

Visokotrdne kalibrirane verige za dvigala in elevatorje

UDK: 669.141.247:669.15-194.2:621.785.4
 ASM/SLA: AY-b, T7e, IJ

A. Kveder, F. Legat, J. Žvokelj

Preizkušeni je bilo več žic različnih premerov in vrst jekel in ugotovljena njihova primernost za izdelavo visokotrdnih verig. Pri verigah iz teh žic so bili narejeni preizkusi toplotnih obdelav, mehanskih lastnosti in določene oblikovne spremembe pri natezanju.

A. UVOD

Visokotrdne verige razredov 6 in 8 spadajo v vrh izdelkov na področju verig. Tovarna verig Lesce stremi k proizvodnji kvalitetnejšega asortimana z več vloženege dela in znanja, in zato tudi višjo vrednostjo. Morda je najpomembnejše to, da so te verige cenjen izvozni artikel, vendar po kvaliteti tako zahteven, da inozemski kupci zahtevajo pred uvozom posebno homologacijo. Tovarna verig je že veliko napredovala v razvoju proizvodnje teh verig, vendar so še problemi, ki zahtevajo sistematično delo in zanesljivost pri proizvodnji. Gre za pravilno izbiro jekla, primerno kvaliteto žice, varilno-tehnične razmere, toplotno obdelavo in drugo.

Kako kvaliteten proizvod so te verige, naj pokažeta primera, veljavna za verigo iz žice, premera 7 mm, razreda 8:

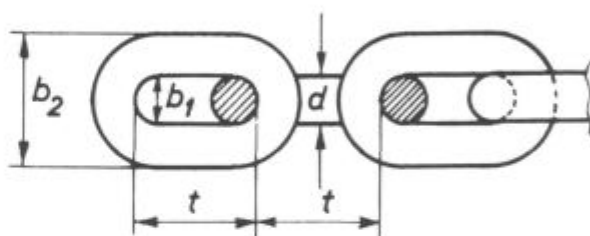
— Veriga mora zdržati najmanj 60 kN, kar pomeni, da je njena trdnost, upoštevajoč 2 preseka, okoli 850 N/mm². Ker je napetost pri natezanju verige večosna, v veliki meri strižna, je dejansko treba verigo poboljšati na okoli 1250 do 1300 N/mm², kolikor bi moral zdržati material verige pri enosnem nateznem preizkusu. Pri tem mora biti jeklo žilavo in seveda varivo.

— Kalibrirano verigo te vrste uporabljajo za dvigala in elevatorje, torej teče preko ozobljenih koles. Dobra prilagojenost verige in kolesa je življenjskega pomena za naprave in tiste, ki z njimi upravljajo (nemški DIN standard je bil izdelan v sodelovanju s poklicnimi združenji in centralo za preprečevanje nesreč in medicino dela). Zaradi tega so tolerance teh verig izredno stroge — za enajstčlenski del te verige je pri dolžini 231 mm (delitev 11. t) toleranca +0,72 in -0,36 mm. Dolžino v tej toleranci je treba doseči s takim predhodnim natezanjem, da se veriga do tako imenovane preizkusne sile, ki je za to verigo 40 kN, obnaša po Hookovem zakonu — sila in raztezek (elastični) sta proporcionalni. Pri verigi brez tega predhodnega natezanja ni te proporcionalnosti zaradi vtiskovanja na stičnih točkah členov in spreminjanja širine členov.

Navedena primera kažeta, da ta proizvod zahteva pravilno izbrano in zelo kvalitetno jeklo ter zelo natančno in zanesljivo tehnologijo izdelave, varjenja, toplotne obdelave in preizkušanja. Od vsega tega razvojnega programa tovarne verig Lesce smo se v okviru te raziskave osredotočili na izbiro pravilnega jekla, toplotno obdelavo, preizkušanje in oblikovne spremembe pri natezanju.

V nadaljevanju dajemo krajši izvleček iz nemškega standarda za te verige, z natančnejšimi podatki za verige 7×21, 5×15 in 13×36, katere smo rabili v preiskavah.

DIN 5684 List 3: Verige iz okroglega jekla za dvigalne naprave — kalibrirane in preizkušene. Kvalitetni razred 8. (slika 1)



Slika 1

Oznake mer. d = nazivna debelina, t = delitev

Fig. 1

Indication of dimensions. d = nominal thickness, t = division

Oznaka verige: d × t, npr. 7×21 DIN 5684-8

Jeklo: Varivo in sposobno za poboljšanje, pomirjeno in drobnozrnato (okoli 0,025 % Al). Vsebovati mora vsaj dva legirna elementa, od teh vsaj enega od naslednjih:

Ni min. 0,4 %
 Cr min. 0,4 %
 Mo min. 0,15 %

Kot drugi element je dovoljen B, ne štejeta pa Si in Mn.

Preizkušanje mer in lastnosti: Iz ene partije (200 m verige) se vzamejo na poljubnih mestih 3 vzorci po 5 ali 3 členov (za debeline do 11 ali nad 11 mm). Določimo dejansko raztržno silo in raztezek po raztrgu. Natezni

Tabela 1: Primeri za mere in teže za d = 5, 7 in 13 mm

Nazivna debelina d mm	Notranja širina b ₁ min.	Zunanja širina b ₂ maks.	Dolžina 11 × t mm
5	15 (+0,20 - 0,10)	6	165 (+0,5 - 0,25)
7	21 (+0,27 - 0,13)	8,4	231 (+0,73 - 0,36)
13	36 (+0,46 - 0,23)	15,6	396 (+1,25 - 0,63)

preizkus mora registrirati $F-\Delta L$ krivuljo. Hitrost $10 \text{ N/mm}^2/\text{s}$. Raztezek po raztrgu je iz diagrama odčitana skupna sprememba dolžine do raztrga, deljena s prvotno notranjo dolžino vzorca po preizkusnem obremenjevanju, to je petkratna ali trikratna delilna dolžina ($A = (\Delta L_t/L_0) \cdot 100\%$). Trdota na kateremkoli mestu člena ne sme biti manjša od 360 HV (za debeline do 11 mm), oziroma 330 HV (za debeline nad 11 mm). Primeri lastnosti za verige 5×15 , 7×21 in 13×36 so navedeni v tabeli 2.

Tabela 2: Mehanske lastnosti

Nazivna debelina d mm	Nosilnost (kg) za		Preizkusna sila kN	Raztržna sila kN
	ročna dvigala	motorna dvigala		
5	750	630	20	31,5
7	1500	1250	40	60
13	5300	4250	132	212

Vrednosti v tabeli 2 približno ustrezajo naslednjim mehanskim lastnostim:

- Nosilnostna napetost 200 N/mm^2 (za motorna dvigala 160 N/mm^2)
- Preizkusna napetost 500 N/mm^2
- Raztržna napetost 800 N/mm^2
- Raztržni raztezek min. 10%
- Razmerje nosilnost : preizkusna sila : raztržna sila $1:2,5:5:4$ (pri motornih dvigalih $1:3,1:5$).

Prevzem: Kot dokaz, da je bila veriga na koncu izdelave obremenjena s preizkusno silo, ki je najmanj 60% najmanjše raztržne sile, se veriga pri nateznem preizkusu najprej obremeni le s 50% najmanjše raztržne sile. Le tako se lahko po obremenitvi do raztrga dokaže iz diagrama $F - \Delta L$, da je bila veriga obremenjena s preizkusno silo.

Pri razredu 6 (DIN 5684, List 2) je osnovna razlika v tem, da ima predpisane manjše sile — pri verigi 7×21 sta preizkusna in raztržna sila $31,5$ in 50 kN , pri verigi 13×36 pa 106 in 170 kN .

B. PREISKAVE ŽIC ZA VERIGE

Za izdelavo verig uporabljajo vlečene žice v mehko žarjenem stanju. V tovarni verig so pri dosedanjih poskusih proizvodnje teh verig uporabljali žice iz jekel 16 MnNiCrMo in 16 MnCrNi , torej jekli s povprečno $0,16\%$ C. Ugotavljali pa so, da so rezultati glede trdnosti verig nezanesljivi, iz česar so sklepali, da imata ti jekli premalo ogljika za doseganje zelo visokih raztržnih sil, posebno pri kvalitetnem razredu 8. V uvodu smo že poudarili, da je za ta razred potrebno poboljšanje na trdnost 1250 do 1300 N/mm^2 pri enoosnem preizkušanju. Preudarek, da je treba poskusiti z jeklom 20 NiCrMo 2 (s povprečno $0,20\%$ C), je bil zato popolnoma utemeljen. Preizkusili smo štiri vrste žic z oznakami:

$\varnothing 13A$ $\varnothing 7\dot{Z}J$
 $\varnothing 7A$ $\varnothing 5,2\dot{Z}J$

Tabela 3: Kemične sestave žic za verige

Oznaka	C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	Mo
$\varnothing 13A$	0,18	0,13	0,89	0,012	0,008	0,038	0,56	0,56	0,17
$\varnothing 7A$	0,22	0,19	0,76	0,011	0,008	0,047	0,48	0,46	0,20
$\varnothing 7\dot{Z}J$	0,16	0,16	1,01	0,022	0,021	—	0,35	0,55	—
$\varnothing 5,2\dot{Z}J$					16 MnNiCrMo				

Oznake pomenijo debelino žice in dobavitelja (A je avstrijska žica, $\dot{Z}J$ je žica iz železarne Jesenice).

