ან მთლიანად წამწეებს (ნახ. 8.25,ბ-გ). დაძაბვის პირველი სახე გამოიყენება იშვიათად, მხოლოდ მძიმე წამწეების შემთხვევაში, მაშინ როდესაც თითოეული ელემენტი მზადდება ლითონის კონსტრუქციების საამქროში და წარმოადგენს სამონტაჟო გადასაზიდ ელემენტებს.

8.25 ნახაზზე მოყვანილია მსუბუქი წინასწარ დაძაბული წამწეების სქემები საკოჭებით.

8.25 ნახაზზე საკოჭები განლაგებულია წამწის გაჭიმული სარტყლების მხარეს. ასეთ სისტემებში წინასწარი დაჭიმულობის ძალის გაყვანა ვრცელდება მხოლოდ გაჭიმული სარტყლის ელემენტებზე. წამწეები დაძაბული სარტყლებით გეგმარდება მაშინ, როდესაც სარტყლებს მასა ბევრად ჭარბობს დანარჩენი ელემენტების მასებს და საჭიროა მათი შემცირება (მაგ. სეგმენტურ წამწეებში, ნახ. 8.25,ბ).

დაძაბვის ქვედაზე ეფექტური საშუალებაა წამწეების დაძაბვა მის გარეთ გამოტანილი საკოჭებით.

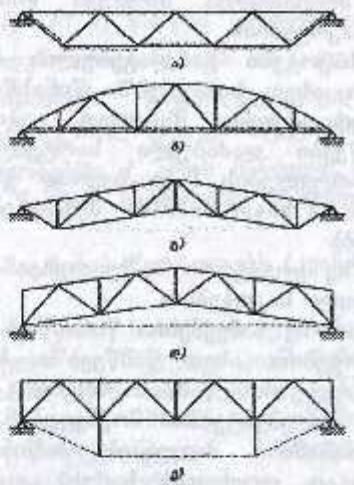
ნახ. 8.25,გ,დ ნახაზზე ნაჩვენებია წინასწარ დაძაბული თაღოვანი წამწეები საკოჭებით. ასეთ წამწეებში, საკოჭების დაჭიმულობის ძალის ზეგავლენით, წამწის როგორც სარტყლების, ისე გისოსების უმეტეს ელემენტებში მოქმედებენ საექსპლუატაციო დატვირთვების შესაბამისი ძალვების საწინააღმდეგო ნიშნის ძალვები. ამის შედეგად, ფოლადის ხარჯი „თაღოვან-საკოჭებიან“ წამწეებში მცირდება 38–45%-მდე.

შესაძლებელია საკოჭის გარეთ გამოტანა, რითაც მიიღება შპრენგელის ტიპის წინასწარ დაძაბული წამწე. ასეთი კონსტრუქციების უარყოფითი მხარეა დიდი გაბარიტული ზომები.

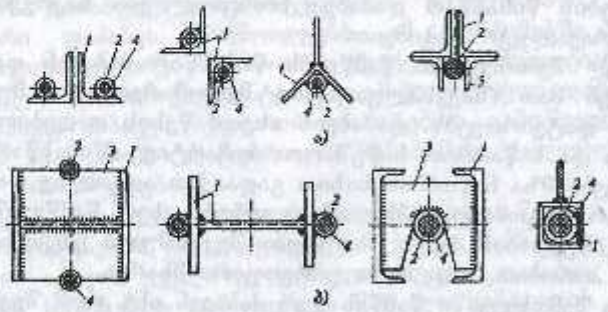
წამწეების წინასწარ დაძაბვა ხორციელდება საკოჭების ერთჯერ ან მრავალჯერ მოჭიმვით.

პირველ შემთხვევაში წამწეებს წინასწარ ძაბავენ და შემდეგ გადასცემენ მათ (საექსპლუატაციო მდგომარეობაში) მუდმივ და დროებით დატვირთვებს. დაძაბვის ასეთი წესის დადებითი მხარეა დაძაბვისა და საწარმოო სამუშაოთა სიმარტივე (წინასწარ დაძაბული წამწეები მზა ნაწარმის სახით გადააქვთ ადგილზე და იდგმება საპროექტო მდგომარეობაში), ამავე დროს, ასეთ წამწეებში წინასწარი დაჭიმულობის ძალა იზდუდება შეკუმშული ელემენტის მდგრადობის პირობით, რაც მათი უარყოფითი მხარეა.

მეორე შემთხვევაში წამწეს ჯერ ძაბავენ ისე, რომ შეკუმშულმა ელემენტებმა (სარტყელი, ირიბანა) არ დაკარგოს მდგრადობა და შემდეგ გადასცემენ მას მუდმივი დატვირთვის ნაწილს. ამით წამწის ელემენტებში საკოჭის დაჭიმვით წარმოშობილი მკუმშავი ძაბვები მცირდება. შემდგომ ახდენენ საკოჭის ხელმეორედ დაჭიმვას განსაზღვრულ ძალამდე და ისევ გადასცემენ მას მთლიან მუდმივ დატვირთვას (მკუმშავი ძალების შემცირების მიზნით). ამის შემდეგ აგრძელებენ დაძაბვას საკოჭის წინასწარი დაძაბულობის ოპტიმალურ საკონტროლო ძალამდე. ამით მთავრდება წამწის წინასწარი დაძაბვის პროცესი და სისტემა მზადაა საექსპლუატაციო დატვირთვების მისადებად.



ნახ. 8.25. საკოჭების განლაგება წინასწარ დაძაბულ წამწეებში: ა)-ცალკეული პანელების წინასწარი დაძაბვა; ბ)-ქვედა სარტყლის მთელ სიგრძეზე გადა დ)-"თადი საკოჭით"; ე)-შპრენგელის ტიპის.



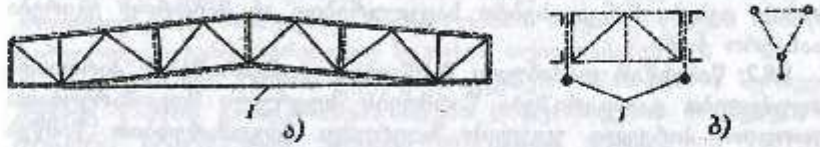
ნახ. 8.26. საკოჭების განლაგება მსუბუქ (ა) და მძიმე (ბ) წამწეების დეროების განიკვეთებში: 1–ღერო; 2–საკოჭი; 3–დიაფრაგმა; 4–მილის გადანაჭერი; 5–კუთხოვანას გადანაჭერი.

დაძაბვის ასეთი მრავალსაფეხურიანი წესი წარმოადგენს ფოლადის დანახარჯის შემცირების უაღრესად ეფექტურ საშუალებას, მაგრამ დაკავშირებულია საწარმოო სიძნელეებთან. ასე მაგალითად, ასეთი წესით დაძაბვის დროს წამწეების დაძაბვა შესაძლებელია მხოლოდ იმის შემდეგ, როდესაც ისინი დაიდგმება

საპროექტო მდგომარეობაში და შეიკრება კავშირებით ან დაიდგმება მიწაზე წყვილი წამწეებისაგან შემდგარი ბლოკების სახით (ნახ. 8.27).

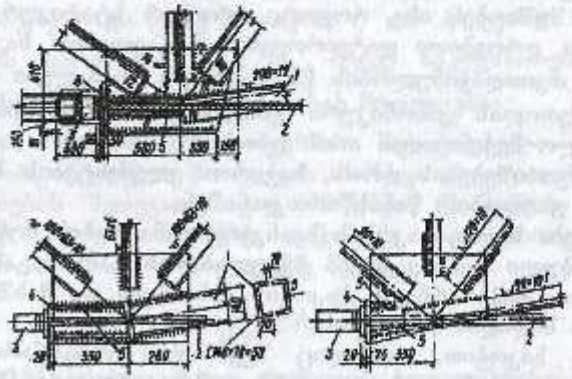
პირველ შემთხვევაში რთულდება დაძაბვის სამუშაო (დაძაბვა წარმოებს ზევით, საპროექტო ნიშნულის დონეზე). მეორე შემთხვევაში ძნელდება სამონტაჟო სამუშაოები (დიდი მასის სამონტაჟო ბლოკები მოითხოვს დიდი ტვირთამწეობის ამწეებს).

წინასწარ დაძაბულ წამწეებში განსაკუთრებული ყურადღება მიქცევა დაძაბვის პროცესში მაქსიმალურად შეკუმშული ელემენტების (სარტყლების) მდგომარეობის უზრუნველყოფის ღონისძიებას.



ნახ. 8.27. გარეთ გამოტანილი საკოჭების შემთხვევაში სივრცითი ბლოკის დეტალური დაგეგმარება: ა)-წამწის სქემა; ბ)-განივი კვეთები; 1-საკოჭი.

ამ ელემენტების მდგრადობის გაზრდის მიზნით, როგორც წესი, საკოჭები იყრება მათზე მიდებულ დიაფრაგმებში და განლაგებულია განივკვეთის შეკუმშული ღერძის სიმეტრიულად (ნახ. 8.26). დიაფრაგმებს შორის მანძილი აიღება (1,2–1,5) მ.



ნახ. 8.28. საკოჭის საანკერო ჩამაგრება: 1-ღერო; 2-საკოჭი; 3-საანკერო ჭიქა; 4-სყრდენი ფოლა; 5-ჭიბო.

წინასწარ დაძაბული წამწეების ელემენტების განიკვეთის ტიპები და კვანძების კონსტრუქციები თითქმის ანალოგიურია მსუბუქი წამწეების კონსტრუქციებისა. განსხვავება არის მხოლოდ იმ ელემენტებსა და კვანძებში, რომლებიც დაკავშირებულია საკოჭებთან.

ნახაზი 8.26-ზე ნაჩვენებია ღეროების რეკომენდებული ტიპები და საკოჭების განლაგება. 8.28 ნახაზზე კვანძების კონსტრუქცია, სადაც იდგმება დომკრატები და ხდება დაჭიმვა. წამწეების დაძაბვა ორმაგი მოქმედების ჰიდრავლიკური დომკრატებით ხდება კოჭების ანალოგიურად. დომკრატი ეყრდნობა წამწის კვანძებში მოწყობილ სპეციალურ კონსტრუქციას (ნახ. 8.28) და დაჭიმვის შედეგად წარმოშობილი ღრეჩო (ანკერსა და კვანძის საყრდენ ფურცელს შორის) ივსება ჩანგლისებრი საყელურებით ან მჭიდროდ ეჭირება საანკერო ქანჩი.

8.8.2. წინასწარ დაძაბული წამწეების გაანგარიშების ძირითადი საფუძვლები. გაანგარიშება წარმოებს ზღურული მდგომარეობათა მეთოდით. პირველი ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით წამწეს ანგარიშობენ საანგარიშო დატვირთვების მიხედვით, მეორე ჯგუფის ზღვრული მდგომარეობით–ნორმატიული დატვირთვებით.

წინასწარ დაძაბული წამწეების მუშაობა შეიძლება დაიყოს ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე ჭრილი წამწეები წინასწარ დაჭიმულობის ძალისა და გარე დატვირთვების ზეგავლენით მუშაობენ ისე, როგორც სტატიკურად რკვევადი სისტემები. ძალვების მნიშვნელობები მის ელემენტებში განისაზღვრება სამშენებლო მექანიკის გრაფიკული (კრემონის დიაგრამა) ან ანალიზური (სამომენტო წერტილის, კვანძთა ამოკვეთის, დაგეგმარების) ხერხით. მეორე ეტაპზე წამწეები მუშაობენ ისე, როგორც ერთჯერ სტატიკურად ურკვევი სისტემები. დროებითი დატვირთვების ზეგავლენით საკოჭებში ვითარდება თვითდაჭიმულობის (X_1) ძალები. ეს ძალები ისაზღვრება ძალთა მეთოდის კანონიკური განტოლების ამოხსნით. როგორც სამშენებლო მექანიკიდან არის ცნობილი, სისტემის ძალთა მეთოდის გაანგარიშებების დროს, საჭიროა ელემენტების სიხისტეების (ან მათი ფარდობის) წინასწარი დანიშვნა.

კვანძები სადაც საკოჭის საანკერო ჩამაგრების მოწყობილობაა განთავსებული განსხვავდება ჩვეულებრივი წამწისაგან. საანკერო ჩამაგრების ტიპს არჩევენ საკოჭის მახასიათისა და მასში აღძრული ძალვების სიდიდის მიხედვით.

წამწე საკოჭით, რომელიც შექმნილია წინასწარი დაძაბვით რამდენიმე ღეროში ერთად, იანგარიშება როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემა. ზედმეტ უცნობად მიიღება ძალვა საკოჭში.

განისაზღვრება ძალვები წამწის ღეროებში N_p დატვირთვისა და N_x წინასწარი დაძაბვისაგან (წინასწარი დაძაბვის ძალა X ითვლება ძირითადი სისტემის ქვედა სარტყელში საანგარიშო დატვირთვისაგან განვითარებული მაქსიმალური ძალვის მიხედვით: თალოვანი ტიპის წამწისათვის $X = (0{,}4 \cdots 0{,}5)N_p^{max}$; N_p^{max}–წამწის ძირითადი სისტემის ქვედა სარტყელში მოქმედი საანგარიშო დატვირთვებით გამოწვეული უდიდესი ძალაა.

მიახლოებით ითვლება ღეროების კვეთები წინასწარი დაძაბვის ან წინასწარი დაძაბვისა და დატვირთვისაგან განვითარებულ ძალვების მიხედვით.

საკოჭის კვეთი შეირჩევა $1{,}5X$ ძალვის მიხედვით, სადაც 1,5 კოეფიციენტია, რომელიც მიახლოებით ითვალისწინებს წამწის დატვირთვით განვითარებული საკოჭის თვითდაძაბვას.

საკოჭისა და წამწის ღეროების კვეთების წინასწარი შერჩევის შემდეგ წამწის გაანგარიშება ხდება დატვირთვების მოქმედებაზე, როგორც სტატიკურად ურკვევი სისტემისა. ერთმალიან წამწეში, ერთ საკოჭში აღძრული თვითდაძაბვის ძალა განისაზღვრება ფორმულით:

$$X_k = \frac{\sum \frac{\overline{N}_{xi} N_{pi} l_i}{A_i E}}{\sum \frac{\overline{N}_{xi}^2}{EA_i} + \frac{l_{ხაკ}}{E_{ხაკ} A_{ხაკ}}} \qquad (8.35)$$

სადაც $\overline{N}_{xi}$; N_{pi} ძალეაა i–ღეროში შესაბამისად ერთეულოვანი ძალიდან საკოჭში და გარე ძალიდან; l_i და A_i ღეროს სიგრძე და განივკვეთის ფართობია; $l_{ხაკ}$, $A_{ხაკ}$ -იგივე საკოჭისათვის; E და $E_{ხაკ}$-ღეროსა და საკოჭის დრეკადობის მოდულებია.

საკოჭის დაჭიმვის პროცესში შესაძლებელია საკოჭის რელაქსაციის, ანკერების მოთვლვის ან სხვა გაუთვალისწინებელი დეფორმაციების შედეგად საკოჭი მოეშვას (დაჭიმვის ძალა X შემცირდეს), ამიტომ საკოჭის დაჭიმვის საკონტროლო ძალად ღებულობენ X საანგარიშო ძალაზე მეტს

$$X_k = \frac{X}{0.95} + \Delta_a \frac{E_{ხაკ} A_{ხაკ}}{l_{ხაკ}}, \qquad (8.36)$$

სადაც 0.95 კოეფიციენტია, რომელიც ითვალისწინებს საკოჭის რელაქსაციას; Δ_a-ანკერების დამყოლობის სიდიდე და მიიღება:

ქანჩიანი და სოლისებრი საყელურის მქონე ანკერებისათვის $\Delta_a = 0{,}1$ სმ, ხოლო შეასადებიანი ანკერებისათვის $\Delta_a = 0{,}2$ სმ.

საკონტროლო X_k ძალის მიხედვით მოწმდება წამწის ქვედა ელემენტის ზიდვის უნარი მისი დაძაბვის პროცესში. თავდაჭიმვის X_1 ძალის გამოთვლის შემდეგ წამწის ელემენტების ზიდვის უნარს ამოწმებენ ფორმულებით:

ა) ძირითადი სისტემის იმ ელემენტებში, სადაც საანგარიშო დატვირთვისაგან და წინასწარი დაძაბვის X ძალისაგან აღძრულ ძალებს აქვთ სხვადასხვა ნიშნები:

შეკუმშულ ღეროებში

$$N_p - (n_2 \cdot X + X_1) \cdot \overline{N}_x \le \varphi \cdot R_y \cdot A \cdot \gamma_c \qquad (8.37)$$

გაჭიმულ ღეროებში

$$N_p - (n_2 \cdot X + X_1) \cdot \overline{N}_x \le R_y \cdot A_n \cdot \gamma_c$$

თუ $(n_2 X + X_1) \cdot N_x > N_p$, მაშინ შემოწმება უნდა ჩაწარმოოთ დატვირთვების საანგარიშო მნიშვნელობებით.

