

VSEBINA

Ing. Franc Babšek — Bela pločevina — DK 669.686	25
Ing. Janko Mede — Osnutek tipizacije žerjavov v Železarni Jesenice — DK 621.873	30
Ing. Jože Kramar — Delovanje električne peči na tokovni lok — DK 621.365.2	33
Ing. Janko Zaletel — Apnenec in njegova upo- raba v metalurgiji — DK 666.9	41
Nove knjige v strokovni knjižnici	47
Popravek	48

»ŽELEZAR«

TEHNIČNA PRILOGA

Tehnična priloga Železarja — Glasilo DIT Jesenice, leto III. št. 1. Odgovorni urednik ing. Mede Janko. Tehniški biro, telefon št. 495. Člani uredniškega odbora: ing. Čop Stanko, ing. Gabrovšek Marin, ing. Gregorčič Miloš, ing. Sešek Slavica, ing. Kramar Jože, ing. Sešek Pavle, Stare Marjan, ing. Urbančič Jože, Žagar Edo.

Tisk: CP »Gorenjski tisk«, Kranj

LETO III.

JUNIJ 1961

ŠT. 2

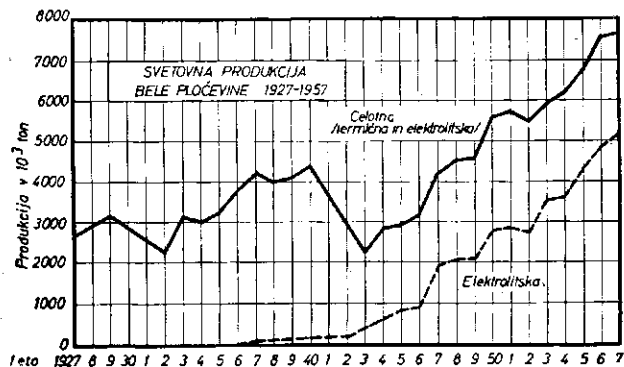
Ing. Franc Babšek

DK 669.686

Bela pločevina

Jeklen trak, ki je razrezan v plošče in prevlečen s tanko plastjo kositra, je zaradi svoje značilne barve dobil ime bela pločevina. Tudi v drugih jezikih ima ta izdelek moderne predelovalne industrije podobna imena. (Weissblech, belaja žest, tin plate).

Močan porast proizvodnje bele pločevine v svetu je nastopil po letu 1900 in je znašala svetovna proizvodnja leta 1956 7,7 milijonov ton. V letu 1936 so začeli v industriji uvajati elektrolitske postopke za proizvodnjo bele pločevine, ki so od tedaj vedno bolj izpodirivali termično pokositreno pločevino. Razmerje med elektrolitsko belo pločevino in termično pokositreno belo pločevino je iz leta v leto raslo, vendar pa je iz diagrama slike 1 razvidno, da je absolutni iznos proizvodnje termično pokositrene bele pločevine ostal od 1943. leta približno isti.



Slika 1

To je razumljivo, če vemo, da elektrolitska pločevina ne more nadomestiti termično pokositrene pločevine na vseh poljih uporabe. Tudi v bodoče bosta verjetno termično pokositrena bela pločevina in elektrolitska bela pločevina živeli druga ob drugi, vsaka za svoje namene.

Na svetu je bilo leta 1956 okrog 21 proizvajalcev bele pločevine, ki so si po proizvodnji sledili takole:

	ton		ton
ZDA	4.969.052	Italija	67.836
Anglija	858.700	Nizozemska	66.116
Francija	337.842	Južnoafr. unija	32.863
Kanada	277.770	Mehika	29.382
Japonska	240.833	Čile	18.000
Sovjetska zveza	200.000	Cehoslovaška	16.000
Zah. Nemčija	195.566	Španija	15.548
Belgija	106.127	Poljska	5.300
Brazilijska	86.987	Romunija	2.600
Indija	71.544	Avstrija	100
Saar	70.404		

Kot je razvidno iz tabele so največji proizvajalci bele pločevine ZDA, kjer pomeni bela pločevina 5 % vse jeklar-ske industrije.

Porast porabe bele pločevine moramo pripisati združenim lastnostim tega materiala. Bela pločevina ima mehanske lastnosti jeklene osnove in odpornost proti koroziji, ki jo daje kositrova prevleka. Bela pločevina se predeluje na hitro tekočih avtomatih, ima lepo gladko in svetlo površino, je relativno poceni in ni strupena. Zaradi opisanih lastnosti je bela pločevina idealen material za prehranbene in druge konzerve, pokrovice steklenic, kuhinjske potrebščine, različne vlečene dele radijskih aparatov, električno opremo in igrače.

Jeklo za belo pločevino: Američani pripisujejo sestavi jekla zelo važno vlogo v končni odpornosti bele pločevine proti koroziji. Navadno se za belo pločevino uporabljajo martinska jekla. Jeklo iz bazične SM peči ima manj fosforja kot jeklo iz Bessemerjevega konvertorja, ki se tudi uporablja za proizvodnjo bele pločevine, posebno takrat, kadar se od bele pločevine za nekatere proizvode zahteva večja togost. Fosfor navadno držijo v mejah do 0,15 %. Jeklo za belo pločevino je mehko in je navadno zgornja meja za ogljik pri 0,15 %; lahko pa je pomirjeno ali nepomirjeno. Če se od jekla zahtevajo izrazite lastnosti globokega izvlačenja, potem jemljemo nepomirjeno jeklo in le redko uporabljamo pomirjeno jeklo.

Kot standardno analizo navajajo:

	C	Mn	P max	S max	Si	Cu max
Američani	0,04—0,15	0,20—0,60	0,15	0,05	sledi	0,20
Rusi	0,06—0,1	0,30—0,50	0,015	0,05	0,01	

Na korozijsko odpornost jekla vplivajo predvsem fosfor, baker in silicij, medtem ko ogljik in žveplo v pogojih, katerim je izpostavljena bela pločevina, nista tako pomembna. Konzerve, izdelane iz bele pločevine, se včasih lakirajo s posebnimi laki. Fosfor in žveplo imata vpliv predvsem na življenjsko dobo lakiranih konzerv, silicij pa na nislakirane konzerve. Povečana vsebina fosfora in silicija je usodna za življenjsko dobo konzerve, baker pa lahko podaljša ali skrajša življenje konzerve, kar je odvisno od njene vsebine, vendar pa je prisotnost bakra večkrat škodljiva kot pa koristna.

Glede na namen uporabe bele pločevine imajo Američani tri tipe jekla: za najbolj zahtevne konzerve uporabljajo hladno valjeno martinsko jeklo, sestave:

C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0,12	0,60	0,015	0,05	0,06	0,04	0,04

Drugi tip jekla, ki se uporablja za manj zahtevne namene, nima posebnih omejitev za baker, nikelj in krom, je pa še vedno hladno valjano martinsko jeklo.

Tretja vrsta jekla, ki se uporablja za belo pločevino, je martinsko ali Bessemerjevo jeklo, ki ima poleg prej navedenih sprostitvev za krom, nikelj in baker, pomaknjeno zgornjo mejo za fosfor od 0,04 % do 0,15 %. Bela pločevina iz takega jekla se uporablja tam, kjer se od konzerve zahteva le trdnost, ne pa korozijska odpornost. Poleg kemijske analize je za odpornost proti koroziji zelo važna toplotna obdelava jekla. Najboljše antikoroziivne lastnosti dobimo, če jeklo po vročem valjanju hitro ohladimo in žarimo v suhi atmosferi, ki ima malo kisika in ogljika.

Kositer za belo pločevino: Glavna nahajališča kositra, ki dajejo 85 % svetovne proizvodnje so: Malaja, Nizozemska, Vzhodna Indija, Bolivija, Siam, Kitajska, Kongo in Nigerija, ostalih 15 % pa dajejo Avstralija, rudniki v Cornwallu, Južnoafriška unija, Indija. Kositer se nahaja v naravi kot oksid pod imenom kasiterit. Iz plavža dobimo surovi kositer, ki ga nato rafiniramo in dobimo kovino z 99,80 % Sn ali celo 99,98 % Sn.

Rusi navajajo za prvovrstni kositer sestavo:

Sn	As	Fe	Cu	Pb	Bi	Sb	S
99,9	0,015	0,009	0,01	0,04	0,01	0,015	0,01

Vseh primesi ne sme biti več kot 0,14 %.

Nečistoče lahko razdelimo na tri skupine:

1. Elementi, ki napravijo kositer krhek (Fe, As)
2. Elementi, ki zmanjšajo korozijsko odpornost kositra (Cu, Al, Zn, Sb, Pb)
3. Elementi, ki zastrupljajo kositer (As, Pb).

Aluminij in cink preprečujeta nastanek enovite prevleke in morata biti pod 0,002 %.

Kositer je lepe bele barve, z lahnim modrikastim odtenkom, njegove najvažnejše fizikalne lastnosti pa so:

Atomsko število 50
 Atomska teža 118,7
 Gostota pri 15° C 7,285
 Gostota pri tališču 6,98
 Tališče 231,9° C
 Talilna toplota 14,4 kcal/kg
 Specifična toplota pri tališču 0,052 kcal/kg, ° C
 Trdota H_B 5,0
 Trdnost 1,5 kg/mm²
 Raztezak (valjan in žarjen) 86 %
 Raztezak (lit) 55 %

Tehnologija izdelave bele pločevine

V začetku so za izdelavo bele pločevine uporabljali toplotno valjane plošče. Na debelino pod 1 mm so izvajali toplo valjanje plošč v paketih. Z uvedbo hladno valjanih trakov je hladno valjana jeklena plošča ali trak postala edina osnova za proizvodnjo bele pločevine. Toplo valjane plošče niso mogle več tekmovali v tolerancah dimenzij in kvaliteti površine s hladno valjanimi trakov.

Tako ločimo danes dva načina proizvodnje bele pločevine:

1. Način, pri katerem surov jeklen trak pred pokositrenjem razrežemo v plošče določenih dimenzij in obdelujemo v nadaljnjem tehnološkem procesu vsako ploščo posebej v kontinuirnem postopku.
2. Trak razrežemo v plošče šele nato, ko je že prevlečen s kositrom.

Vsak od obeh načinov dela ima svoje prednosti in pomanjkljivosti. Če potuje plošča po kontinuirni progi, ki je dolga več desetih metrov, mora biti na taki progi množica vodil, valjev in zapletenih električnih agregatov, da uravnavajo gibanje plošč. Take proge so drage in se odlikujejo z visoko stopnjo mehanizacije in avtomatizacije. Pomanjkljivost plošč, ki potuje skozi raztaljen kositer v vertikalni smeri je tudi nekoliko odebeljen spodnji rob. Kositer se pri odtekanju nabira na spodnjem robu plošče (in pri nedoganem postopku lahko to pomeni velike izgube na kositru). Prednost pokositrene plošče po tem postopku je, da so prekriti vsi štirje robovi in dejstvo, da lahko pošljemo ploščo na progo šele tedaj, ko imajo valji v stroju za pokositrenje lepo površino. Če nastopi na površini valjev napaka, lahko ustavimo tok plošč in nadaljujemo z delom šele tedaj, ko smo odstranili to napako. Odstotek izmečka se pri takem delu lahko precej zmanjša.

Pri delu s trakovi je prednost v tem, da je proga mnogo bolj enostavna, ima pa izdelek dva nepokrita robova, ki nastaneta pri rezanju pokositrenega traku. Vse napake površine valjev odstranjujemo med obratovanjem in se sledovi tega dela poznajo na traku, ki ima na teh delih razne površinske napake.

Ne glede na razlike, ki nastopajo pri tehničnih izvedbah prog za termično pokositrenje, lahko progo razdelimo v tri dele:

Agregati, ki pripravljajo jekleno osnovo za pokositrenje;

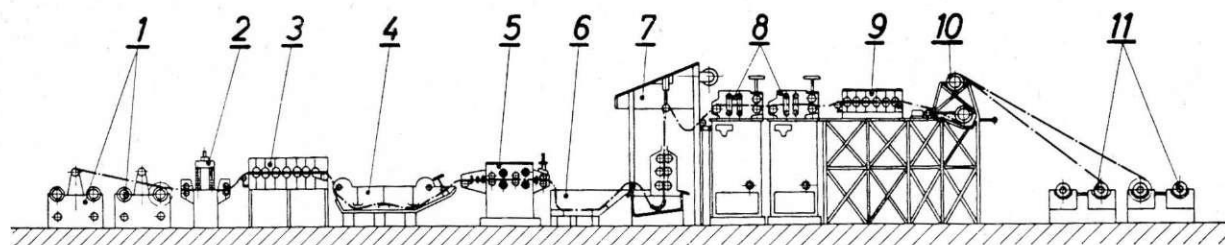
Naprava za pokositrenje jeklene osnove;

Cistilci za odstranjevanje palmovega olja in za enakomerno porazdelitev maščob na beli pločevini.

Slika 2 kaže shemo naprave za termično pokositrenje trakov. K prvemu delu naprave spadajo:

Odvijalci, varilni stroj, predgrejna peč, lužilna kad, pralni stroj, vodna raztopina reducenta.

Drugi del proge je označen kot agregat za pokositrenje trakov. Tretji del proge pa sestavljajo: lužni izplakovalec, vodni izplakovalec, sušilna peč, vlečna naprava, navijalci. Posebna zaključna faza so razrezovalne škarje.



