

Primerjalni preizkusi vlečenja jeklene žice, s katere je bila škaja odstranjena z luženjem in s peskanjem

UDK: 621.778.13

ASM/SLA: F 28, L 10, L 10c
669.054.76:669.054.2

**Franč Vodopivec¹, A. Kelvišar²
in S. Mežnar²**

S površine maloogljične in visokoogljične žice je bila odstranjena škaja z luženjem in s peskanjem. Raziskave kažejo, da to povzroči razliko v topografiji površine, ki pa se izravna že po prehodu skozi tretjo votlico. Razlika v načinu odstranitve škaje ne povzroči razlik v mehanskih lastnostih, v rekristalizaciji, v količini maziva na žici. Tudi ni razlike v obrabi votlic v obsegu laboratorijskega preizkusa obrabe.

1. UVOD IN NAMEN DELA

Zmanjšanje količine različnih kislin, ki se v žičarnah in valjarnah uporabljajo za odstranjevanje škaje z valjane žice po kemijski poti, je vse bolj pomembno zato, ker se s tem zmanjša količina emisij v okolje. To velja posebej za Slovenijo, kjer je na razmeroma majhnem prostoru zbrano precej industrije, ki je potencialen vir takih emisij, vodni tokovi pa so razmeroma majhni. Pomembna je tudi čisto gospodarska plat tega zmanjšanja, pa naj gre pri tem za čistejšo delovno okolje brez kislinskih hlapov; zmanjšanje korozijskih poškodb na tehnoloških napravah, ki so v dosegu kislinskih hlapov; zmanjšanje nevarnosti slučajnih in nekontroliranih emisij agresivnih tekočin; zmanjšanje stroškov za transport in nevtralizacijo izrabljenih lužil ter odprava lužilnih napak na površini žice.

Odprava kislin in uvedba mehanskega odstranjevanja škaje predstavlja tudi investicijski prihranek in daje na preprost način možnost, da se odstranjevanje škaje uredi kot kontinuiran proces (F. Legat, 1). Po podatkih tega avtorja je največ uspehov pokazala, vsaj v predelovalni industriji, nadomestitev luženja s peskanjem z jeklenim zdrobom, ki je tehnološko tudi doseglo najvišjo razvojno in uporabno raven v industrijsko razvitih državah.

V razvitih državah proizvajajo že industrijske naprave za odstranjevanje škaje s peskanjem, zato

ni bil naš namen, da s tem delom prispevamo k razvoju postopka. Naša želja je bila, da na domačih jeklih preverimo osnovne značilnosti postopka, ne zato, ker bi dvomili v tem, ali je postopek tehnološko mogoč, ampak zato, ker smo hoteli opredeliti ali lahko pričakujemo zaradi zamenjave kemijskega odstranjevanja škaje z mehničnim spremembo v tehnoloških in uporabnih lastnostih žice.

Ne mislimo seveda, da smo z doseženimi rezultati dobili odgovor na vsa vprašanja, ki bi se pojavila pri industrijski uporabi mehanskega odstranjevanja škaje.

Na odstranitev škaje se gleda nekoliko drugače v predelovalni industriji, ki izdeluje iz jeklene žice različne izdelke, na primer vijake, matice in drugo, kot v industriji, ki izdeluje žico različnih kvalitete in različne debeline. V predelovalni industriji je običajno redukcija preseka žice po peskanju razmeroma majhna. Žica mora namreč ohraniti zadostno plastičnost, da je mogoča njena predelava s plastičnim preoblikovanjem v hladnem v končni izdelek. V proizvodnji jeklene žice pa naj bi bila odstranitev škaje izvršena na tak način, ki dovoljuje največjo redukcijo preseka in doseganje čim manjših debelin brez vmesnih žarjenj za rekristalizacijo in vsesplošno uporabnost žice. Zato je potrebno problem obravnavati s stališča lastnosti žice, natančnih dimenzij, obrabe votlic, porabe maziva za vlečenje, temperature žice pri vlečenju na obstoječih vlečnih napravah, kemijskih lastnostih površine žice in estetskega videza površine ter končno sposobnosti površine za eventualno začasno protikorozijsko zaščito.

Materialna sredstva za realizacijo tega dela je dala na voljo Raziskovalna skupnost Slovenije.

Železarna Jesenice je dala na voljo potrebno žico, votlice in mazivo ter omogočila, da se je izvršilo luženje in površinska obdelava industrijskih kolobarjev po postopkih, ki so predpisani za posamezne kvalitete. Peskanje žice smo izvršili v SZ, Tovarna vijakov Plamen, Kropa. Določitev količine maziva na žici je izvršila sodelavka Metalurškega inštituta dipl. ing. Majda Šimnic. V okviru te raziskovalne naloge je naredil svoje diplomsko delo študent strojništva Ivan Konavec.

1. SZ Metalurški inštitut, Ljubljana

2. SZ Železarna Jesenice

2. SESTAVA IN PRIPRAVA ŽICE

Analiza proizvodnega programa jeklene žice v železarni Jesenice je pokazala, da je najprimerneje, če se za poizkuse izbere žica iz jekel, katerih vrsta in sestava je navedena v tabeli 1. Tu je navedena tudi teža predelane žice. Z izborom smo hoteli zajeti morebitni učinek legiranih elementov v malo-legiranih in ogljičnih žicah, od katerih bi po fizikalno-kemijski naravi pričakovali najmočnejši vpliv na sestavo in oprijetost škaže, to je predvsem ogljika, mangana, silicija in kroma. Pri kvaliteti Č 1632 smo uporabili patentirano žico, to je žico, na kateri je škaja nastala med avstenitizacijo pred patentiranjem. Na ostalih vzorcih je bila le valjarska škaja, to je škaja, ki nastane na žici po koncu toplega valjanja med ohlajanjem kolobarjev na navijalnih strojih in na hladilnih konvejerjih.

Delo smo zasnovali na primerjavi učinka treh različnih obdelav površine žice:

- a) peskanje
- b) luženje in dodatna obdelava, ki je predvidena v regulativu (poapnenje, boraksiranje)
- c) peskanje in dodatna obdelava površine kot pri b)

Mehansko odstranitev škaže s peskanjem smo izvršili na napravi tipa WFL 263, proizvodu tovarne Georg Fisher Schaffhausen, Švica. V tej napravi se škaja odstranjuje s curkom jeklenega drobljenca, nazivne velikosti 0,3 mm, ki ima hitrost 80 m/sek. Hitrost žice pod curkom je 1 m/sek. Pri delu nismo mogli spreminjati pogojev dela peskalne naprave.

Luženje in površinska obdelava kolobarjev je bila izvršena po regulativu za posamezne kvalitete žice. Žice iz maloogljčnih jekel so bile poapnene, žice iz visokoogljčnih jekel pa boraksirane. Za

vlečenje smo uporabili standarden prašek kalcijevega stearata in votlice iz trde kovine, ki se uporabljajo v železarni Jesenice. Vlečenje smo izvršili na enostopenjskem stroju. Hitrost vlečenja je bila 2 m/sek. Parcialne redukcije so bile podobne kot na večstopenjskih napravah, na katerih se predeluje v železarni Jesenice žica izbranih kvalit. Skupna redukcija je bila toliko, da smo na koncu dobili komercialen proizvod, kar je nekoliko zmanjšalo materialne stroške pri delu. Pregled začetnih in končnih dimenzij ter povprečnih in skupnih redukcij je v tabeli 3. Od vsakega kolobarja smo na začetku in na koncu odrezali vzorec za preiskave, le preiskavo debeline in strukture škaže smo napravili na vzorcu, ki je bil odrezan v sredini posameznih kolobarjev. Program dela je obsegal naslednje:

1. preiskavo debeline in strukture škaže,
2. opredelitev obrabe votlic,
3. preiskavo površine in spremembe v njeni morfologiji med vlečenjem,
4. določitev količine stearatnega maziva na žicah, kvalitete Č 1632 in EPP 2 ter deloma Č 4230,
5. mehansko tehnološke preiskave: trdnost, raztez, kontrakcija in deloma vzvoj,
6. preizkuse rekristalizacije žic, kvalitete EPP 2 in Č 1632.

Postopek dela pri določanju obrabe votlic je obsegal pazljivo merjenje debeline žice z mikrometrom na začetku vsakega kolobarja in po vsaki parcialni redukciji.

Količino maziva na žici smo določili po kemijski poti iz vzorcev, ki so bili odrezani na začetku in na koncu kolobarjev ter z direktnim merjenjem v elektronskem mikroanalizatorju na gladkih delih površine žic EPP 2 in Č 1632. Hrapavost površine smo določili s profilometrom ter opazovanjem preseka žic v mikroskopu, morfologijo pa z opazovanjem v vrstičnem mikroskopu.

Tabela 1: Sestava jekel v % in teža žice

Kvaliteta	Šarža	C	Mn	Si	P	S	Cr	Teža žice kg
Č. 1632	023423	0,49	0,65	0,19	0,014	0,026		271
EPP 2	023286	0,11	1,08	0,15	0,016	0,022		342
VAC 60	102590	0,10	1,53	0,88	0,014	0,009		289
Č. 3990	023399	0,13	1,20	0,08	0,120	0,280		235
Č. 4230	102395	0,66	0,55	1,22	0,027	0,012	0,44	Ca. 300

Tabela 2: Kratek opis parametrov luženja, apnenja in boraksiranja

Kvaliteta	Čas luženja v 15 % — H ₂ SO ₄ pri 60° C		Površinska obdelava
Č. 1632	10 min	boraksiranje	10 min. potopitev kolobarja v 10 % raztopino boraksa pri 80° C, sušenje pri 120° C, 15—20 min.
Č. 4230	15 min		
EPP 2	20 min	apnenje	potopitev v vrelo apneno mleko (ca. 90° C)
VAC 60	20 min		2 × á 1 min.
Č. 3990	15 min		

Tabela 3: Pregled vmesnih in končnih debelin in redukcij

Kvaliteta in stanje površine	Začetna debelina v mm začetek in konec kolobarja		poprečna parcialna redukcija v % in število vlekov	Končna debelina v mm in skupna redukcija v %
Č. 1632 L	6,07	6,05	22	1,99 ¹
P	6,00	5,99	9	89
PL	5,84	5,83		
EPP 2 L	6,05	5,98	22	2,48
P	6,18	5,86	7	83
PL	6,24	5,85		
VAC 60 L	6,08	6,12	22	2,19
P	6,09	6,07	8	87
PL	6,07	6,22		
Č. 3990 L	6,0	6,15	22	2,48
P	6,05	6,20	7	83
PL	5,96	5,92		
Č. 4230 L	5,95	6,16	23	4,52/41 ²
P	6,09	5,93	4	3,88/57
PL	6,02	5,93		3,42/67

Opombe: 1 — parcialna in skupna redukcija sta iz računani z upoštevanjem poprečne začetne debeline
 2 — žica se ni dala potegniti do predvidene končne mere, zato so navedene dosežene najmanjše debeline in njim ustrezne skupne redukcije.

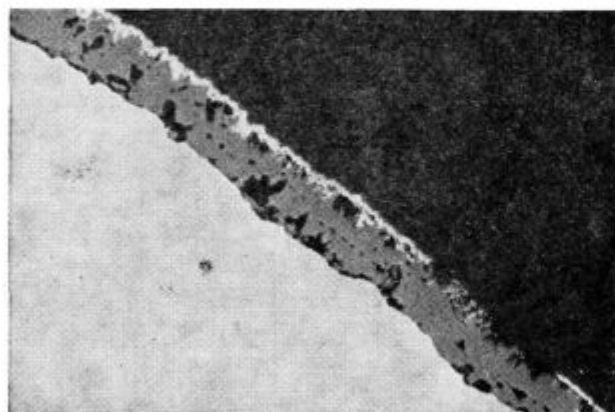
3. REZULTATI

3.1 Debelina in sestava škaje

Ni standardiziranih metod za določanje oprijetosti škae na površino žice. Nismo tudi uspeli, da bi oprijetost škae numerično opredelili s tem, da bi določili njeno odpadanje od površine pri hladni deformaciji žice s torzijo, oz. z upogibanjem. Zato smo se omejili na to, da smo na prerezu, pravokotnem na os žice, na vzorcih, ki so bili odrezani iz sredine kolobarja, ocenili hrapavost mejne po-

vršine in kvaliteto stika škaja-kovina. Žice smo prekrili z varovalnim slojem niklja, da ne bi pri metalografski pripravi prišlo do odpadanja škae ali drugih sprememb.