ბ) ძირითადი სისტემის იმ ელემენტებში, სადაც გარე დატვირთვისაგან და X ძალისაგან აღძრულ ძალებს აქვთ ერთი და იგივე ნიშნები:

შეკუმშულ ღეროებში

$$N_p + (n_1 \cdot X + X_1) \cdot \overline{N}_x \le \varphi \cdot R_y \cdot A \cdot \gamma_c \qquad (8.38)$$

გაჭიმულ ღეროებში

$$N_p + (n_1 \cdot X + X_1) \cdot \overline{N}_x \le R_y \cdot A_n \cdot \gamma_c$$

საკოჭის სიმტკიცე მოწმდება ფორმულით:

$$n_1 \cdot X + X_1 \le R_{bs,j} \cdot A_{bs,j} \qquad (8.39)$$

სადაც N_p არის წამწის ძირითადი სისტემის ელემენტებში მოქმედი ძალა, რომელიც წარმოიქმნება საანგარიშო დატვირთვისაგან; $\overline{N}_x$ არის ძალა ელემენტში, წარმოქმნილი საკოჭში მოქმედი ერთეული ძალისაგან; $n_1 = 1{,}1$ და $n_2 = 0.9$ - საიმედობის კოეფიციენტებია დატვირთვების მიხედვით; φ -გრძივი ღუნვის კოეფიციენტი ცენტრალური კუმშვისას.

8.9. წამწის სამუშაო ნახაზების შედგენა

წამწის სამუშაო ნახაზები შედგება:

1. გადახურვის სამონტაჟო სქემისაგან;
2. გადასაზიდი სამონტაჟო ერთეულების დეტალური ნახაზებისაგან;

3. სპეციფიკაციისაგან.

გადახურვის სამონტაჟო სქემაზე ნაჩვენები უნდა იქნეს წამწეებისა და კავშირების განლაგება. სამონტაჟო სქემები იხაზება 1:200 ან 1:400 მასშტაბში.

გადასაზიდი ერთეული ჩვეულებრივ წარმოადგენს წამწის ნახევარის დეტალურ ნახაზს და გამოიხაზება 1:20 მასშტაბში.

ამ ნახაზებზე მოყვანილ სპეციფიკაციაში მოცემულია წამწის ელემენტების გეომეტრიული ზომები, რაოდენობა და მასა.

გადახურვის სამონტაჟო სქემა, გადასაზიდი ერთეულის დეტალური ნახაზი და მასალის სპეციფიკაცია გამოიხაზება ერთ სტანდარტულ სახაზავ ფორმატზე.

8.10. დეროვან სისტემებში ძალვების განსაზღვრის გრაფიკული ხერხი მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგებით

8.10.1. გრაფიკული ხერხით ძალვების განსაზღვრის ზოგადი პრინციპები. როგორც ადრე აღვნიშნეთ სტატიკურად რკვევადი ღეროვანი სისტემის ელემენტებში ძალვების მნიშვნელობების განსაზღვრა შეიძლება სხვადასხვა გზით: გრაფიკულად მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგებით, ანალიზურად-კვანძების ამოკვეთის, ან დაგეგმილების მეთოდით და ცხრილებით-ერთეული კვანძური დატვირთვების მიხედვით დადგენილი კოეფიციენტების საშუალებით, ასევე კომპიუტერული პროგრამების გამოყენებით. დახრილსარტყლიან წამწის ელემენტებში უფრო მოსახერხებელია ძალვების გრაფიკული ხერხით განსაზღვრა, პარალელურსარტყლებიან წამწისათვის კი, კვანძების ამოკვეთის მეთოდით.

გრაფიკული მეთოდი ეფუძნება ისეთ ძალთა მრავალკუთხედის აგებას, სადაც ძალების მიმართულებები ცნობილია (ისინი მოქმედებენ ღეროების ღერძების გასწვრივ) და საჭიროა მათი სიდიდეების განსაზღვრა.

დიაგრამის აგება იწყება სისტემის იმ კვანძიდან, სადაც ორი ღერო იკრის თავს (წამწეებში, როგორც წესი, იგი წარმოადგენს საყრდენ კვანძს), შემდეგი კვანძების თანმიმდევრობა კი ისე შეირჩევა, რომ ახალ კვანძში თავს უნდა იკრიდეს არა უმეტეს ორი უცნობისა.

როგორც ვიცით სტატიკურად რკვევად სისტემად ითვლება ისეთი ღეროვანი სისტემა, რომლის კვანძებში სახსრებია მოთავსებული, ხოლო ღეროები სუფთა კუმშვაზე ან გაჭიმვაზე მუშაობენ (მისი ამოხსნისათვის საკმარისია სტატიკის წონასწორობის განტოლებები).

ძალვების განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდის უპირატესობაა მისი სიმარტივე. ღეროვან სისტემაში ძალვების ცვლის სურათის

თვალსაჩინოება, საკმარისი სიზუსტე და ძალვების განსაზღვრის სიზუსტის ავტომატური კონტროლი (შეცდომით აგებული დიაგრამა არ "იკვრება" ანუ არ ბრუნდება საწყის წერტილში, საიდანაც დავიწყეთ აგება).

დიაგრამის აგებას წინ უსწრებს შემდეგი მოსამზადებელი მოქმედებები:

1. ანალიზური ან გრაფიკული გზით (პირველი უკეთესია) ღეროვანი სისტემის საყრდენი რეაქციების გამოთვლა;

2. ცალკეულ ღეროებსა, სისტემის კონტურსა და ძალვებს შორის მოთავსებული ფართობების დანომვრა ციფრებით, რის შემდეგაც ნებისმიერი ღერო ან ძალა აღინიშნება ორი ციფრით-მოსაზღვრე ფართობების ნომრებით (ნახ. 2.29);

3. ნულოვანი ღეროების გამოვლენა, რომელთა დატანაც დიაგრამაზე ზედმეტია;
იმ ღეროების გამოვლენა, რომლებშიც ძალვებს განსაზღვრავენ ადგილობრივი კვანძური დატვირთვები.

8.10.2. წამწის ელემენტებში ძალვების განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდის თეორიული საფუძვლები. გავეცნოთ წამწის ელემენტებში (ღეროებში) ძალვების გრაფიკული მეთოდით განსაზღვრის თეორიულ საფუძვლებს. ვთქვათ მოცემული გვაქვს $A_1, A_2 ... A_5$ წამწე (ნახ. 8.29,ა), რომლის კვანძებში მოქმედებს წონასწორობაში მყოფი $F_1, F_2 ... F_5$ ძალთა სისტემა. საჭიროა განვსაზღვროთ ძალვები ღეროებში.

ღეროები დავნომროთ ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. 8.29), ძალვები ღეროებში აღვნიშნოთ $S_1, S_2 ... S_7$, ხოლო მათი შესაბამისი რეაქციები $R_1, R_2 .... R_7$.

შევადგინოთ $F_1, F_2 ... F_5$ ძალების ძალთა მრავალგვერდი იმ მიმდევრობით, რომლითაც ისინი გენდებიან ღეროვან სისტემაზე. ძალების წონასწორობის გამო მიიღებთ შეკრულ მრავალგვერდს 2-1-7-8 (ნახ. 8.29,ბ). ამის შემდეგ გამოვიყენოთ ღეროვან სისტემაში ძალვების განსაზღვრის კვანძების ამოკვეთის მეთოდი. ამოვკვეთოთ ის კვანძი, რომელშიც თავს იყრის ორი ღერო. ასეთია A_1 კვანძი. ამ კვანძზე მოქმედებს სამი ძალა F_1 და 1-3 და 2-3 ღეროებში აღძრული S_1 და S_2 ძალვები და რადგანაც ისინი წონასწორობაში არიან, შეადგენენ სამკუთხედს (Δ 1-2-3). ავაგოთ ეს სამკუთხედი ძალთა მრავალგვერდთან ისე, რომ მისი ერთი გვერდი დაემთხვას F_1 ძალას (1-2), მაშინ ამ სამკუთხედიდან განვსაზღვრავთ S_1 და S_2 ძალვების სიდიდეებს 1-3 და 2-3 მონაკვეთები (ნახ. 8.29,ბ). ამავე დროს გამოვარკვევთ, რომ 1-3 ღერო იკუმშება, ხოლო 2-3 იჭიმება.

ღეროში მოქმედი ძალვის ნიშნის დადგენა ხდება შემდეგნაირად: მაგალითად, დავადგინოთ S_1 და S_2 ძალვების ნიშნები ("-"იკუმშება; "+"იჭიმება). წამწის ნახაზზე დავდგეთ 1-3 ღეროს ნებისმიერ ბოლოში, ვთქვათ A_1 წერტილში, მაშინ ამ ღეროს წავიკითხავთ საათის ისრის მოძრაობის მიმართულებით, როგორც 1-3 (3-1 არ შეიძლება, რადგანაც 3 უბნის შემდეგ მოდის 2 უბანი და შემდეგაა ღეროს აღმნიშვნელი 1 უბანი). დავხედოთ დიაგრამას და შევამჩნევთ, რომ ძალა მიმართულია ზემოდან ქვემოთ (1-3), ე.ი."შედის" A_1 კვანძში, რაც იმას ნიშნავს, რომ 1-3 ღერო შეკუმშულია, თუ დავდგებოდით A_2 კვანძში, მაშინ ღერო წაიკითხებოდა, როგორც 3-1, დავხედავთ დიაგრამას-ძალა მიმართულია ქვეშიდან ზევით, ე.ი. "შედის A_2 კვანძში და ღერო შეკუმშულია. ანალოგიურად დავადგინოთ ძალის ნიშანს 2-3 ღეროსთვისაც.

შემდეგ ავაგოთ A_2 კვანძზე მოქმედი ძალების მრავალგვერდი. ამისათვის ჯერ უნდა ავაგოთ 1-3 ღეროს რეაქცია. იგი უკვე აგებული გვაქვს და (-S_1); შემდეგ მას უნდა მივუმატოთ F_2 ძალა: ესეც აგებულია (1-4); R_6 და R_7 რეაქციების ასაგებად S_7 ძალვისა და F_5 ძალის ბოლოებიდან უნდა გავატაროთ 3-5 და 4-5 ღეროების პარალელური წრფეები ურთიერთგადაკვეთამდე (მე-5 წერტილი). მივიღებთ A_5 კვანძზე მოდებული ძალების მრავალგვერდს. ეს პროცესი უნდა განვაგრძოთ ყველა კვანძისათვის და მივიღებთ ნაკვეთს (ნახ. 8.29,ბ), რომელსაც მაქსველ-კრემონას დიაგრამა ეწოდება (მაქსველი (1831-1879 წწ)-იყო ინგლისელი ფიზიკოსი, ხოლო კრემონა (1830-1903 წწ.)-იტალიელი მათემატიკოსი, დიაგრამის აგების წესი მაქსველმა დაადგინა 1864 წ., ხოლო კრემონამ 1872 წ.).

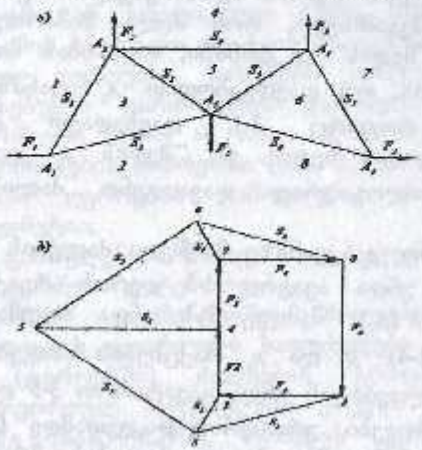
ამ აგების მიხედვით ყოველი მოცემული ძალა და ყოველი ძალვა დიაგრამაზე შეგვხვდება მხოლოდ ერთხელ. ერთ კვანძზე მოდებული ყველა ძალა დიაგრამაზე გვაძლევს შეკრულ მრავალგვერდს. ძალვები ღეროებში, რომლებიც წამწეზე სამკუთხედს ქმნიან, დიაგრამაზე ერთ წერტილში იკვეთებიან.

მაქსველ-კრემონას დიაგრამის ასაგებად უნდა დავიცვათ შემდეგი წესი:

1. ყველა გარე ძალა დავხაზოთ წამწეს გარეთ;

2. გარე ძალთა მრავალგვერდი ავაგოთ გარკვეული მიმდევრობით. მაგალითად, თუ წამწეს შემოუვლით საათის ისრის მოძრაობის გვეზით, მაშინ გარე ძალები შეგვხვდება F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 მიმდევრობით.

3. ძალთა მრავალკუთხედზე მიუანიშნოთ თითეულ კვანძზე მოქმედი ძალების მრავალკუთხედი იმავე მიმდევრობით, როგორც ეს გავაკეთეთ გარე ძალების მრავალკუთხედის აგებისას, ე.ი. თითეულ კვანძს შემოუაროთ საათის ისრის მოძრაობის გეზით. მაგ. A_1 კვანძზე მოქმედი ძალების მრავალკუთხედის აგებისას გვექნება F_1, S_1 და S_2 მიმდევრობა, A_2 კვანძის აგებისას-S_1, F_2, S_4, S_3 და ა.შ.



ნახ. 8.29. მაქსველ-კრემონას დიაგრამა

მაქველ-კრემონას დიაგრამის ასაგებად საჭიროა ჩავატაროთ შემდეგი მოქმედებები: 1) გამოვხაზოთ წამწე სქემატურად; 2) ვაჩვენოთ რომელ კვანძებზეა საყრდენები განლაგებული; 3) მოვდოთ წამწის კვანძებში გარე ძალები; 4) ვიპოვოთ საყრდენთა რეაქციები; 5) შევარჩიოთ ძალის მასშტაბი; 6) გადავნომროთ წამწეზე უბნები; 7)შევადგინოთ გარე ძალების მრავალკუთხედი; 8) შევარჩიოთ ისეთი კვანძი, რომელშიც თავს იყრის მხოლოდ ორი უცნობი ღერო; 9) ავაგოთ კრემონას დიაგრამა; 10) გადავნომროთ ღეროებში აღძრული ძალები სიგრძის ერთეულში (მაგ.სმ) და გავამრავლოთ მასშტაბზე, მივიღებთ ძალას ღეროში; 11) განვსაზღვროთ ძალების ნიშნები.

8.10.3. წამწის ელემენტებში ძალების განსაზღვრის მაგალითი. ავაგოთ ძალების დიაგრამა ნახ. 8.30-ზე წარმოდგენილ წამწისათვის.

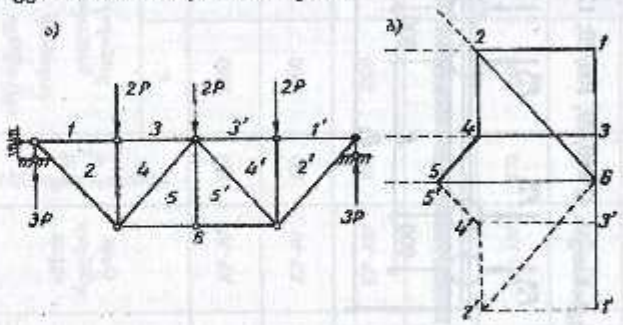
1. გამოვხაზოთ წამწე გრძივ მასშტაბში

2. გადავნომროთ რიცხვებით მისი უბნები ზემოთაღნიშნული (პუნქტი 8.10.3) წესის მიხედვით.

3.დატვირთვების მიხედვით ვიპოვოთ საყრდენთა რეაქციები.

4.აქტიური და რეაქტიული ძალების მიხედვით ავაგოთ ძალთა მრავალკუთხედი:

4.1. შევარჩიოთ ძალის მასშტაბი



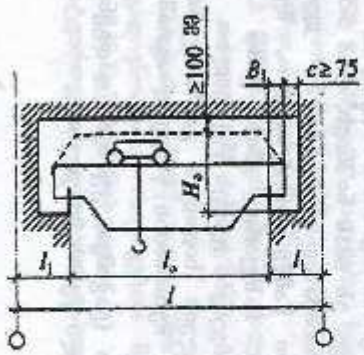
ნახ. 8.30. ა)-წამწის სქემა; ბ)-მაქსველ-კრემონას დიაგრამა.

4.2. წარმოსახვითად დავდგეთ მე 6-ე უბანში და წამწეს შემოუაროთ საათის ისრის ბრუნვის მიმართულებით. ყოველი ახალი ძალის შეხვედრისას დიაგრამაზე შერჩეული ძალის მასშტაბის მიხედვით დავიტანოთ დიაგრამაზე გარე ძალები, მაგ: მიმდევრობით6-1-3-3'-1'-6. ჩვენ შემთხვევაში დიაგრამის ხაზები, რომლებიც შეესაბამებიან 6-5 და 6-5' ღეროებს, ემთხვევიან ერთმანეთს, რადგან ორივე ღერო ჰორიზონტალურია და შემოსაზღვრავენ წამწის ერთი და იგივე უბანს (6).