PREREZ PROGE ZA POKOSITRENJE TRAKOV

LEGENDA: 1-Odvijalci 4-Lužilna kad 7-Agregat za pokositrenje 10-Vlečna naprava
 2-Varilni stroj 5-Pralni stroj 8-Izplakovalec 11-Navijalci
 3-Predgrejna peč 6-Raztopina reducenta 9-Sušilna peč

Slika 2

Naprava, ki jo kaže shema na sliki 2 je kontinuirna naprava za pokositrenje trakov na Jesenicah, z letno kapaciteto 6000 ton bele pločevine. Naprava je konstruirana za trak debeline od 0,18 do 0,40 mm, širine do 530 mm. Hitrosti naprave so od začetne 1 m/min. do 5 m/min., delovne hitrosti se gibljejo med 2,5 m/min. in 3 m/min. Kompletno napravo sestavljata dve vzporedni progi, na vsaki progi pa tečeta drug ob drugem dva trakova, tako da na obeh progah tečejo naenkrat skozi kositer štirje trakovi. Skupna instalirana moč ene proge znaša 320 kW. Vsaka proga ima svoj pogon in svoje kose, tako da sta med seboj neodvisni in lahko delata neodvisno druga od druge. Oba trakova na isti progi pa sta povezana na vseh pogonih in sta med seboj odvisna. Vse pogone oskrbujejo istosmerni električni motorji, ki jih napaja pretvorniška skupina Ward-Leonard. Vsaka proga ima svojo pretvorniško skupino. Skupno obeh progama je le odsesavanje oljnih hlapov in dima z istim vetrilom preko vzporedno vezanih odsesavnih kap in odsesavanje kislinjskih hlapov in hlapov, ki se razvijajo v reducentu. Skupno je tudi vetrilo za dovajanje zraka, s katerim hladimo električne motorje. Vsaka proga ima priključek na rečno in pitno vodo ter na komprimiran zrak. Gretje na progah je električno uporabno. Prvi pogon je na gumijastih valjih ob izhodu iz pralne komore z najlonskimi rotacijskimi krtačami, gnani so vsi trije pari valjev v stroju za pokositrenje, naslednji pogon je ob izhodu iz sušilnih peči in končno so gnani navijalci. Sušilne in predgrevalne peči ter varilni aparati za vsak trak so med seboj ločeni, skupno za eno progo pa je ogrevanje kositra in palmovega olja, ogrevanje lužnega izplakovalca in ogrevanje vodnega izplakovalca. Vsaka proga ima svoj

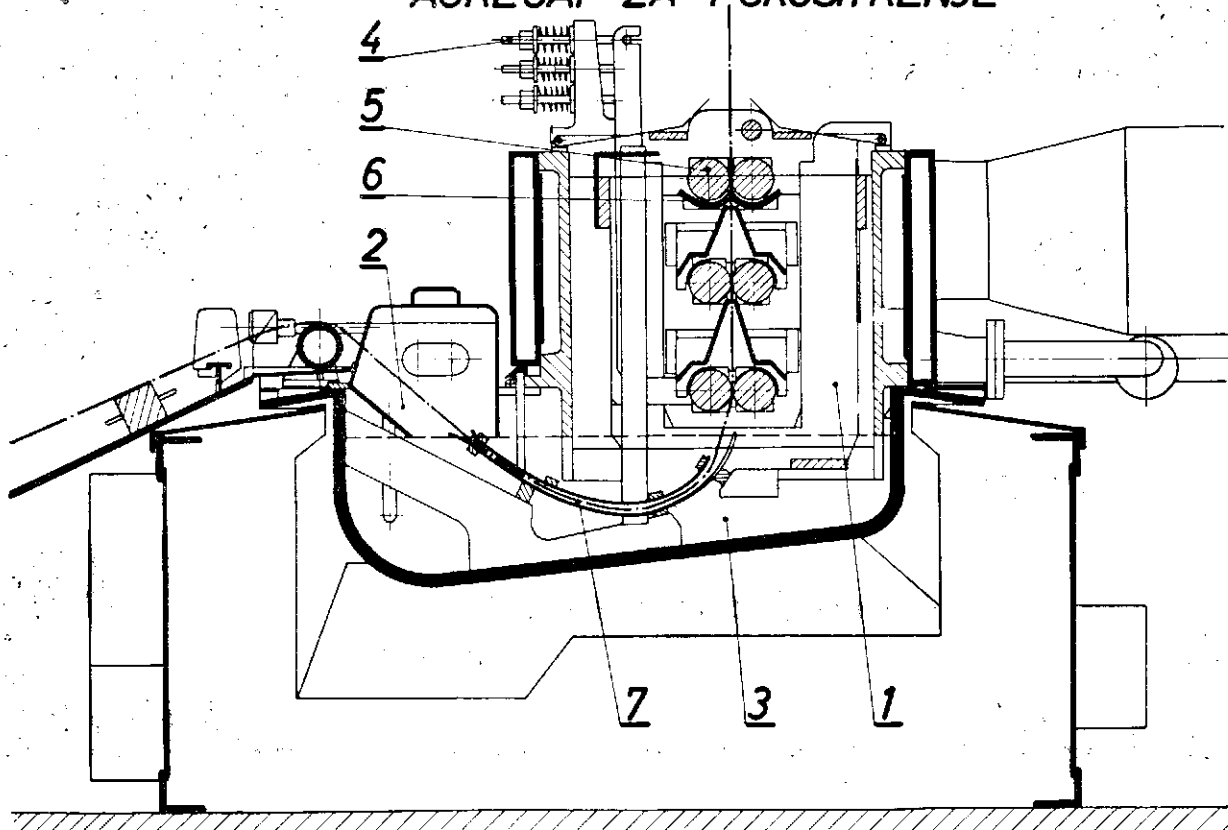
števec za merjenje porabe električne energije, tri ampermetre za merjenje jakosti toka v vsaki fazi, voltmeter za merjenje hitrosti gibanja traku na progi, dva termoelementa za merjenje temperature kositra (ob vhodni strani traku in ob izstopu traku), dva živosrebrna instrumenta za merjenje temperature palmovega olja (zgoraj in spodaj) ter dva termoelementa za merjenje temperature električnih spiral prve in druge skupine električne peči za ogrevanje kositrove kopeli. Sušilne in predgrevalne peči, lužni in vodni izplakovalci ter ogrevalci palmovega olja so opremljeni z živosrebrnimi stikali, ki regulirajo maksimalno temperaturo v teh delih proge.

Vsak trak ima dva odvijalca, ki sta prosto tekoča in katerih segmenti se lahko premikajo s pomočjo komprimiranega zraka. Ko se iz enega odvijalca trak, se na drugega že pripravlja nov kolobar. Kolobarje natikajo na odvijalce z mostnim žerjavom nosilnosti 3200 kg in razpetino 11.200 milimetrov. Kontinuirno delo na progi zagotovi varilni aparat za točkasto varjenje.

Trak potuje iz navijalcev preko varilnega aparata v predgrevalno peč, ki ga segreje na 80 do 100° C. Tako segret trak vstopa v 20 % solno kislino. Zaradi prinesene toplote segreje trak samo kislino v najbližji okolici in čiščenje je zelo učinkovito, kislino pa moramo vedno sproti dodajati. Vsak mesec se kislina dekantira, železove soli z ostanki kisline razredčimo z vodo, nevtraliziramo z apnom in spuštimo v kanal.

Trak gre nato v komoro, kjer ga izpira tekoča voda in dve rotirajoči najlonski krtači (ena z zgornje in ena s spodnje strani), ki sta priključeni direktno na os elektromotorja. Od tu trak vstopa v blago raztopino reducenta

AGREGAT ZA POKOSITRENJE



LEGENDA: 1 - Palmovo olje 4 - Mehanizem za stiskanje valjev 7 - Grebljice za vodenje traku
2 - Reducent 5 - Valji
3 - Kositer 6 - Skodelice z raztaljenim kositrom

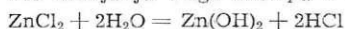
Slika 3

(ZnCl₂) in naprej v glavni del proge, ki ga kaže shema slike 3.

Kad, ki je napolnjena s kositrom, je v zgornjem delu predeljena v dva dela. Zgornji del je napolnjen s palmovim oljem, ki plava na kositru, spodnji del pa je napolnjen z reducentom, ki tudi plava na kositru.

Reducent ima nalogo, da odstrani iz traku vlago, okside, nečistoče ter ostanke maščobe. Navadno je reducent ZnCl₂ z dodatki amonklorida (do 14 %), ki zniža tališče reducenta. Tališče ZnCl₂ je 262° C. ZnCl₂ plava na kositru v debelini 70 do 100 mm. Reducent mora počasi vreti in moramo dovajati vedno nekoliko vlage, kajti če se reducent posuši, nastane sloj kositra, ki je porozen; preveč vlage pa močno razredči reducent, ki izgubi svojo aktivnost.

Pri dovajanju vlage nastopa v reducentu reakcija



Nastala solna kislina napada železove okside



nato pa v kositrovi kopeli nastopa reakcija



FeSn₂ predstavlja težki metal, ki se nabira na dnu kositrove kopeli in pomeni izgubo kositra in velike nevarnosti v tehnološkem postopku proizvodnje bele pločevine. Temperatura reducenta ne sme biti nižja od 270° C, ker aktivnost reducenta pod to temperaturo močno pade.

Na shemi slike 3 vidimo, ta trak vstopa med 3 pare valjev stroja za pokositrenje, ki so potopljeni v palmovo olje, tako da zadnji par valjev sega nekoliko nad gladino raztaljenega kositra. Zgornji par valjev sega nekoliko nad površino palmovega olja in se suče v skodelicah, ki so napolnjene z raztaljenim kositrom.

Ta način dela imenuje literatura suhi način, pri načinu dela pa, ki ga uporabljajo tako zapadne kot vzhodne države, sega palmovo olje preko zgornjega para valjev; to imenujemo mokri način dela.

O suhem načinu pravijo izkušeni izdelovalci bele pločevine, da daje sloj neenakomerne debeline kositra in so porabe kositra večje kot pri mokrem načinu. Vendar pa je možno preiti na mokri način dela le tedaj, če čiščenje palmovega olja ne predstavlja nobenih težav.

Valji v stroju za pokositrenje so navadno napravljeni iz visoko ogličnih jekel in toplotno obdelani na velike trdote, lahko so celo pokromani, da imajo bolj gladko površino. Premer valjev je od 90 do 100 mm. — Vsak par valjev je opremljen s »krtačami«, ki skrbijo za odstranjevanje trdega kositra, ki se nabere na površini valjev, ali ga trak prinese iz nižjih plasti kopeli. Za tanjše prevleke so vsi trije pari valjev opremljeni s krtačami, za debelejšje prevleke pa nadomestijo krtače ob zgornjem paru valjev s skodelicami, kamor od časa do časa dolivajo stalen kositer; za še debelejšje prevleke pa opremijo tudi srednji par valjev s skodelicami.

Krtače so napravljene v obliki sendviča, ki ga sestavljajo zaporedne plasti

azbesta, ojačenega z jekleno žico
hladno valjanega traku
in milnega kamna (Soap stone)

Vse te plasti so močno stisnjene in povezane v ohišje. Krtača se dotika vsakega valja po njegovi tvornici pod točno določenim kotom. Ko se sendvič, debeline približno 10 cm in širok približno 12 cm, izrabi do polovice, se namesti novega.

Stroji na opisani napravi nimajo teh krtač, zgornji par valjev pa imajo opremljen s skodelicami (shema sl. 3).

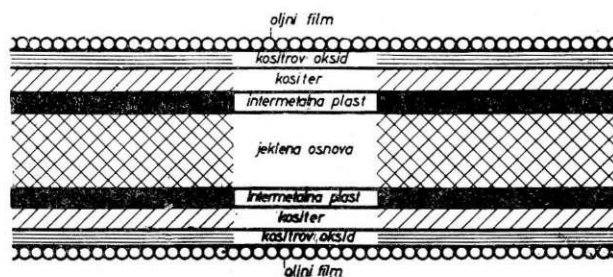
Pokositren trak izhaja iz zadnjega para valjev in zaradi akumulirane toplote dopušča bohotno kristalizacijo kositra. Ponekod trak takoj ob izstopu energično hladijo z zrakom, da zavrejo razraščanje kristalov, na opisani napravi pa s pihanjem zraka ustvarjamo dinamični tlak, da ne more olje v zev zadnjega para valjev.

Palmovo olje ima v procesu termičnega pokositrenja zelo pomembno vlogo. Ker vsebuje mastne kisline, čisti odhajajoč trak, odstranjuje kositrove okside in ščiti talino kositra v peči pred atmosfero.

Kositer se strjuje pod tanko plastjo olja in ohrani svojo lepo belo barvo. Ob takih pogojih sicer nastopa tvorba lahkega oksidnega filma, ki pa je tako tenak, da ne vpliva na izgled površine bele pločevine.

Ce je temperatura olja previsoka, postane oksidacija močnejša in pločevina dobi viden rumenkast nadah. Od olja zahtevamo, da lepo odteka, kar je odvisno od njegove viskoznosti. Merilo za viskoznost olja je vsebovanje mastnih kislin, ki s staranjem olja na temperaturi narašča. Novo olje ima kislinsko število približno 2,5, optimalni delovni pogoji pa nastopajo, ko doseže kislinsko število 7 do 9. Proti koncu kampanje naraste kislinsko število na 12 do 25, kar je znak, da je treba del olja nadomestiti z novim (kislinsko število je poraba 0,1 n KOH v ml za nevtralizacijo enega ml palmovega olja). Če olje ne odteka pravilno s traku, napravi v sloju kositra žlebove kot hroudournik v prod in pločevina dela velike težave na predelovalnih avtomatih in litografskih strojih. Dames delajo v ZDA poizkuse, da bi palmovo olje nadomestili z lojem. Rusi pa uporabljajo tudi olje bombažnega semena.

Metalografija bele pločevine: Če pogledamo prerez bele pločevine pod mikroskopom, lahko ugotovimo več plasti (shema sl. 4).



Slika 4

1. Oljna plast (debela 3×10^{-6} mm)
2. Kositrov oksid (debel 3×10^{-6} mm)
3. Cisti kositer (debel 3×10^{-3} mm)
4. Legirana plast (intermetalna plast, debela 3×10^{-4} mm)
5. Jeklena osnova (debela 3×10^{-1} mm)

Vsaka od navedenih plasti ima svoj vpliv na uporabo bele pločevine za določene namene.

Ce je oljni film predebel ali neenakomerno razdeljen po plošči, nastopajo težave pri litografiji in verniranju bele pločevine. (Dames se 80 % bele pločevine vernira in litografira).

Pred vstopom v tiskarski stroj gre plošča bele pločevine skozi peč za sežiganje maščob, in če je teh preveč, ali če so neenakomerno porazdeljene, ostanejo na plošči rjavi madeži, ki spremenijo osnovni ton barve in povzročajo slabo adhezijo, lak se zato lahko lušči.

Ce na plošči ni oljne plasti (elektrolitsko pločevino namaščujemo), jo avtomati slabo prijemajo in površina je monogo manj zaščitena proti razenju in poškodbam pri izdelavi.

Zelo tanka plast kositrovega oksida se tvori ob izhodu iz stroja za pokositrenje, zaradi difuzije kisika skozi oljno plast in se v dobi skladiščenja povečuje v odvisnosti od pogojev, katerim je izpostavljena bela pločevina (topel vlažen zrak). Premočan sloj oksida, podobno kot olje, slabo vpliva na adhezijo lakov in na proces spajkanja. Mnenja o zaščitnem delovanju oksidnega filma so deljena, vendar pa umetno dosežejo oksidne filme, ki zelo izboljšajo antikorozivne lastnosti konzerve. Oksidne filme dobijo s kemično oksidacijo ali z anodno obdelavo bele pločevine.

Plast čistega kositra je debeljša od plasti kositrovega oksida. Navadno izražamo debelino kositrove prevleke v gr/m² ali v pounds/basis box. Prevleke se gibljejo med 22 in 35 gr/m², kar znaša približno 0,003 mm.

Težo prevleke navadno ugotavljamo kemično z raztapljanjem kositrove prevleke v HCl pod redukcijskimi pogoji in s titriranjem z jodovo raztopino iz dvovalentne

oblike kositrovega jona v štirivalentno. Za raztapljanje kositrove prevleke uporabljajo danes elektrolitske metode, katerim sledi klasična titracija.

Pri elektrolitski beli pločevini so tolerance v teži prevleke mnogo ožje od tolerance pri termičnem postopku in znašajo 10% povprečne teže prevleke. Možnost regulacije prevleke pri elektrolitskih postopkih je izvedena s spreminjanjem jakosti električnega toka ali s spreminjanjem oddaljenosti traku od elektrod.

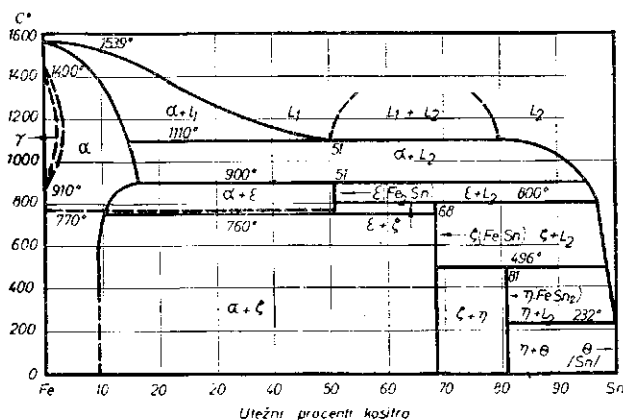
Z jedkanjem ali z opazovanjem kositrove prevleke v polarizirani svetlobi lahko odkrijemo kristalno strukturo kositrove prevleke. Velikost kristalov je odvisna od hitrosti hlajenja. Počasno hlajenje daje velike kristale, medtem ko so kristali na elektrolitski pločevini zelo drobnji, ker so nastali tako, da so nataljeno kositrovo prevleko hitro ohladili z mrzlo vodo. Velikost kristalov ne vpliva na kvaliteto bele pločevine.