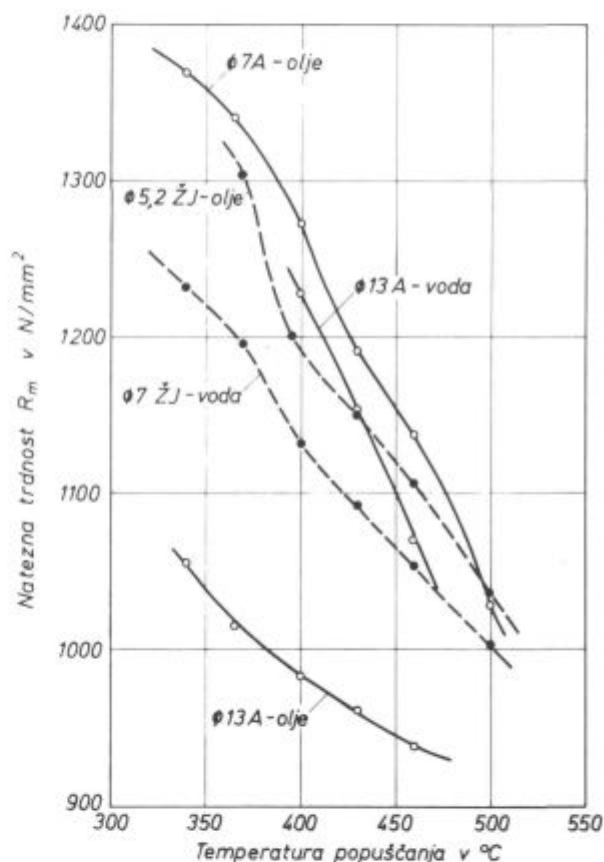
1. Kemične sestave (tabela 3)

2. Toplotne obdelave

Preizkuse kalilnosti oziroma sposobnosti žic za poboljšanje smo izvedli s kaljenjem v vodi in olju s temperature 870°C in popuščanjem pri temperaturah 500 , 460 , 430 , 400 , 370 in 340°C . Vzorci so bili poravnani kosi žic, primerni za kasnejše natezne preizkuse.

3. Natezni preizkusi in trdote

Številčnih rezultatov ne navajamo, ker so iz popustnega diagrama dovolj dobro razvidne mehanske lastnosti. Ta je prikazan na sliki 2.



Slika 2

Vpliv temperature popuščanja na natezno trdnost žic za izdelavo verig.

Fig. 2

Influence of the tempering temperature on tensile strength of wires for chains

Najvišje trdnosti daje žica $\varnothing 7$ A, katere jeklo ima tudi največ ogljika. Ta žica kali v olju, nasprotno pa je žica $\varnothing 13$ A predebela za kaljenje v olju in da zadovoljive rezultate šele po kaljenju v vodi. Ker pa ima jeklo te žice precej manj ogljika kot jeklo žice $\varnothing 7$ A, so trdnosti nekoliko nižje, vendar še sprejemljive. Krivulje za žico $\varnothing 7$ ŽJ, kaljeno v olju, ni v diagramu, ker so bili rezultati zelo neenakomerni — žica se v olju ni dobro kalila. Ista žica, kaljena v vodi, da ustrezno popustno krivuljo, vendar sorazmerno nizke trdnosti, kar je posledica nizke količine ogljika v jeklu. Očitno je, da jeklo te sestave ni uporabno za verige najvišjega kvalitete razreda 8.

Glede kalilnega sredstva (olje, voda) naj pripomnimo, da v tovarni verig kalijo v sintetični emulziji, katere ostrina kaljenja je blizu vodini, zato lahko predvidevamo, da se bosta obe žici 7 in 13 mm dobro kalili.

Kalilnost smo preverili tudi z merjenjem trdot po preseku v kaljenem stanju:

$\varnothing 13$ A — olje, rob 357 HV, sredina 283 HV, kaljenje je torej zelo nepopolno,

$\varnothing 13$ A — voda, rob 460 HV, sredina 420 HV, skoraj popolno, še zadovoljivo kaljenje,

$\varnothing 7$ A — olje, enakomerno 485 HV, popolno kaljenje,

$\varnothing 7$ ŽJ — voda, enakomerno 373 HV, popolno kaljenje, vendar prenizka trdota zaradi premalo ogljika v jeklu,

$\varnothing 5,2$ ŽJ — olje, enakomerno 485 HV, popolno kaljenje.

4. Ugotovitve pri preizkušanju žic

— Za verige najvišjega razreda 8 niso primerna jekla z manj kot 0,18 % C, ker ne dosejajo pri poboljšanju zadostnih trdnosti. Upoštevati moramo, da je verigo potrebno po kaljenju popuščati na dovolj visoki temperaturi, da razen trdnosti pridobi tudi primerno žilavost in plastičnost. Na osnovi rezultatov pri žicah lahko predvidevamo, da bodo verige iz žic $\varnothing 7$ A in $\varnothing 13$ A oziroma iz jekla 20 NiCrMo 2 po pravilni toplotni obdelavi pridobile zahtevane lastnosti.

— Iz rezultatov pri žicah lahko predvidevamo, da bo potrebno, posebno pri debelih verigah, precej ostro kaljenje in popuščanje v območju 360 do 400 °C.

— Na osnovi ugotovitev pri žicah smo nadaljevali preiskave verig, izdelanih iz žic $\varnothing 7$ A in $\varnothing 13$ A (verigi 7 \times 21 in 13 \times 36), ker so le-te dale rezultate, na osnovi katerih smo lahko računali na dobre lastnosti tudi pri verigah. Kasneje smo dobili tudi verige 5 \times 15, ki so bile narejene iz uvozne žice 20 NiCrMo 2, sestave 0,17 % C, 0,52 % Cr, 0,54 % Ni in 0,17 % Mo in smo nekatere preizkuse naredili tudi s to verigo.

C. PREISKAVE VERIG 7 \times 21

Kot rečeno, je bila ta veriga izdelana iz prej opisane žice $\varnothing 7$ A. Izdelali so jo v tovarni verig v redni proizvodnji. Prvih, neuspešnih rezultatov izdelave, toplotne obdelave in preizkušanja ne bomo opisovali. Verige so pokale na zvarih, pri silah, precej manjših od najmanjše predpisane (60 kN). Vzrok je bil v slabih zvarih. Nato so v tovarni verig uspeli optimirati varilne parametre in ta serija je dala rezultate, ki jih v nadaljevanju opisujemo.

1. Načrt raziskav in toplotne obdelave

Izhajali smo iz surove verige, varjene, toda brez toplotne obdelave in kalibracije. (Kalibracija ima dvojni

namen: z natezanjem v plastično območje pridobi veriga proporcionalnost sile in elastičnega raztezka najmanj do predpisane preizkusne sile, ki je za to verigo 40 kN, obenem pa ji da ustrezno dolžino oziroma delitev, ki ima, kot smo že rekli, zelo ozko toleranco. To seveda ni enostavno, ker mora že surova veriga imeti zelo natančne mere, da nato s kalibracijskim natezanjem izpolnimo obe zahtevi).

Toplotne obdelave poboljšanja smo izvedli z istimi temperaturami popuščanja kot pri žicah, to je 500, 460, 430, 370 in 340 °C. V raziskavo pa smo vključili še naslednje variacije:

— Poboljšanje s predhodno normalizacijo ali brez nje. Normalizacija v določeni meri strukturno homogenizira varjeni del členov. Na drugi strani pa je normalizacija proizvodna operacija več, ki ni ravno poceni. Vprašanje je torej, ali je normalizacija glede na lastnosti in stroške opravičljiva.

— Segrevanje na temperaturo kaljenja in eventualno normalizacije v nevtralni ali oksidacijski atmosferi (na zraku). V proizvodnji to poteka sicer v zaščitni atmosferi, vendar če ima ta atmosfera nižji ogljikov potencial, kot je ogljika v jeklu, je lahko razogljčenje prav tako močno, kot pri segrevanju na zraku. Koliko pozornosti je torej vredno posvetiti atmosferi v peči?

— Kaljenje v olju ali vodi: Veriga te debeline se homogeno kali tudi v olju, ne le v vodi. Ali je kakšna razlika?

Za vsako temperaturo smo imeli naslednje kombinacije:

NZO	N = predhodna normalizacija
NZV	S = surova (brez normalizacije)
NAO	Z = pri normalizaciji in kaljenju
NAV	segrevano na zraku
SZO	A = segrevano v nevtralni atmosferi
SAO	O = kaljeno v olju
SAV	V = kaljeno v vodi

Pri 6 temperaturah popuščanja je to torej 48 toplotno obdelavnih variant.

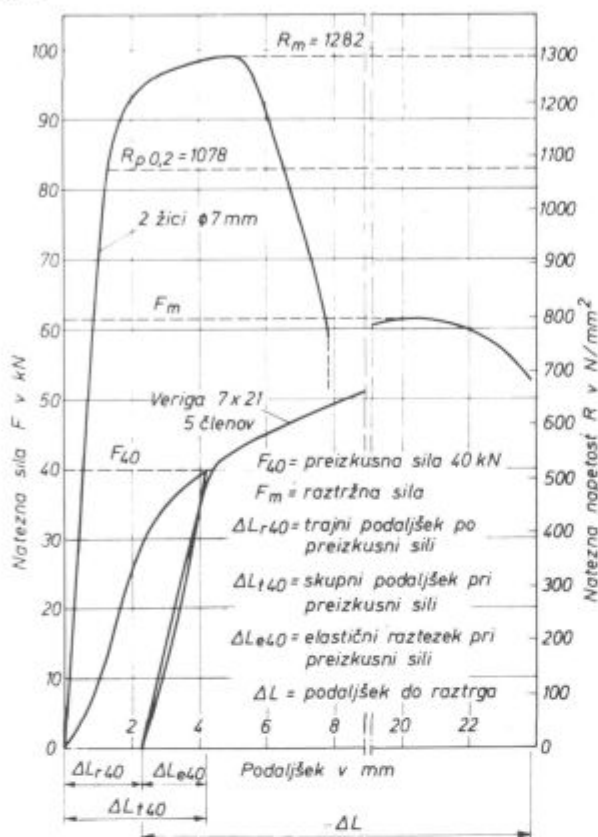
Vzorci za te preiskave so imeli po pet členov, kot se po standardu zahteva za natezni preizkus.