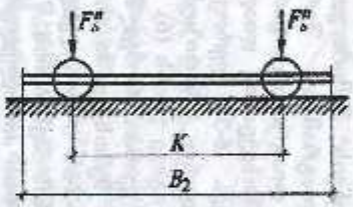
5. შევარჩიოთ წამწეზე ისეთი კვანძი, რომელშიც თავს იყრის მხოლოდ ორი უცნობი ღერო, ჩვენ შემთხვევაში ეს არის საყრდენი კვანძი. გავავლოთ 1-2 და 6-2-ის პარალელური წრფეები. გადაკვეთაში მივიღებთ მე 2-ე უბნის შესაბამის წერტილს 2-ს. ამ წერტილიდან გავავლოთ 2-4 და 3-4-ის პარალელური, გადაკვეთაში მივიღებთ მე 4-ე უბნის შესაბამის წერტილს 4-ს. გავავლოთ მეოთხე უბნიდან 4-5 და 6-5-ის პარალელური წრფეები. გადაკვეთაში მივიღებთ მე 2-ე უბნის შესაბამის წერტილს 5-ს. და ა.შ. 5 და 5' ერთმანეთს ემთხვევა, ეს იმას ნიშნავს, რომ 5-5' წრფე გარდაიქმნება წერტილად. შესაბამისად წამწეში 5-5' ღერო არ მუშაობს. რადგანაც მოცემული წამწე სიმეტრიულია, შეიძლება ავაგოთ დიაგრამის მხოლოდ ნახევარი. ამის გამო ავაგოთ დიაგრამის მეორე ნახევარი ნაჩვენები გვაქვს წყვეტილით.

6. რომელიმე ღეროში ძალვის სიდიდის განსაზღვრისათვის საჭიროა გაიხსომოს ამ ღეროს შესაბამისი წრფე დიაგრამაზე და გამრავლდეს ძალის მასშტაბზე.

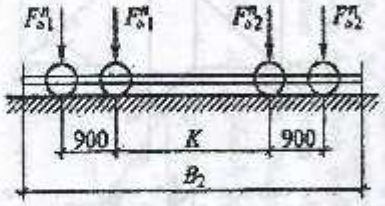
7. ღეროში ძალვის ნიშნის (გაჭიმვა, კუმშვა) დადგენა უნდა მოხდეს 8.10.2 პუნქტში მოყვანილი წესის მიხედვით.

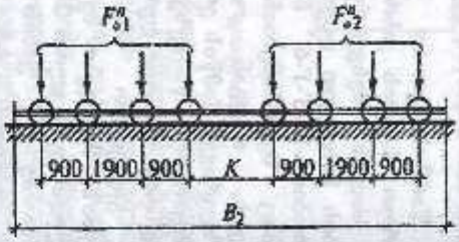


ამწეებისათვის $Q = 32/5$; $50/12{,}5$



ამწეებისათვის $Q = 80/20$; $100/20$; $125/20$





Q – ამწის გვირთამწეობა; F^n_{o1}; F^n_{o2} - ამწის ბორბლების მაქსიმალური ნორმატიული წნევა (ნორმატიული)

Q, ტ	ამწე-ურმის მთლიანი წონა, ტ	ფრენების ბიჯი, მ	ზომები, მმ				ბორბლების მაქსიმალური წნევა, კნ		ურმის წონა $G_ურ$, კნ	ამწის წონა ურმით $G_ა$, კნ	ამწის რელსის ტიპი	რელსის სიმაღლე $h_რ$, მმ	ამწისქვეშა კოჭის სიმაღლე $h_კ$, კოლონის მალისას, მ	
			H_k	B_1	B_2	K	F^n_{k1}	F^n_{k2}					6	12
32/5	314	24 30 36	2750 2750 2750	300	6300 6300 6800	5100 5100 5600	260(315) 280(345) 320(380)		85	343(510) 402(608) 554(715)	*KP-70*	120	1000	1500
50/12,5	490	24 30 36	3150	300	6860	5600	380(470) 415(505) 455(525)		132	475(676) 583(774) 716(843)	*KP-80*	130	1000	1500
80/20	785	24 30 36	3700 4000 4000	400	9100	4350	353(387) 373(418) 392(436)	373(397) 402(427) 422(446)	323(382)	1029(1137) 1176(1284) 1274(1431)	*KP-100*	150	1000	1600
100/20	980	24 30 36	3700 4000 4000	400	9350	4600	410(446) 449(476) 469(495)	439(456) 469(485) 489(505)	363(412)	1107(1186) 1303(1382) 1401(1431)	*KP-120*	170	1000	1600
125/20	1225	24 30 36	4000	400	9350	4600	436(479) 466(508) 485(528)	446(508) 476(538) 495(567)	382(441)	1156(1235) 1303(1431) 1500(1578)	*KP-120*	170	1000	1800
160/32	1570	24 30 36	4800	500	10500	1500	295(330) 311(330) 331(366)	304(320) 321(340) 350(370)	461(549)	1284(1617) 1676(1813) 1823(2009)	*KP-120*	170	1000	1800
200/32	1960	24 30 36	4800 4800 5200	500	10800	1500	358 378 397	368 387 407	549	1637 1833 2029	*KP-120*	170	1000	1800

შენიშვნა: ფრჩხილებში მოცემული ციფრები მიეკუთვნება განსაკუთრებულ რეჟიმში მომუშავე ამწეებს.

ცხრილი 1.1

ნიწის ჰორიზონტალური ზედაპირის 1 მ²-ზე მოსული თოვლის საფარის წონის საანგარიშო მნიშვნელობები

ქალაქები	თოვლის საფარი P_0 კნ/მ²
აბაშა, ანაკლია, ახალქალაქი, ახალგორი, ახალი აფონი, ახალციხე, ახმეტა, ბათუმი, ბოლნისი, გაგრა, გალი, გარდაბანი, გორი, გურჯაანი, გუდაუთა, გულრიფში, დმანისი, დუშეთი, ზუგდიდი, ქაზრეთი, ქასპი, ლანჩხუთი, მარნეული, მარტვილი, ნინოწმინდა, ოზურგეთი, ქარელი, ქობულეთი, ქუთაისი, ყვარელი, ჯვარი.	0,5
ახალქალაქი, ბორჯომი, ზნაური.	0,53
გომბორი	0,62
ზესტაფონი	0,64
ადიგენი	0,66
ამბროლაური	0,75
ყაზბეგი	0,84
ჯავა	1,01
კვაისი	1,03
ბარისახო	1,08
ქედა	1,21
ლენტეხი	1,25
ბაკურიანი რკინიგზის სადგური	1,39
ბაკურიანი აგრო	1,41
ბაკურიანი სანერგე	1,43
ბახმარო	5,52

ცხრილი 1.2

ქარის დაწნევის ნორმატიული მნიშვნელობები

ქალაქები	ქარის დაწნევა q_0 კნ/მ²
აბასთუმანი, ამბროლაური, ახალი აფონი, ახალციხე, ბარისახო, ბორჯომი, გაგრა, გალი, ზნაური, კვაისი, ლაგოდეხი, ლენტეხი, მესტია, ონი, სურამი, სოხუმი, ტყიბული, ფასანაური, ქედა, ყაზბეგი, ცაგერი, წაღვერი, ხულო, ჯავა.	0,27
აგარა, ადიგენი, ახალგორი, ახალქალაქი, ბაკურიანი, ბაღდათი, ბახმარო, ბოლნისი, გუდაუთა, გულრიფში, დმანისი, ზუგდიდი, თბილისი ბოტ. ბაღი, თერჯოლა, კახეთი, კაჭრეთი, მარნეული, ოზურგეთი, ორამბირე, საჩხერე, ქარელი, ქობულეთი, ყვარელი.	0,35
აბაშა, ასპინძა, ახმეტა, ბათუმი, გარდაბანი, გორი, გურჯაანი, დუშეთი, ვანი, თბილისი, თელავი, თეთრი-წყარო, მანგლისი, მარტვილი, ნინოწმინდა, საგურამო, სოხუმი აეროპორტი, ჩოხატაური ჯვარი, ცხინვალი, წალკა, ხობი, წყალტუბო, ხაშური, ჭიათურა.	0,45
ანაკლია, გომბორი, ზესტაფონი, თიანეთი, კასპი, ლანჩხუთი, რუსთავი, საგარეჯო, ფოთი, ხარაგაული.	0,55
თბილისი შუახევლისა, მუხრანი, მცხეთა, ნატახტარი, ხაშტრედია, სენაკი, სიღნაღი, ქუთაისი ქალაქი.	0,7
ტყიბული, ხონი.	0,85
საჩხერე	1,18
თბილისი აეროპორტი, ქუთაისი აეროპორტი.	1,5

ქარის დაწნევის სიმაღლის მიხედვით შემასწორებელი კოეფიციენტი k

დასახელება	მიწის ზედაპირიდან სიმაღლეზე მ								
	10	20	30	40	60	100	200	350	≥ 480
ღია ადგილ-მდებარეობები (ველებში, უდაბნოები, ზღვის, ტბის, წყალსაცავების ღია სანაპიროები)	1,0	1,25	1,38	1,5	1,7	2,0	2,45	2,75	2,75
ქალაქის ტერიტორიები, ტყის მასივები, 10 მეტრზე მეტი სიმაღლის თანაბრად დაფარული წინაღმდეგობებით	0,65	0,85	0,98	1,1	1,3	1,6	2,1	2,75	2,75
ქალაქის რაიონები, რომლებიც აშენებულია 25 მეტრზე მეტი სიმაღლის მჭიდრო შენობებით	0,4	0,55	0,68	0,8	1,0	1,25	1,8	2,35	2,75

ფოლადის მარკები, რომლებიც შეესაბამება ფოლადებს სტანდარტის – ГОСТ 27772 მიხედვით

ფოლადი ГОСТ 27772-88-ის მიხედვით	შემცვლელი ფოლადები
С235	ВСт3кп2
С245	ВСт3пс6-1
С255	ВСт3сп5-1
С275	ВСт3пс6-2
С285	ВСт3сп5-2
С345	09Г2, 09Г2С, 14Г2, 15ХСНД,
С375	09Г2С-2, 14Г2, 10Г2С1, 15ХСНД
С390	10Г2С1т, 10ХСНД, 14Г2АФ
С440	16Г2АФ
С590	12Г2СМФ

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა. სხვადასხვა ფოლადების სხვადასხვა სტანდარტების მიხედვით შესაძლებლობები შეიძლება იხილოთ სხვადასხვა ნორმებში.

დანართი 5

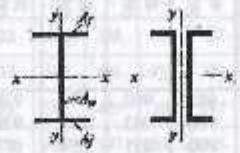
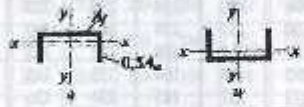
ფოლადის შედუღებითი და ჭანჭიკებით შეერთების, საანარიშო წინაღობები ГОСТ 27772-88-ის მიხედვით, კნ/სმ²

ფოლადი	ნაგლინის ტიპი	სისქე მმ	R_{yn}/R_{un}	R_y	R_p	R_s	R_{wz}	R_{bp}
C235	ფურცელი, ფასონი	2-20	23,5/36	23	35	13,5	16	47,5
		21-40	22,5/36	22	35	12,5	16	47,5
	ფურცელი	41-100	21,5/36	21	35	12	16	47,5
C245	ფურც.ფასონი	2-20	24,5/37	24	36	14	16,5	48,5
	ფასონი	21-30	23,5/37	23	36	13,5	16,5	48,5
C255	ფურცელი	4-10	24,5/38	24	37	14	17	50
	ფასონი	4-10	25,5/38	25	37	14,5	17	50
	ფურცელი	11-20	23,5/37	24	36	14	16,5	48,5
	ფასონი	21-40	23,5/37	23	36	13,5	16,5	48,5
C275	ფურც.ფასონი	2-10	27,5/38	27	37	15,5	17	50
	ფურცელი	11-20	26,5/37	26	36	15	16,5	48,5
	ფასონი	11-20	27,5/38	27	37	15,5	17	50
C285	ფურცელი	4-10	27,5/39	27	38	15,5	17,5	51,5
		11-20	26,5/38	26	37	15	16,5	50
	ფასონი	4-10	28,5/40	28	39	16	18	52,5
		11-20	27,5/39	27	38	15,5	17,5	51,5
C345	ფურცელი, ფასონი	2-10	34,5/49	33,5	48	19,5	22	64,5
		11-20	32,5/47	31,5	46	18	21	62
		21-40	30,5/46	30	45	17,5	20,5	60,5
C375	ფურცელი, ფასონი	2-10	37,5/51	36,5	50	21	23	67
		11-20	35,5/49	34,5	48	20	22	64,5
		21-40	33,5/48	32,5	47	19	21,5	63
C390	ფურცელი	4-50	39/54	38	53	22	24,5	71
C440	ფურცელი	4-30	44/59	43	57,5	25	26,5	77,5
		31-50	41/57	40	55,5	23	25,5	75
C590	ფურცელი	10-36	54/63,5	51,5	60,5	30	28,5	83

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: 1. C345 და C375 ფოლადებისათვის ფურცლოვანი და ფასონური ნაგლინის მახასიათებლები ერთმანეთს ემთხვევა.
2. C390, C440, C590 ფოლადების ფასონური ნაგლინი არ მზადდება.

დანართი 6

კოეფიციენტები ლითონის კონსტრუქციების ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით

კვეთის ტიპი	კვეთის სქემა	$\frac{A_f}{A_w}$	კოეფიციენტების მნიშვნელი $c(c_x)$	c_y	n როცა $M_y = 0$
1		0,25 0,5 1 2	1,19 1,12 1,07 1,04	1,47	1,5
8		–	1,6	1,47	ა) 3 ბ) 1
9		0,5 1 2	1,6	1,07 1,12 1,19	ა) 3 ბ) 1

როცა $M_y \neq 0$ კოეფიციენტი $n = 1,5$

დანართი 7

ორტესებრი კოჭების ψ კოეფიციენტები, რომლებსაც აქვთ სიმეტრიის ორი ღერძი

მალში შეკუმშული ნარტყელების ჩამაგრების რაცხვი	მალში ჯატეორთების სახე	დატვირთული ნარტყელი	ფორმულები ψ-ს გაანგარიშებისათვის, როცა $0,1 < \alpha \leq 40$
ჩამაგრების გარეშე	შეკრული	ზედა	$\psi = 1,75 + 0,09\alpha$
		ქვედა	$\psi = 5,05 + 0,09\alpha$
	თანაბრად განაწილებული	ზედა	$\psi = 1,6 + 0,08\alpha$
		ქვედა	$\psi = 3,8 + 0,08\alpha$
ორი და მეტი, რომლებზეც მალს ეყრდნობა თანაბარ ნაწილებად	ნებისმიერი	ნებისმიერი	$\psi = 2,25 + 0,17\alpha$

ცენტრალურად შეკუმშული კლემენტების გრძივი ღუნვის კოეფიციენტები, φ

მოქნილობა, λ	კოეფიციენტები ფოლადის კლემენტებისათვის საანგარიშო წინაღობით R_y მპა(კგ/სმ²)											
	200 (20,5)	240 (24,5)	280 (28,5)	320 (32,5)	360 (36,5)	400 (41,0)	440 (45,0)	480 (49,0)	520 (53,0)	560 (57,0)	600 (61,0)	640 (65,5)
10	988	987	985	984	983	982	981	980	979	978	977	977
20	967	962	959	955	952	949	946	943	941	938	936	934
30	939	931	924	917	911	905	900	895	891	887	883	879
40	906	894	883	873	863	854	846	849	832	825	820	814
50	869	852	836	822	809	796	785	775	764	746	729	712
60	827	805	785	766	749	721	696	672	650	628	608	588
70	782	751	724	687	654	623	595	568	542	518	494	470
80	734	686	641	602	566	532	501	471	442	414	386	359
90	665	612	565	522	483	447	413	380	349	326	305	287
100	599	542	493	448	408	369	335	309	286	267	250	235
110	537	478	427	381	338	306	280	258	239	223	209	197
120	479	419	366	321	287	260	237	219	203	190	178	167
130	425	354	313	276	247	223	204	189	175	163	153	145
140	376	315	272	240	215	195	178	164	153	143	134	126
150	328	276	239	211	189	171	157	145	134	126	118	111
160	290	244	212	187	167	152	139	129	120	112	105	099
170	259	218	189	167	150	136	125	115	107	100	094	089
180	233	196	170	150	135	123	112	104	097	091	085	081
190	210	177	154	136	122	111	102	094	088	082	077	073
200	191	161	140	124	111	10	093	086	080	075	071	067
210	174	147	128	113	102	093	085	079	074	069	065	062
220	160	135	118	104	094	086	077	073	068	064	060	057

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: ცხრილში φ კოეფიციენტების მნიშვნელობები გადიდებულია 1000-ჯერ

φ_e კოეფიციენტების მნიშვნელობები ცარიელტრალურად შეკუმშული, მოლიანკედლიანი ღეროების მდგრადობის შემოწმებისათვის, მომენტის მოქმედების სიბრტყეში, რომელიც ემთხვევა სიმეტრიის სიბრტყეს

$\bar{\lambda}$	φ_e კოეფიციენტი ფარდობით ექსცენტრისიტეტთან $-m_y$ დამოკიდებულებაში															
	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	17
0,5	967	850	722	620	538	469	417	337	280	237	210	183	150	125	106	090
1	925	778	653	563	484	427	382	307	259	225	196	175	142	121	103	086
1,5	875	716	593	507	439	388	347	283	240	207	182	163	134	114	0,99	082
2	813	653	536	457	397	352	315	260	222	193	170	153	125	107	094	079
2,5	742	587	480	410	357	317	287	238	204	178	158	144	118	101	090	076
3	667	520	425	365	320	287	260	217	187	166	147	135	112	097	086	073
3,5	587	455	375	325	287	260	237	198	172	153	137	125	106	092	082	069
4	505	394	330	289	256	232	212	181	158	140	127	118	098	088	078	066
4,5	418	342	288	257	229	208	192	165	146	130	118	110	093	083	075	064
5	354	295	253	225	205	188	175	150	135	120	111	103	088	079	072	062
5,5	302	256	224	200	184	170	158	138	124	112	104	095	084	075	069	060
6	258	223	198	178	166	153	145	128	115	104	096	089	079	072	066	057

შენიშვნა: 1. ცხრილში φ_e კოეფიციენტების მნიშვნელობები გაზრდილია 1000-ჯერ.