Tudi če je kositrova prevleka zelo debela, ni enovita, ampak vsebuje pore, ki lahko segajo do jeklene osnove ali samo do intermetalne plasti. Pore so bile deležne velike pozornosti pri ocenjevanju bele pločevine, danes pa na zahodu temu ne posvečajo več posebne pozornosti in bele pločevine ne preiskujejo na poroznost.

W. E. Hoare navaja, da znaša povprečna ploščina por na 1 m² bele pločevine približno 0,7 mm². V Sovjetski zvezi pa v nasprotju s tem navajajo preiskave na poroznost bele pločevine kot standardne.

Legiran palast (intermetalna plast). Če prideta v dotik čista jeklena površina in raztaljen kositer, se legirata in se tvori plast intermetalne spojine Fe-Sn. Ta plast je zelo tanka in znaša približno 3×10^{-4} mm. Ugotovili so, da je ta spojina FeSn₂. Debelina te plasti je odvisna od časa reagiranja Fe in Sn in od temperature obeh kovin.

Fazni diagram FeSn (slika 5) kaže, da obstajajo med Fe in Sn vsaj 3 spojine.



Slika 5

Fe₂Sn se imenuje ε faza in je stabilna med 760 in 900°C. Pri prebitnem Sn pa reagira in tvori spojino FeSn ali ζ fazo.

FeSn ali ζ faza je obstojna pri temperaturah pod 800°C – ob prisotnosti Sn pa preide v FeSn₂ ali η fazo pri 496°C.

FeSn₂ ali η faza je obstojna pod 496°C, ne reagira s Sn, da bi tvorila višje intermetalne spojine, vsebuje 81% Sn in 19% Fe (v tem območju se giblje tudi trdi kositer, ki se tvori v kopeli) in je krhka, saj znaša raztezek le 3%. Termično pokositrenje poteka pod 496°C in je možno, da sta prisotni obe fazi η (FeSn₂) in ε (FeSn). Študije odklona rentgenskih žarkov in kemične analize kažejo, da je legirana plast sestavljena v glavnem iz intermetalne spojine FeSn₂.

Debelino legirane plasti lahko ugotovimo tako, da zaporedno odstranimo plast kositra in legirane plasti s kemičnimi topili, z magnetnim testom ali pa z metalografskim brusom, ki je napravljen skozi prerez vseh plasti bele pločevine.

Pomen različnih debelin legirane plasti bele pločevine za kvaliteto bele pločevine še ni znan.

Če primerjamo mehanske lastnosti dveh sosednjih plasti, to je čistega kositra in legirane plasti, lahko ugotovimo velike razlike predvsem v razteznosti. Razteznost čistega kositra znaša 55 oziroma 86%, medtem ko znaša raztezek legirnega sloja le 3%. Pri upogibanju legirani sloj poka, vendar te razpoke ne pridejo na površino, če jih prekriva dovolj debela plast duktilnega kositra.

Pri debelih plasteh legiranega sloja pa kositer ne more premostiti nastalih razpok in so lahko usodne. Iz tega je razvidno, da čas zadrževanja hladno valjanega traku v kositrovi kopeli lahko vpliva na kvaliteto bele pločevine, ne samo v odnosu na debelino prevleke čistega kositra, ampak tudi z rastočo debelino legirane plasti.

Delci FeSn₂, ki plavajo v kopeli, se nalepijo na plošče, ki gredo skozi kopel in delujejo kot tuji vključki v kositrovi prevleki. Pri kasnejšem poliranju in predelavi ti delci izpadajo in plast kositra ni več enotna.

Jeklena osnova daje glavne mehanske lastnosti beli pločevini in močno vpliva na njeno končno korozijsko odpornost. Pri nas se jekleni trakovi po zadnjem žarjenju ojačujejo in glede na mehanske lastnosti izdelujemo samo eno kvaliteto bele pločevine. Pri ojačevanju se prerez traku reducira za 3 do 5% v enem odvzemu.

Pestrost te zadnje faze predelave je glede na zahtevane mehanske lastnosti jeklene osnove (in tudi bele pločevine) in kvalitete površine hladno valjanega traku v industrijsko razvitih deželah zelo velika. Če zahtevajo končno redukcijo prereza nad 1,5%, delajo to z dvema odvzemoma. Za doseg prvo vrstne površine uporabljajo na ogradju za predzadnji odvzem valje brez leska z grobo površino, v zadnjem ogradju pa valje s površino, ki je temno polirana.

S proizvodnjo bele pločevine lahko začne neka dežela takrat, kadar je za ta občutljivi izdelek moderne predelovalne industrije sposobna napraviti hladno valjan trak z neoporečno površino. Za doseg take površine pa je treba posebne zahteve postaviti vsaj toplemu valjanju, luženju, hladnemu valjanju in žarjenju.

V naslednjem navajam ameriško klasifikacijo bele pločevine po težah nanesenega kositra. (Base box je 112 plošč 355,6 × 508 mm s površino 29,23 m², pound je 0,454 kg).

Oznaka	Sn v pound/base box	Sn v gr/m ²
Common Cokes	0,85	19,0
Standard Cokes	1,05	23,5
Best Cokes	1,19	26,7
Kanners Special Cokes	1,47	31,4
1 A Charcoal	1,80	40,3
2 A Charcoal	2,30	51,5
3 A Charcoal	2,80	62,7
4 A Charcoal	3,50	78,4
5 A Charcoal	4,20	94,0
Premier Charcoal	4,90	110,0

Elektrolitsko izdelana bela pločevina pa ima tanjša prevleke, ki navadno padejo v naslednja območja 6, 12 in 18 gr Sn/m².

Teža prevleke, ki jo dobimo na določenem delu poljubne ploskve, odstopa od navedenih vrednosti do 5 gr/m². Odstopanja, ki jih dobimo na isti plošči, izdelani na suhi način, pa znašajo tudi do 25 gr/m².

Pri navedenih kvalitetah raste s težo prevleke tudi s'jaj in odpornost proti koroziji.

V posebne dekorativne namene uporabljajo »srebrno belo pločevino«, ki ima motno površino z zelo bogato prevleko. To kvaliteto izdelujejo tako, da napravijo zadnji odvzem hladno valjanega traku na valjih, ki niso gladko obrušeni, ampak imajo rahlo motno površino. Plast kositra, ki prevleče trak pri procesu termičnega pokositrenja, je zato zelo debela in motna.

Bela pločevina se v ZDA sortira v štiri razrede.

1. Prima
2. Sekunda
3. Tercia
4. Odpadek

1. Prima so plošče, ki nimajo napak, ki bi jih mogli opaziti s prostim očesom.

2. Sekunda ima napake v zmerni obliki in obsegu.

3. Tercia so plošče, ki imajo napake v takem obsegu, da se s ponovnim pokositrenjem lahko spremenijo v prvo ali sekundo.

4. Odpadek pa so plošče, ki jih ne moremo več spremeniti v prvo ali sekundo.

Jeseniška železarna je začela s proizvodnjo bele pločevine v letu 1959 in je v letu 1960 izdelala 968 ton tega produkta. V letu 1962 bo dosegla produkcijo 6000 ton in bo s tem lahko krila le zahteve po najbolj korozivno odporni beli pločevini za živilsko industrijo v Jugoslaviji. Zavedati se moramo, da se je jeseniška železarna s tem spu-

stila v boj z inozemskimi konkurenti, ki so do sedaj zaлагali naše tovarne embalaže s svojimi izdelki. Vsa naša produkcija bele pločevine je bila že porabljena za svoje namene in upamo, da bodo kmalu odstranjene zadnje težave in bodo kupci dobili toliko bele pločevine, kot si je želijo in bo le-ta zadovoljila mednarodne tehnične norme.

Literatura:

J. M. Camp and C. B. Francis: The making, shaping and treating of Steel. (United States Steel Comp. Pittsburgh 1951)

W. E. Hoare: The Technology of Tinplate Manufacture (Publication No 277)

A. I. Vitkin: Belaja Zest (Metalurgizdat Moskva 1951).

Ing. Janko Mede

DK 621.873

Osnutek tipizacije žerjavov v Železarni Jesenice

Težnje po cenejšem vzdrževanju žerjavov, z ozirom na perspektivno gradnjo Železarne Jesenice, kakor tudi v zvezi z zamenjavo starih žerjavov, nujno zahtevajo tipizacijo teh transportnih naprav. V Železarni Jesenice obratuje trenutno 114 žerjavov na električni pogon ter okoli 50 mačkov tipa »Demag« in žerjavov na ročni pogon. Od teh žerjavov je le malo med seboj enakih ali podobnih. Letnice izdelave teh žerjavov, kakor tudi firme, ki so jih izdelale, so zelo različne. Tako imamo v žičarni predelovalnih obratov 12 enakih žerjavov, izdelanih v »Metalni« v Mariboru z »Lama« mačkom iz leta 1953, v obratu visoka peč 3 enake žerjave »Simmering« iz leta 1937 in 1941, v livni lopi martinarne pa tudi 3 enake žerjave »Simmering« z letnico 1937. V valjarnah imamo le v obratu valjarne 2400 5 enakih žerjavov »Železarne Jesenice« z letnico 1949 in 1954. Sicer pa je le malo primerov še, da sta po dva enaka žerjava. To srečamo le še v žarilnici predelovalnih obratov, pri generatorjih na Javorniku in v profilni valjarni. Po letu 1945 je bilo izdelanih:

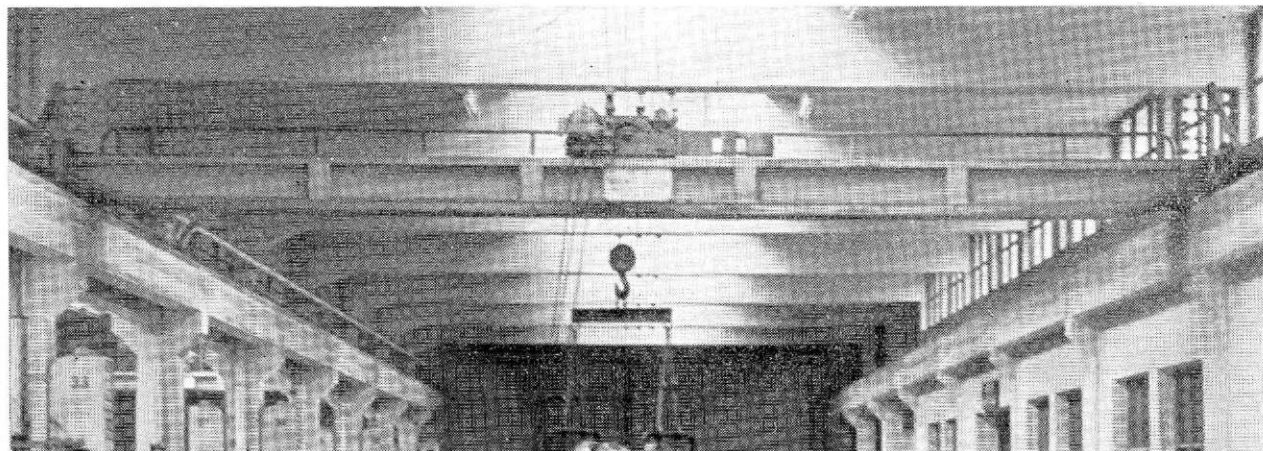
v topilnicah	14 žerjavov
v valjarnah	20 žerjavov
v predelovalnih obratih	23 žerjavov
v stroj. energ. obratu	3 žerjavi

Slika 1

Skupaj torej 60 »Žerjavov na električni pogon, vendar je precej od teh adaptiranih iz reparacij. Po grobi presoji lahko zaključimo, da je več kot polovica žerjavov na električni pogon v železarni starejših od 15 let. Obratuje pa še precej žerjavov, ki imajo letnico izdelave okoli leta 1900. V perspektivnem načrtu Železarne Jesenice pa je predvideno v topilnicah 6, v valjarnah 7, v predelovalnih obratih 10 in v strojno energetskih obratih 8 novih žerjavov. Skupno torej 31 novih žerjavov. Tu seveda ni upoštevana zamenjava starih žerjavov iz prejšnje skupine, od katerih jih bo 20 treba nadomestiti z novimi.

Z drugimi besedami, do leta 1970 bo potrebno skupaj okoli 50 novih žerjavov na električni pogon, ne da bi upoštevali razne mačke tipa »Demag«, ki jih bomo morali nujno nabaviti zaradi mehanizacije in modernizacije proizvodnje.

Za tako število žerjavov je seveda nujno izvesti tipizacijo, zaradi manjših stroškov vzdrževanja, krajših zastojev v proizvodnji, manjšega števila rezervnih delov in verjetno tudi manjših stroškov nabave. To nas je privedlo do tega, da smo izdelali predlog za tipizacijo žerjavov, ki ga naj bi upoštevala »Komisija za koordinacijo projektovanja« pri »Udruženju jugoslovenskih železara«, ki je v svojem dopisu z dne 25. novembra 1960 057/RP-306 že sama nakazala to potrebo.



Predlog za tipizacijo

V tipizirani vrsti bi bili zajeti naslednji žerjavi:

A. 3,2 tonski žerjavi v predelovalnih obratih, izdelek »Metalne« iz Maribora z mačkom »Lama«; teh že imamo 12, naročeni pa so še trije. Ti žerjavi bodo predstavljali tipizirano vrsto za sebe, pri naročanju novih pa bi od »Metalne« zahtevali le tiste spremembe, ki jih je na teh žerjavih izvedel žerjavni oddelek.

B. Žerjavi z nosilnostjo do 6 t, ki so vodeni s tal z visečim stikalom in ki nimajo posebnih zahtev za obešanje bremena.

C. Žerjavi od 5 do 50 t s kabino na mostu ali mačku s posebnim ali brez posebnega obešanja bremena.

Za žerjave večje nosilnosti tipizacija ne bi bila nujna, zaradi majhnega števila teh žerjavov, ki opravljajo v železarni običajno tudi specifično funkcijo, n. pr. livni žerjavi. Prav tako je brez pomena tipizacija žerjavov s specifičnimi funkcijami pod 50 t nosilnosti, ker so to v glavnem le enkratne izvedbe. Pri žerjavih z več dviznimi hitrostmi, kakor tudi pri žerjavih z dvema ali več nosilnimi kavliji, pa bi vsekakor upoštevali vse elemente tipizacije žerjavov do 50 ton nosilnosti.

B. Tipizacija žerjavov do 6 ton, ki so vodeni z visečim stikalom

I. Maček

Tipizirani so mački tipa VEDA tovarne »Vulkan« iz Reke, in sicer 5 velikosti s pripadajočim voznim pogonom. Ti mački tečejo po spodnji pasnici profila I 24, ugrajevali pa se bodo tudi kot stabilni vitli.

Tipi VEDA mačkov

Oznaka »Vulkan«	Nosilnost
1. VEDA 2—0,5/4	0,5 t
2. VEDA 2—1/4	1 t
3. VEDA 2—2/4	2 t
4. VEDA 3—4,5/4	4,5 t
5. VEDA 3—6/4	6 t

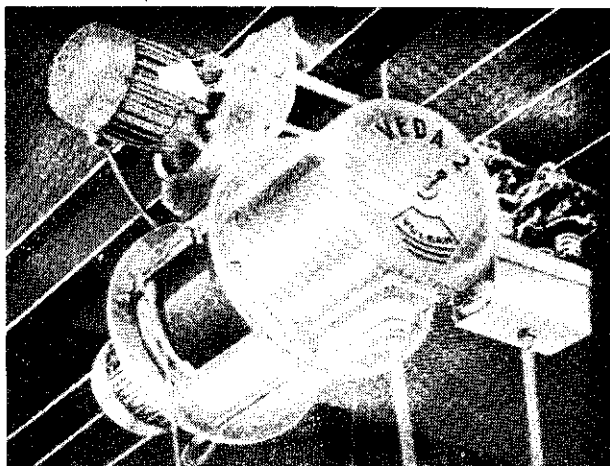
Vozna pogona za mačke

Oznaka »Vulkan«	Nosilnost
1. EMA — 3 — 6-K	3 t
2. EMA — 6 — 6-K	6 t

Odvzem toka z mostu bo izveden s kablom.