Ker pogosto mešamo naše in (stare) nemške oznake za enote, bomo dosledno uporabljali oznake ISO, ki so jih Nemci v DIN že osvojili, pri nas bodo pa tudi prej ali slej obveljale. Navajamo nekaj najpomembnejših:

Simbol	Naziv	Enota
F	Natezna sila	N (kN)
F _m	Največja (raztržna) sila	N (kN)
L	Merilna dolžina	mm
L ₀	Začetna merilna dolžina	mm
ΔL	Podaljšek (nateg)	mm
ΔL_e	Elastični podaljšek	mm
ΔL_r	Trajni podaljšek	mm
ΔL_t	Skupni podaljšek	mm
ϵ	Raztezek	%
ϵ_e	Elastični raztezek	%
ϵ_r	Trajni raztezek	%
ϵ_t	Skupni raztezek	%
A	Raztržni raztezek	%
R _p	Meja plastičnosti	N/mm ²
R _{p0,2}	0,2 meja	N/mm ²
R _m	Natezna trdnost	N/mm ²
d ₀	Premer	mm
S ₀	Začetni presek	mm ²
Z	Kontrakcija	%

2. Natezni preizkusi

Zahteva se dobra registracija $F - \Delta L$ (natezna sila — podaljšek), zato smo preizkuse opravili na stroju INSTRON. Primer $F - \Delta L$ diagrama je prikazan na sliki 3.



Slika 3
Diagram podaljšek — natezna sila za žico $\varnothing 7$ mm in iz nje narejeno verigo 7×21 .

Fig. 3
Elongation — tensile force diagram for $\varnothing 7$ mm wire and 7×21 chain made of it

Zraven natezne krivulje za verigo 7×21 je prikazana tudi krivulja natezanja dveh žic $\varnothing 7$ mm, iz katere je bila narejena veriga. Preizkusni žici in veriga so bile enako toplotno obdelane, kaljene iz 870°C in popuščane na 380°C . Dve žici skupaj smo natezali zato, da je presek enak kot pri verigi.

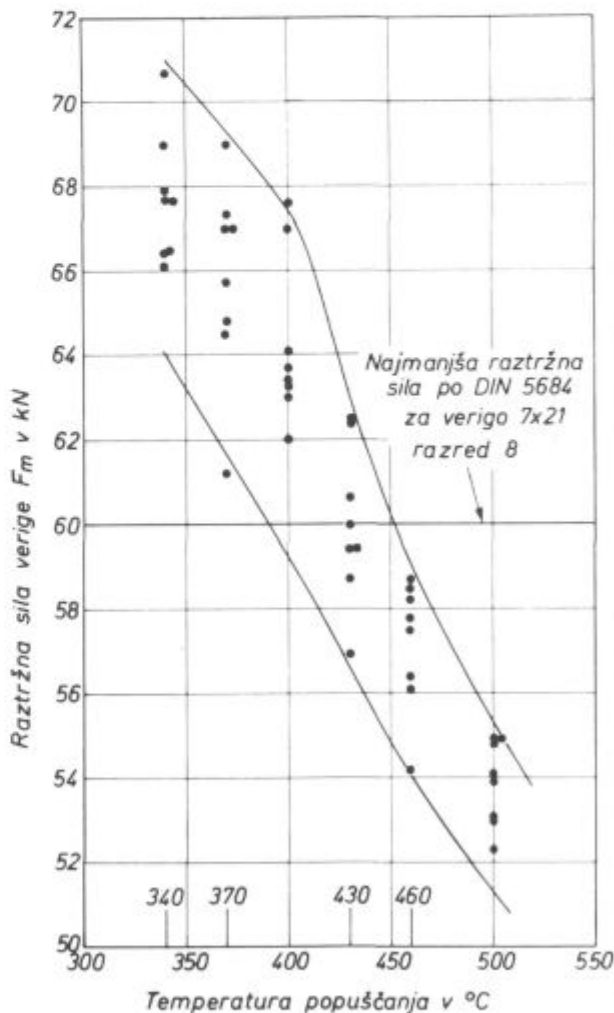
Natezanje žic da normalno krivuljo enosnega nateznega preizkusa, trdnost je 1282 N/mm^2 . Precej drugače pa se nateza veriga. Že pri majhnih silah se močno podaljšuje, prav tako tudi pri višjih silah, tako da je skupni podaljšek do raztrga skoraj trikrat večji kot pri žicah. Pri verigi namreč nastopajo pri natezanju velike oblikovne spremembe; v začetku se veriga trajno podaljšuje, zato ker se v stični točki členov začne vtiskovanje člena v člen, in se torej stična točka spreminja v vedno večjo stično ploskev, kar pomeni daljšanje verige. Pri višjih silah se prične tudi trajna upogibna deformacija členov, polmer krivin členov in širina členov se manjšata, dolžina verige pa se večja. Te oblikovne spremembe verige med natezanjem bomo obravnavali v posebnem poglavju.

Zaradi navedenih oblikovnih sprememb zahteva standard, da se veriga pred dokončanjem obremeni do

določene preizkusne sile, ki je za verigo 7×21 40 kN . To je prikazano v natezni krivulju na sliki 3. Pri 40 kN smo verigo razbremenili, ostal je določen trajni raztezek zaradi prej navedenih oblikovnih sprememb, ponovno obremenjevanje pa je nato vse do preizkusne sile linearno, to se pravi, da sta sila in podaljšek proporcionalna. V tem stanju veriga vse do preizkusne sile trajno ne spremeni oblike oziroma dolžine. Temu postopku pravimo kalibracija verige. Razen linearnosti sile in elastičnega podaljška mora veriga pri kalibraciji zadostiti še enemu zelo strogemu pogoju. Mora biti tudi mersko kalibrirana, torej v dolžinskih tolerancah. Te so za verigo 7×21 :

$$11 \cdot t = 231 (+0,73 - 0,36) \text{ mm}$$

Če je trajni podaljšek pri kalibriranju na 40 kN premajhen, da bi veriga prišla dolžinsko v tolerančno področje, jo lahko natezamo malo višje, npr. na 42 ali več kN . Linearnost sile in elastičnega podaljška bo zato segla pri končni verigi toliko višje, kar pa ni nič narobe. Če pa s trajnim podaljškom do 40 kN presežemo predpisano dolžino, je veriga neuporabna za dvigala. Pravilna dolžina (delitev) verige je torej zelo pomembna, pred



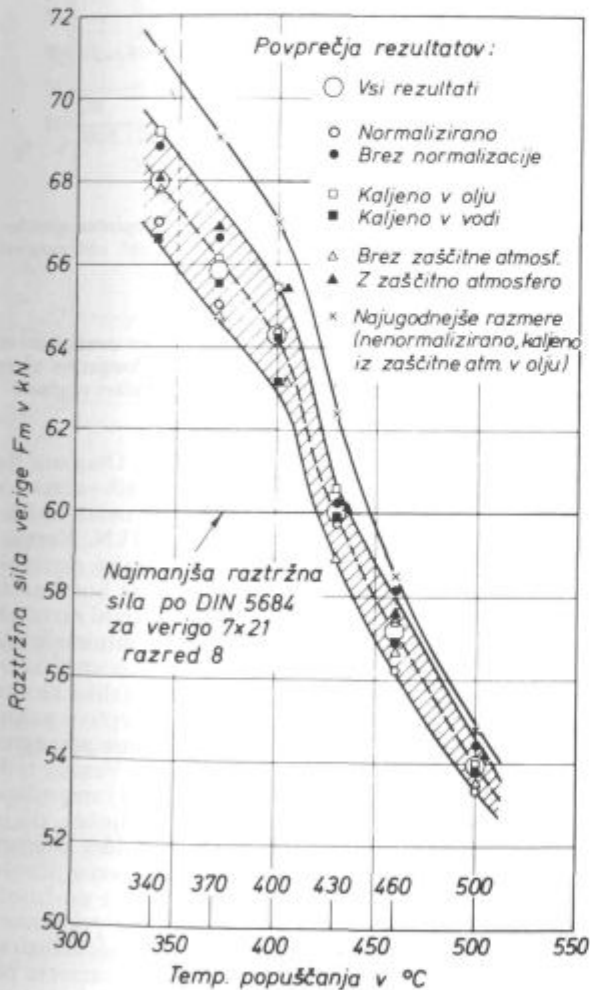
Slika 4
Območje raztržnih sil pri različnih temperaturah popuščanja.
Fig. 4
Region of rupture forces at various tempering temperatures

kalibracijo mora biti ravno toliko krajša, da po kalibraciji na 40 kN seže v tolerančno področje.