Škaja na patentirani žici je najdebelejša in dokaj enakomerna (sl. 1). Je krhka, stik z jeklom je razmeroma slab, saj so pogoste drobne mikrorazpoke paralelne s površino žice na meji med kovino in oksidom. Škaja zato lahko odpade. Sestavlja jo magnetit, ki ima na zunanji površini tanek sloj hematita. Škaja na žici EPP 2 je mnogo tanjša in precej enakomerna (sl. 2). Ima redke klinaste ko-

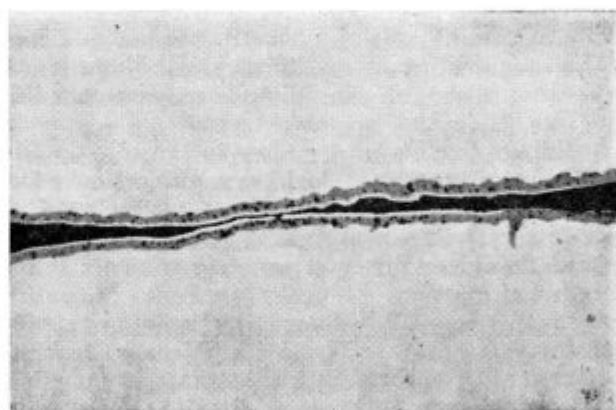


Slika 1

× 200, škaja na patentirani žici iz jekla Č 1632

Fig. 1

× 200, scale on the patented Č.1632 steel wire

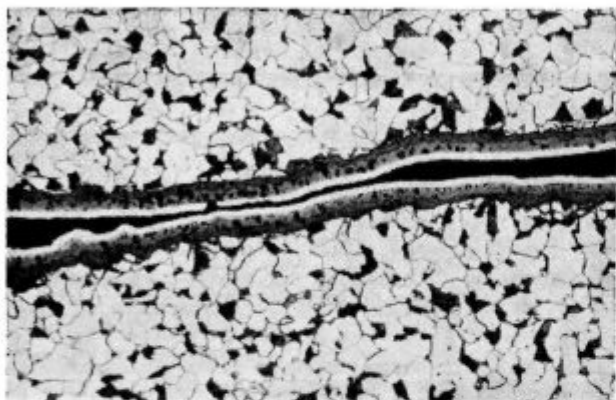


Slika 2

× 100, škaja na žici kvalitete EPP 2

Fig. 2

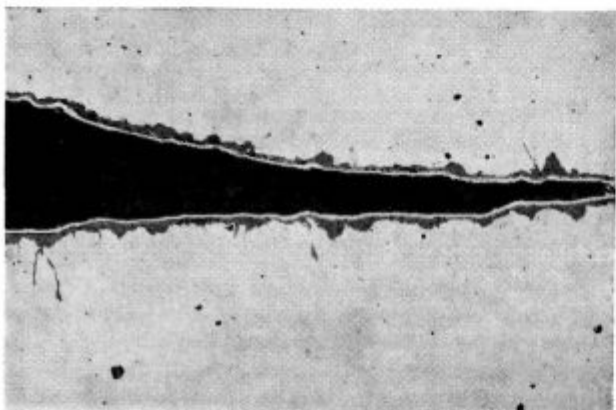
× 100, scale on the EPP 2 steel wire



Slika 3
× 200, jedkano z nitalom. Ista žica kot sl. 2

Fig. 3

× 200, etched with Nital. The same wire as in Fig. 2



Slika 4
× 100, škaja na žici VAC 60

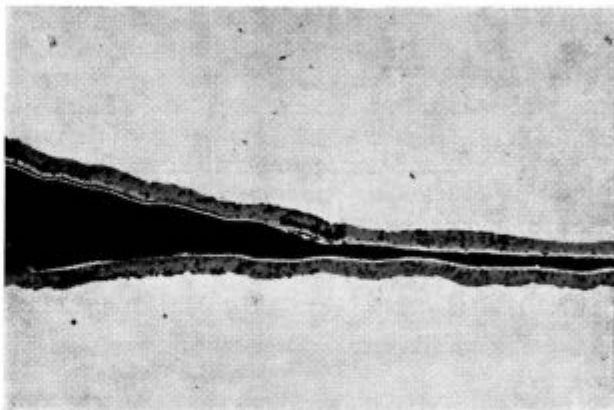
Fig. 4

× 100, scale on the VAC steel wire

renine, ki segajo v jeklo največ do trikratne povprečne debeline škaje. Na žici so tudi globlje zaljanine. Škaja se dobro drži hrapave površine jekla; mikrorazpok, paralelnih s površino, nismo opazili. Pri večji povečavi se pokaže, da sestavlja škajo trije podsloji (sl. 3). Notranji podsloj vstita in vmesni podsloj magnetita sta mnogo debelejša od zunanjšega hematitnega sloja. Škaja je gosta, drobne pore, ki jih vidimo v magnetitnem sloju, so nastale med pripravo vzorcev.

Mejna površina med jeklom in škajo je na žici VAC 60 zelo hrapava. V jeklo se zadirajo široke klinaste zajede in tanke koreninaste tvorbe (sl. 4 in 5). Te so številne in nekajkrat globlje od debeline škaje. Po videzu pri večji povečavi sestavlja škajo predvsem magnetit (sl. 6) ter tanek sloj hematita ob zunanji površini. V magnetitnem sloju najdemo precej silikatne faze, ki je razdeljena v drobnih »nametanih« tvorbah. Stik med škajo in površino jekla je dober in brez razpok. Detajlno opazovanje v mikroskopu pokaže, da je perlit v neposrednem stiku s korenastimi poglobitvami škaje. To kaže, da so le-te nastale med deformacijo v kalibrih zaradi gubanja ali trganja površine pri prostem šir-

jenju. Ni mogoče tako zagotovo opredeliti nastanka koreninastih tvorbo, vendar kaže njihova mnogokrat prekinjena oblika, da so najverjetneje posledica zažganosti gredic. Na žici smo opazili tudi

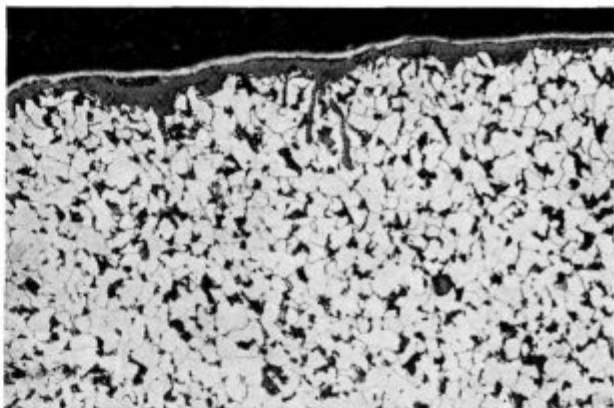


Slika 7

× 100, škaja na žici iz jekla Č.3990

Fig. 7

× 100, scale on the Č.3990 steel wire

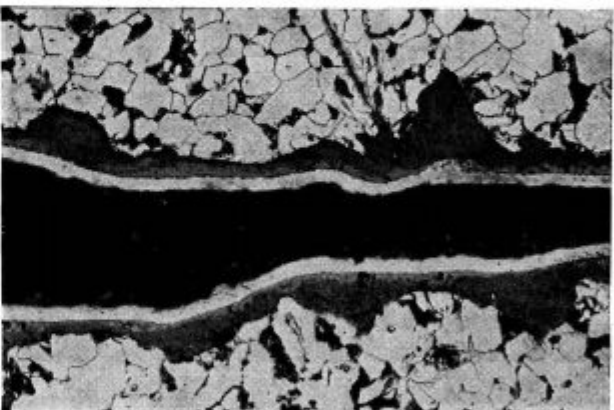


Slika 5

× 200, jedkano z nitalom. Ista žica kot sl. 4

Fig. 5

× 200, etched with Nital. The same wire as in Fig. 4



Slika 6

× 500, jedkano z nitalom. Ista žica kot sl. 4

Fig. 6

× 500, etched with Nital. The same wire as in Fig. 4

zavaljanine, ki so večinoma zelo poševne glede na površino, v mnogih primerih celo z njo paralelne. Imajo značilen videz nizov vustitnih zrn, področje okoli njih pa je nasičeno s kisikom. Zato se zdijo na jedkanem obrusku te vrste napake večje, kot so v resnici.

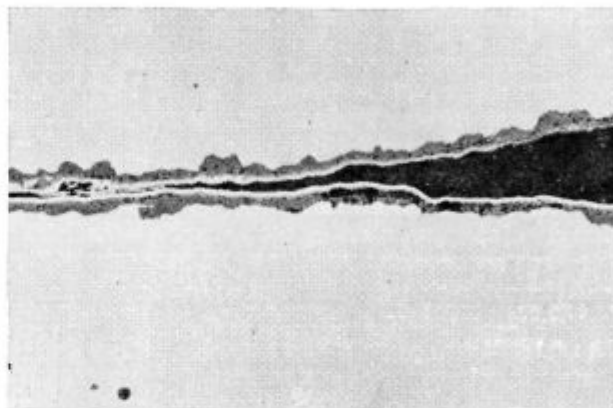
Škaja na jeklu Č 3990 je nekoliko debelejša kot na jeklu EPP 2, mejna površina pa je bolj ravna (sl. 7). Sestava ška je podobna, le delež notranjega sloja vustita je večji na račun vmesnega magnetitnega sloja.

Na žici Č 4230 je škaja neenakomerne debeline (sl. 8) in ima tope poglobitve, podobno kot na jeklu VAC 60, nima pa koreninastih zajed. Škaja se dobro drži površine jekla. Po videzu v mikroskopu je ves sloj iz magnetita in hematita. Ta je na zunanji strani in na mnogih mestih prodira preko polovice debeline ška. V notranjem delu so v škaji drobni vložki, verjetno silikati ali oksidi kroma in železa.

Iz primerjave vzorcev različnih kvaliteta moramo izločiti jeklo Č 1632, ki ima najdebelejšo, najbolj krhko in slabo oprijeto ško, ker ta škaja ni valjalniškega porekla, ampak je nastala pri ogrevanju za patentiranje. Pri primerjavi drugih jekel moramo upoštevati, da so lahko med jekli in kolobarji razlike v temperaturi navijanja in hitrosti ohlajanja. Mikroskopska preiskava kaže, da je škaja EPP 2 in Č 3990 podobne sestave in oblike z razmeroma ravno mejno površino kovina — oksid. Na jeklih VAC 60 in Č 4230 je škaja spet podobna po sestavi in obliki mejne površine oksid — kovina, ki je bolj neenakomerna kot na prejšnjih dveh jeklih. Ta razlika je posledica učinka silicija in morda kroma. Železovi silikati in kromiti, ki ležijo na površini med ško in kovino, zavirajo proces rasti ška, zato ima ta neenakomerno debelino. V razmerah pri ohlajanju valjane žice raste škaja z difuzijskim prenosom železa skozi vustitni in magnetitni sloj proti atmosferi in nasprotnim difuzijskim tokom kisika skozi hematit in manj skozi magnetit. Če je na mejni površini oksid — kovina ovira za prehod železa v vustit, se zavre ali zaustavi difuzijski prenos železa navzven, zmanjša se povprečna hitrost škajanja in poveča se relativna debelina slojev magnetita in hematita proti debelini vustitnega podsloja v celotni škaji. Opazovanje v mikroskopu to potrjuje, saj je na jeklih s silicijem škaja skoraj brez vustita, medtem ko je v jeklih EPP 2 in Č 3990 vustitni sloj bistvena sestavina ška.

Iz podobne morfologije in sestave ška je na jeklih VAC 60 in Č 4230 sklepamo, da prisotnost ogljika v jeklu nima pomembnega vpliva na tvorbo ška je med ohlajanjem kolobarjev valjane žice.

Na osnovi sestave ška je in oblike mejne površine med oksidom in kovino bi mogli o oprijemljivosti ška je in o njeni sposobnosti, da se odstranjuje s površine žice, reči naslednje: škaja se teže luži na obeh jeklih s silicijem, zato ker ima malo ali nič vustita, ki zaradi svoje fizikalno — kemijske narave olajša kemične reakcije luženja in zato ker



Slika 8
× 100, škaja na žici iz jekla Č 4230

Fig. 8
× 100, scale on the Č 4230 steel wire.

je večja adhezijska vez, ki je posledica hrapavosti površine. To je vzrok, da škaja teže odstopa pod pritiskom nastajajočega vodika in odstopa v manjših kosih. Na obeh jeklih je škaja relativno kompaktna in ima malo razpok, ki bi pospešile dostop kisline do površine kovine in s tem pospešile luženje.

Zaradi različne hrapavosti površine sklepamo, da bodo tudi pogoji za kvantitativno odstranjevanje ška je po mehanskem postopku ostrejši v primeru jekel z mnogo silicija, kot v primeru jekel z malo silicija.