II. Žerjavni most

Hitrost vožnje bo samo 1, in sicer $v_2 = 63$ m na minuto. Vsi ležaji voznega pogona naj bi bili kotalni. Vozni pogon bo izveden z elektromotorjem, sklopko, zavoro, reduktorjem, transmisijsko gredjo in direktnim pogonom tekalnega kolesa z vodik-



Slika 2

nim vencem. Vsi navedeni deli se bodo izbrali iz tipizirane vrste za žerjave z nosilnostjo 5 do 50 t, uporabil pa se bo samo 1 tip končnega stikala, odjemalca toka in odbijača.

C. Žerjav nosilnosti 5 do 50 ton z ali brez posebne zahteve po obešanju bremena

I. Maček

- Nosilnost: 5, 8, 12,5, 20, 32 in 50 t
- Hitrost dviga:
 - Montažna oziroma livna $v = 3,2$ m/min za nosilnosti 12,5, 20, 32 in 50 t
 - $v = 8$ m/min za nosilnosti 32 in 50 t
 - $v = 12,5$ m/min za nosilnosti 12,5 in 20 t
 - $v = 20$ m/min za nosilnosti 5 in 8 t

3. Hitrost vožnje

- montažna oziroma livna $v = 25$ m/min
- $v = 50$ m/min

4. Višina dviga

- $h = 10$ m
- $h = 20$ m

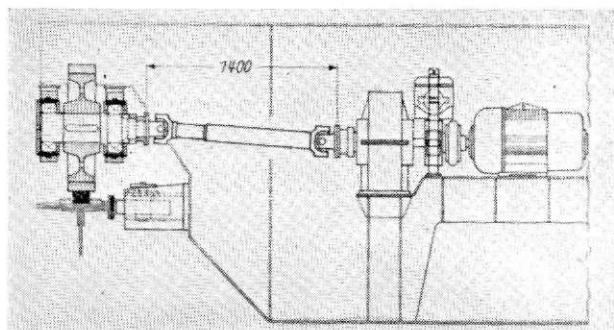
5. Občšenje bremena

- 4 kratno za nosilnosti 5 do 12,5 t
- 8 kratno za nosilnosti 20 do 50 t

6. Za dvizni pogon bodo tipizirane žične vrvi, škripčevniki, izravnalne kolute, vrvni bobni, verižna kolesa za prenos na mejno stikalo, mejna stikala (Železarna Jesenice), elektromotorji (»Rade Končar«), reduktorji, sklopke z zavornimi koluti in zavore.

7. Poleg tega bodo konstrukcijsko tipizirani vsi pripadajoči ležaji. Vsi ležaji, tako v škripčevniku

kakor tudi v bobnu in reduktorju, bodo kotalni. Prav tako bi bilo treba konstrukcijsko tipizirati detajle mačka oziroma njegovega pogona, kot so n. pr. vijaki, tesilni obroči itd.



Slika 3

8. Za vozni pogon mačka bo tipizirano tekalno kolo, elektro-motor (»Rade Končar«), reduktor, sklopka z zavornim kolutom, zavora EM 200 (Lito-stroj), prenos iz reduktorja na tekalno kolo (kardanska gred), končno stikalo (»Rade Končar«) in odvzem toka za maček (verižni kabel).

9. Tudi pri mostnem voznom pogonu naj bi se izvedla konstrukcijska tipizacija za detajle pogona, kot so kotalni ležaji, vijaki, tesnilni obroči itd.

10. Tirnice bodo, prav tako kakor tekalna kolesa, tipizirane skupno za vozni pogon mačka in za vozni pogon mostu. Izdelane bodo iz valjanega kvadratnega profila 60, 80 in 100.

11. Izvedba voznega pogona se bo od običajne razlikovala v tem, da bo iz reduktorja neposreden prenos na os tekalnega kolesa, ki bi bila kotalno uležajčena. Vrtilni moment bo iz reduktorja na os tekalnega kolesa prenašala kardanska gred in bodo s tem odpadli dodatni ležaji in zadnja prestava na tekalno kolo.

Tekalno kolo bi bilo izdelano tako, da bi imelo nasajeno vodilni venec, ki bi se lahko po obrabi menjal (slika 3). Odvzem toka za maček bo izveden s pomočjo verižnega kabla, kar je enostavneje in bolj varno kot s pomočjo odjemalca toka (slika 4).

II. Most

1. Tipizirane hitrosti vožnje mostu so naslednje: $v = 80, 100$ in 125 m/min v odvisnosti od nosilnosti in razpetine žerjava.

Hitrosti so bile, prav tako kakor pri mačku, izbrane nekoliko višje.

2. Razpetine ne bi bilo mogoče tipizirati na obstoječe žerjavne proge, medtem ko bi jih bilo možno tipizirati za nove hale ozir. žerjavne proge.

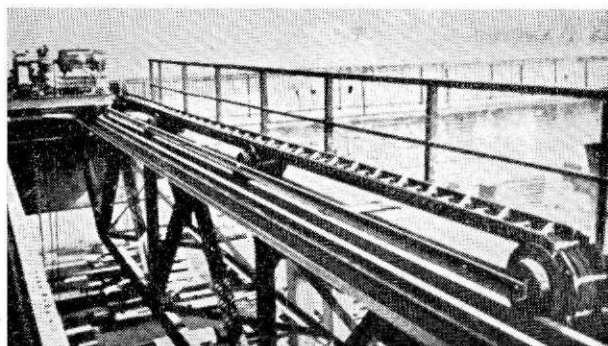
3. Jeklne konstrukcije mostu bodo imele tipizirano obliko z glavnimi nosilci škatlatega profila.

4. Tirnice žerjavne proge predstavljajo isto tipizirano vrsto kot pri tirnicah mačkove proge: 60, 80 in 100.

5. Za vozni pogon je izbrana tipizacija tekalnih koles, elektromotorjev (»Rade Končar«), reduktorjev, sklopka z zavornimi koluti, zavor, prenosov iz reduktorja na tekalna kolesa (kardanske gredi), odjemalcev toka (Železarna Jesenice) in končno za stikala (»Rade Končar«). Tipizacija tekalnih koles, kardanskih gredi, sklopka z zavornimi koluti, zavor in končnih stikal je rešena skupno s pogonom mačka. Isto velja tudi za elektromotorje in deloma za reduktorje.

6. Konstrukcijska tipizacija detajlov (ležajev, vijakov, itd.) se bo prav tako izvedla kompleksno za vso tipizirano vrsto žerjavov, torej skupno z upoštevanjem pogona za mačka.

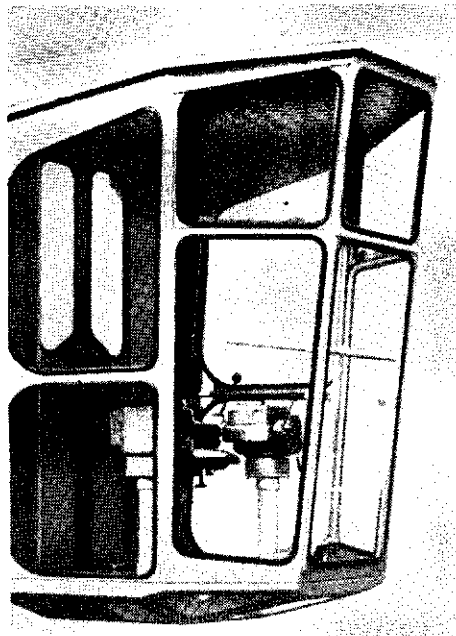
7. Most bo imel, kot že omenjeno, nosilce škatlatega profila, čelni nosilec pa bo za vse nosilnosti na dveh tekalnih kolesih. Vsako tekalno kolo ima lasten pogon. Gnani sta dve ali štiri tekalna kolesa. S tem načinom pogona, z dvema ali štirimi elektromotorji, povezanimi z električno osjo, se občutno zmanjša število delov celotnega voznega pogona žerjavnega mostu, kar je odločilnega pomena za vzdrževanje. Tekalno kolo ima nasajen neprofili-ran venec, katerega je možno po obrabi menjati in torej ne vrši funkcije vodenja žerjava. To funkcijo prevzamejo posebni vodilni koluti, ki se kotalijo po tirnici iz ploščatega železa na notranji strani nosilca žerjavne proge. Ta izvedba ima prednost glede porabe energije za vožnjo žerjava, kakor tudi glede obrabe profila vodilnega venca tekalnih koles in obrabe tirnice. Z opisano izvedbo bodo vse te negativne posledice — katerih vzrok so neravne žerjavne proge, ki se v praksi nujno pojavljajo — odpadle. Vrtenje se bo prav tako kakor pri mačku prenašalo iz reduktorja preko kardanske gredi na os tekalnega kolesa, ki je uležajčena na kotalnih ležajih (slika 3).



Slika 4

Žerjavna kabina:

1. Izdelali se bodo štirje tipi žerjavskih kabin, in sicer dva tipa zaprtih in dva tipa odprtih kabin. En tip zaprtih kabin bo narejen za grobe obrate (n. pr. žerjavi na prostem, jeklarna, visoka peč). Drugi tip pa za obrate delavniškega značaja (predelovalni obrati, vzdrževalni obrati). Prvi težki tip zaprte kabine naj bi bil opremljen s klimatsko



Slika 5

napravo (na sliki 5 lahki tip zaprte kabine). Prav tako bi izdelali lahki in težki tip odprte kabine.

2. Žerjav bi se upravljal s pomočjo varovalnega krmiljenja. Ta način upravljanja je zelo enostaven in za žerjavovodja najbolj primeren.

Povzetek

V tem osnutku so obravnavani samo žerjavi z eno nosilnostjo (enim kavljem), ker so le-ti za nas najbolj prikladni. Prav tako ni upoštevana možnost dveh hitrosti

Ing. Jože Kramar

dviga za eno nosilnost z diferencialnim pogonom. Vse to spada v nadaljnjo obdelavo tipizacije žerjavov. Poleg tega bo potrebna še bolj detajlna obdelava jeklene konstrukcije. Tudi gabaritne ter kaveljne mere pri žerjavih niso obravnavane, ker bomo pri gradnji novih žerjavov prog upoštevali tipizirane mere dobavitelja žerjavov. Pri novih žerjavih, na obstoječih žerjavovih progah, pa bomo glede teh mer vsekakor postavili, kolikor bodo potrebne, posebne zahteve.

Predlog tipizacije žerjavov v Železarni Jesenice je bil izdelan glede na trenutne možnosti domače industrije, z upoštevanjem izkušenj železarne in na osnovi podatkov inozemske in domače literature. Naše zahteve se v nekaterih elementih ne bodo ujemale s tipizacijo v podjetjih kot na primer v »Litostroju« in »Metalni« v Mariboru. Največja razlika je v principu voznega pogona, vendar upamo, da bomo tudi v tem primeru lahko našli, tako proizvajalci kakor potrošniki, skupno rešitev. Predpostavljamo, da ne bi bil problem, da se konstrukcijsko obdela pri enem izmed prej navedenih podjetij tipizacija žerjavov za Železarno Jesenice. V tem primeru bi bil to, z manjšimi spremembami, tudi del njihove tipizirane vrste žerjavov, če bi to podjetje v 10 letih izdelalo za nas okoli 50 žerjavov.

Ker se prav zdaj začne tudi delo pri jugoslovanskih standardih za žerjave, je bil to tudi naš prvi predlog komisiji za izdelavo standarda. S tem v zvezi bi bilo prav gotovo potrebno tesno sodelovanje med proizvajalci in potrošniki teh transportnih naprav.

Železarna Jesenice je že v letu 1960 naročila 6 žerjavov, ki bodo tipizirani. Zato je nemogoče čakati na delo komisije za standardizacijo žerjavov, ki bo trajalo več let. Omenjeni sporazum med producentom in potrošnikom je nujno potreben, obenem pa tudi že lahko predstavlja osnutek predloga za standardizacijo na tem področju.

Viri podatkov: Litostroj — Ljubljana. Metalna — Maribor, Vulkan — Reka, Rade Končar — Zagreb, Siemens — Schuckert, Demag, Kabelschlepp Malmédie, Železarna Jesenice.

Literatura: Stahl im Hochbau, Winden und Krane, Die Hebezeuge, Stahl und Eisen, Fördern und Heben.

DK 621.365.2

Delovanje električne peči na tokovni lok

Električne peči na tokovni lok služijo v železarnah za pridobivanje kvalitetnega jekla iz starega železa, za pridobivanje surovega železa iz železovih rud, za proizvodnjo železnih legur in tudi za topljenje barvnih kovin. Zaradi velikih električnih moči, ki jih zahtevajo te peči, (tudi preko 20 MVA) je izbira režima delovanja zelo zahtevna. Iz segrevalnih procesov nam je poznano, da bo izguba toplote tem manjša, kolikor hitreje bomo neko telo segreli. Pri skrajšanem segrevalnem času pa je potrebno dovajati večjo moč.

Nepravilno upravljan proces taljenja v električnih peči povečuje specifično potrošnjo električne energije (kWh/t), podaljšuje čas trajanja taljenja in slabša delovanje energetskega sistema.

Prednosti električnih peči pred drugimi so predvsem v enostavnosti delovanja in v kvaliteti dobavljenih produktov. Razen tega imajo pa še naslednje dobre strani:

a) Enostavno proizvodnjo toplote. Električna energija se dovaja v peč s pomočjo elektrod in se pretvori v toploto na mestu porabe.

b) Dovod energije se lahko regulira, tako da dosežemo poljubno temperaturo taline v poljubnem času.

c) S tokovnim lokom se ne dovajajo v talino nobene tuje snovi, ki bi ji škodovala pri kemični reakciji.

d) Električne peči se zelo dobro prilagajajo metalurškim zahtevam in napravam.

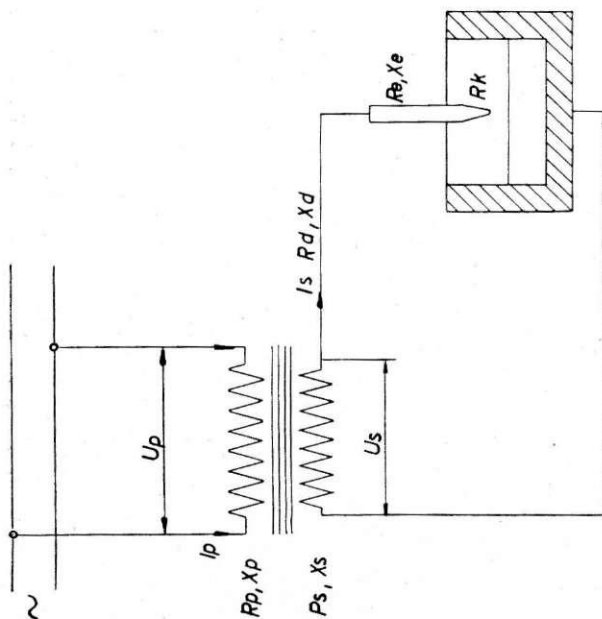
Za ugotavljanje pravičnega delovanja električne peči na tokovni lok moramo poznati obratovalne karakteristike celotne naprave, tako z elektrotehniškega kot z metalurškega gledišča. Vse skupaj pa moramo gledati tudi z gospodarskega stališča.