2. φ_e-ს მნიშვნელობები მიღებული უნდა იქნას არა უმეტეს φ-ს მნიშვნელობებისა.

φ_e კოეფიციენტების მნიშვნელობები გარეცენტრალურად შეკუმშული, გამჭოლკედლიანი ღეროების მდგრადობის შემოწმებისათვის, მოშენების მოქმედების სიბრტყეში, რომელიც ემთხვევა სიმეტრიის სიბრტყეს

λ	φ_e კოეფიციენტი უარდობით ექსცენტრისიტეტთან m_{ef} დამოკიდებულებაში															
	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	17
0,5	908	666	500	400	333	286	250	200	157	143	125	111	091	077	067	058
1	872	640	483	387	328	280	243	197	155	142	121	109	090	077	066	055
1,5	830	600	454	367	311	271	240	190	163	137	119	106	088	077	065	053
2	774	556	423	346	293	255	228	183	156	132	117	106	086	076	064	052
2,5	708	507	391	322	274	238	215	175	148	127	113	103	083	074	062	051
3	637	455	356	296	255	222	201	165	138	121	110	100	081	071	061	051
3,5	562	402	320	270	235	206	187	155	130	115	106	096	078	069	059	050
4	484	357	288	246	215	191	173	145	124	110	100	093	076	067	057	049
4,5	415	315	258	223	196	176	160	136	116	103	096	089	073	065	055	048
5	350	277	230	201	178	161	149	127	108	100	092	086	071	062	054	047
5,5	300	245	203	182	163	147	137	118	102	095	087	081	068	059	052	046
6	255	216	183	165	149	135	126	109	097	090	083	077	065	056	051	045

შენიშვნა: 1. ცხრილში φ_e კოეფიციენტების მნიშვნელობები გაზრდილია 1000-ჯერ.

2. φ_e-ს მნიშვნელობები მიღებული უნდა იქნას არა უმეტეს φ-ს მნიშვნელობისა.

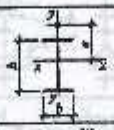
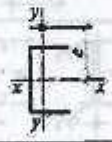
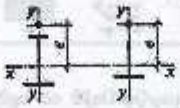
ძალთა ფორმის გაანგარიშის კოეფიციენტები η

ძალთა ეპიურის ტიპი	ძალთა სქემა და ელასტიური სისტემა	A_f/A_w	η-ს მნიშვნელობა, როდესაც $0 \le \bar{\lambda} \le 5$		$\bar{\lambda} > 5$	
			$0,1 \le m \le 5$	$5 < m \le 20$	$0,1 \le m \le 5$	$5 < m \le 20$
1		–	1	1	1	
2		0,25 0,5 ≥1	$(1,45-0,05m)-0,01(5-m)\bar{\lambda}$ $(1,75-0,1m)-0,02(5-m)\bar{\lambda}$ $(1,9-0,1m)-0,02(6-m)\bar{\lambda}$	1,2 1,25 $1,4-0,02\bar{\lambda}$	1,2 1,25 1,3	
3		–	$\eta_2[1-0,3(5-m)a_1/h]$	η_2		
4		–	$\eta_2[1-0,8a_1/h]$		$\eta_2[1-0,8a_1/h]$	
5		0,5 1 1,5 2	$1,45+0,04m$ $1,8+0,12m$ $2+0,22m+0,1\bar{\lambda}$ $3+0,25m+0,1\bar{\lambda}$	1,65 2,4 – –	$1,45+0,04m$ $1,8+0,12m$ – –	1,65 2,4 – –

შენიშვნა: 1. 2-4 ცხრილის ღერძებისათვის A_f/A_w მნიშვნელობების დადგინებისას თარეშის ტერიტორიად გათვალისწინებულ მნიშვნელობებში მიიღება ზიდვის ზიგზაგი არ ითვლება. 2. 3-4 ტიპის ცხრილებისათვის $\square_2$ მნიშვნელობები ანალიზისა ხელმძღვანელობა ნებადართული იქნას $\square$ ტოლად, თუ ტოლია η_1-ს ტოლი A_f/A_w იგივე მნიშვნელობებისა.

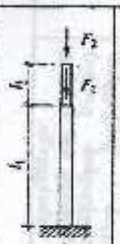
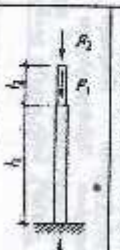
დანართი 12

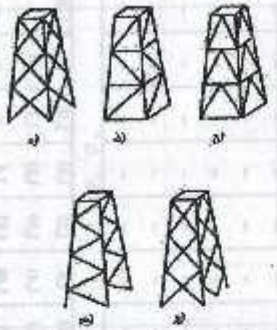
კოეფიციენტები α და β

ჯგუფის ტიპი	ჯგუფის სქემა და მაქსიმალური ხისტეტი	α		β	
		$m_x \le 1$	$1 < m_x \le 5$	$\lambda_y \le \lambda_c$	$\lambda_y > \lambda_c$
1		0,7	$0,65 + 0,05m_x$	1	$\sqrt{\varphi_c / \varphi_y}$
2					
3					
4		$1 - 0,3\frac{I_2}{I_1}$	$1 - (0,35 - 0,05m_x)\frac{I_2}{I_1}$	1	$1 - \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_c}{\varphi_y}}\right)\left(\frac{2I_2}{I_1} - 1\right)$; $\beta = 1$ როცა $I_2 / I_1 < 0,5$

დანართი 13

ერთხაფეხურიანი სვეტის საანგარიშო სიგრძის კოეფიციენტი μ_1

საანგარიშო სქემა	α_1	μ_1 კოეფიციენტი, როცა n-ის მნიშვნელობა ტოლია																				
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	5	10	20
		როცა ზედა ბოლო თავისუფალია ჩამაგრებისაგან																				
	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	0,2	2	2,01	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,06	2,07	2,08	2,09	2,1	2,12	2,14	2,15	2,17	2,21	2,4	2,76	3,38
	0,4	2	2,04	2,08	2,11	2,13	2,18	2,21	2,25	2,28	2,32	2,35	2,42	2,48	2,54	2,6	2,66	2,8	–	–	–
	0,6	2	2,11	2,2	2,28	2,36	2,44	2,52	2,59	2,66	2,73	2,8	2,93	3,05	3,17	3,28	3,39	–	–	–	–
	0,8	2	2,25	2,42	2,56	2,7	2,83	2,96	3,07	3,17	3,27	3,36	3,55	3,74	–	–	–	–	–	–	–
	1	2	2,5	2,73	2,94	3,13	3,29	3,44	3,59	3,74	3,87	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1,5	3	3,43	3,77	4,07	4,35	4,61	4,86	5,13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2	4	4,44	4,9	5,29	5,67	6,03	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2,5	5	5,55	6,08	6,56	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3	6	6,65	7,25	7,82	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		როცა ზედა ბოლო ჩამაგრებულია, მაგრამ ხოხბრუნებისაგან																				
	0	2	1,92	1,86	1,8	1,76	1,7	1,67	1,64	1,6	1,57	1,55	1,5	1,46	1,43	1,4	1,37	1,32	1,18	1,1	1,05
	0,2	2	1,93	1,87	1,82	1,76	1,71	1,68	164	1,62	1,59	1,56	1,52	1,48	1,45	1,41	1,39	1,33	1,2	1,11	–
	0,4	2	1,94	1,88	1,83	1,77	1,75	1,72	1,69	1,66	1,62	1,61	1,57	1,53	1,5	1,48	1,45	1,4	–	–	–
	0,6	2	1,95	1,91	1,86	1,83	1,79	1,77	1,76	1,72	1,71	1,69	1,66	1,63	1,61	1,59	–	–	–	–	–
	0,8	2	1,97	1,94	1,92	1,9	1,88	1,87	1,86	1,85	1,83	1,82	1,8	1,79	–	–	–	–	–	–	–
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1,5	2	2,12	2,25	2,33	2,38	2,43	2,48	2,52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2	2	2,45	2,66	2,81	2,91	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2,5	2,5	2,94	3,17	3,34	3,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3	3	3,43	3,7	3,93	4,12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–



კონსტრუქციის მუშაობის პირობების კოეფიციენტი, γ_c

№	კონსტრუქციის ელემენტები	მუშაობის პირობების კოეფიციენტი γ_c
1	მოლიანკედლიანი კოჭები და გადახურვის წამწეების შეკუმშული ელემენტები, გამოყენებული თეატრების, კინოთეატრებისა და კლუბების დარბაზების ქვეშ, ტრიბუნების ქვეშ, ასევე მაღაზიების, წიგნთსაცავებისა და არქივების სათავსების ქვეშ, იმ შემთხვევაში, როდესაც გადახურვის ხანა მუდმივ ან ტოლია დროებით დატვირთვებზე.	0,9
2	საზოგადოებრივი შენობების სვეტები და წვალსაწნევი კოშკის საყრდენები.	0,95
3	დახურვისა და გადახურვის შედგენილები წამწეების, კუთხოვანებისაგან შედგენილი ტესებრი განკვეთის გისოსის ძირითადი შეკუმშული ელემენტები (გარდა საყრდენი ელემენტებისა, მაგ. ჩიჩინეული და მისი ანალოგური წამწეები) $\lambda \geq 60$ მოქნილობის შემთხვევაში.	0,8
4	მოლიანკედლიანი კოჭების საერთო მდგრადობაზე გაანგარიშების შემთხვევაში, როცა $\varphi_b < 1,0$.	0,95
5	გაგლინული ფოლადისაგან დამზადებული შემკერულები, საწევები, საკეტები და საკედრები	0,9
6	დახურვისა და გადახურვის ღეროვანი კონსტრუქციების ელემენტები: ა) შეკუმშული (შეკრული, მილისებრი, გაორკეცების გარდა) მდგრადობაზე გაანგარიშებისას. ბ) გაჭიმული, შედუღებული კონსტრუქციები. გ) სტატიკურ დატვირთვებზე მომუშავე, გაჭიმული, შეკუმშული და ალტერნ პირობრივ ზესადებები, ჭანჭიკური კონსტრუქციები (მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების საშუალებით შესრულებული კონსტრუქციების გარდა) დამზადებული ფოლადისაგან დენადობის ხღვრით 440 მპა-მდე (4500 კგ/სმ²), სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევაში.	0,95 0,95 1,05
7	სტატიკურ დატვირთვებზე მომუშავე და ჭანჭიკური შეერთებით შესრულებული (მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების შესრულებული შეერთების გარდა) შედგენილი, მთლიანკედლიანი კოჭები, სვეტები და აგრეთვე პირაპირა ზესადებები, დამზადებული ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 440მპა-მდე (4500კგ/სმ²), სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევაში.	1,1
8	სტატიკურ დატვირთვებზე მომუშავე ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 440 მპა-მდე (4500 კგ/სმ²), დამზადებული გაგლინული და შედუღებული ელემენტების, ასევე ზესადებების (მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებით პირაპირების გარდა) განიკვეთები, სიმტკიცეზე გაანგარიშების შემთხვევაში: ა) მთლიანკედლიანი კოჭები და სვეტები. ბ) დახურვისა და გადახურვის ღეროვანი კონსტრუქციები	1,1 1,05
9	სიერცული, გისოსური კონსტრუქციების გისოსის შეკუმშული ელემენტები, ერთმაგი თანაბართარიანი ან არათანაბართარიანი კუთხოვანებისაგან შედგენილი: ა) სარტყელზე ცალი თაროთი, შედუღების ნაკერით ან კიდეკუთხოვანის გასწვრივ განლაგებული ორი ან მეტი ჭანჭიკებით მიმაგრებული: ირიბები ა) სქემის მიხედვით განმრეკელი ბ) და გ) სქემების მიხედვით ირიბები გ), დ) და ე) სქემების მიხედვით ბ) სარტყელზე ცალი თაროთი, ერთი ჭანჭიკის საშუალებით (მოცემული ცხრილის მე-9 პოზიციაში მითითებულის გარდა) და აგრეთვე შეერთების სახის მიუხედავად დასაწონარას საშუალებით მიმაგრებული ელემენტები. გ) რიგელი დგარებისა გისოსის შემთხვევაში. როდესაც შეერთებები განხორციელებულია მითითითო ჭანჭიკებით. (ნახ. გ)-ს მიხედვით)	0,9 0,9 0,8 0,75 0,7
10.	ცალი თაროთი მიმაგრებული, ერთმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილი შეკუმშული ელემენტები (არათანაბართარიანებისათვის მცირე თარის შემთხვევაში), მოცემული ცხრილის მე-9 პოზიციაში აღნიშნული კონსტრუქციის ელემენტებისა და ერთმაგი კუთხოვანებისაგან შედგენილი ბრტყელი წამწეების გარდა ნახ. ბ).	0,75

შენიშვნები:

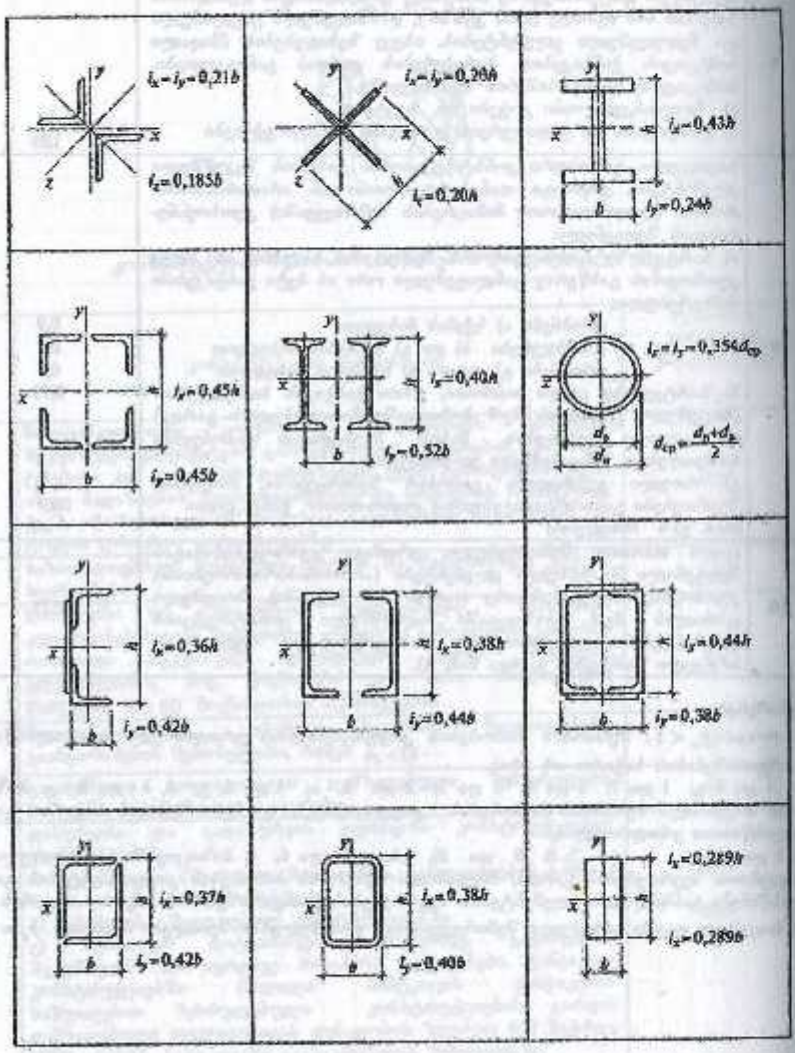
1) როცა $\gamma_c < 1$, მუშაობის პირობების კოეფიციენტების ერთდროულად გათვალისწინება გაანგარიშებისას საჭირო არ არის.

2) 1 და 6 გ; 1 და 7; 1 და 8; 2 და 7; 2 და 8, ა; 3 და 6, გ; 6, ბ და 8, გ პოზიციებში მოყვანილი მუშაობის პირობების კოეფიციენტები გაანგარიშებისას საჭიროა გათვალისწინოთ ერთდროულად.

3) 3 და 4; 6, ა, გ და 7; 8; 9 და 10, ასევე 5 და 6, ბ პოზიციებში (პირაპირული შედუღებითი შეერთებების გარდა) მოყვანილი მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გათვალისწინება განხილული ელემენტების შეერთების გაანგარიშებისას საჭირო არ არის.