3.2 Obraba votlic

Obrabo votlice zaradi vlečenja je mogoče opredeliti najobjektivneje z vlečenjem velikih količin žice skozi daljše obdobje, ki eliminira slučajne statistične variacije in odstopanja, ki so posledica razlik v sestavi jekla, v njegovi trdoti in v stanju površine. Celotni metodam, ki natančno s pomočjo radioizotopov merijo odnašanje materiala iz votlice, oporeka literatura veljavnost.

Newnhan (2) navaja, da proces obrabe ni enakomeren, zato ga ni mogoče objektivno opredeliti v laboratorijskem merilu. Razumljivo je, da tega dela nismo mogli povečati do takega obsega, da bi izvršili preizkuse vlečenja na količinah, ki bi šle v več deset ton žice. Zato smo se omejili na to, da v kolikor mogoče enakih pogojih vlečenja opredelimo obrabo z merjenjem naraščanja debeline žice pri vlečenju. Upoštevati je seveda potrebno, da je opredelitev debeline mogoča samo z odstopanjem, ki je posledica nenatančnosti mikrometra in napake pri merjenju zaradi ovalnosti žice.

Ne glede na te napake smo sklepali, da bi se morale stvarne razlike pokazati v enostranskem odstopanju povprečne debeline, ki bi bilo večje od statistične napake, če upoštevamo vse vmesne debeline iste vrste žice, to je obrabo pri vlečenju 600 do 900 kg žice iste vrste. Da bi se izognili vplivu morebitnih razlik med votlicami, smo za vse preizkuse vlečenja uporabili eno serijo votlic, torej le eno votlico za vsako dimenzijo, ne glede na vrsto

žice in pripravo površine. Rezultate smo izrazili tako, da je mogoča primerjava obrabe, ne glede na debelino (med 5,16 in 2 mm) in količino žice. Koeficient obrabe je namreč izražen v %/kg in izraža povečanje debeline žice glede na težo žice, ki je bila potegnjena skozi eno ali skozi celo serijo votlic.

Rezultati teh meritev so zbrani v tabeli 4. Variacije med posameznimi vrstami žice in debeline so razmeroma velike. Standardna variacija povprečnega indeksa povečanja debeline žice, ki je izračunana iz indeksov vseh parcialnih debelin, v nekaj primerih celo presega po absolutni vrednosti povprečen indeks obrabe. To pomeni, da je potrebno indekse upoštevati le z veliko rezervo. Značilno pa je, da imajo povprečni indeksi v vseh primerih pozitivno vrednost, ne glede na to, da so pri posameznih debelinah celo negativni. To je seveda fizikalno nemogoče in je tak rezultat le znak premajhne natančnosti meritev.

Primerjava indeksov obrabe pri isti vrsti jekla ne pokaže nobene, tudi najbolj splošne zakonitosti. Če primerjamo enako površinsko obdelavo pri različnih jeklih, ugotovimo, da je v treh primerih indeks obrabe največji v luženem stanju in le enkrat v peskanem, oz. v peskanem in luženem stanju.

Iz celote rezultatov lahko sklepamo, da mehanična odstranitev ška je ni pri naših preizkusih povzročila nobenega povečanja obrabe votlic, ampak prej relativno zmanjšanje. Splošno veljavo tega sklepa omejuje dejstvo, da so ideksi obrabe povprečje meritev na razmeroma majhni količini vlečene žice. Ne glede na to pa menimo, da ni pričakovati od uporabe mehničnega odstranjevanja ška je takega povečanja obrabe, ki bi ga ne mogli

s pravilno izbiro pogojev peskanja (debelina granulata, hitrost žice pri prehodu skozi curek, smer udarjanja curka na površino in njegova hitrost) in vlečenja (kvaliteta in zrnatost maziva, parcialna redukcija in hitrost vlečenja) kompenzirati, ne da bi zaradi tega trpela ekonomičnost proizvodnje žice. To potrjuje Legat (7), ki navaja, da se v tovarni verig Lesce ni spremenila intenziteta obrabe votlic zaradi uvedbe peskanja valjane žice namesto prejšnjega luženja.

3.3 Topografija in morfologija površine žice

Površino žic iz jekel Č 1632 in EPP 2 smo pregleдали v vrstičnem mikroskopu pri začetni debelini, po prehodu skozi prvo votlico (pri debelini 5,16 mm) in po prehodu skozi sedmo, oz. osmo votlico (pri debelini približno 2,5 mm). Na enakih vzorcih smo posneli v vzdolžni smeri še profil površine s profilometrom s konico, debelo ca 1 mikron. Končno smo površino tudi ocenili na vzdolžnem preseku, kjer je mogoče v mikroskopu neposredno videti profil hrapavosti površine in spremembe v mikrostrukturi jekla ob njej.

Že s prostim očesom se jasno razloči lužena žica od peskane, nekoliko manj je jasna pred vlečenjem razlika med peskano in peskano—luženo žico. Torej je videz površine odvisen od njene hrapavosti in od sredstev, ki so bila nanjo nanesena po odstranitvi ška je in so koncentrirana predvsem v vdolbinah. Na posnetkih 9 do 12 vidimo posnetke luženih in peskanih žic EPP 2 in Č 1632, po prehodu skozi prvo votlico ter pri debelini 2,5 mm.

Po štirih do petih vleklih razlik v videzu površine ni mogoče več zaznati s prostim očesom. Tudi pri veliki povečavi ni mogoče razločiti pri debelini

Tabela 4: Specifični koeficienti povečanja debeline žice ($\times 10^{-3}$)

Kvaliteta in stanje površine	Nazivna debelina žice v mm										Poprečni koeficient	Koeficient variacije %
	5,16	4,52	3,88	3,41	2,98	2,78	2,68	2,50	2,19	2,0		
Č. 1632 L	0	2,1	0,69	0,31	0,71	—	—0,79	0,21	0,24	0	0,71	107
P	1,98	—1,35	—1,58	1,9	1,37	—	—1,14	1,22	2,33	1,53	0,70	158
PL	0,49	0	0,98	—0,74	0,85	—	0,94	0	0	0,63	0,35	58
EPP 2 L	0	0	1,78	0,34	1,15	1,65	—	—0,46	—	—	0,64	88
P	—0,41	1,13	0,75	0,64	0,25	0,3	—	—0,59	—	—	0,15	87
PL	1,33	—0,68	—0,39	0,85	0,49	0	—	0	—	—	0,23	70
VAC 60 L	1,8	0,21	0,25	0,28	0,96	—	1,06	0,38	0,43	—	0,47	35
P	0,69	—1,32	—2,15	1,04	1,2	—	0,89	0	2,72	—	0,38	153
PL	1,55	1,33	0,52	—0,88	—1,34	—	1,87	0	—	—	0,44	124
Č. 3990 L	0,6	0,68	0,4	0	—0,52	0,31	0,71	—	—	—	0,31	44
P	1,34	1,32	1,22	0,5	0,58	1,24	0,69	—	—	—	0,98	38
PL	0,79	1,81	1,28	1,19	1,03	0	0,82	—	—	—	0,99	55

Specifični koeficient povečanja debeline je izračunan iz izraza:

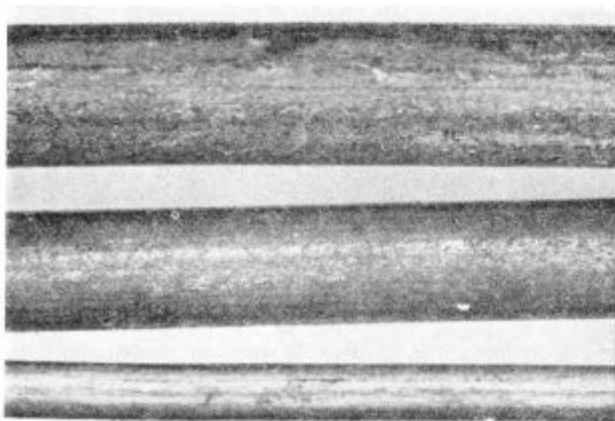
$$K = \frac{\Delta d}{d_z} \cdot \frac{100}{T} \quad (\%/kg), \text{ v izrazu so: } d_z \text{ — nazivna debelina žice}$$

$$\Delta d \text{ — razlika v debelini med začetkom in koncem}$$

$$T \text{ — teža kolobarjev v kg}$$

2,5 mm kakšna je bila priprava površine, neposredna primerjava pa pokaže, da so peskane žice v splošnem nekoliko svetlejše.

Na slikah 13 do 16 so posnetki površine žic, ki jih prikazujejo posnetki 9 do 12, vendar pri večji povečavi. Večja povečava omogoča, da se razložijo mikroskopski, topografski in morfološki detajli. Površina lužene žice je drobno razčlenjena. Na njej so drobne vdolbine in izbokline s premerom v intervalu 20 do 60 mikronov. Finejša je površina žice Č 1632, na kateri vidimo še položne izbokline. Na mestih, kjer je prišlo do direktnega udara jeklenega zrna ob površino žice, so v peskani površini vdolbine, velikosti 100 do 200 mikronov, ki so ločene z ostrimi grebeni. Med njimi so posamezna področja enakih velikosti, kjer ni bilo neposrednega udara jeklenih zrn in je ostala površina žice takšna, kot je bila pod škafo. V povprečju so vdol-

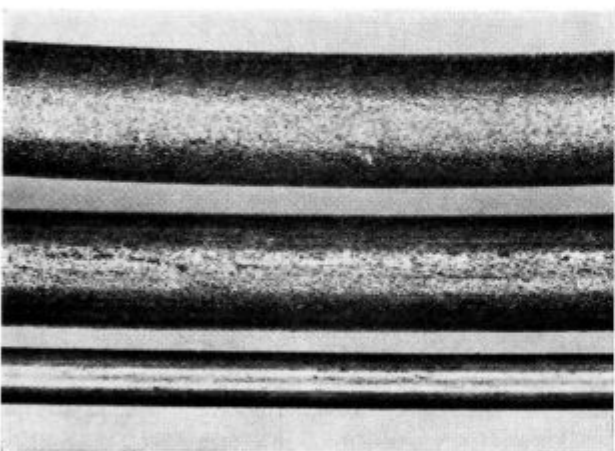


Slika 9

× 4, videz lužene žice kvalitete EPP 2 pred vlečenjem, po prehodu skozi prvo votlico in pri debelini 2,48 mm

Fig. 9

× 4, appearance of the pickled EPP 2 steel wire before drawing, after the first pass, and when it was 2.48 mm thick

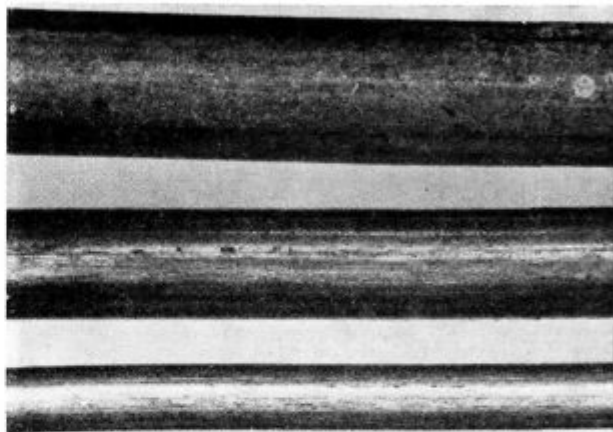


Slika 10

× 4, enako kot sl. 9, vendar za peskano žico.