Pričujoči članek ima namen opisati proces v električni peči na tokovni lok z elektrotehniško-gospodarskega stališča. Možno pa je dobiti tudi zaključke za pravilno metalurško upravljanje električne peči.

Elektrotehnika uporablja za ugotavljanje obnašanja neke električne naprave nadomestne vezave električnih tokokrogov. Običajno nastopajo v teh tokokrogih naslednji elementi: upornost, induktiv-

nost, kapacitivnost, odvodnost, pritisnjena in inducirana napetost, padec napetosti ter tok. Reševanje nadomestnih električnih vezav pa nam običajno ne dela nikakih težav.

Nadomestno vezavo električne peči na tokovni lok vzamemo po sliki 1, ki nam predstavlja enofazno peč. Običajno električne peči napajamo s trofaznim tokom, kar naj nas pa ne moti pri ugotavljanju delovanja.



Slika 1

Iz slike 2 so razvidne bistvene upornosti, ki nastopajo v tokokrogu električne peči. Pomen oznak je naslednji:

R_p — ohmska upornost primarnega navitja transformatorja

R_s — ohmska upornost sekundarnega navitja transformatorja

R_d — ohmska upornost dovoda in odvoda

R_e — ohmska upornost elektrode

R_k — ohmska upornost tokovega loka

X_p — induktivna upornost primarnega navitja transformatorja

X_s — induktivna upornost sekundarnega navitja transformatorja

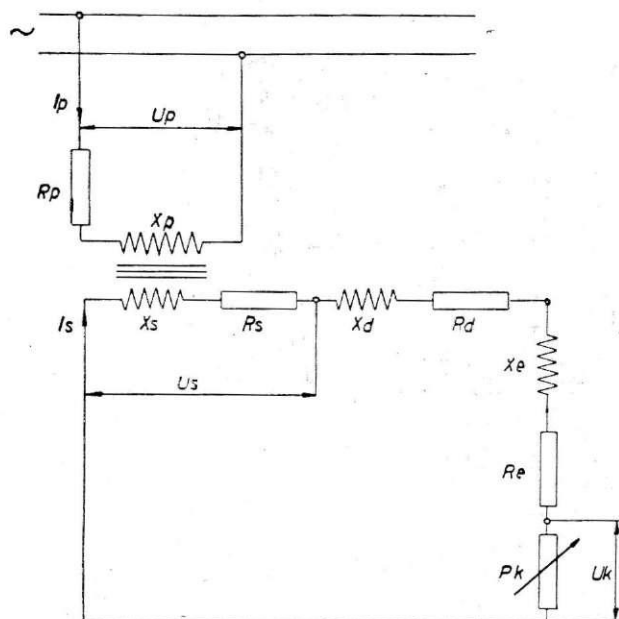
X_d — induktivna upornost dovoda

X_e — induktivna upornost elektrode

Ohmske upornosti R_p , R_s , R_d in R_e so za proces taljenja nekoristne in jih označujemo z R_n . Na njih se spreminja del dovedene električne energije v nekoristno toploto.

Upornost tokovnega loka R_k se spreminja z razdaljo elektrod od taline v peči in je edina koristna upornost v tokokrogu. Tu se spreminja pretežni del električne energije v tališno toploto.

Induktivne upornosti X so spremljevalke izmeničnega toka. Na njih se ne troši delovna, ampak



Slika 2

jalova energija, ki se spreminja v elektromagnetna polja. Jalova energija niha od izvora k potrošniku in obratno ter po nepotrebnem dodatno obremenjuje dovode in transformator.

Ohmske in induktivne upornosti, razen upornosti R_k so odvisne od snovnih in geometrijskih razmer posameznih elementov vezave in so za neko napravo ter za določeno napetost nespremenljive, torej neodvisne od obremenitve (toka).

Vse upornosti pa se ne nahajajo v tokokrogu z isto napetostjo, del jih je na primarni, del pa na sekundarni strani transformatorja. Transformator smo pa vstavili v tokokrog zato, ker tokovni lok potrebuje za gorenje le nizko napetost U_k , (do 250 V, odvisno od velikosti peči). Zaradi manjših prenosnih izgub pri višji napetosti (manjši tok) pa je ugodnejša za dovod visoka napetost.

Nadomestno vezavo za električno peč skupno s transformatorjem želimo čimbolj poenostaviti, zato preračunamo vse upornosti na dogovorjeno napetost. Običajno vzamemo primarno napetost U_p , ki je ugodna zaradi tega, ker imamo tam nameščene vse merilne instrumente, ta napetost bi bila pa lahko poljubna.

Razmerje med primarno in sekundarno napetostjo pri transformatorju imenujemo prestavo transformatorja:

$$p = \frac{U_p}{U_s} \quad 1)$$

Pogoj za reduciranje neke upornosti od ene napetosti na drugo je, da se na upornosti troši enaka moč. To pa dobimo po naslednjih izvajanjih:

$$\frac{U_s^2}{R} = \frac{U_p^2}{R'} \quad 2 a)$$

$$\frac{U_s^2}{X} = \frac{U_p^2}{X'} \quad 2 b)$$

$$R' = \left(\frac{U_p}{U_s}\right)^2 \cdot R = p^2 \cdot R \quad 3 \text{ a)}$$

$$X' = \left(\frac{U_p}{U_s}\right)^2 \cdot X = p^2 \cdot X \quad 3 \text{ b)}$$

Upornosti prenesemo na drugo napetost tako, da jih pomnožimo s kvadratom prestave transformatorja.

Upornosti nadomestne vezave tokokroga električne peči, reduciranih na primarno napetost U_p sta po sliki 2.:

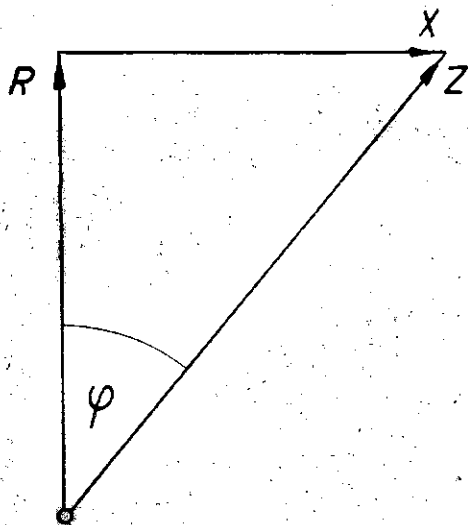
$$R = R_p + p^2 (R_s + R_d + R_e + R_k) \quad 4 \text{ a)}$$

$$X = X_p + p^2 (X_s + X_d + X_e) \quad 4 \text{ b)}$$

Nadomestno upornost, ki jo nudita upornost R in X primarni napetosti U_p , označujemo Z :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad 5)$$

To je navidezna upornost, katere sestava je razvidna iz vektorskega diagrama slike 3, kot tudi iz naslednjih razmerij:



Slika 3

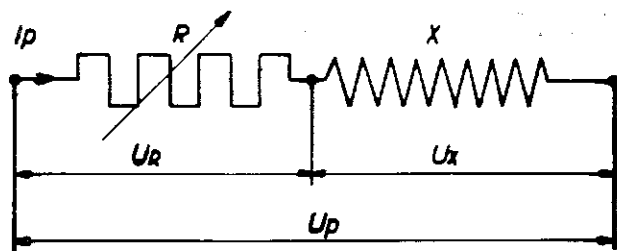
$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad 6)$$

$$\sin \varphi = \frac{X}{Z} \quad 7)$$

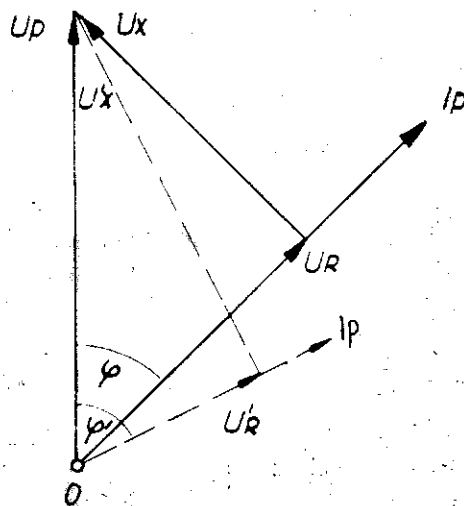
Primarna napetost U_p bo pognala skozi nadomestno navidezno upornost Z tok:

$$I_p = \frac{U_p}{Z} = \frac{U_p}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad 8)$$

Tok, ki teče skozi ohmsko in induktivno upornost povzroča ohmski in induktivni padec napetosti. Ta dva pa držita ravnotežje primarni napetosti U_p (sliki 4 in 5).



Slika 4



Slika 5

$$\text{Sledi, da je: } U_p^2 = I_p^2 R^2 + I_p^2 X^2 = U_R^2 + U_X^2 \quad 9)$$

Ohmski in induktivni padec napetosti se seštevata geometrično pod pravim kotom.

Izraza 6) in 7) je možno po sliki 5 pisati še v naslednji obliki:

$$\cos \varphi = \frac{U_R}{U_p} \quad 6 \text{ a)} \quad \sin \varphi = \frac{U_X}{U_p} \quad 7 \text{ a)}$$

Tudi izraz za tok 8) je možno pisati s pomočjo enačb 6) in 7) v naslednji obliki:

$$I_p = \frac{U_p}{Z} \cdot \frac{R}{R} = \frac{U_p}{R} \cos \varphi \quad 10)$$

$$I_p = \frac{U_p}{Z} \cdot \frac{X}{X} = \frac{U_p}{X} \sin \varphi \quad 11)$$

Uvesti moramo še nekatere poenostavitve v nadomestno vezavo tokokroga el. peči, ki ga predstavljata le še ohmska in induktivna upornost. Primarna napetost U_p naj se ne spreminja. Pri tej je tudi induktivna upornost X nespremenljiva. Ohmska upornost pa se sestoji iz koristne spremenljive upornosti tokovnega loka R_k in stalnih nekoristnih ohmskih upornosti, ki smo jih označili z R_n . Nekoristne ohmske upornosti R_n so proti spremenljivi ohmski upornosti R_k majhne, zato jih bomo v prvem primeru obravnave tokokroga zanemarili.

Tokovni lok povzročimo v peči na ta način, da z elektrodo staknemo tokokrog na kratko. Če predpostavljamo, da smo vse nespremenljive ohmske upornosti zanemarili, odpade v kratkem stiku tudi R_k . V tokokrogu imamo le induktivno upornost X . Na to vpliva primarna napetost U_p . Po enačbi 11) sledi tok:

$$I_p = I_k = \frac{U_p}{X} \quad (12)$$

Imenujemo ga kratkostični tok I_k . Po enačbi 7 a) je $\sin \varphi = 1$ in $\varphi = 90^\circ$. Tok I_k zaostaja za napetostjo U_p za 90° in je zavisen le od induktivne upornosti X . Tok je lahko zelo velik, če je induktivna upornost X majhna.

Prevelikega kratkostičnega toka I_k ne smemo dopuščati, ker bi preveč neugodno obremenjeval energetski sistem, dovod in transformator. Povzročal bi velike padce napetosti v omrežju.

Električne peči obratujejo v času topljenja zelo nemirno, s pogostimi kratkimi stiki. To zelo neugodno vpliva na šibkejša omrežja. V električni tokokrog vključujemo v času taljenja zaporedno s transformatorjem dušilko, ki s svojo induktivno upornostjo pomaga omejevati kratkostični tok. Ko se tokovni lok umiri, dušilko premostimo, ker nam slabša fazni faktor $\cos \varphi$.

V nadaljnjem obratovanju pride lahko do tega, da elektrodo toliko oddaljimo od taline, da tokovni lok ugasne. Upornost R_k naraste na neskončno vrednost. Tok I_p ne more teči.

Zanimiv primer za ocenjevanje električnih peči je še tedaj, ko je ohmska upornost R enaka induktivni upornosti X .

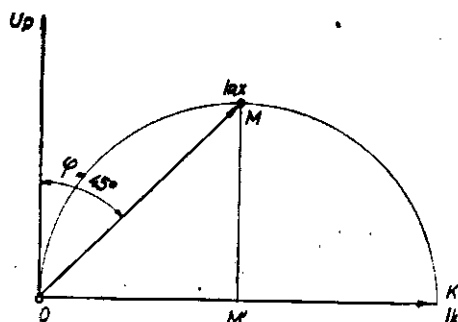
($R = X$). Enačbi 10) in 11) imata tedaj naslednjo obliko:

$$I_p = I_{kX} = \frac{U_p}{\sqrt{2} \cdot R} \quad (13)$$

$$I_p = I_{kX} = \frac{U_p}{\sqrt{2} \cdot X} \quad (14)$$

Tok I_{kX} v tem slučaju zaostaja za napetostjo U_p za $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ ali za kot $\varphi = 45^\circ$.

Vse tri ugotovitve lahko vnesemo v kazalčni diagram slike 6.



Slika 6

Tudi za druga razmerja spremenljive ohmske in stalne induktivne upornosti bi lahko določili toke. Ugotovili bi, da ležijo kazalci tokov na obodu kroga, ki ima za premer tok kratkega stika I_k .

Kazalčni diagram na sliki 6 imenujemo diagram električne peči na tokovni lok. Z njim so določeni toki, ki nastopajo v tokokrogu električne peči.

Krožni diagram je torej kazalni diagram, kjer pomeni krog geometrijsko mesto kazalcev toka za razna razmerja ohmske in induktivne upornosti v tokokrogu električne peči.

MOČ ELEKTRIČNE PEČI

Električna peč na tokovni lok prejema iz omrežja delovno moč:

$$P = U_p \cdot I_p \cdot \cos \varphi \quad (15)$$

Z upoštevanjem enačb 10) 11) dobimo naslednja izraza

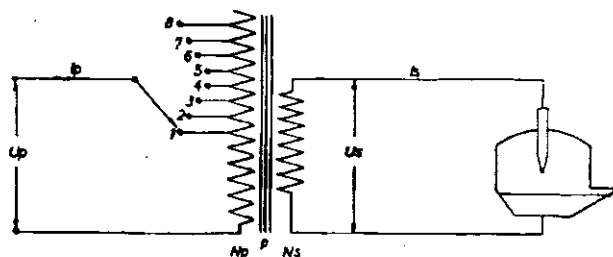
$$P = U_p \frac{U_p}{R} \cos \varphi \cdot \cos \varphi = \frac{U_p^2}{R} \cdot \cos^2 \varphi \quad (16)$$

$$P = U_p \frac{U_p}{X} \sin \varphi \cdot \cos \varphi = \frac{U_p^2}{2X} \cdot \sin 2\varphi \quad (17)$$

$$2 \sin \varphi \cdot \cos \varphi = \sin 2\varphi \quad (17 a)$$

Sedaj vidimo, da je delovna moč v električni peči odvisna od kvadrata primarne napetosti in od kvadrata $\cos \varphi$.

Primarno napetost U_p smo dobili zato, ker smo vse upornosti reducirali na to napetost. Napetosti U_p pa ne moremo spreminjati, ker je odvisna od omrežja. Spreminjamo lahko le sekundarno napetost U_s na ta način, da konstantno primarno napetost U_p (omrežno) priklopimo na večje ali manjše število primarnih ovojev transformatorja. Napetost reguliramo v obremenjenem stanju, zato je lažje preklapljati manjši primarni tok I_p kot pa velik sekundarni tok I_s .