4) მოცემულ თავში არსებული შემთხვევებისას ყურმულებში შეიძლება მივიღოთ $\gamma_c = 1$

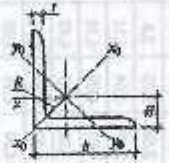
ზოგიერთი ტიპის კვეთების ინერციის რადიუსების მიახლოებითი მნიშვნელობები $i = \sqrt{I/A}$

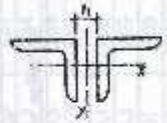


სორტამენტები

ცხრილი 16.1

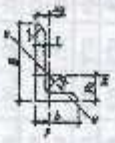
თანაბარფართიანი კუთხოვანები (ГОСТ 8509-93)





ზომები, მმ					ფართობის ფარდობითი ცდომილება, %	ცნობები						რადიუსი r_1, მმ				წონა 1 მ, კგ
						x–x		x₀–x₀		y–y						
b	t	R	r	z_0		I_x, სმ⁴	i_x მმ	I_{x_0}, სმ⁴	i_{x_0} მმ	I_y, სმ⁴	i_y მმ	10	12	14	16	
50	5	5,5	1,8	14,2	4,88	18,2	1,53	17,8	1,92	4,63	0,98	2,45	2,53	2,61	2,69	3,77
63	5	7	2,3	17,4	6,13	23,2	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	2,96	3,01	3,11	3,19	4,81
70	5	8	2,7	19	6,86	31,9	2,16	50,7	2,72	13,2	1,39	3,22	3,30	3,38	3,46	5,38
75	6	9	3	20,5	8,78	46,6	2,3	73,9	2,9	19,3	1,48	3,44	3,72	3,59	3,67	6,89
80	6	9	3	21,9	9,38	57	2,47	90,4	3,11	23,5	1,58	3,65	4,11	3,8	3,88	7,36
90	6	10	3,3	24,3	10,6	82,1	2,78	130	3,5	34	1,79	4,08	4,13	4,18	4,25	8,33
90	7	10	3,3	24,7	12,3	94,3	2,77	150	3,49	38,9	1,78	4,06	4,52	4,21	4,29	9,64
100	7	12	4	27,1	13,8	131	3,08	207	3,88	54,2	1,98	4,44	4,34	4,59	4,67	10,8
100	8	12	4	27,5	15,6	147	3,07	233	3,87	60,9	1,98	4,47	4,94	4,61	4,68	12,2
110	8	12	4,	30	17,2	198	3,39	315	4,28	81,8	2,19	4,87	5,53	5,01	5,08	13,5
125	8	14	4,6	33,6	19,7	294	3,87	467	4,87	122	2,49	5,46	5,55	5,6	5,67	15,5
125	0	14	4,6	34	22	327	3,86	520	4,86	135	2,48	5,48	6,16	5,63	5,71	17,3
140	9	14	4,6	37,8	24,7	466	4,34	739	5,47	192	2,75	6,09	6,18	6,23	6,3	19,4
140	10	14	4,6	38,2	27,3	512	4,33	814	5,46	211	2,78	6,11	6,98	6,25	6,32	21,5
160	10	16	4,6	43	31,4	774	4,96	1229	6,25	319	3,19	6,91	7	7,04	7,11	24,7
160	11	16	5,3	43,5	34,4	844	4,95	1340	6,24	348	3,18	6,93	7,1	7,07	7,14	27
160	16	16	5,3	45,5	49,1	1175	4,89	1866	6,17	495	3,14	7,03	7,81	7,17	7,24	38,5
180	11	16	5,3	48,5	38,8	1216	5,6	1933	7,06	500	3,59	7,74	7,83	7,88	7,97	30,5
180	12	16	5,3	48,9	42,2	1317	5,59	2093	7,04	540	3,58	7,76	8,62	7,9	7,98	33,1
200	12	18	6	53,7	47,1	1823	6,22	2896	7,84	749	3,99	8,55	8,67	8,69	8,76	37
200	14	18	6	54,6	54,6	2097	6,2	3333	7,81	861	3,97	8,6	8,71	8,74	8,81	42,8
200	16	18	6	55,4	62	2363	6,17	3755	7,78	970	3,96	8,64	9,49	8,77	8,87	48,7
220	16	21	7	60,2	68,6	3475	6,81	5045	8,58	1306	4,36	9,42	10,7	9,56	9,63	53,8
250	16	24	8	67,5	78,4	4717	7,76	7492	9,78	1942	4,98	10,6	10,8	10,8	10,9	61,5
250	20	24	8	69	97	5765	7,71	9160	9,72	2370	4,94	10,7	10,8	10,8	10,9	76,1

არათანაბართაროებიანი კუთხოვანები (ГОСТ 8510-86)

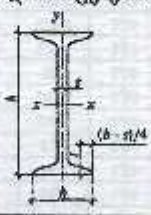




ზომები, მმ							მასა 1 მ-ის, კგ	ფარდობა $\frac{B}{b}$	საანგარიშო სიდიდეები ღერძებისათვის						მოდგმული კუთხის ინერციის რადიუსები						ცენტრის კოორდინატი y_0, მმ
									$x-x$		$y-y$		$u-u$		i_{y1}, სმ			i_{y2}, სმ			
															l_1 მანძილით მდებარეობისას, მმ						
B	b	t	R	r	x_0	y_0			I_x, სმ⁴	i_x, სმ	I_y, სმ⁴	i_y, სმ	I_u, სმ⁴	i_u, სმ	10	12	14	10	12	14	
75	50	5	8	2,7	1,17	2,39	6,11	4,79	34,8	2,39	12,5	1,43	7,24	1,09	3,75	3,82	3,9	2,19	2,27	2,35	0,436
100	63	8	10	33	1,5	3,32	12,6	9,87	127	3,16	39,2	1,77	23,4	1,36	4,97	5,04	5,12	2,67	2,74	2,82	0,391
125	80	8	11	3,7	1,84	4,05	16	12,5	256	4	81	2,28	48,8	1,75	6,05	6,13	6,21	3,26	3,34	3,41	0,406
125	80	10	11	3,7	1,92	4,14	19,7	15,5	312	3,96	100	2,26	59,3	1,74	6,11	6,18	6,26	3,31	3,38	3,46	0,404
140	90	8	12	4	2,03	4,49	18	14,1	364	4,49	120	2,58	70,3	1,98	6,71	6,78	6,86	3,61	3,68	3,75	0,411
140	90	10	12	4	2,12	4,58	22,2	17,5	444	4,47	146	2,56	85,5	1,96	6,76	6,84	6,91	3,66	3,73	3,8	0,409
160	100	10	13	4,3	2,28	5,23	25,3	19,8	667	5,13	204	2,84	121	2,19	7,69	7,76	7,84	3,97	4,04	4,11	0,39
160	100	12	13	4,3	2,36	5,32	30	23,6	784	5,11	239	2,82	142	2,18	7,74	7,82	7,89	4,01	4,09	4,16	0,388
180	110	10	14	4,7	2,44	5,88	28,3	22,2	952	5,8	276	3,12	165	2,42	8,61	8,69	8,77	4,28	4,35	4,42	0,375
180	110	12	14	4,7	2,52	5,97	33,7	26,4	1123	5,77	324	3,1	194	2,4	8,66	8,74	8,81	4,32	4,39	4,47	0,374
200	115	12	14	4,7	2,83	6,54	37,9	29,7	1568	6,43	482	3,57	285	2,74	9,58	9,6	9,66	4,88	4,95	5,02	0,392
200	125	16	14	4,7	2,99	6,71	49,8	39,1	2026	6,38	617	3,52	367	2,72	9,62	9,7	9,77	4,95	5,02	5,1	0,391

ცხრილი 16.2

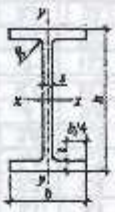
ცხლადგლინული ფოლადი. ორტესებრი კოჭები (ГОСТ 8239-89)

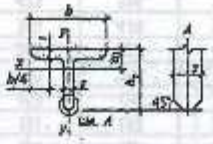


პროფილის №	ზომები, მმ				განივკვეთის ფართობი, სმ²	ღერძი x-x				ღერძი y-y			მასა 1მ-ის, კგ
	h	b	s	t		I_x, სმ⁴	W_x, სმ³	i_x, სმ	S_x, სმ³	I_y, სმ⁴	W_y, სმ³	i_y, სმ	
10	100	55	4,5	7,2	12	198	39,7	4,1	23	18	6,5	1,22	9,5
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,9	33,7	28	8,7	1,38	11,5
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,7	46,8	42	11,5	1,55	13,7
16	160	81	5	7,8	20,2	873	109	6,6	62,3	59	14,5	1,7	15,9
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,4	81,4	83	18,4	1,88	18,4
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,3	104	115	23,1	2,07	21
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,1	131	157	28,6	2,27	24
24	240	115	5,6	9,5	34,8	3460	289	10	163	198	34,5	2,37	27,3
27	270	125	6	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54	31,5
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69	36,5
33	330	140	7	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79	42,2
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13 380	743	14,7	423	516	71,1	2,89	48,6
40	400	155	8,3	13	72,6	19 062	953	16,2	545	667	86,1	3,03	57
45	450	160	9	14,2	84,7	27 696	1231	18,1	708	808	101	3,09	66,5
50	500	170	10	15,2	100	39 727	1589	19,9	919	1043	123	3,23	78,5
55	550	180	11	16,5	118	55 962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39	92,6
60	600	190	12	17,8	138	76 806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54	108

ცხრილი 16.3

ცხლადგლინული ფოლადი. ორტესებრი პროფილები პარალელური წახნაგებით (ГОСТ 26020-83) და ტესებრი პროფილები, რომლებიც მიიღება ამ ორტესების გაჭრით. მათი გეომეტრიული და ფიზიკური მნიშვნელობები ტოლია ორტესების შესაბამისი მნიშვნელობების ნახევრის.





პროფილის ნომერი	h, მმ	A, სმ²	m, კგ/მ	I_x, სმ⁴	W_x, სმ³	S_x, სმ³	i_x, სმ	I_y, სმ⁴	i_y, სმ	b, მმ	s, მმ	t, მმ	I_{x1}, სმ⁴	i_{x1}, სმ	z_0, სმ	პროფილის ნომერი
მონაცემები ორტესებისათვის									მონაცემები ორტესებისა- თვის და ტესებისათვის				მონაცემები ტესებისათვის			
ნორმალური ორტესები (Б), ტესები (БТ)*																
10 Б	100	10,3	8,1	171	34,2	19,7	4,07	15,9	1,24	55	4,1	5,7	-	-	-	-
12 Б1	117,6	11,03	8,7	257	43,8	24,9	4,83	22,4	1,42	64	3,8	5,1	-	-	-	-
14 Б1	137,4	13,39	10,5	435	63,3	35,8	5,7	36,4	1,65	73	3,8	5,6	-	-	-	-
16 Б1	157	16,18 *	12,7	689	87,8	49,5	6,53	54,4	1,83	82	4	5,9	-	-	-	-
18 Б1	177	19,58	15,4	1063	120,1	67,7	7,37	81,9	2,04	91	4,3	6,5	-	-	-	-
23 Б1	230	32,9	25,8	2995	260,5	147,2	9,54	200,3	2,48	110	5,6	9	165	3,19	2,45	11,5БТ1
26 Б1	258	35,62	28	4024	312	176,6	10,63	245,6	2,63	120	5,8	8,5	240	3,8	2,87	13БТ1
30 Б1	296	41,93	32,9	6323	427	240	12,29	380	3,05	140	5,8	8,5	374	4,35	3,21	15 БТ1
35 Б1	346	49,53	38,9	10060	581,7	328,6	14,25	529,6	3,27	155	6,2	8,5	635	5,09	3,92	17,5 БТ1
35 Б2	349	55,17	43,3	11590	662,2	373	14,47	622,9	3,36	155	6,5	10	693	5,03	3,82	17,5 БТ2
40Б1	392	61,25	48,1	15750	803,6	456	16,03	714,9	3,42	165	7	9,5	1030	5,83	4,59	20БТ1
40Б2	396	69,72	54,7	18530	935,7	529,7	16,3	865	3,52	165	7,5	11,5	1160	5,78	4,49	20БТ2
45Б1	443	76,23	59,8	24940	1125,8	639,5	18,09	1073,7	3,75	180	7,8	11	1660	6,63	5,25	22,5БТ1
45Б2	447	85,06	67,5	28870	1291,9	732,9	18,32	1269	3,84	180	8,4	13	1860	6,59	5,18	22,5БТ2
50Б1	492	92,98	73	37160	1511	860,4	19,99	1505	4,16	200	8,8	12	2350	7,44	5,97	25БТ1
50Б2	496	102,8	80,7	42390	1709	970,2	20,3	1873	4,27	200	9,2	14	2780	7,37	5,82	25БТ2
55Б1	543	113,37	89	55680	2051	1165	22,16	2404	4,61	220	9,5	13,5	3750	8,17	6,48	27,5БТ1
55Б2	547	124,75	97,9	62790	2296	1302	22,43	2760	4,7	220	10	15,5	4060	8,11	6,37	27,5БТ2
60Б1	593	135,26	106,2	78760	2656	1512	24,13	3154	4,83	230	10,5	15,5	5390	8,95	7,17	30БТ1
60Б2	597	147,3	115,6	87640	2936	1669	24,39	3561	4,92	230	11	17,5	5810	8,9	7,07	30БТ2
70Б1	693	164,7	129,3	125930	3645	2095	27,65	4556	5,26	260	12	15,5	9420	10,7	8,99	35БТ1
70Б2	697	183,6	144,2	145912	4187	2393	28,19	5437	5,44	260	12,5	18,5	10330	10,6	8,87	35БТ2
80Б1	791	203,7	159,9	199500	5044	2917	31,33	6244	5,54	280	13,5	17	13580	12,4	10,7	40БТ1
90Б2	898	247,1	194	304400	6817	3964	35,09	8365	5,82	300	15	18,5	24920	14,1	12,4	45БТ2
100Б1	990	293,82	230,6	446000	9014	5234	38,96	11520	6,26	320	16	21	35830	15,6	13,7	50БТ1
100Б2	998	328,9	258,2	546400	10350	5980	39,62	13710	6,46	320	17	25	39760	15,6	13,4	50БТ2
100Б3	1006	364	285,7	657700	11680	6736	40,18	15900	6,61	320	18	29	43670	15,5	13,2	50БТ3
100Б4	1013	400,6	314,5	655400	12940	7470	40,45	17830	6,67	320	19,5	32,5	48190	15,5	13,2	50БТ4
ფართოთაროებიანი ორტესები (Ш) და ტესები (ШТ)**																
20Ш1	193	38,95	30,6	2600	276	153	8,26	507	3,61	150	6	9	110	2,93	1,65	10Ш1
23Ш1	226	46,08	36,2	4260	377	210	9,62	622	3,67	155	6,5	10	192	2,9	2,08	11,5Ш1
26Ш1	251	54,37	42,7	6225	496	276	10,7	974	4,23	180	7	10	288	3,27	2,3	2613Ш1
26Ш2	255	62,73	49,2	7429	583	325	10,88	1168	4,31	180	7,5	12	324	3,23	2,31	13Ш2
30Ш1	291	68,31	53,6	10400	715	398	12,34	1470	4,64	200	8	11	512	3,89	2,79	15Ш1
30Ш2	295	77,65	61	12200	827	462	12,53	1737	4,73	200	8,5	13	569	3,84	2,77	15Ш2

მონაცემები ორტესებისათვის									მონაცემები ორტესებისა-თვის და ტეებისათვის				მონაცემები ტეებისათვის			
პროფი ლის ნომერი	h, მმ	A, სმ²	m, კგ/მ	I_x, სმ⁴	W_x, სმ³	S_x, სმ³	i_x, სმ	I_y, სმ⁴	i_y, სმ	b, მმ	s, მმ	t, მმ	I_{xl}, სმ⁴	i_{xl}, სმ	z_0, სმ	პროფი ლის ნომერი
30Ш3	299	87	68,3	14040	939	526	12,7	2004	4,8	200	9	15	627	3,81	2,78	15ш3
35Ш1	338	95,67	75,1	19790	1171	651	14,36	3260	5,84	250	9,5	12,5	971	4,52	3,2	17,5ш1
35Ш2	341	104,74	82,2	22070	1295	721	14,52	3650	5,9	250	10	14	1090	4,49	3,19	17,5ш2
35Ш3	345	116,3	91,3	25140	1458	813	14,7	4170	5,99	250	10,5	16	1140	4,45	3,19	17,5ш3
40Ш1	388	122,4	96,1	34360	1771	976	16,76	6306	7,18	300	9,5	14	1530	5,02	3,37	20Ш1
40Ш2	392	141,6	111,1	39700	2025	1125	16,75	7209	7,14	300	11,5	16	1860	5,15	3,61	20Ш2
40Ш3	396	157,2	123,4	44740	2260	1259	16,87	8111	7,18	300	12,5	18	2070	5,15	3,68	20Ш3
50Ш1	484	145,7	114,4	60930	2518	1403	20,45	6762	6,81	300	11	15	2320	6,76	4,85	25Ш1
50Ш2	489	176,6	138,7	72530	2967	1676	20,26	7900	6,69	300	14,5	17,5	4300	7	5,37	25Ш2
50Ш3	495	199,2	156,4	84200	3402	1923	20,56	9250	6,81	300	15,5	20,5	4780	6,95	5,34	25Ш3
50Ш4	501	221,7	174,1	96150	3808	2173	20,82	10600	6,92	300	16,5	23,5	5280	6,92	5,35	25Ш4
60Ш1	580	181,1	142,1	107300	3701	2068	24,35	9302	7,17	320	12	17	6180	8,28	6,05	30Ш1
60Ш2	587	225,3	176,9	131800	4490	2544	24,19	11230	7,06	320	16	20,5	8160	8,53	6,65	30Ш2
60Ш3	595	261,8	205,5	156900	5273	2997	24,48	13420	7,16	320	18	24,5	9500	8,54	6,75	30Ш3
60Ш4	603	298,34	234,2	182500	6055	3455	24,73	15620	7,23	320	20	28,5	10890	8,56	6,88	30Ш4
70Ш1	683	216,4	169,9	172000	5036	2843	28,19	10400	6,93	320	13,5	19	10980	10,1	7,76	35Ш1
70Ш2	691	251,7	197,6	205500	5949	3360	28,38	12590	7,07	320	15	23	12660	10,1	7,74	35Ш2
70Ш3	700	299,8	235,4	247800	7059	4017	28,72	15070	7,09	320	18	27,5	15440	10,2	8,09	35Ш3
70Ш4	708	341,6	268,1	284400	8032	4598	28,85	17270	7,11	320	20,5	31,5	17890	10,3	8,37	35Ш4
70Ш5	718	389,7	305,9	330600	9210	5298	29,13	20020	7,17	320	23	36,5	20660	10,3	8,6	35Ш5