Fig. 10

× 4, the same as in Fig. 9, only the wire was shot-blasted

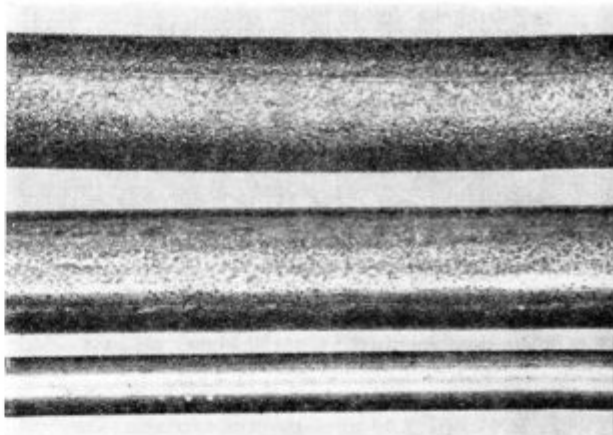


Slika 11

× 4, videz lužene žice kvalitete Č 1632 pred vlečenjem, po prehodu skozi prvo votlico in pri debelini 2,48 mm

Fig. 11

× 4, appearance of the pickled Č.1632 steel wire before drawing, after the first pass, and when it was 2.48 mm thick



Slika 12

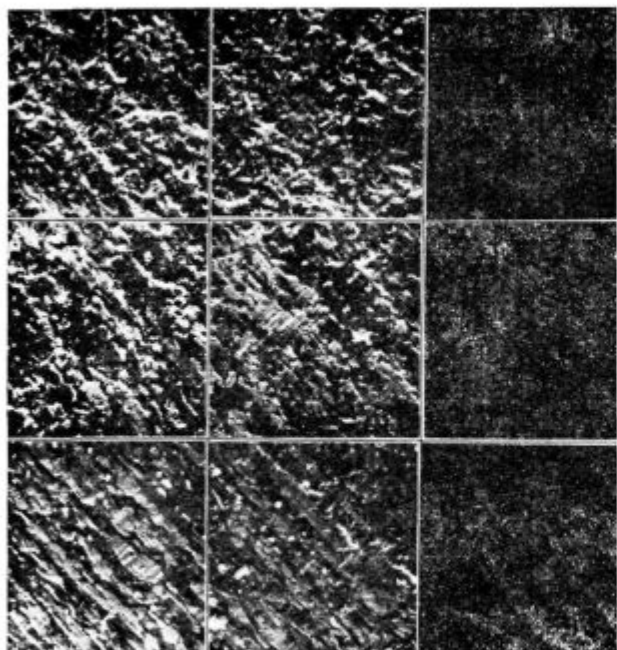
× 4, enako kot sl. 11, vendar za peskano žico

Fig. 12

× 4, the same as in Fig. 11, only the wire was shot-blasted

bine na žici EPP 2 nekoliko večje kot na žici Č 1632, splošen videz površine pa je v obeh primerih enak.

Na površini žice opazimo po prehodu skozi prvo votlico večje ali manjše dele razmeroma gladke površine, ki so raztegnjeni v smeri vlečenja. Te gladke ploskvice so ločene z žlebovi s hrapavim dnom in so manjše ter bolj pogoste na luženi kot na peskani, oz. peskani in luženi žici. Delež površine, ki ga pokrivajo gladke ploskvice, ni enakomeren po obodu žice. To je posledica neenakomerne deformacije žice, ki ima v valjanem stanju ovalen presek. Na gladkih ploskvah često opazimo drobne poševne raze, nastale zaradi trenja ovoja ob ovoj žice v kolobarju, neke vrste šrafe, ki so pravokotne na os vlečenja in so znak neenakomernega toka žice skozi votlico zaradi tresenja vlečnega stroja in enakomerne vzdolžne raze, ki so verjetno odrgnine od krast v votlicah.



Slika 13

× 150, posnetek površine žice kvalitete EPP 2. Prva vodoravna vrsta kaže luženo površino, druga vodoravna vrsta kaže površno luženo žice po prehodu skozi prvo votlico in tretja vodoravna vrsta površno luženo žice vlečene na debelino 2,48 mm. V desni vertikalni vrsti so specifični X posnetki. V obliki zgostitev belih točk kažejo mesto povečane količine kalcija na površini žice

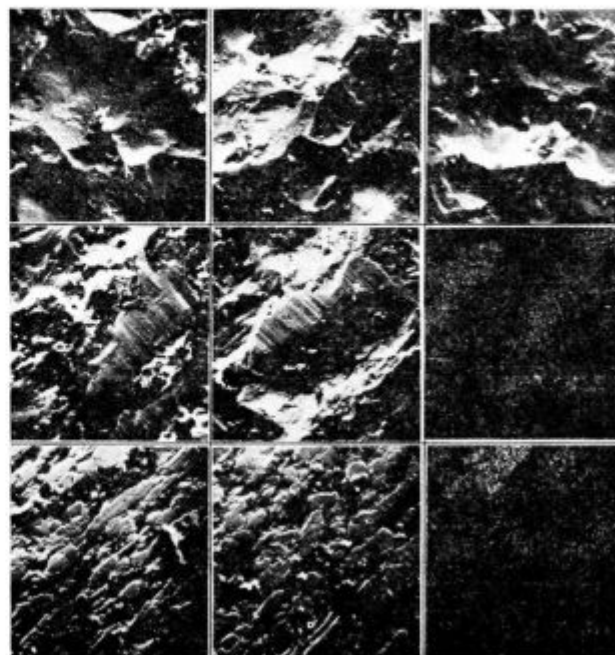
Fig. 13

× 150, picture of the surface of the EPP 2 steel wire. The first row shows pickled surface, the second one the surface after the first pass, and the third one the surface when the pickled wire was drawn to 2.48 mm. In the right column specific X-ray pictures are presented. Higher density of white dots represents areas of higher calcium concentration on the surface

Pri debelini 2,48 mm prekrivajo površino razpotegnjene ovalne ploskvice, ki so med seboj ločene z ozkimi žlebovi. Po videzu v mikroskopu med temi ploskvami ni razlike v velikosti, ki bi bila posledica začetno različne hrapavosti površine. Mnogo večje razlike v deležu, ki ga na površini zavzemajo te ploskvice, opazimo, če pregledamo ves obod žice. Torej je delež površine, ki ga pokrivajo gladke ploskvice, tem bolj neenakomeren, čim bolj nenakomerna je bila deformacija po preseku žice, in je večji tam, kjer je bila zaradi ovalnosti ali lege votlice glede na os žice deformacija intenzivnejša.

Na sliki 17 so prikazani rezultati meritev na profilometru. Te meritve potrjujejo, da je bolj hrapava površina žice, s katere je bila škaja odstranjena po mehanični poti. Razlike v globini pa so manjše, kot bi se dalo sklepati iz posnetkov površine. Podatki kažejo, da je v luženem in v peskanem stanju hrapavost površine (če jo opredelimo z največjo in povprečno topografsko razliko višine) večja pri mehkejši žici EPP 2, kot pri trši žici Č 1632. Pri tej žici so tudi manjše razlike med luženim in peskanim, oz. peskano—luženim sta-

njem. Razlike ostanejo enake po prehodu skozi prvo votlico, že po prehodu skozi tretjo votlico pa razlike niso več sistematčne in površina vlečene žice dobi specifično hrapavost, ki je bolj odvisna

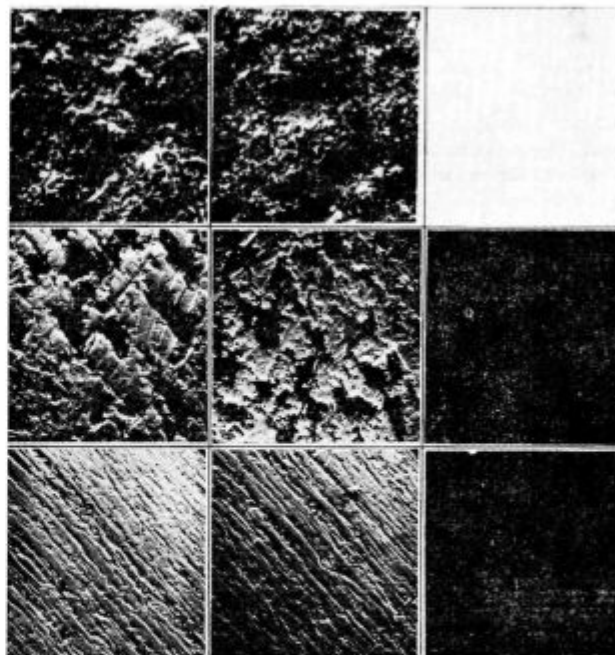


Slika 14

× 150, podobno kot sl. 13, vendar za peskano žico kvalitete EPP 2. V zgornji vodoravni vrsti so le posnetki površine

Fig. 14

× 150, similar to Fig. 13, only the wire was shot-blasted. The first row presents only the wire surface.



Slika 15

× 150, podobno kot slika 14, vendar za luženo žico kvalitete Č 1632

Fig. 15

× 150, similar to Fig. 14, for the pickled wire of Č.1632 steel

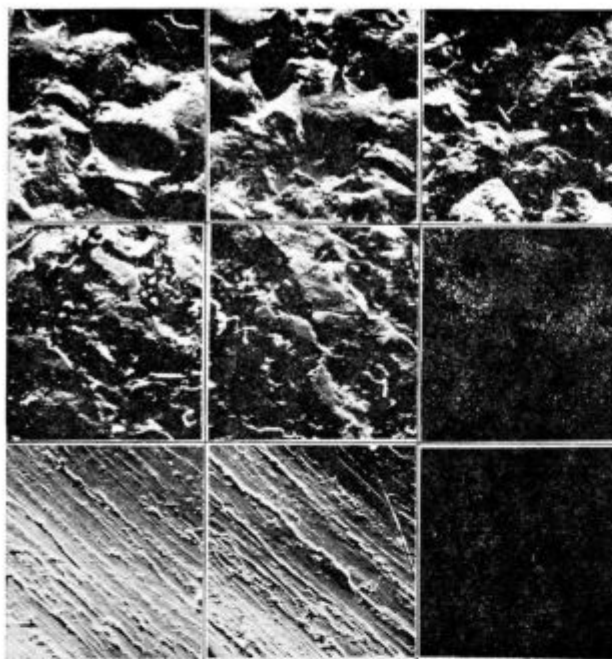
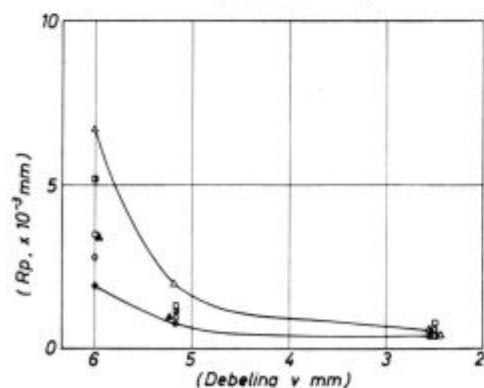
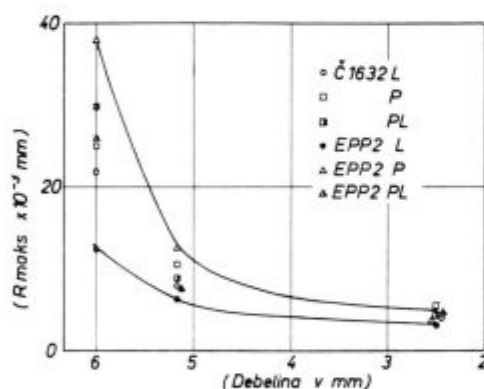


Fig. 16
 $\times 150$, podobno kot sl. 14, vendar za peskano žico kvalitete
 Slika 16
 $\times 150$, similar to Fig. 14, shot-blasted Č.1632 steel wire.
 Č.1632



Slika 17
 Sprememba največje ($R_{maks.}$) razlike v višini in odstopanja od poprečne površine (R_p) v odvisnosti od zmanjšanja premera žice pri vlečenju

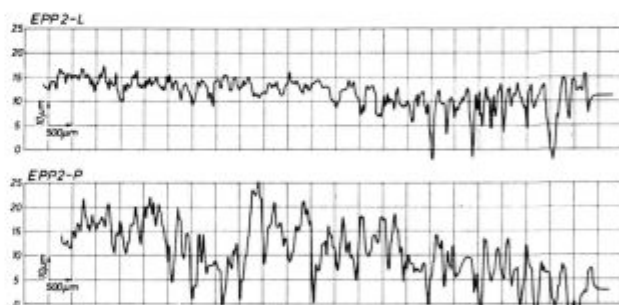
Fig. 17
 Change of the maximal difference ($R_{maks.}$) of height and the deviation from the average surface (R_p) depending on the reduced wire diameter during drawing

od pogojev vlečenja kot od začetne hrapavosti površine.

Na slikah 18 in 19 so prikazani profili površine lužene in peskane žice iz jekel EPP 2 in Č.1632. Na njih vidimo, da je korak med vdolbinami in izboklinami manjši na luženi kot na peskani površini, kar potrjuje prejšnje sklepanje. Na luženi površini je povprečna globina vdolbin manjša, nekatere vdolbine pa imajo podobno globino kot na peskani površini. Torej nastajajo pri luženju na površini žice posamične globoke zajede. Ker so globlje na jeklu EPP 2 kot na jeklu Č.1632, sklepamo, da niso odvisne od debeline šlake (ta je debelejša na jeklu Č.1632). Na jeklu EPP 2 je mejna površina med kovino in šlakom gladka, zato niso globlje zajede tudi posledica procesa škakanja (izlužene eventualne zajede šlake). Njihovo poreklo je mogoče v daljšem lužilnem učinku kisline v posameznih točkah, zato ker šlaka ni odstopila zaradi dobre povezave s površino jekla.