Slika 7

Enačbo 1) lahko pišemo še v naslednji obliki:

$$P = \frac{U_p}{U_s} \cdot \frac{N_p}{N_s} \cdot I_s = I_p \quad (18)$$

$$U_s = \frac{U_p \cdot N_s}{N_p} = \frac{U_p}{p} \quad (19)$$

Iz enačbe 19) in slike 7 sledi, da se spreminja prestava p transformatorja in s tem sekundarna napetost transformatorja U_s .

Višjo sekundarno napetost U_s potrebuje peč v času taljenja, zato priklopimo primarno napetost U_p na manjše število primarnih navojev N_p . S tem dosežemo večjo moč v peči. Ko je železo raztaljeno (rafinacija), potrebujemo v peči manjšo moč, ki jo dobimo z manjšo sekundarno napetostjo U_s . Vkloniti moramo več primarnih ovojov N_p na transformatorju.

Običajno so transformatorji grajeni tako, da imajo več regulacijskih stopenj (8 in več). Sekundarne napetosti so običajno do 250 V, odvisno od velikosti peči. Sekundarni toki I_s pa znašajo glede na velikost naprav tudi preko 50.000 A.

Na moč električne peči vpliva tudi fazni faktor $\cos \varphi$. Ta naj bo čimboljši. Nanj vplivamo s pravilno dolžino tokovnega loka v peči oziroma s pravilnim razmerjem ohmske in induktivne upornosti električnega tokokroga.

Največja delovna moč, ki jo lahko električna peč prejme iz omrežja, je določena s pogoji enačbe 17), če jo odvajamo po kotu φ ter odvod izenačimo z O.

$$\frac{dP}{d\varphi} = \frac{U_p^2}{2X} = 2 \cos 2\varphi = 0 \quad (20)$$

Člen $\frac{U_p^2}{X}$ ima določeno vrednost. Zato je lahko vrednost 0, če je

$$\cos 2\varphi = 0 \quad (21)$$

$$2\varphi = 90^\circ \quad (21 \text{ a})$$

$$\varphi = 45^\circ \quad (21 \text{ b})$$

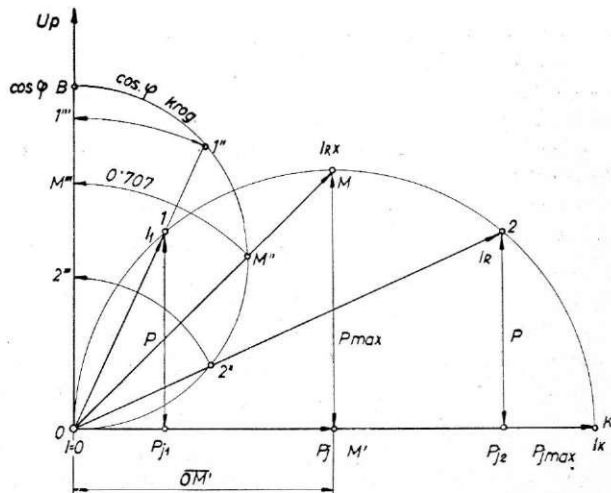
$$\text{in } P_{\max} = \frac{U_p^2}{2X} \quad (22)$$

Največjo delovno moč prejme električna peč tedaj, ko nastopa fazna razlika med tokom I_p in napetostjo U_p , $\cos \varphi = 0.707$, $\varphi = 45^\circ$. Iz prejšnjih izvajanj sledi, da je to takrat, ko je ohmska upornost enaka induktivni upornosti ($R = X$). Tedaj je tudi delovna moč, ki jo prejema peč, enaka jalovi moči.

$$P_j = U_p \cdot I_p \cdot \sin \varphi \quad (23)$$

Krožni diagram sl. 6 narišemo za primer v sl. 8 z vsemi dosedanjimi ugotovitvami.

Gospodarno obratovanje električne peči je v območju OM' . Razdalja MM' je sorazmerna največji moči $P_{\max}$, ki jo lahko vzame električna peč iz omrežja pri neki sekundarni napetosti U_s . Tok pri maksimalni moči je $I_{RX} \cdot \cos \varphi = 0.707$, $\varphi = 45^\circ$. Iz krožnega diagrama sl. 8 je razvidno, da je vsakokratna ordinata za določeno točko na krogu v sorazmerju z odvzeto močjo iz omrežja. Razvidno je tudi, da nima nobenega smisla obratovati s kotom φ , večjim od 45° . Za večji tok I_2 dobimo manjšo moč P iz omrežja. To moč pa dobimo tudi pri manjšem toku I_1 . Pri obratovanju s tokom I_2 se pojavljajo



Slika 8

v omrežju večji padci napetosti, večje izgube moči, slabši $\cos \varphi$ oziroma večje dobave jalove moči.

Velikost jalove moči P_{sl} lahko razberemo na abscisi za vsakokratno obratno stanje.

$\cos \varphi$ za vsakokratni obratni tok določimo tako, da okoli ordinate narišemo polkrog s premerom 100 mm, sečišče kroga pa z obratnim tokom zavrtimo nazaj do ordinate, kjer razberemo vrednost $\cos \varphi$.

Električne obločne peči obratujejo zelo nemirno, posebno v začetku. Težko je doseči idealne obratne pogoje, ker prihaja do pogostih kratkih stikov, to je v obratne točke preko območja OM' , ki niso zaželeni, zaradi navedenih slabih strani. Stremeti moramo za idealnimi obratnimi pogoji in tokovni lok regulirati tako, da ne prehajamo trajno preko gospodarne meje obratovanja.

Iz enačbe 12) sledi, da bo premer kroga krožnega diagrama tem večji, čim večja bo napetost. Z regulacijo napetosti dosežemo lahko različne toke in moči v peči. V enačbi nastopa tudi induktivna upornost X , ki pa je pri določeni napravi ne moremo spreminjati. Če pravilno delamo, vedno obratujemo s kotom φ , manjšim od 45° , $\cos \varphi > 0.707$.

Krožni diagram, ki ga imamo dejansko pri električni peči, je nekoliko drugačen. Ta upošteva upornosti, ki smo jih v začetku zanemarili, zaradi jasnosti fizikalne slike delovanja električne peči. V nadaljevanju bomo upoštevali še te.

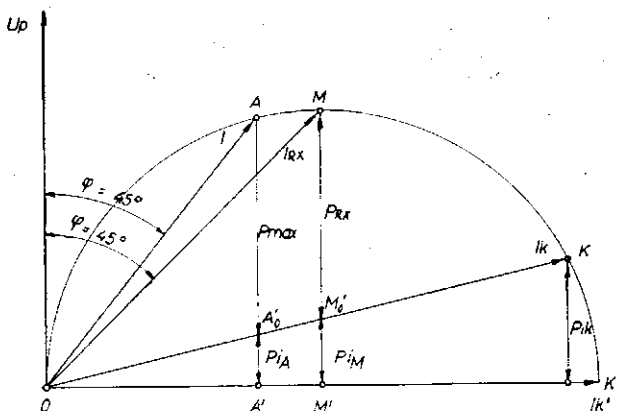
Zanemarili smo upornosti R_p , R_s , R_d in R_e , ki smo jih skupno označili z nekoristnimi upornostmi R_n . Praviloma moramo reducirati te upornosti na primarno napetost, ker opazujemo peč s strani te napetosti.

$$R_n = R_p + p^2 (R_s + R_d + R_e) \quad (24)$$

Zaradi prisotnosti teh nekoristnih ohmskih upornosti v tokokrogu električne peči tok v kratkem stiku I_k ne bo zaostajal več 90° za napetostjo U_p , ampak nekaj manj ($75-85^\circ$). Zaradi teh upornosti imamo že v tokokrogu izgube delovne moči

P_i . Moč, ki jo daje omrežje, se deli na koristno moč P_k in na izgubljenost P_i . Izgubljena moč P_i bo tem večja, čim večji tok bo tekel v tokokrogu električne peči. Ob kratkem stiku, ko je $R_k = 0$, ostane le še nekoristna upornost R_n . Vsa dovedena moč se troši na njej.

Iz krožnega diagrama slike 8 je razvidno, da je razdalja od obratne točke pravokotno na absciso sorazmerna prejeti moči iz omrežja. To tudi uporabimo v diagramu slike 9 s to razliko, da je vektor toka kratkega stika I_k razmejitev med izgubljeno močjo P_i in koristno močjo P_k . Krožni diagram slike 9 nam kaže, da največja moč, ki jo lahko prejme peč iz omrežja, ne da več največje koristne moči ($\varphi = 45^\circ$). Pri največji moči imamo večje izgube v nekoristnih upornostih. Največja koristna moč $P_{k \max}$ nastopa pri nekem kotu φ , ki je manjši od 45° . Grafično jo dobimo tako, da polegemo tangento na krog paralelno s tokom kratkega stika I_k . Dotikališče A je najugodnejša obratovalna točka.



Slika 9

Matematični dokaz za maksimalno koristno moč v električni peči $P_{k \max}$ pri upoštevanju vseh nastopajočih upornosti izhaja iz enačbe:

$$P_k = P - P_i = P - I^2 R_n \quad (25)$$

Z upoštevanjem enačbe 9) ter slike 5 dobimo:

$$I_p \cdot R = \sqrt{U_p^2 - I_p^2 X^2} \quad (26)$$

$$P_k = I \sqrt{U_p^2 - I_p^2 X^2} - I^2 R_n \quad (27)$$

Maksimalno koristno upornost v peči dobimo z odvajanjem izraza 27) po toku in izenačenjem odvoda z 0.

$$\frac{dP_k}{dI_p} = \frac{I_p}{2} + \frac{(-2 I_p X^2)}{\sqrt{U_p^2 - I_p^2 X^2}} = 0 \quad (28)$$

$$+ \sqrt{U_p^2 - I_p^2 X^2} - 2 I_p R_n = 0$$

$$R_k = \sqrt{R_n^2 + X^2} \quad (29)$$

Maksimalna koristna moč ob tem pogoju je:

$$P_{k \max} = I_p^2 \cdot R_k = \frac{U_p^2}{2 (\sqrt{R_n^2 + X^2} + R_n)} \quad (30)$$

Izkoristek peči je razmerje med koristno uporabljenost in dovedeno energijo:

$$\eta = \frac{P_k}{P} = \frac{I^2 R_k}{I^2 R_k + I^2 R_n} = \frac{1}{1 + \frac{R_n}{R_k}} \quad (31)$$

Izkoristek peči pri maksimalni koristni moči $P_{k \max}$:

$$\eta_{pb \max} = \frac{P_{k \max}}{P} = \frac{\sqrt{R_n^2 + X^2}}{\sqrt{R_n^2 + X^2} + R_n} \quad (32)$$

$\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad (33)$$

$\cos \varphi$ ob maksimalni koristni moči $P_{k \max}$:

$$\cos \varphi_{pb \max} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_n}{\sqrt{R_n^2 + X^2}}}} \quad (34)$$

Idealni kratkostični tok — premer kroga krožnega diagrama:

$$I_k' = \frac{U_p}{X} \quad (35)$$

Realni kratkostični tok:

$$I_k = \frac{U_p}{\sqrt{R_n^2 + X^2}} \quad (36)$$

KONSTRUKCIJA POPOLNEGA KROŽNEGA DIAGRAMA ELEKTRIČNE PEČI

Za konstruiranje popolnega krožnega diagrama električne peči nam morajo biti poznane ohmske in induktivne upornosti v tokokrogu ter primarna in sekundarna napetost.

Upornosti reduciramo na primarno napetost po enačbah 4 a) in 4 b).

Napetost U_p narišemo kot ordinato koordinatnega sistema. Kot absciso narišemo tok idealnega kratkega stika I_k' , ki ga dobimo po enačbi 35). Tok I_k' razpolovimo in razpolovišče M' uporabimo kot središče kroga, ki ima za premer tok I_k' .

Realni kratkostični tok I_k dobimo po enačbi 36). To je največji tok, ki nastopa v tokokrogu ob kratkem stiku in dani sekundarni napetosti.

Razumljivo je, da moramo risati vse toke in kasneje moči v odgovarjajočem merilu. Prav tako je treba opozoriti, da so vsi toki in upornosti reducirane na primarno napetost in jih moramo za realno ocenjevanje prenesti z upoštevanjem prestave p^2 .

maksimalne koristne moči v peči. Za druge obratovalne točke določimo koristno moč s paralelno premico k zveznici $\Lambda - 100$ odstotkov P_k in na premici P_k odčitamo vrednost koristne moči v peči.

Določanje jalove moči za električno peč:

S pravokotnico iz obratovalne točke na idealni tok kratkega stika imamo že določeno sorazmerno velikost jalove moči, ki jo daje omrežje. 100 odstotno jalovo moč dobimo ob idealnem kratkem stiku v električni peči, kar pa ni možno doseči. Kot je bilo že povedano, ni gospodarno obratovati z maksimalno koristno močjo $P_{k \max}$. Tu je jalova energija sorazmerna daljici OA' .

Določanje koristne upornosti v električni peči:

Pravokotnica skozi točko realnega kratkega stika K na tok idealnega kratkega stika I_k' je merilna premica za upornost R v električnem tokokrogu. Ob kratkem stiku s tokom I_k vemo, da nastopajo le nekoristne upornosti R_n . Iz točke K navzgor pa dobimo vsakekratne upornosti tokovega loka na ta način, da toke podaljšamo do premice upornosti in tu odčitamo vrednost upornosti R_k tokovega loka.

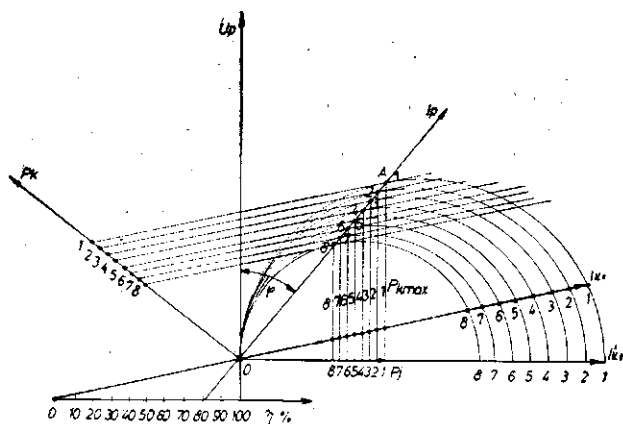
Pri tem moramo pripomniti, da so te upornosti reducirane na primarno napetost ter jih moramo na sekundarno napetost prenašati s p^2 .

Določanje izkoristka električne peči:

Izkoristek neke naprave je razmerje med koristno uporabljeno močjo in dovajano močjo. Ob kratkem stiku vemo, da nimamo nobene koristne moči, ampak samo dovajano moč. Izkoristek η bo 0. S kolikor manjšim tokom v krožnem diagramu delamo, tem bolj izkoristek raste. Koristna moč je sorazmerno večja kot pa izgubljena moč.

Točko O izkoristka nanesemo v podaljšku toka kratkega stika za 100 mm levo od ordinate ter jo razdelimo na 100 delov. Če podaljšamo kazalce toka posameznih obratnih točk do premice izkoristka, določimo tu izkoristke dovedene moči za posamezne obratne točke.

V krožnem diagramu so vnesene tudi vrednosti za neko električno peč na tokovni lok, ki dela s



Slika 11

$\cos \varphi = 0,48$. Isto moč bi dobili lahko pri veliko manjšem toku in $\cos \varphi = 0,94$ s sorazmerno boljšim izkoristkom delovne moči in manjši jalovi moči. Možno bi bilo tudi povečati moč v peči, kar bi ugodno vplivalo na čas trajanja procesa.