სვეტის ორტესები (К) და ტეები (КТ)***																
20 К1	195	52,82	41,5	3820	392	216	8,5	1334	5,03	200	6,5	10	129	2,22	1,5	10Т1
20 К2	198	59,7	46,9	4422	447	247	8,61	1534	5,07	200	7	11,5	144	2,2	1,54	10Т2
23 К1	227	66,51	52,2	6989	580	318	9,95	2421	6,03	240	7	10,5	225	2,61	1,71	11,5КТ1
23 К2	230	75,77	59,5	7601	661	365	10,02	2766	6,04	240	8	12	263	2,65	1,81	11,5 КТ2
26 К1	255	83,08	65,2	10300	808	445	11,14	3517	6,51	260	8	12	365	2,98	1,97	13 КТ1
26 К2	258	93,19	73,2	11700	907	501	11,21	3957	6,52	260	9	13,5	419	3,01	2,07	13 КТ2
26 К3	262	105,9	83,1	13560	1035	576	11,32	4544	6,55	260	10	15,5	481	3,03	2,16	13 КТ3
30 К1	296	108	84,8	18110	1223	672	12,95	6079	7,5	300	9	13,5	652	3,49	2,29	15 КТ1
30 К2	300	122,7	96,3	20390	1395	771	13,06	6980	7,54	300	10	15,5	745	3,5	2,38	15 КТ2
30 К3	304	138,72	108,9	23910	1573	874	13,12	7881	7,54	300	11,5	17,5	875	3,56	2,52	15 КТ3
35 К1	343	139,7	109,7	31610	1843	1010	15,04	10720	8,76	350	10	15	1150	4,06	2,63	17,5 КТ1
35 К2	348	160,4	125,9	37090	2132	1173	15,21	12510	8,83	350	11	17,5	1300	4,04	2,7	17,5 КТ2
40 К1	393	175,8	138	52400	2664	1457	17,26	17610	10	400	11	16,5	1920	4,68	3	20 КТ1
40 К2	400	210,96	165,6	64140	3207	1767	17,44	21350	10,06	400	13	20	2340	4,73	3,18	20 КТ2
40 К3	409	257,8	202,3	80040	3914	2180	17,62	26150	10,07	400	16	24,5	3000	4,83	3,46	20 КТ3
40 К4	419	308,6	242,2	98340	4694	2642	17,85	31500	10,01	400	19	29,5	3730	4,93	3,75	20 КТ4
40 К5	431	371	291,2	121570	5642	3217	18,1	37910	10,11	400	23	35,5	4750	5,07	4,13	20 КТ5

* ნორმალური ორტესები (Б ტიპის) იგლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან:

პროფილი..... 10Б1-50Б2 23Б1-90Б1 14Б1-100Б4 23Б1-45Б1 23Б1-50Б2

ფოლადი..... *С245* *С255* *С345–3* *С345–4* *С375–3*

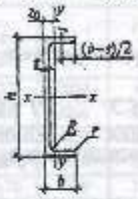
** ფართოთაროებიანი ორტესები (Ш ტიპის) იგლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან:

პროფილი..... 20Ш1-40Ш3 30Ш1-40Ш3 20Ш1-70Ш5 20Ш1-30Ш1

ფოლადი..... *С245,С255,С375–3* *С345–1* *С345–3* *С345–4*

* სვეტის ორტესები (К ტიპის) იგლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან: *С245* და *С345–3*

ცხლადგლინული ფოლადის შველერი (ГОСТ 8240-89)



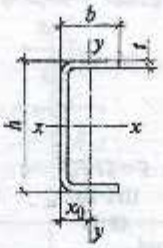
შველერის №	ზომები, მმ						ფარდობითი წონა, კგ/მ	მასა 1მ, კგ	საანგარიშო მონაცემები ღერძებისათვის							z_0, სმ
									$x-x$				$y-y$			
	h	b	s	t	R	r			I_x, სმ⁴	W_x, სმ³	i_x, სმ	S_x, სმ³	I_y, სმ⁴	W_y, სმ³	i_y, სმ	
შველერები თაროების შიგა წიბოების დახრით																
8	80	40	4,5	7,4	6,5	2,5	8,98	7,05	89,4	22,4	3,16	13,3	12,8	4,75	1,19	1,31
10	100	46	4,5	7,6	7	3	10,9	8,59	174	34,8	3,99	20,4	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3	13,3	10,4	304	50,6	4,78	29,6	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	8,1	8	3	15,6	12,3	491	70,2	5,6	40,8	45,4	11	1,7	1,67
16	160	64	5	8,4	8,5	3,5	18,1	14,2	747	93,4	6,42	54,1	63,3	13,8	1,87	1,8
18	180	70	5,1	8,7	9	3,5	20,7	16,3	1090	121	7,24	69,8	86	17	2,04	1,94
20	200	76	5,2	9	9,5	4	23,4	18,4	1520	152	8,07	87,8	113	20,5	2,2	2,07
22	220	82	5,4	9,5	10	4	26,7	21	2110	192	8,89	110	151	25,1	2,37	2,21
24	240	90	5,6	10	10,5	4	30,6	24	2900	242	9,73	139	208	31,6	2,6	2,42
27	270	95	6	10,5	11	4,5	35,2	27,7	4160	308	10,9	178	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	11	12	5	40,5	31,8	5810	387	12	224	327	43,6	2,84	2,52
40	400	115	8	13,5	15	6	61,5	48,3	15220	761	15,7	444	642	73,4	3,23	2,75

შველერები თაროების პარალელური წიბოებით																
8-П	80	40	4,5	7,4	6,5	3,5	8,98	7,05	89,8	22,4	3,16	13,3	13,9	5,31	1,24	1,38
10-П	100	46	4,5	7,6	7	4	10,9	8,59	175	34,9	3,99	20,5	22,6	7,37	1,44	1,53
12- П	120	52	4,8	7,8	7,5	4,5	13,3	10,4	305	50,8	4,79	29,7	34,9	9,84	1,62	1,66
14-П	140	58	4,9	8,1	8	4,5	15,6	12,3	493	70,4	5,61	40,9	51,5	12,9	1,81	1,82
16- П	160	64	5	8,4	8,5	5	18,1	14,2	750	93,8	6,44	54,3	72,8	16,4	2	1,97
18- П	180	70	5,1	8,7	9	5	20,7	16,3	1090	121	7,26	70	100	20,6	2,2	2,14
20- П	200	76	5,2	9	9,5	5,5	23,4	18,4	1530	153	8,08	88	134	25,2	2,39	2,3
22- П	220	82	5,4	9,5	10	6	26,7	21	2120	193	8,9	111	178	31	2,58	2,47
24- П	240	90	5,6	10	10,5	6	30,6	24	2910	243	9,75	139	248	39,5	2,85	2,72

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: შველერები იგლინება შემდეგი ფოლადის მარკებისაგან:

პროფილის ნომრები.....	8-40 8П-24П	12-40 12П-24П	14-40 14П-24П
ფოლადის მარკები.....	*C245*	*C255*	*C345–3* და *C345–4*

ნაღუნი თანაბართაროებიანი შეყვლურები (ГОСТ 8278-83*)



ზომები, მმ			სმ²	საანგარიშო მონაცემები დერძებისათვის							x_0 სმ	მასა 1მ, კგ
				x − x				y − y				
h	b	t		I_x ,სმ⁴	W_x ,სმ³	i_x, სმ	S_x, სმ³	I_y ,სმ⁴	W_y ,სმ³	i_y ,სმ		
60*	32	3	3,4	18,31	6,1	2,32	3,62	3,38	1,52	1	0,97	2,67
80	50	4	6,6	65,98	16,5	3,16	9,65	16,6	4,48	1,58	1,6	5,18
100	50	3	5,68	87,88	15,57	3,93	10,24	14,05	3,9	1,57	1,39	4,47
120	60	4	9	198,65	33,11	4,7	19,37	31,91	7,42	1,88	1,7	7,07
		5	11,09	239,63	39,94	4,67	23,6	38,73	9,1	1,87	1,74	8,71
140**	60	4	9,67	278,47	39,78	5,37	23,59	33,2	7,54	1,85	1,6	7,59
160	80	4	12,2	489,16	61,14	6,33	35,42	78,01	13,44	2,53	2,2	9,58
		5	15,09	595,66	74,46	6,28	43,45	95,4	16,57	2,51	2,24	11,85
180	50	4	10,6	457,43	50,82	6,57	31,16	21,53	5,48	1,42	1,07	8,32
180	80	5	16,09	784,86	87,21	6,98	51,24	99,15	16,86	2,48	2,12	12,68
200	80	4	13,81	823,48	82,35	7,72	48,43	83,67	13,86	2,46	1,96	10,83

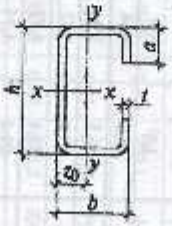
(ცხრილი 16.6

		5	17,09	1006,3	100,63	7,67	59,54	102,45	17,1	2,45	2,01	13,42
200**	100	6	22,4	1374,3	137,43	7,83	80,33	222,2	30,99	3,15	2,83	17,59
250	125	6	28,65	2811,7	224,94	9,9	130,14	448,01	49,33	3,95	3,42	22,5
300*	100	8	37,62	4694,8	312,98	11,17	189,27	327,88	42,94	2,95	2,37	29,53

* ვარსკვლავით აღნიშნული პროფილები (60X23X3 და 300X100X8) მზადდება მხოლოდ *C235* და *C245* მარკის ფოლადებისაგან.

** ორი ვარსკვლავით აღნიშნული პროფილები (140X60X4 და 200X100X6) მზადდება მხოლოდ *C255* და *C345* მარკის ფოლადებისაგან.

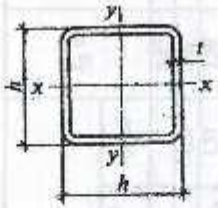
ნაღუნი თანაბართაროებიანი C-ის მაგვარი პროფილები (ГОСТ 8282-83*)



ზომები, მმ				განიკვეთის ფართობი სმ²	საანგარიშო მონაცემები დერძებისათვის						z_0, სმ	მასა 1მ, კგ
					x − x			y − y				
h	b	a	t		I_x, სმ⁴	W_x, სმ³	i_x, სმ	I_y, სმ⁴	W_y, სმ³	i_y, სმ		
400	160	50	3	24,01	6073,7	303,68	15,91	884,54	80,83	6,07	5,06	18,85
400	160	60	4	32,27	8028,2	401,41	15,77	1219,7	113,92	6,15	5,29	25,33

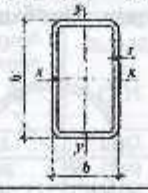
(ცხრილი 16.7

ნაღუნი კვადრატული კვეთის შედუღებული ჩაკეტილი პროფილი (ТУ 36-2287-80)



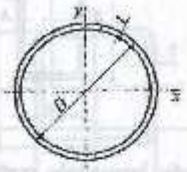
ზომები, მმ			საანგარიშო მახასიათებლები წახნაგებისთვის $x-x$ და $y-y$			წონა 1მ-ზე, კგ	ფოლადის მარკები ГОСТ 27772-88		
h	t	ვარაუდითი ფართობი, სმ²	$I_x = I_y$, სმ⁴	$i_x = i_y$, სმ³	$i_x = i_y$ სმ		C255	C345	C345-3
80	3	9,24	91,4	22,8	3,14	7,26	+	+	
100	3	11,64	182,7	36,5	3,96	9,13	+	+	
	4	15,36	236,3	47,2	3,92	12,05	+	+	
120	3	14,04	320,5	53,4	4,77	11,02	+	+	
	4	18,56	416,7	69,4	4,74	14,57	+		
	5	23	507,9	84,6	4,69	18,06	+		+
140	4	21,76	671,3	95,9	5,55	17,08	+		+
	5	27	821,2	117,3	5,51	21,19	+		+
	6	32,16	964,3	137,7	5,48	25,24	+	+	+
	7	37,24	1100,9	157,2	5,44	29,23	+	+	+
160	4	24,96	1013	126,6	6,37	19,6	+		+
	5	31	1242,5	155,3	6,33	24,33	+		+
	6	36,96	1463,1	182,8	6,29	29,01	+		+
	7	42,84	1674,9	209,8	6,25	33,63	+		+
	8	48,64	1878,1	234,7	6,21	38,18	+		+
180	5	35	1787,9	198,6	7,15	27,47	+		+
	6	41,76	2109,7	234,4	7,11	32,78	+		+
	7	48,44	2420,2	268,9	7,07	38,02	+		+
	8	55,04	2719,7	302,1	7,03	43,21	+		+

ნაღუნი მართკუთხა კვეთის შედუღებული ჩაკეტილი პროფილი (ТУ 36-2287-80)



ზომები, მმ			ვარაუდითი ფართობი სმ²	ცნობარი სიდიდეები ღერძებისათვის						10 პრიად იდის წონა კგ/მ	ფოლადის მარკა		
				$x-x$			$y-y$						
h	b	t		I_x, სმ⁴	W_x, სმ³	i_x სმ	I_y, სმ⁴	W_y, სმ³	i_y, სმ		C255	C345	C345-3
120	80	3	11,64	238,4	39,7	4,53	127	31,7	3,3	9,14	+		
		4	15,36	309	51,5	4,48	164	41	3,27	12,06	+	+	
140	100	4	18,56	523,4	74,8	5,31	310,1	62	4,09	14,57	+	+	+
		5	23	638,9	91,3	5,27	376,9	75,4	4,05	18,06	+		+
160	120	5	27	1002,2	125,2	6,09	640,2	106,7	4,87	21,19	+	+	+
		6	32,16	1178,3	147,2	6,05	750,4	125,1	4,83	25,24	+		+
180	140	5	31	1481,5	164,6	6,91	1003,6	143,4	5,69	24,3	+		+
		6	36,96	1746,2	194	6,87	1180	168,6	5,65	29,01	+		+
		7	42,84	2001	222,3	6,83	1348,8	192,7	5,61	33,63	+		+
200	160	5	35	2092,9	209,3	7,73	1482,9	185,4	6,51	27,47	+		+
		6	41,76	2471,5	247,1	7,69	1747,8	218,5	6,47	32,78	+		+
		7	48,44	2837,5	283,7	7,65	2002,8	250,4	6,43	38	+		+
		8	55,04	3191,2	319,1	7,61	2248,1	281	6,39	43,2	+		+

მილები შედუღებული, სწორნაკერიანი (ГОСТ 10704-91)



ზომები, მმ		განივკვეთის ფართობი, სმ²	ინერციის რადიუსი I_x, სმ	მასა 1მ, კგ	ფოლადის მარკები ГОСТ 27772-88			
D_H	t				C235	C245	C343-3	C440
83	3	7,54	2,84	5,92	+			
89	3	8,1	3,04	6,36	+			
102	2,5	7,81	3,52	6,13	+			
	3	9,32	3,5	7,32	+			
	4,5	13,8	3,46	10,82		+		
114	3	10,5	3,93	8,21	+			
	3,5	12,2	3,91	9,54		+		
	4,5	15,5	3,88	12,15		+		
	5	17,1	3,86	13,44		+		
127	3	11,7	4,39	9,17	+			
	3,5	13,6	4,37	10,66		+	+	
	4	15,5	4,35	12,13		+		
	4,5	17,3	4,34	13,59		+		
	5,5	21	4,3	16,48		+	+	
140	3,5	15	4,83	11,78	+		+	
	4,5	19,2	4,8	15,04		+		
	5	21,2	4,78	16,65		+		
152	4	18,6	5,24	14,6		+		
	4,5	20,8	5,22	16,37		+	+	
	5,5	25,3	5,19	19,87		+		

ზომები, მმ		განივკვეთის ფართობი, სმ²	ინერციის რადიუსი I_x, სმ	მასა 1მ, კგ	ფოლადის მარკები ГОСТ 27772-88			
D_H	t			C235	C235	C245	C343-3	C440
159	3,5	17,1	5,5	13,42	+			
	4	19,5	5,48	15,29	+			
	5	24,8	5,45	18,99			+	
	7	33,4	5,38	26,24		+		
168	4	20,6	5,8	16,18	+			
	4,5	23,1	5,78	18,4		+		
	5	25,6	5,77	20,1	+			
	8	40,2	5,66	31,57		+		
203	4	25	7,04	19,63		+		
	6	37,1	6,97	29,14		+	+	
219	4	27	7,6	21,21	+	+		
	4,5	30,3	7,59	23,8		+		
	5	33,6	7,57	26,39		+	+	
	5,5	36,9	7,55	28,96	+		+	
	6	40,2	7,54	31,52		+		+
	7	46,6	7,51	36,6			+	+
	8	53	7,47	41,63		+	+	+
273	4,5	38	9,5	29,8	+			
	5,5	46,2	9,46	36,28	+			
	6	50,3	9,45	39,51		+	+	+
	7	58,5	9,42	45,92				+
	8	66,6	9,38	52,82		+	+	+
325	5	50,3	11,3	39,46	+			
	7	69,9	11,2	54,89				+
	8	79,6	11,2	62,54				+
426	7	92,1	14,8	72,33				+
	8	105	14,8	82,46				+
	9	118	14,8	92,56				+

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა:
მილებს ამზადებენ შემდეგი მარკის ფოლადებისაგან: Ст3кп2 ГОСТ 535-88 (С235)-ით; Ст3пс4 Гост 535-88 (С245))-ით; 14 Г2-14 Гост 19281-89 (С345-3)-ით; 16Г 2АФ Гост 19281-89 (С440) -ით.