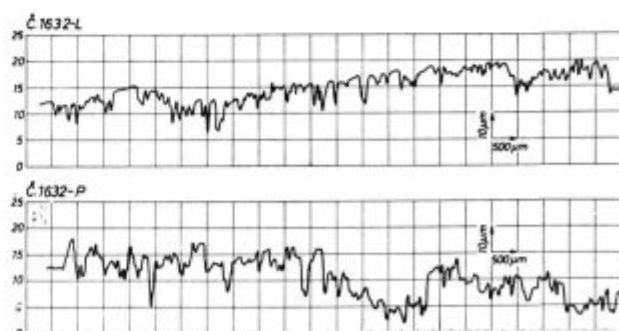
Posnetki 20, 21 in 22 kažejo površino žic na vzdolžnem prerezu.

Površina lužene žice kaže značilno hrapavost, ki smo jo opisali že preje. Peskana površina je bolj hrapava, robovi vdolbin pa so često spodmolasto upognjeni. Kovina na dnu vdolbin, kamor so neposredno udarile jeklene kroglice, je močno deformirana. Prehod skozi prvo votlico površino



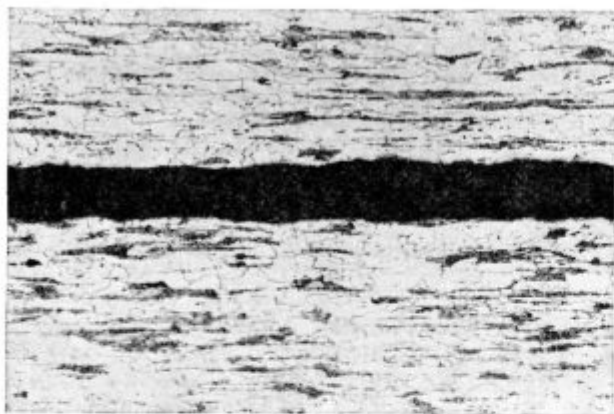
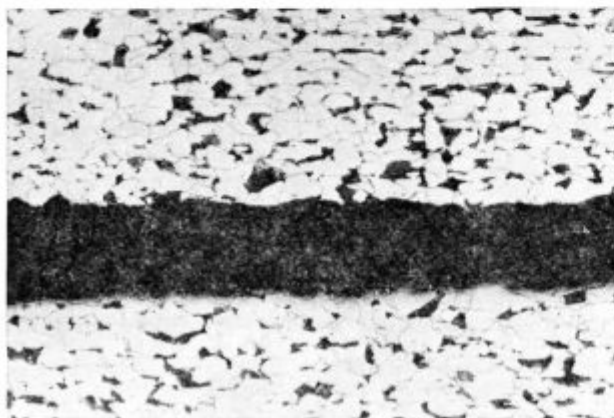
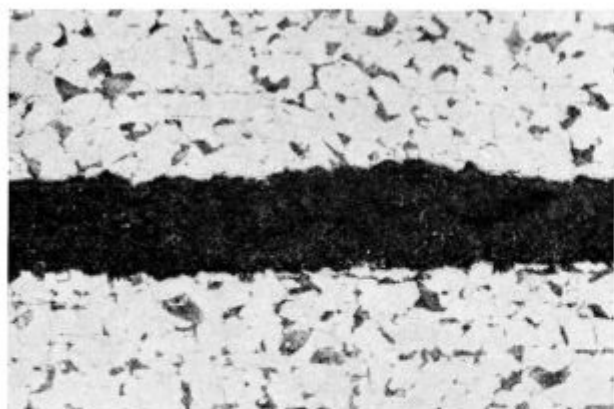
Slika 18
 Profil hrapavosti površine lužene in peskane žice kvalitete EPP 2

Fig. 18
 Roughness profile of the pickled and shot-blasted surface of the EPP2 steel wire



Slika 19
 Profil hrapavosti površine lužene in peskane površine žice kvalitete Č.1632

Fig. 19
 Roughness profile of the pickled and shot-blasted surface of the Č.1632 steel wire



Slika 20

× 160, jedkano z nitalom. Posnetki vzdolžnega preseka luženih žic kvalitete EPP 2 z debelino 6 mm (a), po prehodu skozi prvo votlico (b) in pri debelini 2,48 mm (c). Rekristalizirano stanje

Fig. 20

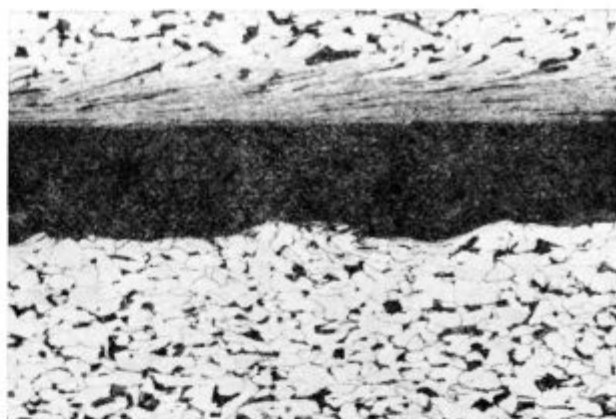
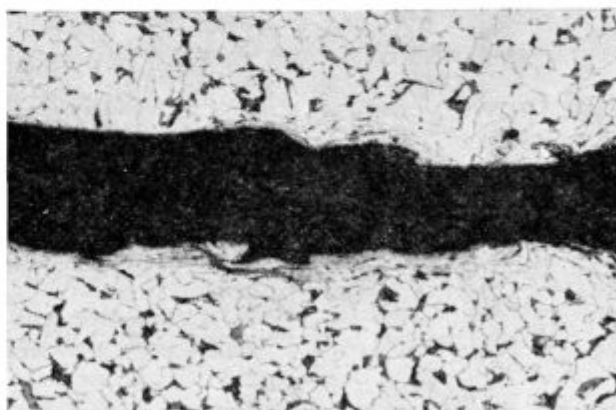
× 160, etched with Nital. Transversal cross section of pickled EPP2 wires, 6 mm thick (a), after the first pass (b), and 2.48 mm thick (c), Recrystallized

zgladi. Na sliki 21b vidimo, da povzroči nesimetrična deformacija veliko razliko v gladkosti. Na isti sliki vidimo tudi, da je lokalna hladna deformacija, ki jo povzroči nesimetrična deformacija, neprimerno bolj intenzivna kot lokalna deformacija zaradi udara jeklenih zrn ob površino.

Po vlečenju na debelino 2,48 mm se tudi na preseku površina peskane žice ne razlikuje od površine lužene žice.

Na posamičnih mestih smo na peskani površini opazili ostanke škaje, redkeje pa primere, ko je ostanek škaje prekrival droben, previhan sloj jekla.

Podobne ugotovitve veljajo za obliko površine na preseku žice iz jekla Č 1632. V primerjavi z



Slika 21

× 160, jedkano z nitalom. Enako kot sl. 20, vendar za peskano žico

Fig. 21

× 160, etched with Nital. The same as in Fig. 20, the shot-blasted wire

mehkejšim jeklom EPP 2 so vdolbine plitvejše in položnejše. Nismo opazili slučaja, ko bi bili robovi vdolbine spodmolasto upognjeni proti vdolbini. Tudi pri tem jeklu sta bili obe žici pri debelini 2,48 mm na prečnem prerezu identični. Lokalna hladna deformacija pod jamicami je bila po videzu v mikroskopu omejena na tanjši površinski sloj in v splošnem manj intenzivna kot na žici EPP 2.

3.3 Količina maziva na žici

Količino maziva na žici smo določili tako, da smo površino žice »razmehčali« v solni kislini, jo obrisali s filter papirjem, določili kalcij in tega preračunali v ustrezno količino kalcijevega stearata. Pri vzorcih, ki niso bili poapnjeni, pokaže ta postopek realno količino maziva, če zanemarimo eventualne izgube v vdolbinah, v katere kislina nima zadostnega dostopa. Na poapnenih žicah pa pokaže analiza celoten kalcij, to je kalcij, ki je vezan na stearat in kalcij od poapnenja površine. Ni mogoče zanesljivo opredeliti, koliko poapnene plasti se odlušči in otrese, preden pride žica do vhoda v votlico, ko mazivo preostali apneni sloj zalije in ga močnejše poveže s površino žice. Verjetno postopek ne zagotavlja, da je analiza zajela vse mazivo na žici. Kljub temu pa lahko rezultate uporabimo za primerjavo, saj so netočnosti v vseh primerih podobne.

Na sliki 23, ki kaže odvisnost med količino stearata na površini žice in njeno debelino, smo za žico EPP 2 L, ki je bila pred vlečenjem poapnena, vrisali dve krivulji; eno (oznaka 1), ki kaže količino maziva, kot da je ves kalcij vezan v stearatu, in drugo (oznaka 2), pri kateri je odštet kalcij, ki ga je pokazala analiza na žici pred vlečenjem. Iz posameznih odvisnosti na sliki lahko izluščimo naslednje osnovne ugotovitve:

— na obeh trših žicah je v skoraj vsem področju vlečenja manj maziva, kot na žici EPP 2,

— na večini žic rahlo narašča količina maziva na žici z nadaljevanjem vlečenja ali ostaja približno konstantna do 3. votlice (do debeline 3,88 mm), nato se količina maziva v vseh primerih zmanjšuje,

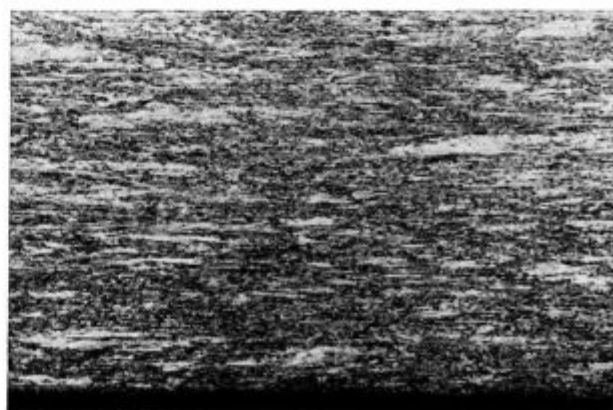
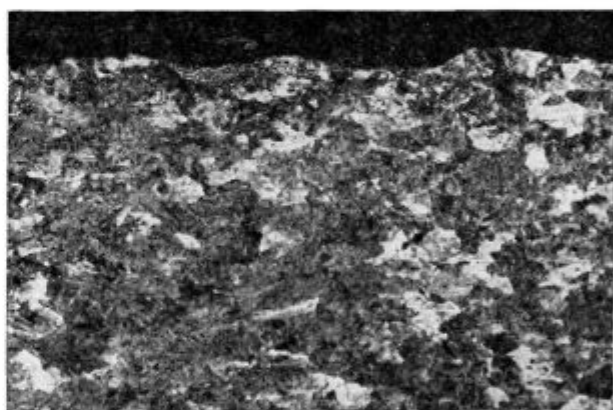
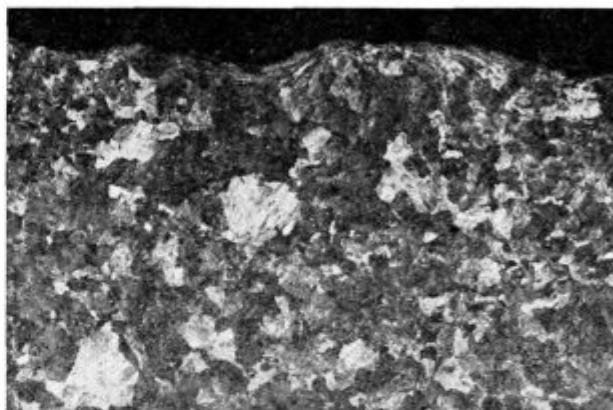
Tabela 5: Relativna* količina maziva na svetlih delih površine žice

Kvaliteta in pov. obdelava	Debelina v mm		
	5,16	3,88	2,5
EPP 2 P	1	0,48	0,51
L	0,94	—	0,44
Č. 1632 P	0,74	0,46	0,58
L	0,74	—	0,55

*Opombe: Primerjalna vrednost (= 1) je žica peškana EPP 2 z debelino 5,16 mm.

— na žici Č 1632 začne naraščati količina maziva, ko pade debelina pod pribl. 2,5 mm.