Krožni diagram električne peči ob spremenjeni napetosti U_s :

Slika 11 nam prikazuje krožne diagrame pri različnih napetostih n. pr. slika 7. Po enačbi (35) je premer kroga krožnega diagrama odvisen od napetosti in induktivne upornosti. Razvidno je, da se tok kratkega stika I_k linearno veča, prav tako tudi tok pri maksimalni moči in maksimalna moč. Razvidno je, da se $\cos \varphi$ za gospodarno mojo obratovanja ne spreminja. Z merilnim instrumentom $\cos \varphi$ je torej vedno možno kontrolirati odstopanje od idealnih obratnih pogojev taljenja v električni peči. Zal nobena električna peč, kolikor mi je znano, nima nameščenega tega instrumenta, s pomočjo katerega bi lahko bistveno vplivali na proizvodnjo v električnih pečeh in dosegli izboljšanje energetske situacije.

Trofazne električne peči na tokovni lok:

Električne peči na tokovni lok smo obravnavali v enofazni izvedbi. Pri trofaznem električnem toku imamo 3 enakopravne faze, ki dovajajo električni tok elektrodam. Dobili smo pa novo možnost za regulacijo napetosti s tem, da lahko primarno navitje preklapimo v zvezdo ali trikot. V trikotni vezavi primarne strani se poveča sekundarna napetost U_s za $\sqrt{3}$ ali 73 odstotkov proti vezavi v zvezdo. Če upoštevamo še regulacijo stopnje, imamo še enkrat več obratovalnih možnosti.

Medfazna napetost U in fazna napetost U_f sta v naslednjem medsebojnem razmerju:

$$U = \sqrt{3} U_f \quad (37)$$

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (38)$$

Delovno moč trofaznega potrošnika dobimo po enačbi:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (39)$$

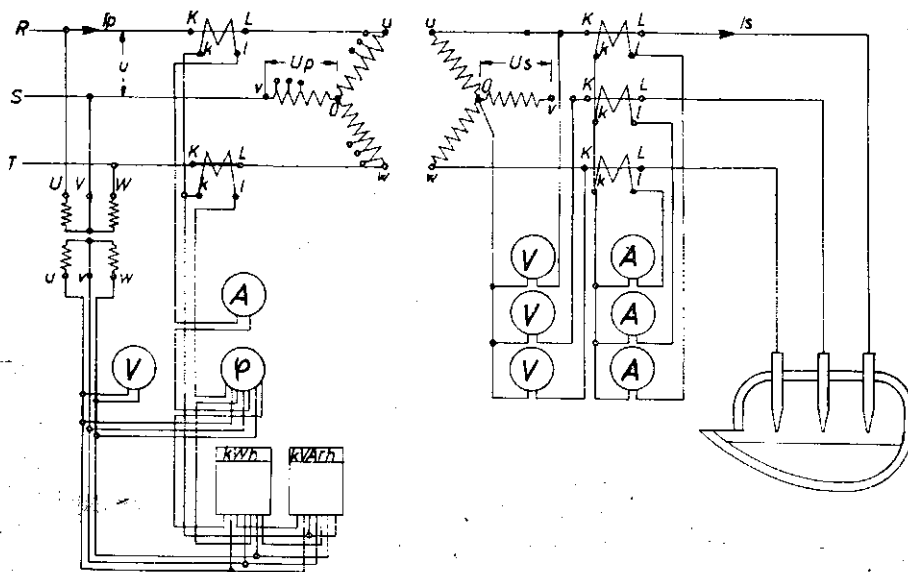
Enačba za maksimalno trofazno moč, ki jo omrežje daje električni peči (iz enačbe 22) je:

$$P_{\max} = \frac{3 U_p^2}{2 X} = 3 \cdot \left(\frac{U_p}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 X} = \frac{U^2}{2 X} \quad (40)$$

U pomeni tu medfazno primarno napetost.

Maksimalno trofazno koristno moč v električni peči pa dobimo po enačbi (iz enačbe 30):

$$P_{k \max} = \frac{3 \cdot U_p^2}{2 (\sqrt{R_n^2 + X^2} + R_n)} = \frac{U^2}{2 (\sqrt{R_n^2 + X^2} + R_n)} \quad (41)$$



Slika 12

Krožni diagram opisuje toke v eni fazi, kar popolnoma zadostuje tudi za opazovanje trofazne peči. Namesto enofazne moči upoštevamo trofazno moč v nekem drugem merilu.

Slika 12 kaže trofazno električno peč z vsemi električnimi merilnimi napravami, ki so potrebne za ocenjevanje delovanja električne peči.

Zaključek:

Članek opisuje obratovalne razmere v električni obločni peči z energetskega - gospodarskega gledišča s

poudarkom na izboljšanju obratovanja in povečanju proizvodnje.

Zanimiv bi bil še članek, ki bi opisoval električno peč z metalurške strani, kar pa pričakujemo od kakšnega drugega avtorja.

Literatura:

Dr. ing. D. Matanovič »Elektrotehniški vestnik 7/8 — 1953.

AEG — predloga za električne obločne peči

Siemens — Halske — predloga za električne obločne peči.

Ing. Janko Zatelet

DK 666.9

Apnenec in njegova uporaba v metalurgiji

I. KAMENINE

Kamenine so geološko samostojni deli zemeljske skorje in se med seboj razlikujejo po nastanku, sestavi in so neodvisne od drugih geoloških tvorb, s katerimi skupno nastopajo. Po mineralni sestavi, strukturi in obliki pojavljanja so genetsko vezane na razne geološke fenomene, kot so to vulkanski izbruhi, metamorfoze, medsebojne kemične reakcije v vodnih raztopinah in mehansko razpadanje z usedanjem v površinskih delih lito-, hidro- in atmo- sfere.

II. GENEZA

Apnenec je sedimentna kamnina, ki lahko nastane zaradi najrazličnejših pogojev: s kristalizacijo iz vodnih raztopin z usedanjem pri ugodnih pogojih temperature in koncentracije kemijskih komponent, ali pa z usedanjem bentonskih in planktonskih organizmov, katerih apneni deli so po odmrtnju prešli v sestav apnenca. Od karbonatov sodelujejo pri gradnji močnih sedimentov kalcit v apnencah in dolomit. Apnenec kot čisti kemijski sediment niso močno razširjeni v primerjavi z apneneci organogenega, to je zoogenega ali fitogenega izvora.

S sedimentacijo zdrobljenega mineralnega in kamenega materiala, kakor tudi s sedimentacijo soli iz vodnih raztopin še niso zaključeni procesi nastajanja sedimentnih kamenin. V usedlem materialu se vrše še naprej, brez spremembe pritiska in temperature, procesi strjevanja, povezovanja oziroma cementacije sipkih komponent, razraščanja enih kristalov na račun drugih, procesi metasomatskih kemičnih reakcij itd. Te procese si lahko predstavljamo kot nekako metamorfozo kamenine, ki se dogaja na površini litosfere ali pa takoj pod njo.

III. PETROGRAFSKI OPIS

Najbolj razširjeni so apneneci zoogenega izvora. Predstavljajo jih homogeni čisti apneneci, ki so sestavljeni v največji meri iz malih zrn kalcita in iz celih ali delnih skeletov najrazličnejših organizmov. Od bentonskih organizmov običajno nastopajo fosilizirani ostanki koral, Brachiopodov, Bryozoi, Echinodermatov itd.; od planktonskih organizmov pa ostanki Foraminifer, Pteropodov itd., Apnenec, ki vsebuje posebno veliko količino fosilnih ostankov, navadno poimenujemo po tisti vrsti ali rodu ostankov, katerih je največ. Taka imena apnencev so: koralni, amonitski, krinoidni, litotamijski (slika 1), alveolinski, foraminiferni itd. Navadno ni najti sledov organ-

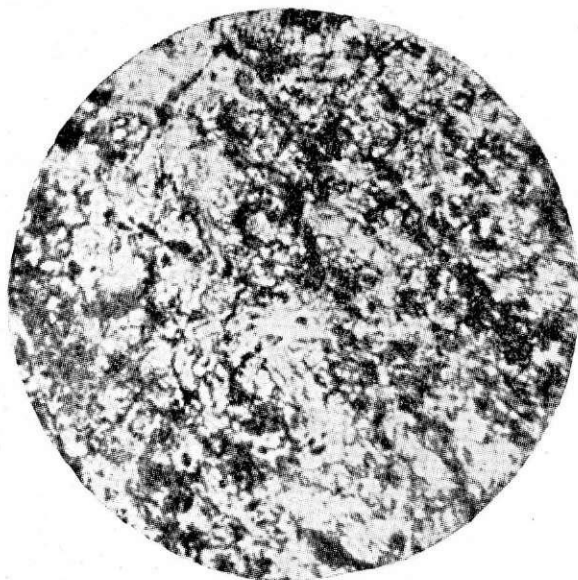
skih ostankov v apnencih, v posameznih primerih pa vendar maletimo na ostanke školjk, ki so skoraj v celoti ohranjene.



Slika 1
Povečava 74 $\times$.

Geološko mlajšim apnencem pripadajo apnenci fitogenega izvora, katerih glavni zastopnik je litotamijski apnenec, ki je nastal v miocenu. To je plitvoobalni sediment, ki ga sestavljajo skeleti alge *Lithothamnium ramossissimum* in foramanifer raznih rodov.

Struktura apnencev je makro- ali mikro- kristalna in se odlikuje z nepravilno nazobljenimi zrni kalcita (slika 2)



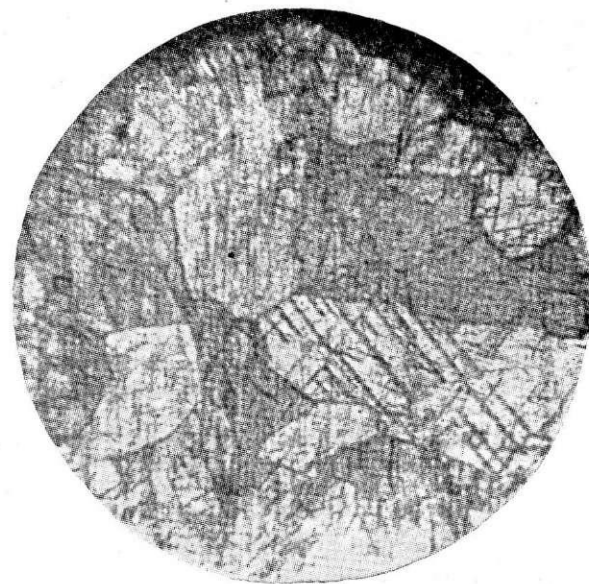
Slika 2
Povečava 75 $\times$. Nikoli +.

ali pa je amorfna. Tekstura je navadno slojevit, včasih homogena v slojih po več metrov. Poznamo pa tudi apnenec, ki nastopajo v tankih slojih oziroma ploščah, to so tenkoploščati apnenci.

Pri anorganskem nastanku apnencev tvori glavni mehanizem ogljikova kislina. V petrografskem pogledu poznamo še kamenino, ki nastaja lahko neposredno s kristalizacijo iz vodnih raztopin, kakor tudi s prekristalizacijo iz apnenca v prisotnosti magnezijevih soli — dolomit. Znan je po svojem poligonalnem krojenju oziroma lomu (slika 3 in 4). Apnenec, pri katerem je mikroskopsko mogoče ugotoviti v strukturi romboedrična zrna dolomita, je že pretrpel zamenjavo kalcita z dolomitom v stopnji dolomitizacije in ga petrografsko označujemo kot dolomitizirani apnenec.



Slika 3



Slika 4
Povečava 140 $\times$. Nikoli +.

rani apnenec. Makroskopsko je posamezne vrste: apnenec, dolomitiziran apnenec in dolomit teže ločiti med seboj. V primeru predpisanih zahtev o vsebovanju posameznih komponent v kamenini so barva, trdota, krojitev, kakor tudi burnost reakcije s HCl nezanesljivi in preveč subjektivni znaki. Različni avtorji postavljajo glede na procentualno količino $MgCO_3$ v kameninah naslednje meje:

Kamenina	Novinski % $MgCO_3$	Tamarinov % $MgCO_3$	Carozzi % $MgCO_3$
apnenec	0–5	0–8	0–10
dolomitizirani apnenec	5–50	8–43	10–50
dolomit	> 50	> 43	> 50

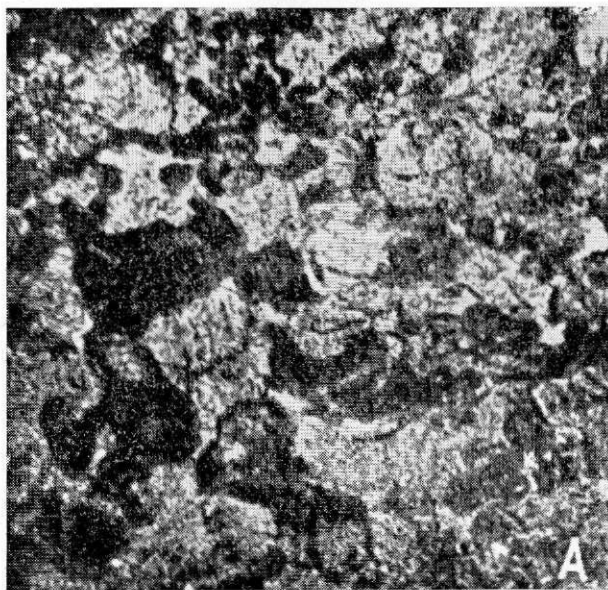
Komponenta $MgCO_3$ lahko nastopa v apnencu kot vezivo med $CaCO_3$ kristali. Pri dolomitiziranem apnencu pa predstavlja vezivo med dolomitnimi kristali komponenta $CaCO_3$.

Po barvi so apnenci lahko bele, sive, rumenkastosive, rdečkastorjave in celo skoraj črne barve. Način obarvanja je v glavnem odvisen od vrste in količine primesi. Od primesi nastopajo zrnca kremenca, glincev, muskovita, limonita, ogljikovodiki s svojstvi nafte ali asfalta idr. Pri kre-

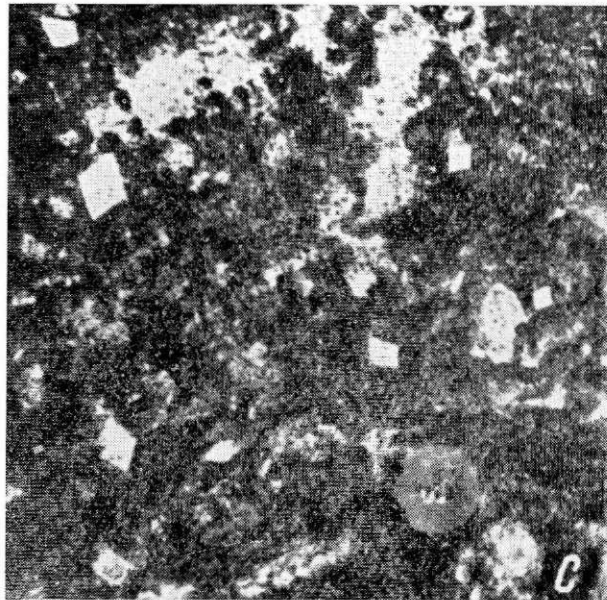
menčastih apnencih so zrnca kremenca enakomerno porazdeljena med zrnji kalcita. Količina SiO_2 prekorači včasih tudi 20 %. Limonit opazujemo največkrat v obliki gnezd in žilic. Bituminozni apnenci vsebujejo manjše količine infiltriranih ogljikovodikov; zanje je značilen vonj, če udarjamo po njih s kladivom.

Trdnost apnencev zavisi od trdnosti mineralnih komponent in stopnje njih povezave oziroma gostote ter se giblje v zelo širokih mejah od 100 do 2800 kg/cm², kar predstavlja mejne trdnosti. Prostorninska teža apnencev se giblje od 1,9 do 2,7 kg/ūm³. Trdota po Mohsu je 3 do 5.