Obremenjevanje verige nad 40 kN povzroča nadaljnje trajno podaljševanje verige, členi se ožijo in pri F_m se veriga pretrga na enem od členov na obeh prehodih iz ravnega dela v krivino. Raztržna sila F_m mora biti pri verigi 7×21 najmanj 60 kN, kar ustreza trdnosti okoli 800 N/mm^2 , računano na oba preseka člena. To je mnogo manj, kot zdrži enako poboljšana žica pri enoosnem nateznem preizkusu. Ta ima trdnost okoli 1300 N/mm^2 . V verigi nastopajo v zaokroženih delih členov večosne napetosti, ki znižajo trdnost.

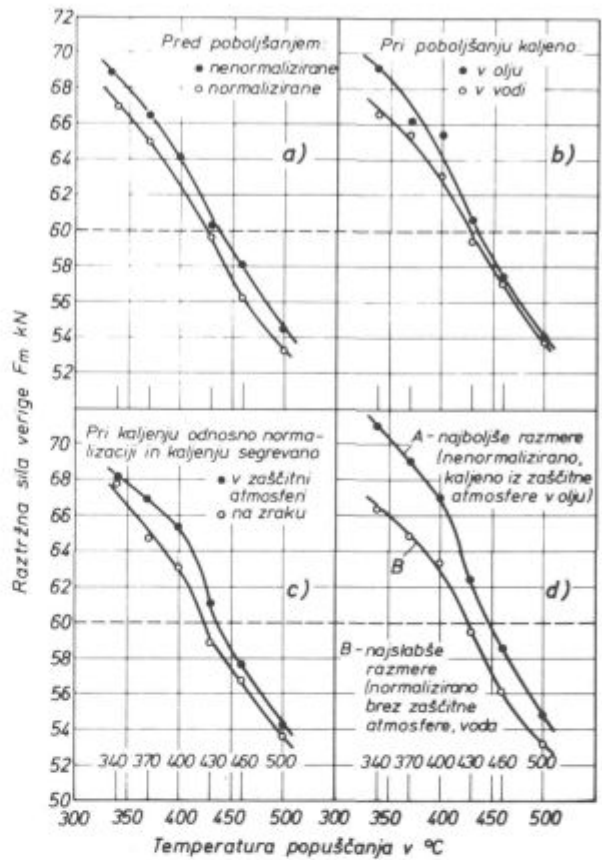
Z navedenimi primeri smo prikazali kakovostne zahteve pri teh verigah, ki jih lahko proizvedemo le z dobrim jeklom in zelo natančno tehnologijo.

Na sliki 4 so v obliki popustnega diagrama prikazani rezultati raztržnih sil v odvisnosti od temperatur popuščanja. Na prvi pogled bi sodili, da so zaradi širokega pasu rezultati zelo nezanesljivi. Vendar ni tako. V nadaljevanju bomo videli, da gre le za močno občutljivost verige pri spreminjanju nekaterih parametrov toplotne obdelave. Najprej ugotovimo, da je najmanjše



Slika 5
Raztržne sile verige 7×21 v odvisnosti od temperature popuščanja in različnih razmer pri toplotni obdelavi

Fig. 5
Rupture forces for 7×21 chains depending on the tempering temperature and various conditions in heat treatment



Slika 6
Vpliv razmer pri toplotnih obdelavah verig 7×21 na raztržno silo.

Fig. 6
Influence of conditions in heat treatment of 7×21 chains on rupture force

raztržne sile mogoče preseči po popuščanju v ožjem intervalu temperatur pod $400 \text{ }^\circ\text{C}$.

Isti rezultati so na sliki 5 združeni v povprečja glede na razlike pri toplotnih obdelavah, npr. predhodno normalizirani vzorci ali ne, kaljeno v vodi ali olju itd. Krivulja najugodnejših razmer pri toplotni obdelavi (nenormalizirano, segrevano v zaščitni atmosferi, kalilno sredstvo olje) očitno izstopa iz ostalih povprečij. Posledice razlik v toplotnih obdelavah so najbolj razvidne iz diagramov na sliki 6.

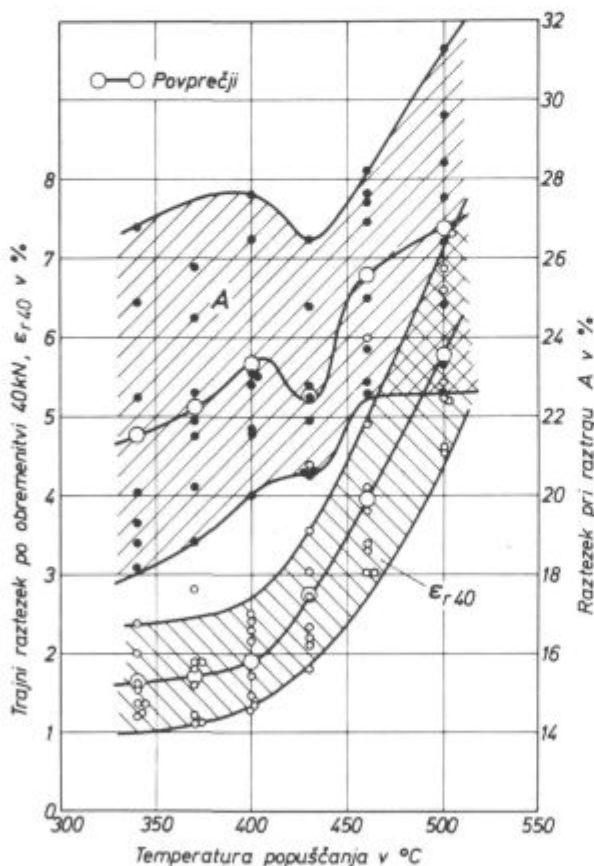
Diagram 6a pokaže, da imajo nenormalizirane verige nekoliko višjo raztržno silo kot normalizirane. Razlika ni velika, le okoli $1,5 \text{ kN}$, vendar poteka krivulj kaže, da ni slučajna. Kaljenje v olju (slika 6b) da višje raztržne sile kot v vodi. Verjetno je vzrok v različnih količinah zaostalega avstenita, ker ta razlika pri višjih temperaturah popuščanja izgine.

Zaščitna atmosfera pri kaljenju oziroma normalizaciji in kaljenju (slika 6c) povzroči za okoli 2 kN višjo raztržno silo kot segrevanje na zraku. Račun pokaže da je to v skladu z zmanjšanjem trdnosti zaradi $0,05$ do $0,1 \text{ mm}$ globokega razogljichenja. Razlike pri posameznih navedenih variantah sicer niso velike, skupaj pa so že vredne upoštevanja. Na diagramu 6d sta popustni krivulji za najboljše razmere toplotne obdelave (nenormalizirano, kaljeno iz zaščitne atmosfere v olju) in najslabše (normalizirano, segrevano na zraku, kaljeno v vodi). Razlika je kar 4 kN , kar pomeni $6,6 \%$ minimalne

raztržne sile. Koliko je to možno upoštevati tudi v praksi, bomo obravnavali po opisu raztezkov.

Na sliki 7 so prikazani trajni raztezki ϵ_{r40} po preizkusni obremenitvi 40 kN in raztezki pri raztrgu A, oboji v %, v odvisnosti od temperature popuščanja. Raztezke ϵ_{r40} in A smo izračunali iz podaljškov ΔL_{r40} in ΔL_1 iz diagramov $F - \Delta L$, upoštevajoč prvotno notranjo dolžino petih členov (5. t). Raztezki po raztrgu se gibljejo od 20 do 30 % in so precej večji kot zahteva standard (10 %). V območju temperatur popuščanja 400 do 450°C nastopi rahlo zmanjšanje raztezkov, kar pa ni pomembno tudi zato, ker smo že pri raztržnih silah ugotovili, da so optimalne temperature popuščanja okoli 380°C. Trajni raztezki po sili 40 kN, pomembni za mersko kalibracijo verig, se med 500 in 400°C močno zmanjšujejo, med 400 in 340°C pa le malo. Ta majhna spremenljivost trajnega raztezka v območju realnih temperatur popuščanja je ugodna, ker se pri kalibracijskem natezanju ne bo treba dosti ozirati na predhodno toplotno obdelavo. Kaj vse koristnega izvemo iz diagramov $F - \Delta L$, bomo opisali v naslednjem poglavju. Sedaj si še oglejmo, kako na raztezanje vplivajo različne razmere toplotne obdelave.

Analogno raztržnim silam na sliki 6 so na sliki 8 prikazani v štirih diagramih trajni raztezki po sili 40 kN in raztržni raztezki v odvisnosti od temperature popuščanja.

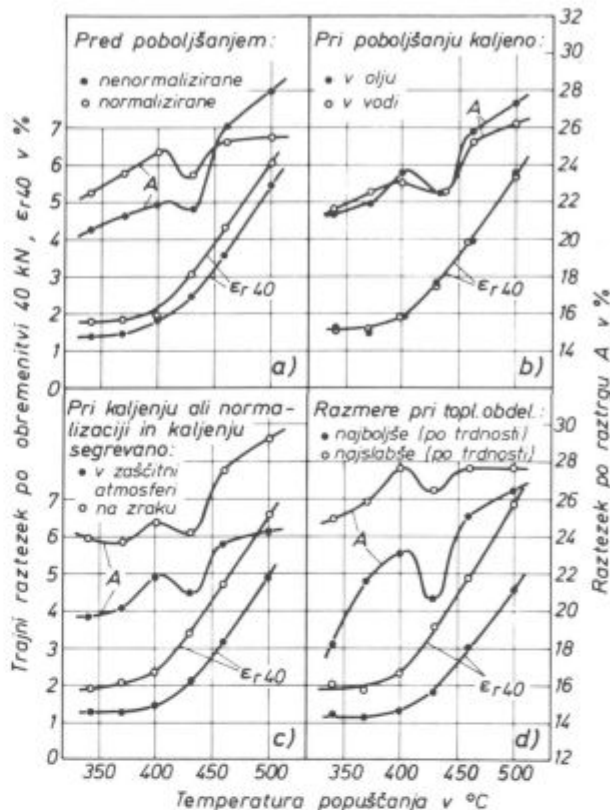


Slika 7

Trajni raztezek verig 7 x 21 po preizkusni obremenitvi 40 kN in raztezek po raztrgu v odvisnosti od temperature popuščanja.