V tabeli 5 so prikazani rezultati analize količine kalcija na gladkih ploskvicah na nekaterih tipičnih vzorcih. Vrednosti so podane v relativni obliki, tako da je privzeto kot primerjalno jeklo EPP 1 P. Številke dejansko predstavljajo razmerje koncentracij, vendar velja, da so identične z razmerjem debelin. Mazivni sloj je bil zelo tenak, zato je elek-



Slika 22

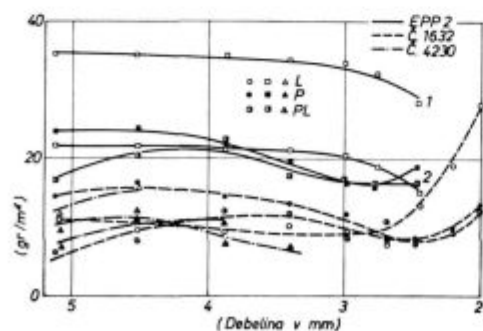
× 160, jedkano z nitalom. Enako kot sl. 20, vendar za peškano žico kvalitete Č 1632

Fig. 22

× 160, etched with Nital. The same as in Fig. 20, the shot-blasted Č.1632 steel wire

tronski curek prodril skozenj, v jeklu pa nismo našli kalcija. Ni mogoče zanesljivo opredeliti, kolika je dejanska debelina mazivnega sloja na gladkih ploskvah. Če predpostavimo, da je popolna absorpcijska dolžina elektronov z energijo 20 Kv v kalcijevem stearatu največ 10 mikronov (ta predpostavka je sprejemljiva glede na povprečno atomsko število Ca stearata in energijo elektronov), pokaže enostaven račun, da je debelina mazivnega sloja na gladkih ploskvah največ 0,02 mikrona, kar ustreza nekaj molekularnemu sloju maziva (2). Zato ne bi bilo realno iz podatkov na sliki 23 izračunati povprečno debelino mazivnega sloja. Mazivo na površini žice je namreč zelo neenakomerno porazdeljeno. Preje smo zvedeli, da je na gladkih ploskvah debelina sloja nekaj stotink mikrona, v jamicah pa je ta debelina nekaj mikronov ter ga zato pokaže tudi površinska analiza v mikroanalizatorju (sl. 13, 14, 15 in 16). Na gladkih ploskvah doseže pri tretji votlici debelina mazivnega sloja konstantno vrednost, ki se do debeline 2,5 mm ne spreminja več pomembno (tabela 5). Ker istočasno narašča delež teh ploskvic na žici, moremo sklepati, da se vdolbine polnijo z mazivom do približno tretje votlice, ko narašča celotna količina maziva na žici. To velja seveda le, če zaradi ogrevanja žice pri vlečenju ne prihaja do razpada maziva, zaradi česar bi se na površini ohranil le kalcij.

Po morfologiji površine in po porazdelitvi maziva na njej lahko opredelimo mehanizem mazanja pri prehodu žice skozi votlico. V procesu vlečenja v nobenem primeru ne sme priti do pretrganja sloja maziva in neposrednega kovinskega stika med žico in votlico. Debelina mazivnega sloja kaže, da prihaja na gladkih ploskvah do mejnega trenja (Riez 3), ko le nekajmolekularni sloj stearata loči površino jekla od votlice. Na mestih, kjer so na površini vdolbine, v katerih je več maziva, prihaja do hidrodinamičnega mazanja. Mazivo, ki je okludirano v vdolbinah, pod velikim pritiskom prenaša deformacijsko silo z votlice na jeklo in tako omogoča enakomerno deformacijo žice.



Slika 23

Razmerje med debelino vlečene žice in količino maziva na njej

Fig. 23

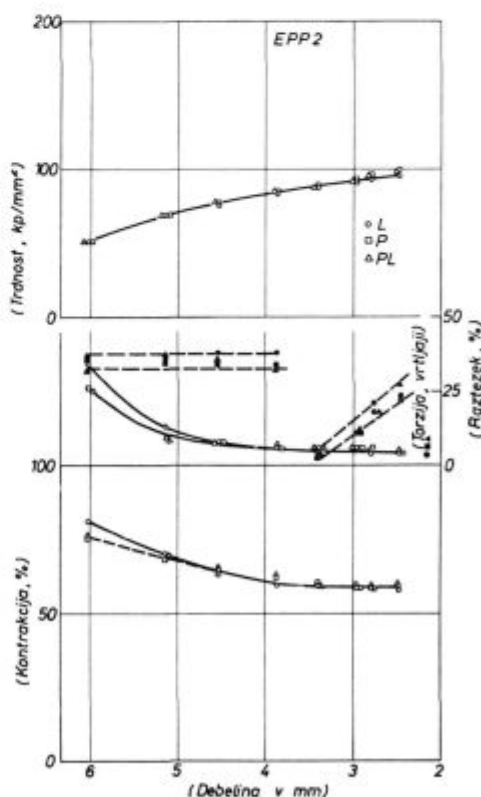
Relationship between the thickness of the drawn wire and the amount of lubricant

Pod debelino približno 2,5 mm začne naraščati količina maziva na žici Č 1632. Ne vemo, ali to velja tudi za druge kvalitete, pri katerih je bilo vlečenje zaustavljeno pri tej debelini. Že preje smo povedali, da z zmanjšanjem debeline raste delež gladke površine, to je površine mejnega trenja med votlico in žico. Pri debelini 2,5 mm prevladuje te vrste površina. Menimo, da so najverjetnejši vzrok za naraščanje količine maziva spremenjeni geometrični pogoji vlečenja pod 2,5 mm, mogoče povečan odnos med obsegom in presekom žice, kar pomeni, da je povečan delež maziva na tezo deformirane žice. To interpretacijo podpira dejstvo, da je mogoče za vlečenje tankih žic uporabljati tekoča maziva z manjšo mazivno sposobnostjo.

Na žicah obeh trših kvalitet je manj maziva kot na mehkejši EPP 2 žici. To ni v zvezi s hrapavostjo površine, saj se razlika pojavlja tudi v luženem stanju. Skoraj ni razlike v količini maziva med žicami Č 1632 in Č 4230. To je dokaz, da neprimerenost zadnje žice za vlečenje ni v neposredni zvezi z mazivom.

3.5 Mehanske lastnosti žic

Pri vseh kvalitetah smo določili trdnost, raztezek in kontrakcijo, pri žicah Č 1632 in EPP 2 pa še število vrtljajev do zloma. Za ta preizkus smo uporabili mere preizkušancev, dolžino 50 debelin do

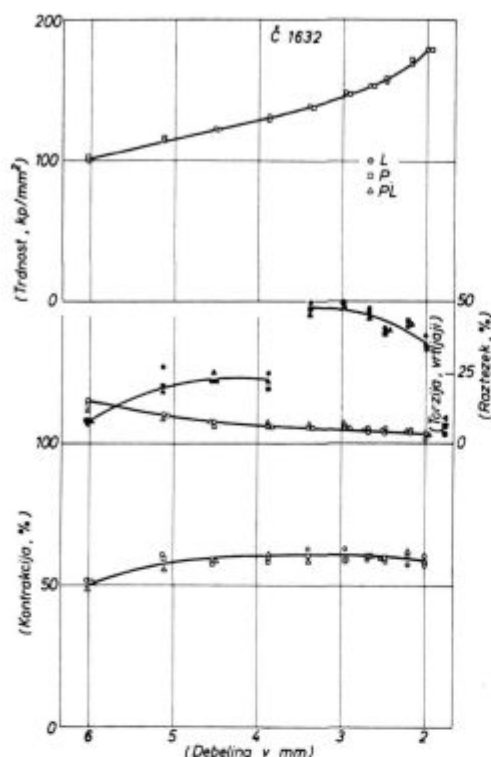


Slika 24

Vpliv redukcije pri vlečenju na lastnosti žice kvalitete EPP 2

Fig. 24

Influence of the reduction by drawing on the properties of EPP2 steel wire



Slika 25

Vpliv redukcije na lastnosti patentirane žice kvalitete Č 1632

Fig. 25

Influence of the reduction on the properties of the patent Č.1632 steel wire

premera 3,5 mm in dolžino 100 debelin pod tem premerom, kot so v uporabi v železarni Jesenice. Zato so v grafikonih prelomljene krivulje, ki kažejo število vrtljajev do zloma med debelinama 3,88 in 3,48 mm.

Rezultati mehanskih preizkusov so na slikah 24 do 28. Iz njih lahko razberemo naslednje značilnosti:

— z naraščanjem stopnje deformacije enakomerno narašča trdnost jekla Č 1632, počasi pada raztezek, kontrakcija pa doseže že pri drugem vleku neko vrednost, ki se z nadaljevanjem redukcije ne spreminja več pomembno. Podobna je odvisnost za število vrtljajev do zloma, le da začne število vrtljajev enakomerno padati po redukciji približno 65 %,

— trdnost jekla EPP 2 enakomerno narašča z redukcijo, razteznost pade po prvem vleku na vrednost, ki se s povečanjem redukcije le malo zniža, kontrakcija pa enakomerno pada do približno 60 % redukcije. Nekoliko je presnetljiva odvisnost med redukcijo in številom zasukov do zloma pri vzvojni deformaciji. Sposobnost za vzvojni deformaciji ostaja neodvisna od hladne utrditve do redukcije ca. 60 %, nato pa narašča. Ker se enako obnašajo vse tri vrste vzorcev (L, P in PL vzorci), je odvisnost verodostojna. Upoštevati moramo, da je odvisnost v celem intervalu deformacije nekoliko popačena zaradi spremembe dolžine vzorca. Zanimi-

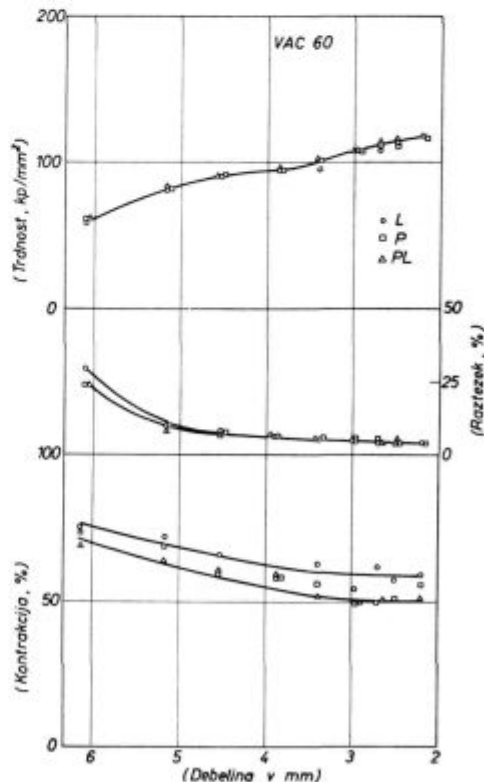
vo je, da ima povečanje dolžine pri žici EPP 2 nasproten učinek kot pri žici Č 1632,

— pri žici VAC 60 je vpliv redukcije na raztezek in kontrakcijo podoben kot pri žici EPP 2, podobne so tudi absolutne vrednosti, večji pa je razsip med vsemi tremi vrstami žice.

Mislamo, da ne gre pri tem za učinek različne obdelave površine, ampak za razliko v lastnostih kolobarjev. Znano je, da je izoblikovanje mikrostrukture in s tem plastičnost, ki se najbolj izraža v kontrakciji, pri tem jeklu zelo odvisna od pogojev ohlajanja posameznih kolobarjev. Pri tem jeklu opazimo v grafikonu, ki kaže naraščanje trdnosti z naraščajočo hladno deformacijo, koleno pri približno 65 % redukciji. Zato daje videz, kot da odvisnost sestavljata dve položni paraboli. Ta značilnost je pri jeklu EPP 2 rahlo nakazana pri redukciji približno 50 %,

— enake značilnosti kaže vpliv hladne deformacije na lastnosti jekla Č 3990. Razlika je le v tem, da trdnost monotono narašča v položni paraboli z naraščanjem redukcije, kontrakcija pa je manjša v začetnem stanju v vsem intervalu deformacije,

— žico Č 4230 lahko najbolj realno primerjamo z žico Č 1632. V nevlečnem stanju imata obe podobno trdnost in razteznost in različno kontrakcijo. Hladna deformacija močno zmanjša plastičnost žice Č 4230. Kontrakcija žice Č 4230 pade z redukcijo in ostane nato v vsem intervalu redukcije znatno manjša, dosega le približno tretjino kon-

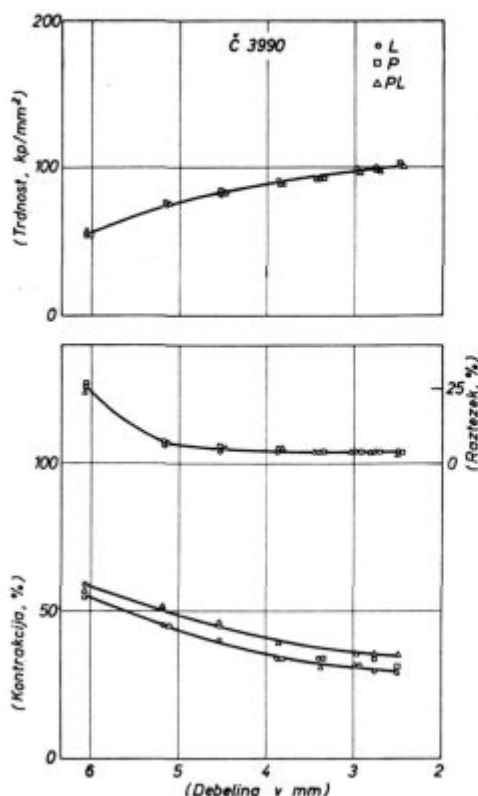


Slika 26

Vpliv redukcije na lastnosti žice kvalitete VAC 60

Fig. 26

Influence of the reduction on the properties of the VAC 60 steel wire



Slika 27
Vpliv redukcije na lastnosti žice kvalitete Č.3990

Fig. 27
Influence of the reduction on the properties of the Č.3990 steel wire

trakcije patentirane žice. Trdnost jekla Č.4230 narašča po položni paraboli z naraščanjem hladne deformacije, kar je tudi drugače kot pri jeklu Č.1632.