ცხრილი 16.11

ფურცლოვანი ფოლადი ცხლად გლინული (ГОСТ 19903-74*)

ფურცლების სისქე, მმ	ფურცლების სიგანე, მმ (სორტამენტის მიხედვით)
3, 4, 5	600...1800
6	700...2000
8, 10	700...2500
12	1000...2500
14, 16, 18, 20, 22, 25	1000...2800
28, 30, 32, 36, 40	1250...3600
42, 45, 50, 60, 80, 100	1250...3600
120, 140, 160	

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: სორტამენტის მიხედვით ფურცლების სიგანის გრადაცია არის: 500, 510, 600, 650, 670, 700, 710, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1100, 1250, 1400, 1420, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2300, 2400, 2500, 2600, 2800, 2900, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800.

ცხრილი 16.12

ფურცლოვანი ნაგლინი, დამზადებული რულონებად

ფურცლების სისქე, მმ	ფურცლების სიგანე, მმ
3, 4, 5, 6, 8	500, 530, 550, 600, 630, 650
10, 12	670, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1100, 1250, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800
6, 8, 10	1900, 2000
8, 10	2100, 2200
12	1600, 1700, 1800

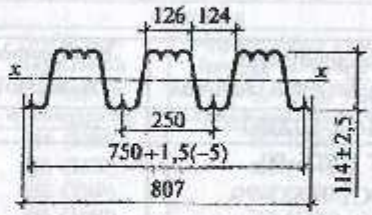
ცხრილი 16.13

ფოლადი უნიკურსალური ცხლად გლინული (ГОСТ 82-70*)

ფურცლების სისქე, მმ	ფურცლების სიგანე, მმ
6, 7, 8, 9, 10, 11	200, 210, 220, 240, 250, 260, 280
12, 14, 16, 18, 20	300, 320, 240, 360, 380, 400, 420,
22, 25, 28, 30	450, 460, 480, 500, 520, 550, 560
32, 36, 40, 45	600, 630, 650, 670, 700, 750, 800
50, 55, 60	850, 900, 950, 1000, 1050

ცხრილი 16.14

H ტიპის პროფილირებული ფენილის სორტამენტი, სიმაღლით 114 მმ, სიგანით 600 და 750 მმ. (ГОСТ 24045-94)



პროფილირებული ფურცლის აღნიშნა	t, მმ	ფენილის წონითი, კგ/მ²	1მ სიგრძის მასა, კგ	საანგარიშო სიდიდეები 1მ სიგანეზე. შეკუმშული ზონისათვის						1 მ სიგრძის მასა, კგ	ნამზადის სიგრძე, მმ
				ჯერი			განიერი				
				I_x, სმ⁴	W_{x1}, სმ³	W_{x2}, სმ³	I_x, სმ⁴	W_{x1}, სმ³	W_{x2}, სმ³		
H114-600-0,8	0,8	10	8,4	320,9	53,3	59,7	320,9	52,4	55,8	14	
H114-600-0,9	0,9	11,3	9,3	361	60	67,2	361	59,6	65,9	15,6	1250
H114-600-1	1	12,5	10,3	405,4	67,6	75	405,4	67,6	75	17,2	
H114-750-0,8	0,8	11,2	9,4	307,9	51,2	57,1	307,9	51,2	57,1	12,5	
H114-750-0,9	0,9	12,6	10,5	345,2	57,4	64	345,2	57,4	64	14	1400
H114-750-1	1	14	11,7	383,6	63,8	71,1	383,6	63,8	71,1	15,4	

დანართი 17

γ_m კოეფიციენტის მნიშვნელობები

ფოლადის სახელმწიფო სტანდარტი ან ტექნიკური პირობა	საიმედობის კოეფიციენტი მასალის მიხედვით γ_m
ГОСТ 23570-79, ТУ14-1-302380	1,025
ГОСТ 380-71*, ГОСТ 10705-80, ГОСТ 10706-76*, ГОСТ 14637-79, ГОСТ 19281-73 და ГОСТ 19282-73 [დენადობის ზღვრით 380 მპა (39 კგძ/მმ²)-მდე] ТУ14-3-500-76, ТУ14-389-72, ТУ14-1-1217-76,	1,05
ГОСТ 19281-73 და ГОСТ 19281-73 [დენადობის ზღვრით 380 მპა (39 კგძ/მმ²) და მეტი] ГОСТ 8731-74, ТУ14-3-829-79, ТУ14-3-567-76	1,1
ТУ14-1-1308-75, ТУ14-1-1772-76 14Г2АФ მარკის ფოლადისთვის $\gamma_m = 1,05$	1,15

დანართი 18

ნაკლიანის საანგარიშო წინაღობები ტორსული ზედაპირის თვლაზე; ადგილობრივ თვლაზე ცილინდრულ ხახსრებში; საყორავის დიამეტრულ კუმშვაზე

მასალის დროებითი წინაღობა მპა (კგძ/მმ²)	საანგარიშო წინაღობები მპა (კგძ/მმ²)		
	თვლაზე		საყორავის დიამეტრულ კუმშვაზე
	ტორსული ზედაპირის (მორგების შემთხვევაში)	ადგილობრივ ცილინდრულ ხახსრებში (პოკოჭიკებში) შეხლერად შეხებისას	
345 (35)	314 (3180)	157 (1590)	8 (80)
355 (36)	323 (3270)	162 (1640)	8 (80)
365 (37)	332 (3360)	166 (1680)	8 (80)
370 (38)	336 (3460)	168 (1730)	8 (80)
380 (39)	346 (3550)	173 (1780)	9 (90)
390 (40)	355 (3640)	178 (1820)	9 (90)
430 (44)	391 (4000)	196 (2000)	10 (100)
440 (45)	400 (4090)	200 (2050)	10 (100)
450 (46)	409 (4180)	205 (2090)	10 (100)
460 (47)	418 (4270)	209 (2140)	10 (100)
470 (48)	427 (4360)	214 (2180)	11 (110)
480 (49)	436 (4450)	218 (2230)	11 (110)
490 (50)	445 (4550)	223 (2280)	11 (110)
500 (51)	455 (4640)	228 (2320)	11 (110)
510 (52)	464 (4730)	232 (2370)	12 (120)
520 (53)	473 (4820)	237 (2410)	12 (120)
530 (54)	473 (4820)	237 (2410)	12 (120)
540 (55)	482 (4910)	241 (2460)	12 (120)
570 (58)	504 (5130)	252 (2570)	13 (130)
590 (60)	522 (5310)	261 (2660)	13 (130)
685 (70)	596 (6090)	298 (3050)	15 (150)

შენიშვნა: საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები მიღებულია $\gamma_m = 1$ მნიშვნელობებისათვის.

დანართი 19

ჭანჭიკების კვეთების ფართობები, თანახმად СТ СЭВ-180-75, СТ СЭВ-181-75 და СТ СЭВ-182-75

d, მმ	16	18*	20	22*	24	27*	50	36	42	48
A_b, სმ	2,01	2,54	3,14	3,8	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
A_{bn}, სმ	1,57	1,32	2,45	3,03	3,52	4,59	5,6	8,26	11,2	14,72

* აღნიშნული დიამეტრების ჭანჭიკების გამოყენება არ არის რეკომენდებული.

დანართი 20

γ_b კოეფიციენტის მნიშვნელობები

№	შეერთების დახასიათება	შეერთების მუშაობის პირობების კოეფიციენტი γ_b
1	მრავალჭანჭიკიან ჭრახა და თელაზე გაანგარიშებისას, ჭანჭიკების შემთხვევაში:	
	ამდღლებული სიზუსტის	1,0
	უხეში და ნორმალური სიზუსტის	0,9
2	ერთჭანჭიკიანი და მრავალჭანჭიკიან თელაზე გაანგარიშებისას, ჩახრახლების შემთხვევაში: ერთჭანჭიკიანი შეერთების დროს, როცა $a=1,5$, მრავალჭანჭიკიანისას $a=1,1d$ და $b=2d$. კონსტრუქციის ელემენტებში ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით.	
	285 მპა-მდე (2900)	0,8
	285 (2900)-დან 380 (3900)-მდე	0,75
	a-ჩანძილი ძალის გასწვრივ ელემენტის კიდიდან უახლოესი ხვრეტის ცენტრამდე;	
	b – ორივე ხვრეტების ცენტრებს შორის.	
	d – ჭანჭიკისათვის საჭირო ხვრეტის დიამეტრი.	

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: 1. კოეფიციენტები ,რომლებიც დადგენილია 1 და 2 პოზიციებში, საჭიროა გათვალისწინებული იქნას ერთდროულად.

2. თუ a და b დაშორებების მნიშვნელობები მე 2-ე პოზიციაშია ცხრილში მოთავსებულ მნიშვნელობების შორის, მაშინ γ_b საჭიროა განსაზღვროთ წრფივი ინტერპოლაციით.

დანართი 21

ჭანჭიკის საანგარიშო წინაღობა ჭრახა და გაჭიმვაზე

დაძაბული მდგომარეობა	პირობითი აღნიშვნა	საანგარიშო წინაღობა მპა (კგძ/სმ²) ჭანჭიკებისა, ფოლადის სიმტკიცის კლასით					
		4,6	4,8	5,6	5,8	6,6	8,8
ჭრა	R_{bs}	150(1500)	160(1600)	190(1900)	200(2000)	230(2300)	320(3200)
გაჭიმვა	R_{bt}	175(1750)	160(1600)	210(2100)	200(2000)	250(2500)	400(4000)

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: ცხრილში ნაჩვენები ერთჭანჭიკიანი შეერთებების საანგარიშო წინაღობების მნიშვნელობები გამრგვალებულია 5 მპა (50 კგძ/სმ²)-მდე.

დანართი 22

ჭანჭიკებით შეერთებული ელემენტების საანგარიშო წინაღობები თელაზე

შესაერთებელი ელემენტების ფოლადის დროებითი წინაღობა,მპა (კგძ/მ²)	ჭანჭიკებით შეერთებული ელემენტების საანგარიშო წინაღობები თელაზე მპა (კგძ/სმ²)	
	ამდღლებული სიზუსტის	ნორმალური და უხეში სიზუსტის
345 (35)	365 (3700)	335 (3400)
355 (36)	385 (3900)	350 (3550)
365 (37)	400 (4050)	365 (3700)
370 (38)	410 (4250)	370 (3850)
380 (39)	430 (4400)	385 (4000)
390 (40)	445 (4600)	400 (4150)
400 (41)	465 (4750)	415 (4300)
410 (42)	485 (4950)	435 (4450)
420 (43)	500 (5150)	450 (4600)
430 (44)	520 (5350)	465 (4800)
440 (45)	540 (5550)	485 (4950)
450 (46)	560 (5750)	500 (5100)
460 (47)	580 (5950)	520 (5300)
470 (48)	600 (6150)	535 (5450)
480 (49)	620 (6350)	555 (5650)
490 (50)	640 (6550)	570 (5850)
500 (51)	665 (6750)	590 (6000)
510 (52)	685 (7000)	610 (6200)
520 (53)	705 (7200)	630 (6400)
530 (54)	730 (7400)	645 (6600)
540 (55)	750 (7650)	665 (6800)
550 (56)	775 (7800)	685 (7000)
560 (57)	800 (8100)	705 (7200)
570 (58)	820 (8350)	725 (7400)
580 (59)	845 (8600)	745 (7600)
590 (60)	870 (8850)	-

ცხრილის μ კოეფიციენტის მნიშვნელობები

ფესვებისებური სვეტაბრების დაშვებების (ტალუსების) ხვრელები	ხახუნის კოეფიციენტის მნიშვნელობა ფოლადის მარკის მიხედვით	ბეტონის მარკა	კოეფიციენტები დატვირთვებისას და ჭერებისების ნორმალური დაძაბულობის შემთხვევაში, δ მპა	
			დინამიკური და რიგის $\delta = 3-6$; სტატიკური და რიგის $\delta = 5-6$	დინამიკური და რიგის $\delta = 1$; სტატიკური $\delta = 1-4$
1. სიღრმესაწარმოებლად სვეტაბრების ან საფენტაბრების ხვრელები ან საფენტაბრების კონსტრუქციის გარეშე	μ	0.58	1,35	1,12
	α	0.58	1,20	1,02
2. იატაკის კონსტრუქციაში მოქმედებები, თუ ფოლის ან ფილების დატვირთვა	μ	0,5	1,35	1,12
	α	0,5	1,20	1,02
3. ქვაბულის ქვემოთ ან სიღრმეში ბეტონის კონსტრუქციაში მოქმედებები ან ბეტონის კონსტრუქციის ფუნქციონირება, მიწიერ ბეტონის კონსტრუქციის გარეშე	μ	0,5	1,35	1,12
	α	0,5	1,20	1,02
4. ბაზალტი, ორი ბეტონისებრის კონსტრუქციის გარეშე	μ	0,42	1,35	1,12
	α	0,42	1,20	1,02
5. ფილების ჯგუფრისებრი ორი ბეტონისთვის, კონსტრუქციის გარეშე	μ	0,35	1,35	1,17
	α	0,35	1,25	1,06
6. დამუშავების გარეშე	μ	0,25	1,70	1,30
	α	0,25	1,50	1,20

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა ბ ა ნ ი ს დაშვების რეკომენდირებული ხვრელი μ -ის ნიშნული რეკომენდირებულია დატვირთვის მიხედვით, ხოლო α -ს დროის-ჭანის მიხედვით კეთდება მიხედვით.

მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკების მექანიკური თვისებები (ГОСТ 22356-77)

ჭრილის ნომინალური დიამეტრი d მმ	ფოლადის მარკა ГОСТ 4543-71*	უმცირესი საანგარიშო წინაღობა R_{bun} ნ/მმ² (კგძ/მმ²)
16-დან 27-მდე	40Х „სელექტი"	1100(110)
	38ХС „სელექტი", 40ХФА „სელექტი"	1350(135)
	30Х3МФ	1550(155)
	30Х2НМФА	1550(155)
30	40Х „სელექტი"	950(95)
	30Х3МФ, 35Х2АФ	1200(120)
36	40Х „სელექტი"	750(75)
	30Х3МФ	1100(110)
42	40Х „სელექტი"	650(65)
	30Х3МФ	1000(100)
48	40Х „სელექტი"	600(60)
	30Х3МФ	900(90)

ჭანჭიკების და მოჭლონების განაწილება

მანძილების დახასიათება	მანძილები ჭანჭიკების განლაგების დროს
1. ჭანჭიკების ცენტრებს შორის მანძილი ნებისმიერი მიმართულებით:	
ა)მინიმალური	$2{,}5d^*$
ბ)მაქსიმალური კუთხოვანებით შემოუფარგლავ განაპირა რიგებში: გაჭიმვისა და კუმშვისას	$8d$ ან $12t$
გ)მაქსიმალური შუალედურ რიგებში და აგრეთვე კუთხოვანებით შემოფარგლულ განაპირა რიგებში: გაჭიმვისას კუმშვისას	$16d$ ან $24t$ $12d$ ან $18t$
2.მანძილი ჭანჭიკის ცენტრიდან ელემენტის კიდემდე:	
ა) მინიმალური, ძალის განაწერივ	$2d$
ბ) იგივე, ძალის მართობულად ჩამოჭრილი ნაპირის შემთხვევაში	$1{,}5d$
გაგლინული	$1{,}2d$
გ)მაქსიმალური	$4d$ ან $8t$
დ) მინიმალური, მაღალი სიმტკიცის ჭანჭიკებისათვის, ნებისმიერი ხახის, კიდისა და ძალის ნებისმიერი მიმართულების შემთხვევაში	$1{,}3d$

*შესაერთებელ ელემენტებში ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 380 მპა-ზე მეტი (3800 კგძ/სმ²).