Fig. 7

Permanent elongation of 7 x 21 chains after testing loading with 40 kN, and elongation after rupture, depending on the tempering temperature



Slika 8

Vpliv temperature popuščanja in drugih razmer toplotne obdelave verig 7 x 21 na trajni raztezek po preizkusni obremenitvi 40 kN in raztezek po raztrgu.

Fig. 8

Influence of the tempering temperature and other conditions of heat treatment of 7 x 21 chains on permanent elongation after testing loading with 40 kN, and on elongation after rupture.

nja in različnih razmer toplotne obdelave. Diagram 8a pokaže, da je raztržni raztezek normaliziranih vzorcev v območju pod 400°C kar občutno večji kot nenormaliziranih. Isto velja za trajni raztezek po sili 40 kN. Normalizacija pred poboljšanjem torej poveča trajni raztezek in izboljša raztezek pri raztrgu, kar je glede koristnosti obratno, kot pri raztržni sili. Vendar je raztržni raztezek v vsakem primeru vsaj dvakrat večji od minimalnega predpisanega in pri odločitvah, »da ali ne normalizacija«, ne bo odločal. Kaljenje v olju ali vodi (slika 8b) ne vpliva na raztezke. Največje razlike so pri vplivu atmosfere pri segrevanju (slika 8c) — razogljčenje pri segrevanju na zraku občutno povečuje raztezke. Vendar tudi v tem primeru ni dileme; razogljčenje precej zmanjšuje raztržno silo (slika 6c) in pravilen je le zaključek, da je nevtralna atmosfera najboljša. Ta veriga ima premer 7 mm, pri debelejših verigah bo vpliv razogljčenja manjši, pri tanjših, npr. 4 mm, pa je lahko že uničujoč. Na sliki 8d je prikazano, kakšni so raztezki pri razmerah, ki so najugodnejši za raztržno silo (nenormalizirano, kaljeno iz zaščitne atmosfere v olju). Te razmere pa so za raztezke najbolj neugodne, vendar so raztržni raztezki še vedno okoli 22 % in torej zelo dobri.

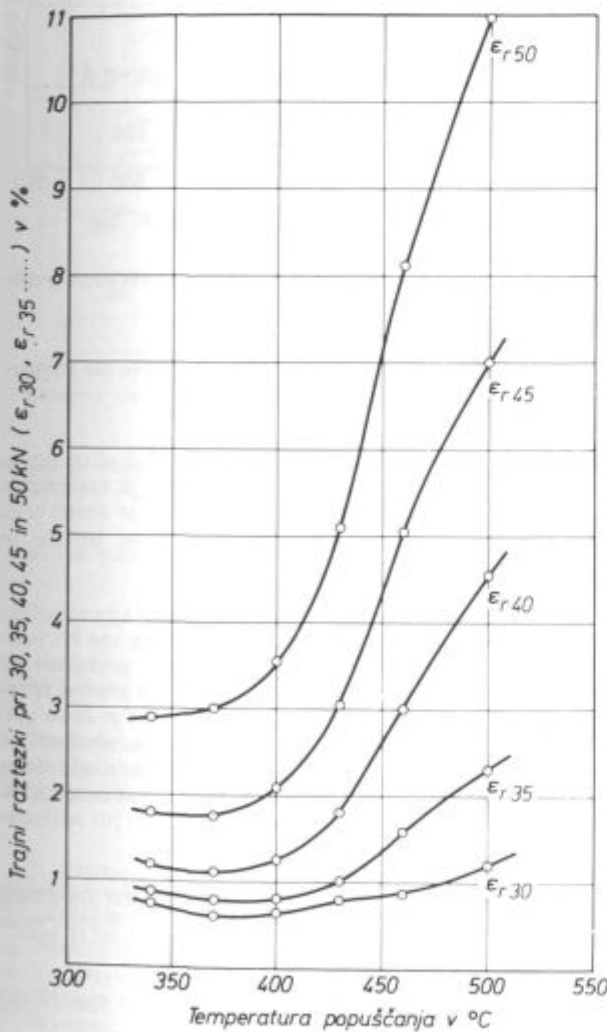
3. Raztezki pri natezanju verige

Pri predhodnem natezanju verige (kalibraciji) so odločilnega pomena trajni in elastični podaljški oziro-

ma raztezki in sila, ki jo uporabljamo. Iz diagramov $F - \Delta L$, katerih eden je prikazan na sliki 3, lahko pri katerikoli sili odčitamo na abscisi skupni podaljšek ΔL_t (vzporednica k ordinati) in trajni podaljšek ΔL_r (vzporednica k premici $\Delta L_{r40} - F_{40}$). Elastični podaljšek je $\Delta L_e = \Delta L_t - \Delta L_r$ ali, izraženo v odstotnih raztezkih glede na prvotno merilno dolžino, $5 \cdot t \cdot \epsilon_e = \epsilon_t - \epsilon_r$.

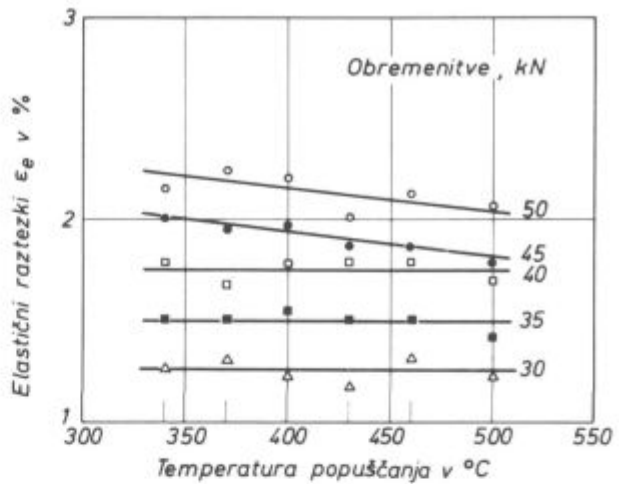
Tako smo določili trajne in pripadajoče elastične raztezke pri silah 30, 35, 40, 45 in 50 kN. V odvisnosti od temperature popuščenja so prikazani na slikah 9 in 10. Sicer smo že rekli, da trajni raztezki, manjši od ϵ_{r40} , ne pridejo v poštev zaradi zahteve o linearnosti $F - \Delta L$ krivulje do preizkusne sile (40 kN), vendar jih prikazujemo zaradi popolnosti slike o celotnem nateznem dogajanju. Iz teh dveh diagramov smo naredili zaključni diagram odvisnosti skupnega, trajnega in elastičnega raztezka od obremenitve verige (slika 11). Kaj vse dobimo iz tega diagrama, naj pokažejo naslednji primeri:

a) Verigo bomo zaradi zanesljivosti kalibrirali z nekoliko višjo silo, kot je preizkusna, recimo z 42,5 kN. Pri tem jo bomo nategnili za 3,32%, po razbremenitvi



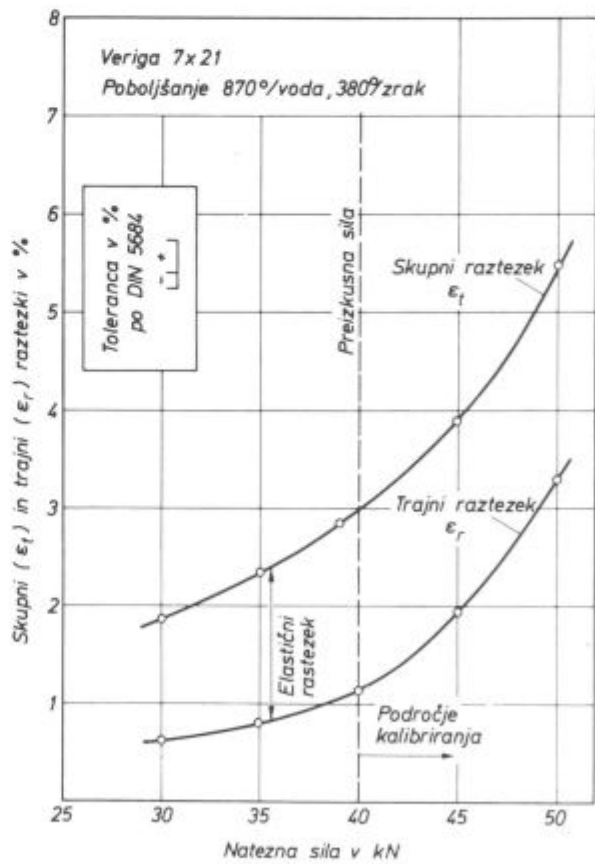
Slika 9
Trajni raztezki verige 7×21 pri različnih silah v odvisnosti od temperature popuščenja.