Razpravo o vzrokih za razlike v vplivu hladne deformacije na lastnosti vseh petih vrst žice bi presegala okvir tega dela. Velja, da razlika v obdelavi površine ne povzroči nobene razlike v mehanskih lastnostih žic.

3.6 Rekristalizacijski preizkusi

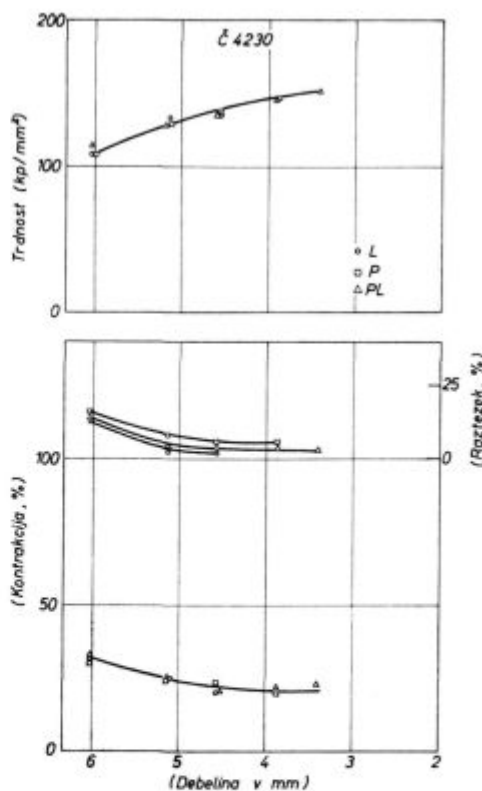
Te preizkuse smo napravili na žicah EPP 2 in Č.1632 na vzorcih P in L, z debelinami 5,16 mm in 2,5 mm, to je po 25 %-(en vlek) in 83 %-deformaciji. Za rekristalizacijo smo izbrali temperaturo 600 °C, ker smo iz izkušnje vedeli, da je po enournem ogrevanju pri tej temperaturi mogoče doseči odpravo deformacijskega stanja. Proces te odprave smo zasledovali z merjenjem trdote in z opazovanjem v mikroskopu.

Slika 29 kaže vpliv trajanja ogrevanja pri 600 °C na trdoto obeh vrst vzorcev (debelina 5,16 in 2,5 milimetrov) ter trdoto nedeformiranega vzorca, ki smo ga uporabili za oceno pojavov popuščanja jekla, ki so neodvisni od hladne deformacije.

Iz grafikonov razberemo vpliv razlike v hladni deformaciji. Razlika v izhodni trdoti pri jeklu

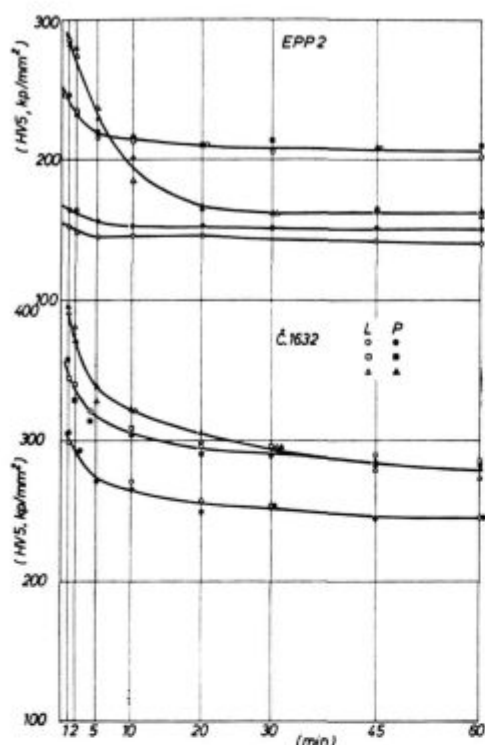
EPP 2 spada v interval razlike med kolobarji. Trdota nedeformiranega vzorca se že po nekajminutnem zadržanju pri 600 °C zniža na konstantno vrednost. Pri deformaciji 25 % z ogrevanjem pri 600 °C ne pride do rekristalizacije. Del deformacijskih napetosti se odpravi s hitro fazo poprave, ki je končana že v približno 5 minutah, nato pa poteka počasnejše tehnično nepomembna druga faza poprave. Zato ohrani jeklo še po enournem zadržanju pri 600 °C znatno večjo trdoto, kot jo ima v nedeformiranem stanju. Popolnoma drugače poteka proces odprave deformacije pri redukciji 83 %. Popolna rekristalizacija se izvrši v približno 20 minutah, ko jeklo doseže končno trdoto, ki se z nadaljevanjem žarjenja do ene ure ne spreminja več. Proces lahko točno opredelimo, če primerjamo posnetek 21 s posnetki na sliki 30. Končna trdota je nekoliko višja kot pri nedeformiranem jeklu zaradi razlike v velikosti feritnih zrn.

Pri jeklu Č.1632 je proces mehčanja nekoliko bolj zapleten in ga je težje točno opredeliti. V procesu rekristalizacije sodeluje le ferit in ni mogoče v optičnem mikroskopu zaznati, ali gre za proces poprave ali za proces rekristalizacije z nastankom in rastjo novih kristalnih zrn. Trdota tega jekla se v nedeformiranem stanju stabilizira šele po približno 45-minutnem ogrevanju, ko se konča najhitrejša faza sferoidizacije perlitnih lamel. Podobno se obnaša jeklo po 25 in po 83 %-deformaciji.



Slika 28
Vpliv redukcije na lastnosti žice kvalitete Č.4230

Fig. 28
Influence of the reduction on the properties of the Č.4230 steel wire



Slika 29

Vpliv trajanja ogrevanja pri 600 °C na trdoto žic, kvalitet EPP 2 in Č.1632, ki so bile hladno reducirane za 26 % (kvadrati) oz. 83 % (trikotniki). Krogi označujejo nedeformirano žico

Fig. 29

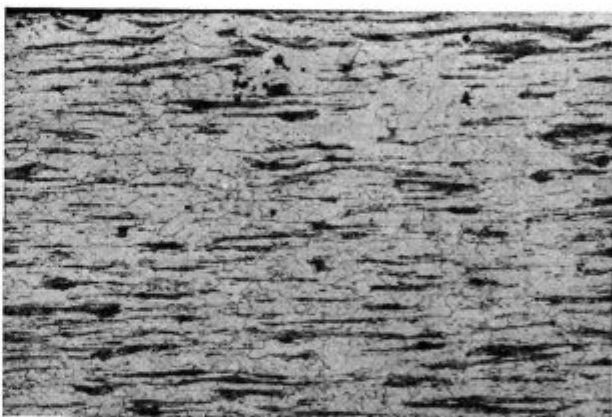
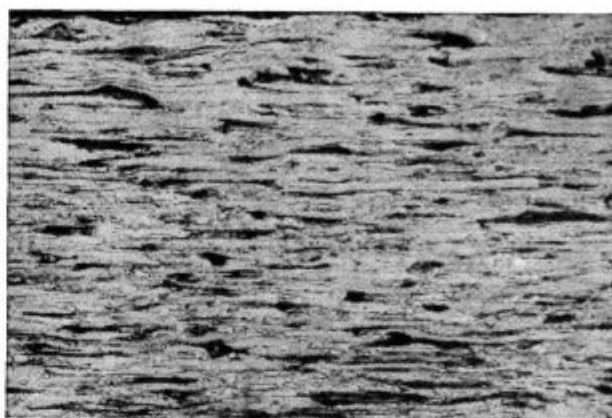
Influence of the heating time at 600 °C on the hardness of EPP2 and Č.1632 wires cold deformed for 26 % (squares) or 83 % (triangles). Circles represent underformed wire

Gre torej v obeh primerih za enak proces odprave deformacijskega stanja. Različna izhodna trdota je posledica različne izhodne stopnje hladne deformacije. Hitrost odprave deformacijskih napetosti je večja po višji redukciji. Zato je po približno 30-minutnem zadržanju v obeh primerih dosežena enaka trdota, če upoštevamo interval napake pri meritvah. Iz odvisnosti med trdoto in trajanjem ogrevanja sklepamo, da je prišlo med ogrevanjem jekla Č.1632 pri 600 °C do rekristalizacije, to je odprave deformacijskih napetosti s tvorbo novih zrn.

Rezultati kažejo, da ni nobene razlike v tem, kako se pri žarjenju za odpravo deformacijske utrditve obnašata lužena in peskana žica.

Na slikah 21 a in 21 b vidimo, da je zaradi peskanja prišlo do lokalne deformacije ob površini žice. Pazljiv pregled peskanih vzorcev, ki so bili ogrevani pri 600 °C, pokaže, da znakov hladne deformacije ni mogoče več opaziti po 20-minutnem zadržanju. To kaže, da je v tem časovnem intervalu prišlo v jeklu EPP 2 do rekristalizacije posamičnih deformiranih mest. Tu so nastala nova feritna zrna, ki so ohranila deformacijsko teksturo, vendar so bila mnogo bolj drobna od feritnih zrn v okolici, na drugih mestih pa razlike v velikosti ni bilo. To kaže, da se je izvršil v nekaterih primerih popoln

proces rekristalizacije z nastankom in rastjo novih feritnih zrn, v drugih pa je prišlo do rekristalizacije, pri kateri so kot katalizatorji za rekristalizacijo služila nedeformirana ali premalo deformirana feritna zrna, ki so bila nekoliko bolj oddaljena od površine.



Slika 30

× 200, jedkano z nitalom. Mikrostruktura žice kvalitete EPP 2 vlečene na debelino 2,48 mm in žarjene pri 600 °C 5 min (a), 20 min (b) in 60 min (c)

Fig. 30

× 200, etched with Nital. Microstructure of the EPP2 wire drawn to 2.48 mm and annealed 5 min (a), 20 min (b), and 60 min (c) at 600 °C



Slika 31
 × 500, žica kvalitete Č 4230 vlečene na debelino 3,48 mm (redukcija 66 %). Vozlaste tvorbe cementitnih lamel

Fig. 31
 × 500, Č.4230 steel wire drawn to 3.48 mm (66 % reduction). Knot-like forms of cementite lamels

4. O VZROKIH ZA SLABO VLEČNO SPOSOBNOST JEKLA Č 4230

Razprava o tem vprašanju presega program tega dela, so pa rezultati opozorili na nekatera dejstva, ki bi lahko služila kot izhodišče za temeljitejša raziskave s ciljem, da se izboljša deformacijska sposobnost jekla Č 4230.