ჭანჭიკებს შორის მინიმალური მანძილი საჭიროა აგიღოთ $2d$-ს ტოლი ცხრილში მოცემული აღნიშვნები:

d –ჭანჭიკისათვის ხვრეტის დიამეტრი

t –განაპირა ფურცელი უმცირესი სისქით.

შ ე ნ ი შ ე ნ ა: შესაერთებელ ელემენტებში (ფოლადისაგან დენადობის ზღვრით 380 მპა-მდე, 3900კგძ/სმ²) ჭანჭიკის ღერძიდან ელემენტის კიდემდე და აგრეთვე მინიმალური მანძილის ჭანჭიკის ცენტრებს შორის მოქმედი ძალის განაწერივ შემცირება დასაშვებია იმ შემთხვევაში, როდესაც გაანგარიშებას ვაწარმოებთ შეკრთებების მუშაობის პირობების კოეფიციენტების გათვალისწინებით.

1. Беленя Е. И. «Металлические конструкции», Москва. Стройиздат, 1985. -550с.
2. Беленя Е. И. «Предварительно напряженные несущие металлические конструкции», Москва. Стройиздат, 1975.
3. Веденików В. С. «Металлические конструкции», Москва. Стройиздат, 1998. -758с.
4. Вольмир А. С. «Устойчивость деформированных систем», Москва. Наука, 1967 – 984 с.
5. Горев В.В. «Металлические конструкций». Т.1. Элементы конструкций. Висшая школа. Москва. 2002.
6. Кудишин Ю. И. «Металлические конструкции», Москва. изд. «Академия», 2007-682с.
7. Лагранж Ж. Л. Аналитическая механика. Москва. 1950. -594 с.
8. Санжаровский Р. С. «Теория расчета строительных конструкции на устойчивость и современные нормы», Санкт-Петербург, Москва. 2002-128с.
9. Сетков В. И. Сербин Е. П. «Строительные конструкции» Москва. 2008-448с.
10. Филин А. П. Прикладная механика твердого деформируемого тела, том III, Москва, «Наука», 1981.
11. Buick Davison & Graham W. Owens. "Steel Designers' Manual". Steel Construction Institute. Blackwell Publishing. 2003-1370p.
12. Merritt Frederic S. & Riccets Jonathan T. "Building Design and Construction Handboock. McGRAW-HILL. New York. 2000-1722p.
13. Ezek K. Die Testigkeit von Driskstaben aus Stahl. Wien. 1937.
14. მიქელაძე გ. სამშენებლო მექანიკის მოკლე კურსი. თბილისი 1977.
15. მსხილაძე გ. ფაღავა ო. ლიფინის კონსტრუქციები. თბილისი 1986-573 გვ.
16. ფარცხალაძე გ. მშვენიერაძე ი. "ახალი ტიპის წინასწარ დაძაბული წამწის თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა"-დისერტაცია. თბილისი 1998-198 გვ.
17. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия - Москва. 2003.
18. СНиП II-23-81* Стальные конструкции - Москва. 2006.
19. СНиП 2.03.06-85. Алюминиевые конструкции. - Москва. 2005.

ს ა რ ჩ ე ვ ი

	შესავალი	5
შ.1.	ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში	5
შ.2.	ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები	6
შ.3.	ლითონის კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში	8
შ.4.	ლითონის კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები	9
თავი 1.	**სამშენებლო ლითონის კონსტრუქციებში გამოყენებული მასალები**	15
1.1.	ფოლადი	15
1.2.	ფოლადის მუშაობა ერთჯერადი გაჭიმვის დროს	19
1.3.	ფოლადის მუშაობა მრავალჯერადი დატვირთვისას	26
1.4.	დარტყმითი სიბლანტე	28
1.5.	ალუმინის შენადნობები	30
1.6.	ტემპერატურის გავლენა ფოლადისა და ალუმინის შენადნობების მუშაობაზე	32
1.7.	ლითონის კონსტრუქციები და კოროზია	33
თავი 2.	**ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძვლები**	36
2.1.	ძირითადი განმარტებები	36
2.2.	ლითონის კონსტრუქციების გაანგარიშების ძირითადი დებულებები	37
2.2.1.	გაანგარიშების ზღვრულ მდგომარეობათა მეთოდი	37
2.3.	ნორმატიული და საანგარიშო წინაღობები	41
2.3.1.	ნორმატიული წინაღობები	41
2.3.2.	საანგარიშო წინაღობები	42
2.3.3.	მუშაობის პირობებისა და საიმედობის კოეფიციენტები	43
2.4.	დატვირთვები და ზემოქმედებები	44
2.4.1.	დატვირთვებისა და ზემოქმედებების კლასიფიკაცია და დახასიათება	44
2.4.2.	ნორმატიული დატვირთვები	45
2.4.3.	საანგარიშო დატვირთვები	46
2.4.4.	დატვირთვების შეთანწყობა	46
2.5.	დატვირთვის ქვეშ მუშაობა და კონსტრუქციის ელემენტების გაანგარიშება	47
2.5.1.	ფოლადის მუშაობის პლასტიკურობის პირობა	47
2.5.2.	ცენტრალურად გაჭიმული ელემენტების გაანგარიშება	49
2.5.3.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება	50
2.5.3-1.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება მასალის მუშაობის დრეკად სახეებში	50
2.5.3-2.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების გათვალისწინებით	56
2.5.3-3.	ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშება პლასტიკური დეფორმაციების შეზღუდულად განვითარებისას	62
2.5.3-4.	ღუნვადი ელემენტების საერთო მდგრადობის შემოწმება	64
2.5.3-5.	კოჭის დრეკადი დეფორმაციების შემოწმება, რომლის დროსაც დარღვეულია ნორმალური საექსპლუატაციო პირობები	66
2.6.	ზღვრული მდგომარეობები და ღერძული ძალით შეკუმშული ღეროების გაანგარიშება	66
2.6.1.	ღეროს მოქნილობა და მისი ფიზიკური არსი	66
2.6.2.	ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება	68
2.6.3.	ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება მდგრადობაზე	68
2.6.3.1.	ზოგადი ცნებები მდგრადობაზე	68
2.6.3.2.	ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად არეში	69
2.6.3.3.	ცენტრალურად შეკუმშული ღეროს მდგრადობა დრეკად-პლასტიკურ არეში.	75
2.6.4.	ცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების მდგრადობაის შემოწმება.	83
2.7.	ზღვრული მდგომარეობები და გარეცენტრალურად გაჭიმული და გარეცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება	83
2.7.1.	გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების სიმტკიცეზე გაანგარიშება	83
2.7.2.	გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობაზე გაანგარიშება	85
2.7.3.	გარეცენტრალურად შეკუმშული (გაჭიმული) ელემენტების მდგრადობის შემოწმება	93
2.8.	იდეალიზებული დრეკად-პლასტიკური მასალისგან შედგენილი ღეროების მდგრადობა	94
2.9.	კონსტრუქციის ელემენტების გრეხაზე მუშაობა	104
თავი 3.	**სორტამენტი**	108
3.1.	ფურცლოვანი ფოლადები	108
3.2.	კუთხოვანები	109
3.4.	ორტესებრი კოჭები	109
3.5.	ფართოთაროებიანი ორტესებრი კოჭები	110
3.6.	დატვიცრული ფოლადები	110
3.7.	მილები	111
3.8.	ალუმინის შენადნობის პროფილები	111
თავი 4.	**შედუღება და შედუღებითი შეერთება**	112
4.1.	შედუღება	112
4.1.1.	ხელით შედუღება	112
4.1.2.	ავტომატური შედუღება	114
4.1.3.	ნახევრად ავტომატური შედუღება	115
4.1.4.	შედუღების ნაკერის კონტროლი	116
4.2.	შედუღებითი შეერთება	119
4.2.1.	პირაპირული შეერთება	119
4.2.2.	კუთხური შედუღების ნაკერები	112

თავი 5. ჭანჭიკებით შეერთება 129
5.1. სამშენებლო კონსტრუქციებში გამოყენებული ჭანჭიკების ტიპები 129
5.2. ჭანჭიკებით შეერთების გაანგარიშება 130
5.3. მოქლონებით შეერთება 135
თავი 6. კოჭები და კოჭოვანი კონსტრუქციები 138
6.1. კოჭოვანი კონსტრუქციების საერთო დახასიათება 138
6.1.1. კოჭებისა და მისი კვეთების ტიპები 138
6.1.2. კოჭოვანი გადახურვის სქემები 139
6.1.3. კოჭოვანი ჯრედების ფუნქციები 142
6.2. გაგლინული კოჭები 147
6.2.1. გაგლინული კოჭების კვეთის შერჩევა 147
6.2.2. კოჭების სიხისტეზე შემოწმება 151
6.3. შედგენილი კოჭები. შედგენილი კოჭების განიკვეთის შერჩევა 152
6.3.1. კოჭების სიმაღლე 152
6.3.2. კედლის სისქე 156
6.3.3. სარტყელების ჰორიზონტალური ფურცლები 158
6.3.4. კოჭის კვეთის შერჩევა 160
6.3.5. შედგენილი კოჭის განიკვეთის ცვლილება სიგრძეზე 160
6.4. შედგენილი კოჭების სიმტკიცის, ჩაღუნვების და მდგრადობის შემოწმება 163
6.4.1. კოჭების სიმტკიცისა და ჩაღუნვების შემოწმება 163
6.4.2. კოჭის საერთო მდგრადობის შემოწმება 164
6.4.3. კოჭის ელემენტების ადგილობრივ მდგრადობაზე შემოწმება 165
6.5. შედგენილი კოჭების კონსტრუქციის დაპროექტება 179
6.5.1. შედგენილი კოჭის სარტყლის კედელთან შეერთების გაანგარიშება 179
6.5.2. შედუღებული კოჭების პირაპირები 181
6.5.4. კოჭების ურთიერთშეუღლების კონსტრუქცია და გაანგარიშება 184
6.5.5. საყრდენი სიხისტის წიბოები 187
6.6. წინასწარ დაძაბული კოჭები 189
თავი 7. ცენტრალურ კუმშვაზე მომუშავე სვეტები და ღეროები 193
7.1. საერთო დახასიათება 193
7.2. მთლიანკვეთიანი სვეტები 194
7.3. გამჭოლკვეთიანი სვეტები 197
7.3.1 გამჭოლკვეთიანი სვეტის ტიპები 197
7.3.2. გისოსების გავლენა გამჭოლკვეთიანი სვეტის ღეროს მდგრადობაზე 199
7.3.3. სვეტები უორიბნო გისოსით 201
7.3.4. სვეტები სამკუთხა გისოსებითა და დამატებითი განმბჯენებით 203
7.3.5. განივი ძალა გრძივი ღუნვის შემთხვევაში 205
7.4. საანგარიშო სქემისა და სვეტის ტიპის შერჩევა 206
7.4.1. საანგარიშო სქემის შერჩევა 206

7.4.2. კოლონის კვეთის ტიპის შერჩევა 207
7.5. სვეტის ღეროს კვეთის შერჩევა და კონსტრუქციული გაფორმება 208
7.5.1. მთლიანკვეთიანი სვეტები 208
7.5.2. გამჭოლკვეთიანი სვეტები 213
7.6. სვეტის ბაზები 216
7.7. სვეტის თავის კონსტრუქცია 223
თავი 8. წამწეები 226
8.1. წამწეების კლასიფიკაცია და მისი გამოყენების არე 226
8.2. წამწეების კონსტრუქციის დეტალური დაგეგმარება 231
8.2.1. წამწის სტატიკური სქემისა და მოხაზულობის შერჩევა 231
8.2.2. წამწეების გენერალური ზომების დადგენა 232
8.2.3. წამწეების გისოსების სისტემა და მათი მახასიათებლები 235
8.2.4. წამწეების მდგრადობის უზრუნველყოფა 236
8.3. წამწის ღეროების განიკვეთის ტიპები 238
8.3.1. მსუბუქი წამწის ღეროები 238
8.4. წამწეების გაანგარიშება 241
8.4.1. დატვირთვები 241
8.4.2. ძალვების განსაზღვრა წამწის ღეროებში 243
8.4.3. ღეროების საანგარიშო სიგრძის განსაზღვრა 244
8.4.4. ღეროების ზღვრული მოქნილობები 246
8.5. წამწის ღეროების განიკვეთის შერჩევა 247
8.5.1. წამწის შეკუმშული ღეროების განიკვეთის შერჩევა 248
8.5.2. წამწის გაჭიმული ელემენტების კვეთის შერჩევა 249
8.6. მსუბუქი წამწეების კონსტრუქციები 250
8.6.1. ზოგადი მითითებები 250
8.6.2. წამწეები ცალმაგი კუთხოვანებისაგან 251
8.6.3. წვეული კუთხოვანებისაგან შედგენილი წამწეები, მათი შეალესული კვანძების კონსტრუქცია და გაანგარიშება 252
8.6.4. სამონტაჟო შეპირაპირების კვანძი 256
8.6.5. საყრდენი კვანძები 258
8.7. მილოვანი წამწეები 261
8.8. წინასწარ დაძაბული წამწეები 266
8.8.1. კონსტრუქციული სქემები 266
8.8.2. წინასწარ დაძაბული წამწეების გაანგარიშება 270
8.9. წამწის სამუშაო ნახაზების შედგენა 272
8.10. ღეროვან სისტემებში ძალვების განსაზღვრის გრაფიკული ხერხი მაქსველ-კრემონას დიაგრამის აგებით 273
8.10.1. გრაფიკული ხერხით ძალვების განსაზღვრის ზოგადი პრინციპები 273
8.10.2. წამწის ელემენტებში ძალვების განსაზღვრის გრაფიკული მეთოდის თეორიული საფუძვლები 274
8.10.3. წამწის ელემენტებში ძალვების განსაზღვრის მაგალითი 276
დანართები 278
ლიტერატურა 317

გამომცემლობის დირექტორი – ნანა ხახუტაიშვილი
გამომცემლობის რედაქტორი – ლალი კონცელიძე
ტექნიკური რედაქტორი – ედუარდ ანანიძე

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 30.07.2009
ქაღალდის ზომა 60X84 1/16
ფიზიკური თაბახი 20.1
ტირაჟი 100

ᲕᲐᲮᲝ ᲡᲐᲮᲔᲚᲛᲬᲘᲤᲝᲔᲑᲘᲡ

დაიბეჭდა უნივერსიტეტის სტამბაში

ქ. ბათუმი, ნინოშვილის 35



ვარცხალაძე გიზო

დაამთავრა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი ავიაციალობით სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის.

დაამთავრა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ასპირანტურა და დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია, თემაზე „ახალი ტაბის წინასწარ დაძაბული წყების თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა" პროფესორ იზიდა მშენიერიძის და ბიჭიკი ხერხეულიძის ხელმძღვანელობით.

იყო დანიშნული სტუ-ს მაიორის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის საინჟინრო-ეკონომიკური ფაკულტეტის დეკანის მოადგილედ.

ამჟამად არის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საინჟინრო-ტექნიკური ფაკულტეტის დეკანი.

არის სრული პროფესორი.

არის აშენების საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური ცენტრის (ISTC) გრანტის განმკუთვნილი იქნეიერიაკვლევის წევრი.

ეყრდნობა ღეროვანი სისტემების მდგრადობის პრობლემებზე დრეკად და დრეკად პლასტიკურ სტადიაში.

ეყრდნობა წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების საკითხებზე.

ეყრდნობა ქარის ატრიუმის ახალი რაციონალური კონსტრუქციული ფორმის შექმნაზე.



მშენებლობის ინჟინერი

დაამთავრა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი ავიაციალობით სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობის.

დაამთავრა საქართველო რეცენზირებია აკადემიის კორპუს ზაგრებების სახ. სამშენებლო მექანიკის და სეისმომედეგობის ინსტიტუტის და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მშენებლობათა აკადემიის მექანიკის ინსტიტუტის ქ. მოსკოვის ასოციაციური.

დაიცვა დისერტაცია თემაზე „წაგებიანთა დრეკად-პლასტიკური ნაგებობანი"

წლების განმავლობაში ხელმძღვანელობდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ლაბორატორია კონსტრუქციების კათედრის.

ამჟამად საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ხელმძღვანელობს სამშენებლო კონსტრუქციების მიმართულებას.

არის სრული პროფესორი.

ეყრდნობა ღეროვანი სისტემების მდგრადობის პრობლემებზე დრეკად და დრეკად-პლასტიკურ სტადიაში.

ეყრდნობა ძაბვა-ნაგებობათა დაშლილების და სეისმომედეგობის პრობლემებზე.

ეყრდნობა წინასწარ დაძაბული კონსტრუქციების გაანგარიშებისა და კონსტრუირების შეთითებზე.