Fig. 9
Permanent elongations of 7×21 chains at various forces depending on the tempering temperature



Slika 10
Elastični raztezki verige 7×21 pri različnih obremenitvah v odvisnosti od temperature popuščenja

Fig. 10
Elastic elongations of 7×21 chains at various loads, and depending on the tempering temperature



Slika 11
Skupni, trajni in elastični raztezki verige 7×21 v odvisnosti od natezne sile.

Fig. 11
Total, permanent, and elastic elongations of 7×21 chains depending on the tensile force

pa bo ostalo 1,48 % trajnega raztezka. S tem mora veriga dobiti dolžino, ki jo predpisuje standard. Ta je $11 \cdot t = 231$ mm.

b) Če hočemo, da bo veriga po kalibraciji pravilno dolga, mora biti pred tem krajša, in sicer za 1,48 %. Po izdelavi oziroma toplotni obdelavi mora torej imeti veriga dolžino $11 \cdot t = 20,69$ mm. Te mere so torej osnova za tehnološki račun izdelave verige.

c) Veriga ima za $11 \cdot t$ tudi toleranco $+0,73$ in $-0,36$ mm. Lahko jo preračunamo v odstotka, ki znašata $+0,316$ in $-0,1558$ % dolžine. Odstotna toleranca je tudi vrisana v diagram na sliki 11. Glede na prej navedeni primer bi veljalo, da ima sila 42,5 kN toleranco v območju 41,2 do 44,75 kN, in to le v primeru, če ima veriga pred kalibracijo $11 \cdot t$ točno 227,6 mm. Če pa hočemo s kalibracijo popravljati še to predhodno delitev, je stvar že bolj zapletena. Na vsak način pa je boljše, da je veriga pred kalibracijo nekoliko krajša, ker jo z večjo kalibracijsko silo še vedno lahko spravimo v toleranco. Pri predolgi pa bi kaj hitro morali uporabiti manjšo silo kot 40 kN, s tem pa ne bi bil izpolnjen pogoj o linearnosti $F - \Delta L$ do preizkusne sile.

d) Ves opisani postopek za kontrolo med proizvodnjo se zdi zapleten, v resnici pa ni. Treba je imeti dober laboratorijski natezni stroj z ustrežno registracijo sile in podaljška. Po toplotni obdelavi in pred kalibracijo odzvamemo 5 členov verige (pri debelejših verigah 3 člene) in jih natezamo do preizkusne sile, razbremenimo in nato natezamo do raztrga (s tem obenem kontroliramo tudi uspešnost varjenja in toplotne obdelave). V diagramu začrtamo vzporednice k črti $F_{40} - L_{r40}$ (glej sliko 3) še za sili F_{35} in F_{45} in na abscisi izmerimo trajne podaljške ter jih preračunamo v odstotne raztezke. Iz treh točk pri F_{35} , F_{40} in F_{45} , lahko pa izberemo tudi druge sile, in predhodnega merskega stanja verige je takoj razvidno, ali je bila veriga pravilno dimenzionirana in katero preizkusno silo moramo uporabiti. Najbolje je seveda, da je veriga predhodno ravno toliko krajša, da bo pri 40 kN v tolerančnem področju.

D. PREISKAVE VERIG 13 × 36 IN 5 × 15

Zaradi izkušenj, ki smo jih dobili pri obširnih raziskavah verige 7 × 21, smo lahko raziskave verig 13 × 36 in 5 × 15 bistveno skrajšali. Variacije toplotnoobdelavnih parametrov smo izpustili, pri verigi 13 × 36 smo še preiskali vpliv temperature popuščenja, verigo 5 × 15 pa smo toplotno obdelali le v optimalnih razmerah, ki so kaljenje iz 870°C/voda in popuščenje 380°C/zrak.

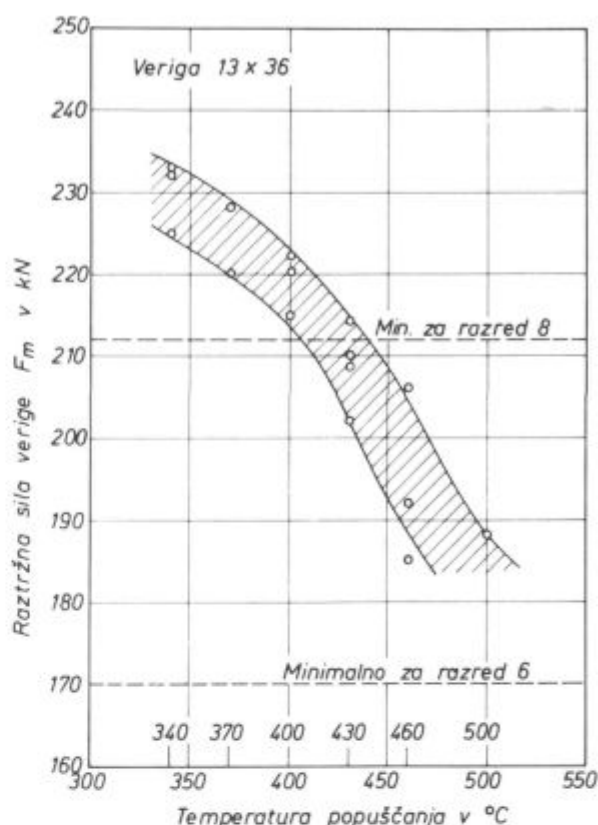
Na sliki 12 je prikazana odvisnost raztržne sile verige 13 × 36 od temperature popuščenja. Pri popuščenjih pod 400°C dobimo večje raztržne sile, kot je zahtevana (212 kN). Najboljša temperatura popuščenja je 380°C. Ta veriga v olju ne kali, treba jo je hladiti v vodi ali v raztopini, ki ima veliko hladilno hitrost. Tudi prevelika količina teh verig pri posameznem kaljenju lahko povzroči slabo prekalitev. Za te in še debelejša verige bi bilo treba naročiti jeklo 20 NiCrMo 2 z ogljikom v zgornji polovici območja (0,2 do 0,23 % C).

Pri verigah 5 × 15 smo po optimalni toplotni obdelavi 870/380°C dobili raztržne sile okoli 33 do 34 kN, medtem ko je minimalna zahtevana 31,5 kN.

Raztezanje teh dveh verig bomo razložili v naslednjem poglavju.

E. OBLIKOVNE SPREMEMBE PRI NATEZANJU VERIG

Natezni preizkusi, ki smo jih izvršili z vsemi tremi vrstami verig, so sprožili celo vrsto vprašanj o spremi-



Slika 12
Odvisnost raztržne sile verige 13 × 36 od temperature popuščenja.

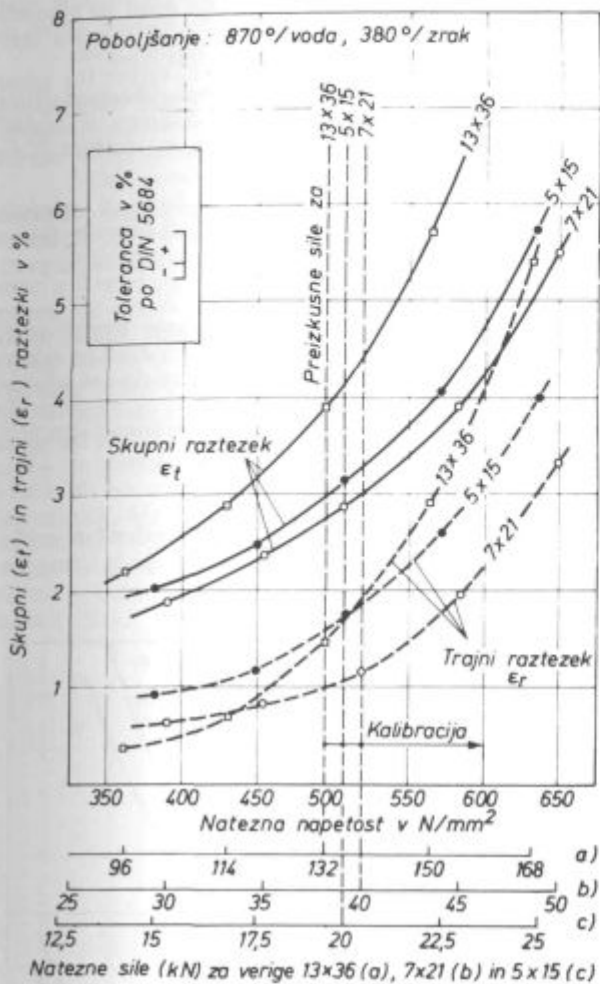
Fig. 12
Dependence of the rupture force of 13 × 36 chain on the tempering temperature

njanju oblike pri natezanju. Na primer, zakaj se posamezne verige različno raztezajo, kolikšno je raztezanje zaradi vtiskovanja člena v člen in kakšen je delež tega vtiskovanja pri raztezanju verige, kdaj se prične in kolikšno je krčenje členov in drugo.

1. Diagrami raztezki — natezne sile: Najprej prikazimo še diagram raztezki — natezna sila za vse tri verige skupaj, kot smo ga za verigo 7 × 21 že prikazali na sliki 11. V tem diagramu na sliki 13 smo na abscisi spremenili natezno silo v natezno napetost, ker je tako primerjava med različnimi verigami stvarnejša, obenem pa so prav tako na abscisi narisane tudi pripadajoče natezne sile za vsako verigo posebej. Opaziti je, da normirane preizkusne sile za posamezne verige niso pri istih natezih napetostih:

Veriga	Preizkusna sila kN	Preizkusna napetost N/mm ²
5 × 15	20	509
7 × 21	40	520
13 × 36	132	497

Vendar razlike niso bistvene. Na diagramu vidimo, da se glede raztezanja verige kar precej razlikujejo. Na primer, trajni raztezek po preizkusni sili je za posamezne verige



Slika 13
Skupni in trajni raztezi verig v odvisnosti od natezih sil odnosno napetosti.