V primerjavi z jeklom Č 1632 ima jeklo Č 4230 v nevlečenem stanju slabšo plastičnost, ki se izraža v manjši kontrakciji pri enaki trdnosti in raztežku. Z naraščanjem stopnje hladne deformacije se podobno spreminjata raztezek in trdnost, zmanjšuje pa se kontrakcija, ki je bila že v začetku nižja, medtem ko pri jeklu Č 1632 kontrakcija po prvem vleku celo zraste in ostane nato nespremenjena. Ni razlike v količini maziva na obeh žicah, torej so pogoji za mazanje v obeh primerih podobni. Praktično vlečenje kaže, da se zaradi deformacije mnogo bolj greje žica Č 4230 kot žica Č 1632. Če upoštevamo, da je trdnost skoraj enaka, bi bilo torej večje ogrevanje predvsem posledica razlike v tem, kako se v deformacijskem procesu obnaša mikrostruktura enega in drugega jekla. Mikrostruktura je v obeh primerih iz identične komponente, le iz lamelnega perlita. Cementitne in feritne lamele v perlitu pa so mnogo debelejšje v jeklu Č 4230 kot v jeklu Č 1632. Lambert in Greday (4) ter Funke, Jain in Wittek (5) trdijo, da ima perlitno jeklo tem manjšo deformacijsko sposobnost, čim debelejšje so cementitne lamele in čim večja razlika je med smerjo teh lamel in smerjo vlečenja jekla. Po Lambertu in Gredayu se morajo cementitne lamele med procesom vlečenja zdrobiti ali pa usmeriti v os vlečenja. Oba omenjena avtorja sta ugotovila, da se večji del cementitnih lamel preusmeri. Pri tem nastajajo vozlaste tvorbe lamel, ki so pod topim kotom glede na os vlečenja. Tak primer kaže sl. 31. V okolici takih tvorb je deformacija nehomogena zaradi nenormalnega

toka jekla. To lahko privede celo do odlepljenja med feritom in cementitno lamelo in do zmanjšane plastičnosti jekla, podobno kot smo ugotovili prej za vlečenje jekla z mikrostrukturo iz ferita in martenzita (6). V mikroskopu takih odlepljenj nismo odkrili, prelomi so bili razmeroma gladki in strižnega tipa.

Zato sklepamo, da slabša plastičnost jekla Č 4230 ni neposredno posledica slabše inherentne plastičnosti jekla, zato ker ima krom in več silicija kot patentirana žica, ampak posledica slabe plastičnosti, ki jo povzroči za hladno vlečenje malo primerna mikrostruktura. Če hočemo torej izboljšati vlečno sposobnost jekla Č 4230, je potrebno doseči, da bo imelo mikrostrukturo iz lamelnega perlita z bolj finimi cementitnimi lamelami. To se da doseči na dva načina: s tem, da se pri ohlajanju hitro preide pri valjanju preko področja počasne nukleacije perlita in se transformacija izvrši pri nižji temperaturi ali pa s tako korekturo sestave jekla, ki bi zagotovila, da bo pri normalnem ohlajanju po vročem valjanju avstenit nekoliko bolj stabilen in bo do njegove transformacije prišlo pri nižji temperaturi kot dosedaj.

Dalje smemo sklepati, da pride do pretrganja žice pri vlečenju in onemogočanja normalnega vlečenja na naslednji način: večje deformacijsko ogrevanje segreje žico nad temperaturo, pri kateri kalcijev stearat ohrani mazivno sposobnost. Riez (3) navaja, da se poruši na površini žice v bližini prehodne temperature, ki je blizu tališču maziva, kratki red polarno orientiranih mazivnih molekul. Porazdelitev postane statistična. Posledica je skokovit porast trenja med žico in votlico, zato ker med polarno orientiranimi mazivnimi molekulami ni več lateralne povezave, ki ohranja trdnost mazivnega sloja. Prehodna temperatura je po podatkih Rieza za kalcijev stearat približno 150 °C, torej nad to temperaturo stearat hitro izgubi sposobnost, da z mazanjem ustvarja pogoje za majhno trenje med votlico in žico. Rezultat je povečano trenje, povišana temperatura in zelo hitro ogretje žice na temperaturo, ko postane odpor proti prehodu skozi votlico večji od trdnosti žice in žica se pretrga.

5. SKLEPI

Izvršili smo različne preiskave žic iz jekl, kvalitete EPP 2, Č 1632, VAC 60 in Č 4230, s katerih je bila odstranjena škaja po mehničnem postopku s peskanjem z jeklenim zdrobom, s konvencionalnim luženjem, oz. po peskanju površinsko obdelana z apnenjem, oz. boraksiranjem.

Vlečenje je bilo izvršeno po suhem postopku na enostopenjskem stroju s hitrostjo 2 m/sec. in z uporabo kalcijevega stearata kot maziva.

Ugotovili smo, da peskanje povzroči na površini žice hrapavost, ki je globlja in bolj groba kot hrapavost lužene žice in ustvari ob površini sloj z neenakomerno hladno utrditvijo, ki sega največ 20 mikronov globoko. Hrapavost ni v zvezi s hra-

pavostjo mejne površine — škaja kovina. Pri zaporednih prehodih skozi votlice se razlika v hrapavosti zmanjšuje in je po prehodu skozi tretjo votlico že v intervalu merilnih napak.

Različna prehodna priprava površine ne povzroči razlik v količini maziva, ki ostaja na žici po prehodu skozi posamezne votlice; ni povzročila takih razlik v obrabi votlic, ki bi jih lahko zaznali z vlečenjem v količinskem obsegu naših poizkusov; ne povzroči razlik v mehanskih lastnostih žice pri naraščajoči stopnji hladne deformacije in ne povzroči razlik v rekristalizacijski sposobnosti jekla.

Zato domnevamo, da bi uvedba mehanskega postopka odstranjevanja škaje s površine valjane ali patentirane žice ne mogla povzročiti nobenih tehnoloških problemov, ki bi jih ne mogli obvladati s sredstvi in ukrepi, katere imajo žičarji na voljo, da bi ohranili gospodarnost izdelave žice. Preden preidemo na industrijsko uporabo mehanskega odstranjevanja škaje v večjem obsegu, bi bilo potrebno preveriti dve važni tehnološki vprašanji: intenziteto obrabe votlic in porabo vlečnega praška. Na

ti dve vprašanji bi bilo mogoče popolnoma realno odgovoriti le na osnovi primerjalnega vlečenja večjih količin žice istih kvalit in različnih šarž.

Literatura

1. F. Legat: Odstranjevanje oksidnih plasti na valjani žici in žarjeni žici s peskanjem: Poročilo S2 Tovarna verig Plamen Lesce, marec 1974.
2. J. A. Newnham: Wire drawing lubricants: Metals deformation processes. Friction and lubrication, zal. M. Dekker, New York 1970.
3. C. H. Riez: Friction, wear and lubrication mechanism, Ibidem.
4. N. Lambert in T. Greday: Deformation des structures d'aciers au carbone au cours de l'étirage: Mem. Scient. Rev. Metall, jul.—avg. 1975, 525—545.
5. P. Funke, A. Jain in R. Wittek: Bestimmung der Verformungseigenschaften von Drähten aus unlegiertem Stahl über die mikroskopische Gefügeausbildung: Arch. Eisenh. 46, 1975, št. 10, 639—640.
6. F. Vodopivec, A. Kelvišar in S. Mežnar: Zelezarski zbornik, 9, 1975, št. 2, 81—88.
7. F. Legat: Predavanje na XXI. Metalurškem srečanju, Portorož 1976.

ZUSAMMENFASSUNG

Es sind verschiedene Untersuchungen an einem Stahldraht der Qualität EPP 2, C 1632, VAC 60 und C 4230 durchgeführt worden, von welchem der Zunder durch ein mechanisches Verfahren mit Sandstrahlen mit Stahlgussgranulat, oder durch ein übliches Beizverfahren entfernt worden ist und welcher nach dem Sandstrahlen mit Kalkmilch oder Borax oberflächlich behandelt worden ist.

Das Ziehen ist auf einer einstufigen Ziemaschine nach dem Trockenverfahren mit einer Geschwindigkeit von 2 m/s und mit der Anwendung des Kalziumstearates als Schmiermittel durchgeführt worden.

Wir haben festgestellt, dass das Strahlen des Drahtes eine rauhe Oberfläche zur Folge hat und dass diese tiefer und gröber ist als die Rauigkeit des gebeitzten Drahtes, und dass durch das Strahlen an der Oberfläche eine dünne Schicht mit einer ungleichmässigen Kaltverfestigung entsteht, welche maximal 20 µm tief ist. Diese Rauigkeit ist in keiner Verbindung mit der Rauigkeit der Grenzfläche zwischen Zunder und Metall. Bei den nacheinander folgenden Durchgängen durch den Ziehstein wird der Unterschied in der Rauigkeit kleiner und ist nach dem Durchgang durch den dritten Ziehstein schon im Messfehlerintervall.

SUMMARY

The tested wire samples were made of EPP 2, C.1632, VAC 60, and C.4230 steel. They were descaled by blasting with steel shot, or by usual pickling, or the surface was lime- or borax-coated after the shot blasting.

Single-grade drawing machine with the drawing speed 2 m/s was used for dry drawing, while calcium stearate was applied as a lubricant.

Shot blasting causes rough surface which is rougher than that of the pickled wire, therefore a non-uniformly hardened, 20 micrometers deep layer is formed. The roughness has no connection with the roughness of the interface between the scale and the metal. After consecutive passes through the dies, the roughness is reduced and after the third pass it is already in the interval of the measuring accuracy.

Verschiedene Oberflächenvorbereitung hat keinen Einfluss auf die Menge des Schmiermittels, welches nach dem Durchgang durch die einzelnen Ziehsteine am Draht haften bleibt; es verursacht weiter keine so grosse Unterschiede in der Abnutzung der Ziehsteine, dass wir sie mit unseren Versuchen wahrnehmen könnten; es verursacht keine Unterschiede der mechanischen Eigenschaften des Drahtes beim steigenden Kaltverformungsgrad, und es verursacht auch keine Unterschiede in der Rekristallisationsfähigkeit des Stahles.

Die Einführung eines mechanischen Verfahrens für die Entzunderung des warmgewalzten oder patentierten Drahtes würde deshalb keine technologischen Probleme hervorrufen, welche mit Mitteln und Massnahmen, die dem Zieher zur Verfügung stehen, nicht beherrscht werden könnten, um die Wirtschaftlichkeit der Drahterzeugung zu erhalten. Vor dem Übergang auf die industrielle Anwendung des mechanischen Entzunders im grossen Umfang wäre es notwendig zwei wichtige technologische Fragen zu überprüfen, und zwar die Intensität der Ziehsteinabnutzung und die Anwendung des Ziehpulvers. Diese zwei Fragen könnten ganz real nur auf Grund eines Vergleichsziehens grösserer Drahtmengen derselben Qualität und verschiedener Schmelzen beantwortet werden.

Various descaling methods have no influence on the lubricant consumption which remains on the wire after single passes; no detectable difference in the wear was found during our experiments; no differences in mechanical properties at the increasing degree of cold deformation neither differences in the recrystallization ability of steel were observed.

Thus the mechanical descaling of rolled or patented wire could not cause any technological difficulties which could not be overcome by wire-drawers with usual measures and means to keep the profitability of the wire manufacturing. Before the mechanical descaling of wire is broadly applied, wear rate of dies and application of the drawing-powder must be investigated. Real answers could be given after comparative drawing of greater amount of wire, of the same quality but of various melts.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен целый ряд различных исследований на проволоки стали качеств EPP 2, C.1632, VAC 60 и C.4230 с которой окалина была удалена механическим способом пескоструйной очисткой с стальной дробью, общепринятым травлением, также известковой побелкой, относ. Действием боратов на поверхность проволоки. Волочение выполнено сухим способом на одноступенчатой машине с быстротой 2 м/сек. при употреблении стеарата кальция как смазочного средства. Установлено, что обработка песком вызывает на поверхности проволоки шероховатость которая более грубая чем шероховатость травленной проволоки; на поверхности образуется слой неравномерной твердости как следствие холодной достигает глубину не свыше 20 микронов. Шероховатость не имеет отношение с шероховатостью с граничной поверхностью слоя окалины металла. При последующих проходах через волочильные очки разницы шероховатости уменьшаются и после перехода через третье очко находятся уже в пределах ошибок измерения.

Различные предварительные приготовления поверхности проволоки не показали разниц при определении мази, которая остается на проволоки после прохода через отдельные очки; также не причиняет разниц при изнашивании очков в такой мере, чтобы это

могло быть замечено при волочении что касается количественного объема выполненных опытов; не причиняет разниц при механических свойствах проволоки при увеличении степени холодной деформации и, наконец, не причиняет разниц способности стали к рекристаллизации.

Поэтому введение механического способа удаления окалины с поверхности катаной или патентованной проволоки не может вызвать никаких технологических проблем, которых нельзя бы было преодолеть с средствами и мерами, которые имеют в распоряжении волочильники проволоки чтобы сохранить рентабельность выделки проволоки.

Прежде чем перейти на промышленное употребление механического удаления окалины в более широком объеме было бы необходимо проверить два важных технологических вопросов, т. е. интенсивность изнашивания очков и употребительность волочильного порошка. Вполне реально ответить на эти два вопроса было бы можно только на основании сравнительного волочения больших количеств проволоки одного и того же качества из различных плавок.