Fig. 13
Total and permanent elongation of chains depending on the tensile forces or stresses

5 x 15	1,73 %
7 x 21	1,15 %
13 x 36	1,45 %

Najdebelejša veriga 13 x 36 se pri manjših silah najmanj trajno razteza, pri večjih silah pa najbolj. Odgovor na ta vprašanja smo morali poiskati z dodatnimi preizkušnji.

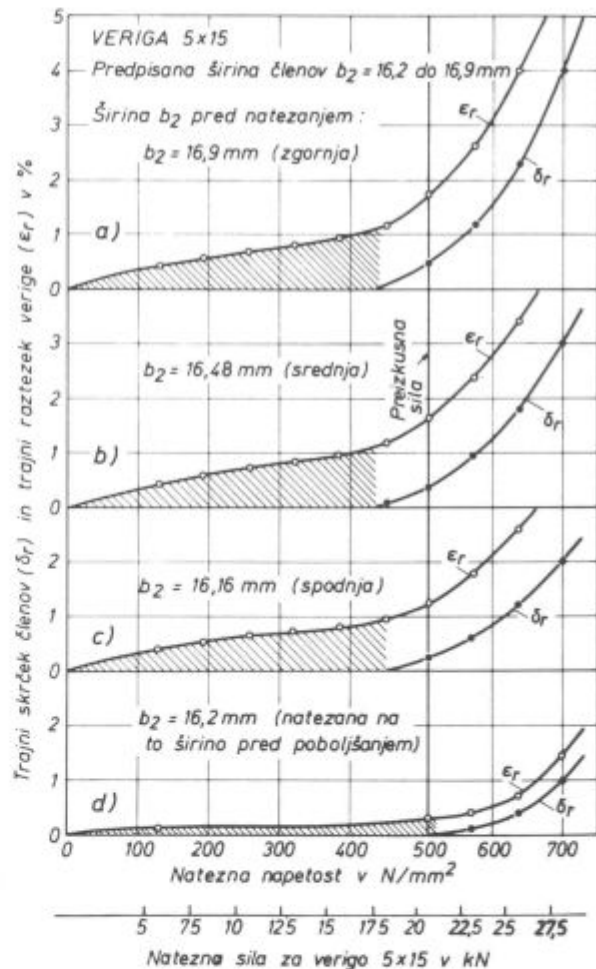
2. Vtiskovanje in krčenje členov: Členi verige se pri natezanju vtiskujejo, širina členov se zmanjšuje, veriga pa se zaradi obeh pojavov podaljšuje, elastično in trajno. Vprašanje je torej, kolikšen je delež teh pojavov v odvisnosti od natezne sile, kako vplivata na te deleže širina členov (b_2 na sliki 1) in nazivna debelina verige.

Po standardu sta določeni največja zunanja širina b_2 in najmanjša notranja širina b_1 . Če predpostavimo srednjo vrednost dovoljene zvarne odebelitve, so tolerance zunanje širine členov b_2 naslednje:

pri verigi	5 x 15	16,19 do 16,9 mm
	7 x 21	22,7 do 23,6 mm
	13 x 36	42,09 do 44,2 mm

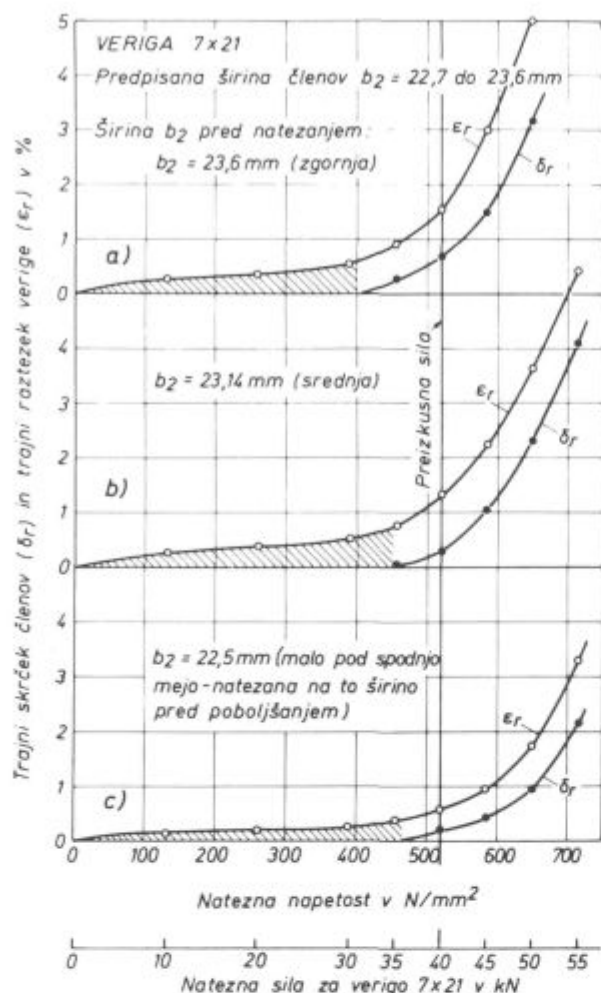
Te tolerance so razmeroma široke, posebno če jih primerjamo z zelo ozkimi dolžinskimi tolerancami. Zanimalo nas je, kako vpliva širina členov na trajno raztezanje verige. Ker ni bilo možnosti dobiti iste verige z različnimi širinami členov, smo si pomagali tako, da smo pri preizkusnih kosih verig zožili ali razširili člene. Vse to seveda v surovem stanju verig, tako da po poboljšanju ni bilo sledov teh posegov. Po en preizkusni kos verige od vsake verige smo zožili tudi tako, da smo ga natezali v stroju, prav tako v surovem stanju, in s tem obenem naredili tudi vtis na stikih členov. Vse verige smo enako poboljšali, kalili iz 870°C v vodi in popuščali na 380°C.

Preizkuse smo izvršili takole: Petčlenke dele verig (pri 13 x 36 tričlenke) smo vpenjali v natezni stroj in stopenjsko obremenjevali in razbremenjevali. Po vsaki razbremenitvi smo izmerili širino členov b_2 , trajni podaljšek pa smo izmerili iz diagrama. Odvisnost trajnih sprememb oblike verige od natezne sile oziroma napetosti je prikazana na slikah 14 do 16. (Trajno skrčenje členov v dolžinski enoti ima oznako Δb_{2r} , v diagramih in besedilu pa uporabljamo trajni skrček, izražen v odstotkih in z oznako $\delta_r = (\Delta b_{2r}/b_2) \cdot 100\%$.)



Slika 14
Trajni skrček členov in trajni raztezek verige 5 x 15 v odvisnosti od natezne napetosti in sile.

Fig. 14
Permanent contraction of links, and permanent elongation of 5 x 15 chain, depending on the tensile stress and force



Slika 15
Trajni skrček členov in trajni raztezek verige 7 × 21 v odvisnosti od natezne napetosti in sile.

Fig. 15
Permanent contraction of links, and permanent elongation of 7 × 21 chain, depending on the tensile stress and force

Slika 14, veriga 5 × 15: Členi so imeli širine na zgornji, srednji in spodnji meji tolerance, in na spodnji meji, dobljeni tako, da je bil vzorec verige natezan v mehko žarjenem stanju. Za razpravo je treba pomniti: dokler se členi ne začne trajno krčiti, tudi ni trajnega globalnega spreminjanja oblike in dolžine členov — trajno raztezanje verige je do tedaj le posledica vtiskovanja na stičnih mestih členov. Iz diagramov a), b) in c) na sliki 13 vidimo, da se trajno raztezanje začne že pri majhnih silah, in to kar močno. Ker ni trajnega skrčka členov, gre vse to raztezanje izključno na račun vtiskovanja. Trajni skrčki (in raztezki, ki so posledica globalnega spreminjanja oblike členov), se pojavijo šele okoli sile 17,5 kN, do te sile se dolžina verige spreminja le zaradi vtiskovanja (šrafirani deli diagramov). Nad to silo se začne tudi raztezanje in krčenje členov oziroma verige kot posledica globalnega spreminjanja oblike. Toda do preizkusne sile (20 kN) je to spreminjanje razmeroma majhno: členi se trajno skrčijo za okoli 0,35 % oziroma za 0,06 mm pri toleranci 0,7 mm (16,2 do 16,9 mm). Pri kalibriranju se torej globalna oblika členov v verigi praktično ne spremeni.

Večje ali manjše širine ne vplivajo dosti na spreminjanje globalne oblike členov, opazna je le rahla tendenca, da manj spreminjajo obliko ozki členi.

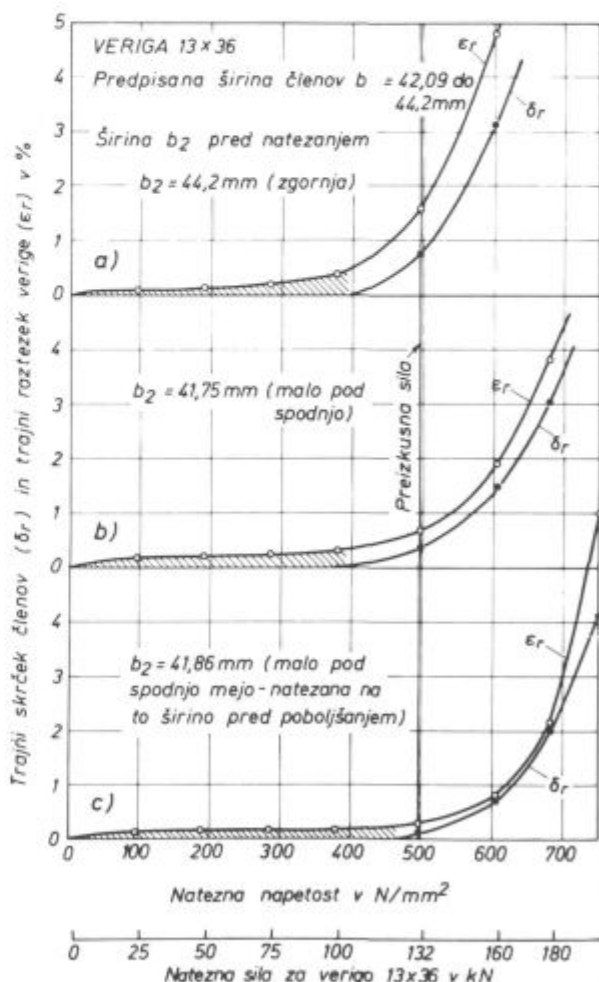
Veriga, ki je bila natezana pred poboljšanjem (d) in je zato že imela stična mesta členov vtisnjena, se dodatno vtiskuje le malo, trajno krčenje in raztezanje se začne šele nad preizkusno silo.

Slika 15, veriga 7 × 21: Vtiskovanje členov pri nižjih silah je bistveno manjše kot pri verigi 5 × 15, skrček in raztezek pri preizkusni sili pa sta bolj odvisna od predhodne širine členov.

Slika 16, veriga 13 × 36: Vtiskovanje členov je še manjše, zelo očitna pa je razlika med širokimi in ozkimi členi. Veriga z ozkimi členi se bo do preizkusne sile več kot pol manj raztegnila, kot veriga s širokimi členi. Ta razlika je močno opazna tudi nad preizkusno silo.

3. Obravnava oblikovnih sprememb:

— Trajni raztezki verig po preizkusnih silah znašajo 1,2 do 1,7 %, v odvisnosti od vrste verige in širine čle-



Slika 16
Trajni skrček členov in trajni raztezek verige 13 × 36 v odvisnosti od natezne napetosti in sile.

Fig. 16
Permanent contraction of links, and permanent elongation of 13 × 36 chain, depending on the tensile stress and force

nov. Razlike pri skupnih raztezkah (trajni + elastični) so še večje, znašajo od 2,8 do 3,9 %.

— Širina členov (v okviru tolerance) vpliva na raztezke pri preizkusni sili, manj pri tankih verigah, bolj pri debelih. Skupni in trajni raztezki pri preizkusni sili in po njej so lahko tudi do polovice manjši, če je širina členov bližje spodnji toleranci.

— Velikost vtiskovanja členov do sile, ko se začne globalna trajna deformacija členov, je izrazito večja pri tankih verigah kot pri debelih.

— Vtiskovanje členov brez globalne trajne deformacije členov sega od 81 do 90 % preizkusne sile. Od tu naprej do preizkusne sile se členi tudi globalno trajno deformirajo, vendar zelo malo. To se pravi, do preizkusne sile se oblika členov le malo spremeni, večji del trajnega raztezka gre na račun vtiskovanja.

— Bistveni parameter za kalibracijo, to je za natezanje do preizkusne sile, je trajni raztezek. Od tega raztezka in globalnih mer členov pred kalibracijo je odvisno, ali bo veriga po kalibraciji v strogih dolžinskih tolerancah. Menimo, da bi bilo najbolje izdelovati člene s širino b_2 v spodnji polovici tolerance. S tem bi bil trajni raztezek pri kalibraciji okoli 1 % dolžine. Preprost račun pokaže, da bi s tem prihranili tudi okoli 1 % materiala (žice).

F. SKLEPI

1. Preizkusi toplotnih obdelav in mehanskih lastnosti z žicami in verigami so pokazali, da je najprimernejše jeklo 20 NiCrMo 2. Srednje debele verige, npr. 13×36 , naj imajo ogljik v zgornjem delu območja (0,20 do 0,23 %), hlajenje teh verig pri kaljenju mora biti intenzivno, v vodi ali ustrezni sintetični raztopini. Pri še debelejših verigah bo treba preizkusiti trdnjša in kaljivejša jekla, 23 MnNiCrMo 52 ali 23 MnNiCrMo 64.

2. Najboljša toplotna obdelava verig je poboljšanje s kaljenjem iz 870°C in popuščanjem na 380°C . Pri tanjših verigah je treba posebno pozornost posvetiti nevtralni atmosferi pri segrevanju. Normalizacija pred kaljenjem ni potrebna.

3. Za kalibracijo do preizkusne sile so posebnega pomena oblika in mere členov pred natezanjem. Najbolje je, da je širina členov v spodnjem delu tolerance. V tem primeru je treba računati, da se globalna oblika členov pri kalibraciji ne bo bistveno spremenila, veriga pa se bo zaradi vtiskovanja na stičnih mestih členov raztegnila za okoli 1 %.

4. Potrebna je redna medfazna in končna kontrola proizvodnje s toplotno obdelavo vzorcev, kalibracijskim natezanjem in kontrolo mer ter natezanjem do raztrga.

ZUSAMMENFASSUNG

Hochfeste Ketten für die Aufzüge und Elevatoren zählen zu den qualitativsten Erzeugnissen auf dem Gebiet der Ketten. Das Schweißen, die Wärmebehandlung, hohe Festigkeit und sehr enge Masstoleranzen, sind Parameter die eine richtige Auswahl von Stahl verlangen, so wie eine sehr genaue und ausgemachte Herstellungstechnologie.

In der Forschungsaufgabe haben wir zuerst Drähte verschiedener Stahlsorten und verschiedener Durchmesser wärmebehandelt und mechanisch geprüft. Der Stahl 20 NiCrMo 2 hat sich als am besten geeignet erwiesen. Der Kohlenstoffgehalt soll bei den Stählen für die mitteldicken Ketten im oberen Bereich des vorgeschriebenen Intervales (0,20 bis 0,23 %) liegen. Das Köhlen dieser Ketten beim Härten soll intensiv sein, im Wasser oder einer entsprechenden syntetischen Lösung.

Die beste Wärmebehandlung der Ketten ist das Vergüten durch Härten von 870°C und dem Nachlassen beim 380°C . Bei dünnen Ketten ist zu beachten, dass diese in einer neutralen Atmosphäre erwärmt werden. Ein Normalglühen vor dem Härten ist nicht nötig.

Für die Kalibrierung bis zu der Prüfungskraft sind von besonderer Bedeutung die Form und die Ausmasse der Glieder vor dem Ziehen. Es ist am besten, dass die Gliedbreite im unteren Bereich der Toleranz ist. In diesem Fall ist zu rechnen, dass sich die allgemeine Gliedform beim Kalibrieren nicht wesentlich ändern wird, die Kette wird sich aber wegen des Eindrückens an Kontaktflächen um ca. 1 % ausdehnen.

SUMMARY

High-strength chains for hoists and elevators are one of the most quality products among the chains. Welding, heat treatment, high strength, and very close dimensional tolerances are the parameters which demand the correct choice of steel and exactly determined manufacturing technology.

In the investigation, at first the wires of various steel and various dimensions were heat treated and tested. The most suitable proved to be the 20 NiCrMo 2 steel. Steel for medium chains should contain carbon in the upper region of the prescribed interval (0.20 to 0.23 %), cooling of those chains in the hardening process has to be intensive, in water or in a corresponding synthetic solution.

The best heat treatment of chains is quenching from 870°C and tempering at 380°C. Thinner chains must be annealed in a neutral atmosphere. Normalising before quenching is not necessary.

For calibration up to the testing force the shape and dimensions of links before the tension are of a special importance. The width of links should be in the lower tolerance region. In such a case it can be taken that the overall shape of links will not significantly change in calibration, but the chains will elongate for about 1 % due to embossing on the contacting spots of links.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цепи высокой прочности для подъёмников и элеваторов являются одним из самых качественных изделий в области производства цепей. Сварка, термическая обработка, высокая прочность и очень жёсткий допуск представляют собой существенные параметры, которые требуют правильный выбор стали с усовершенствованной технологией изготовления.

Исследование сначала охватывало термически обработанные испытанные проволоки разных сортов стали различных диаметров. Лучше всего соответствует сталь марки 20NiCrMo2. Сталь для цепей средней толщины пусть содержит углерод в верхней части предписанного интервала (0,20 до 0,23 %). После закалки охлаждение этих це-

пей надо вести крайне интенсивно, в воде или в соответствующей синтетической жидкости.

Самая лучшая термическая обработка цепей это закалка при 870°C с снятием напряжения на 380°C. При более мелких цепей надо иметь в виду, что их нагрев должен происходить в нейтральной атмосфере, нормализация до закалки не требуется.

Для калибровки, до испытания на силу растяжения особую роль имеет форма и размеры звеньев. Лучше всего если ширина звеньев на нижней части допуска. В таком случае можно считать, что глобальная форма звеньев при калибровке существенно не изменится, цеп же вследствие вдавлений на местах соприкосновения звеньев растянутся прибл. на 1 %.