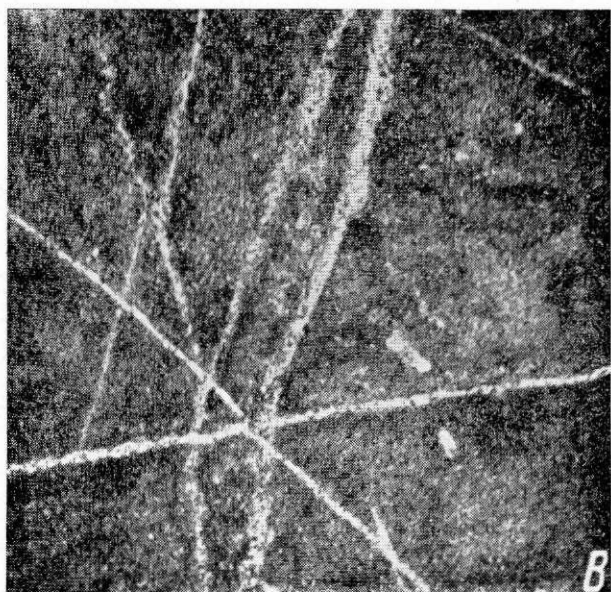
Med ugodna svojstva apnencev prištevamo mikrokristalno strukturo, kompakten in čist prelom, normalno trdoto in trdnost, zvonek glas pri udarjanju s kladivom ter majhno vpojnost vode. Za neugodna svojstva pa smatramo amorfnost strukturo, moten, zemljast prelom, nizko trdoto, pri nahukanju duh po glini in prisotnost bituminoznosti in sulfidnih primesi. Pri poroznih apnencih znaša poroznost



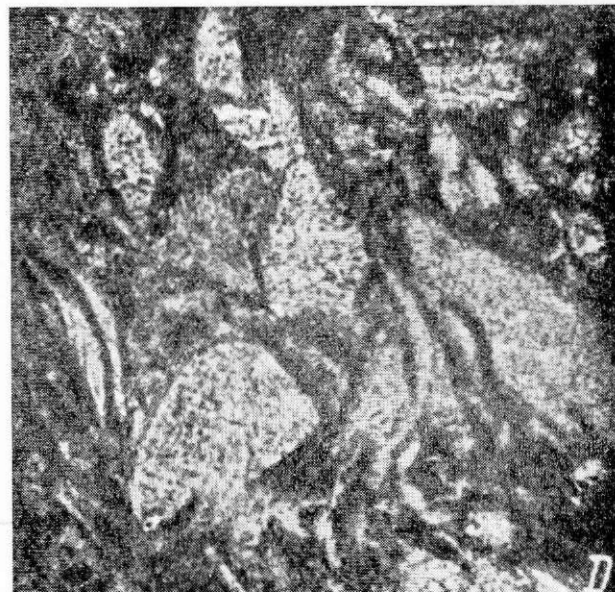
Slika 5



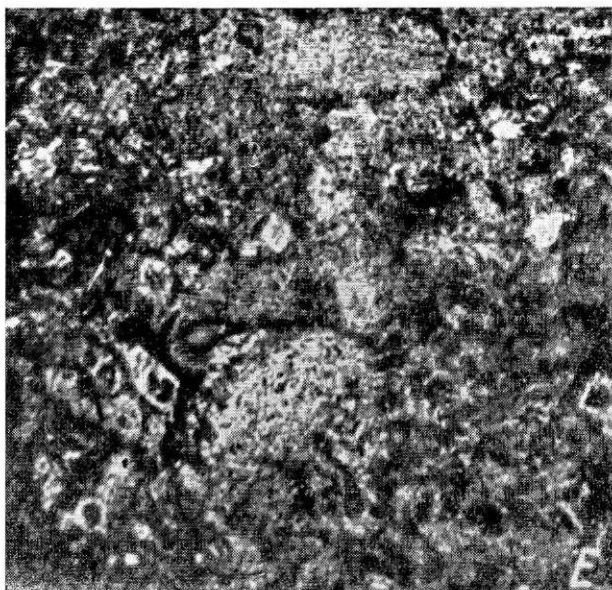
Slika 7



Slika 6



Slika 8



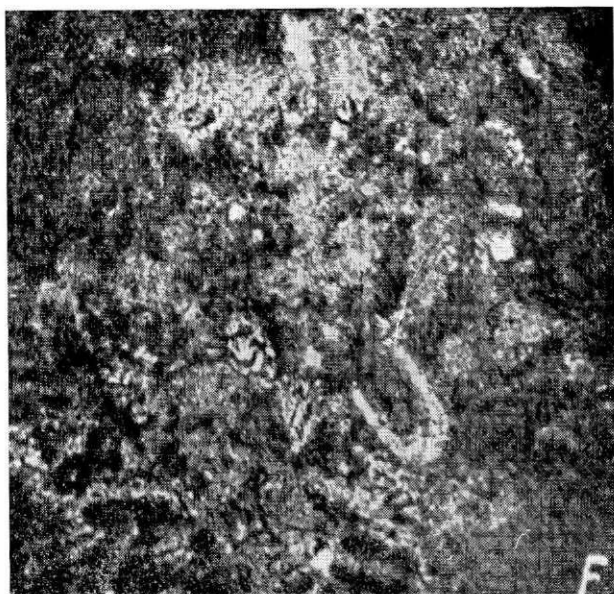
Slika 9

približno 5 %, pri kompaktnostih pa 1 % prostornine kosa. Pri takih poroznih apnencih moramo paziti na to, da so obstojni proti zmrzovanju.

Apneneci iz raznih nahajališč, ki se ne razlikujejo po svojih fizikalnih in kemičnih lastnostih, se lahko razlikujejo po svoji mikrostrukturi. V slikah 5, 6, 7, 8, 9, 10 je videti 6 mikrostruktur apnencev, katerih analiza in opis sta razvidna iz razpredelnice:

slika	Sestava v %					Opombe — opis
	CaO	MgO	SiO ₂	R ₂ O ₃	CO ₂	
5	53,66	1,45	0,64	0,44	43,71	belega, sladkornega izgleda, rekristalizirani kalcit
6	53,70	0,65	1,72	0,64	42,86	drobnokristalna struktura, preprežena z žilicami kalcita
7	53,25	1,45	0,68	0,70	43,38	svetlosiv, drobnozrnat apnenec z romboedrijskimi kristalčki dolomita
8	54,15	0,94	0,32	0,38	43,54	rjavkast apnenec z visoko vsebnostjo bituminoznih snovi
9	51,65	2,64	1,14	0,92	43,43	svetlosiv, srednjezrnat apnenec z mnogovrstnimi vključki dolomita
10	55,0	0,47	0,32	0,34	43,69	beli, srednjezrnat apnenec

Struktura teh apnencev se menja od finostrukturnega na sliki 6 do debelostrukturnega na sliki 8. Po barvi so zastopani: čistobeli in temnosivi. Apnenec na sliki 8 je rdečerrjave barve. Rekristalizirani kalcit je videti pri večini apnencev v obliki žilic, ki prepletajo na primer vzorec na sliki 6, ki se praktično ves sestoji iz rekristaliziranega kalcita ali v obliki nepravilnih gnezd pri vzorcu na sliki 7. Pravilna romboedrijska zrna dolomita je videti na vzorcih slike 7 in slike 9. Od drugih primesi je opazovati še kremen, limonit idr.



Slika 10

IV. PRIDOBIVANJE APNENCA

Apnenec kot močno razširjeno kamenino pridobivamo v največji meri s površinskimi kopi. Površinsko pridobivanje se izplača, če so apneneci debeloslojeviti, tektonsko neporušeni in je njih pad položen. Ne izplača pa se kopati tankoslojevite oziroma tankoploščate apnenice, kadar imajo plasti velik naklonski kot, tektonsko porušene in po kemizmu močno spreminjajoče se apnenice. Posebno neugodni so pogoji tedaj, če ni mogoče ugotoviti pri nastopajoči tektoniki nikake zakonitosti, ki naj bi koristila dobri organizaciji pripravljalnih in pridobivalnih del.

Odvisno od količine apnenca, ki ga želimo pridobiti, od stopnje mehanizacije pridobivalnih del in transporta, ter v skladu s terenskimi in geološkimi prilikami, si izbiramo najprimernejši način odkopavanja. Za pridobivalna dela, pri katerih želimo masovno pridobivati apnenec, in se pri tem poslužujemo še razstreljevanja, uporabljamo naslednje odkopne metode:

1. odkopavanje v etažah
 - a) način nizkih etaž
 - b) način visokih etaž
2. odkopavanje v lijakih
3. čelno frontalno odkopavanje

Ekonomsko in iz varnostnih ozirov utemeljeno je odkopavanje v etažah pri ustrezajoči organizaciji pripravljalnih, pridobivalnih in odvažalnih del. Pri nizkih etažah je višina etaže urejena glede na lastnosti apnenca, geološke in terenske prilike. Razstreljujemo na več načinov. Premeri vrtin so do 40 mm. Običajno se uporablja kotelsko razstreljevanje. Tak način odkopavanja dale le omejene količine materiala. Mehanizacija nakladanja ni polno izkoriščena ali pa potrebujemo večjo in daljšo manipulacijo oz. večje premike. Za kompaktne apnenice je najugodnejše odkopavanje z visoko etažo in globokimi vrtinami. Vrtine se vrtajo do premera 300 mm in globine 30 do 40 m ali več, s posebnimi strojnimi napravami. Najekonomičnejša višina etaže znaša približno 35 m. Naklon stene in vrtin znaša okoli 75 stopinj in črta najmanjšega odpora 3,5 do 3,7 m. Pri visokih etažah lahko pridobivamo kamenine s komornim odstreljevanjem, vendar morajo biti zato dani ugodni geološki in terenski pogoji.

Odkopavanje v lijakih uporabljamo za dobivanje kamna, ki služi v industrijske namene, kjer ni postavljenih meja glede kvalitete in je vsako separiranje oziroma ločanje kamna od jalovine na deloviščih nemogoče in nepotrebno. Geološke in terenske prilike morajo biti za to

metodo odkopavanja ustrežajoče. Razstreljevanje izvajamo v steni s pomočjo stopnic oziroma polie.

Celno frontalno odkopavanje izvajamo v eni etažni višini s pomočjo prej omenjenih načinov, ali pa z razstreljevanjem v obliki stebrov.

V. SPLOŠNA UPORABA APNENCA

Uporaba apnenca pri nas še ni tako razširjena v industriji in njenih izdelkih kot v bolj razvitih državah. V največji meri služi apnenec za proizvodnjo žganega apna, ki ga uporablja gradbena industrija. Sledi ji poraba apna v industrijske namene: v kemični industriji (proizvodnja karbida, belilnega prahu, umetnih gnojil, kleva, škropilnih sredstev, čiščenja odpadnih vod), v tekstilni industriji (čiščenje volne in tekstila), v industriji sladkorja, v industriji kož, v poljedelstvu (apnenje kislih zemljišč), v živinoreji (močna krmila) idr. Zelo čist in zmlet apnenec uporablja steklarska industrija kot dodatek k raztopljeni silikatni masi, industrija papirja, plastičnih mas in gume, dalje pri izdelavi linoleja, tiskarskega črnila, polirnih praškov, v kozmetičnih in farmacevtskih preparatih, v rudarstvu, za posipanje premoga in delovišč, v metanskih jamah in za prašne zavese. Manj čist apnenec se uporablja kot tolčenec pri gradnji cest, kot gramoz za posipanje cest, v blokkih raznih dimenzij pa kot okrasni gradbeni material.

A. UPORABA APNENCA

V METALURŠKIH PROCESIH

1. Apnenec kot priklada v visoki peči

Z vsipom prihaja v visoko peč železna ruda z jalovino, koks in priklade. V jalovini in pepelu iz koksa nastopata poleg ostalih komponent, glavni komponenti kislega karaktera SiO_2 in Al_2O_3 , ki prihajata tako v proces in ki se odlikujeta po svoji visoki temperaturi taljenja. Z dodajanjem baze ustvarjamo možnost nastajanja nizko taljivih silikatov in aluminatov, ki so osnovne sestavine metalurških žlindre. Sestavo žlindre uravnavamo z dodajanjem baze tako, da dobimo pri nižji temperaturi tiste reakcijske pogoje za vodenje procesa, kakršne želimo. Temu namenu služi tudi Rankinov diagram (slika 11). S tem diagramom je mogoče hitro reševati vprašanja, kako vplivajo posamezni kemični spoji komponent $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$

na njih temperaturo taljenja. V naših pogojih je potrebno upoštevati mesto komponente CaO , vsoto $\text{CaO} + \text{MgO}$.

Kot baza prihaja v poštev najcenejši in neizčrpni vir — apnenec. V te namene uporabljamo lahko še dolomitizirani apnenec ali celo dolomit.

Naravni apnenec ni nikdar čist in vsebuje vedno večji ali manjši procent primesi (Fe_2O_3 , MgCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 idr.). Naši apneneci so več ali manj dolomitni in vsebujejo večji procent MgCO_3 (3 %). Fe_2O_3 je v apnenecu celo dobrodošel. V visokih pečeh MgO ne moti huda peči, v gotovih koncentracijah vpliva celo ugodno na tekočnost žlindre in s tem na njeno aktivnost (slika 12). Tako prikazuje diagram Mac-Caferyja, kako se zmanjšuje viskoznost žlindre, v katerih nastopa različno razmerje komponent $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ (od 1 do 8) pri temperaturi 1500 stopinj Celzija in spreminjanju komponente MgO od 0 do 20 % pri različnih vsebnostih CaO . Značilno v teh diagramih je, kako se širi območje koncentracije CaO od 40 do 50 % pri 0 %, MgO od 22 do 58 %, CaO pri 20 % MgO . Praktično že 10 % MgO jamči, da ne dobimo več gostih žlindre, posebno še, če je koncentracija komponente Al_2O_3 velika. (Najmanjšo viskoznost kaže krivulja, pri kateri je razmerje $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 1$).

Nastaja še vprašanje vplivanja MgO , ki delno zamenjuje CaO , na razžveplanje. L. Bell ugotavlja, da komponenta MgO vpliva na razžveplanje, medtem ko ameriški strokovnjaki dokazujejo z izvršenimi poskusi na visokih pečeh v vzhodni Pensilvaniji, da MgO ne vpliva pomembno pri taljenju na grodelj z nizkim žveplom. Termokemični podatki kažejo, da ima MgS manjši toplotni efekt (84.390 kal), kot CaS (109.790 kal), kar naj bi pomenilo manjšo sposobnost razžveplanja pri komponenti MgO . Prav tako se je domnevalo, da pri učinkovanju žlindre, ki vsebuje Mg , na FeS , nastaja MnS . Z laboratorijskimi preiskavami pa je bila ta domneva ovržena, ker Mg silikat, ki vsebuje 60 % SiO_2 in 40 % MgO , omogoča popolno razžveplanje pri 1585 stopinj Celzija. Potrdilo pa so te preiskave tudi ugotovitve, da nadomeščanje apna z enako količino MgO le znižuje sposobnost žlindre pri razžveplanju. Koristno vlogo MgO je bilo opaziti v tem, da je bil MgO sredstvo, s katerim je mogoče regulirati tekočnost žlindre, čeprav je potrebno za doseg tega efekta povišati količino ($\text{CaO} + \text{MgO}$) glede na to, ker se je koncentracija poslednjega v žlindri povečala. Največjo stopnjo razžveplanja daje žlindra, ki vsebuje 15 % MgO in 45 % CaO , kar prikazuje tudi naslednja razpredelnica:

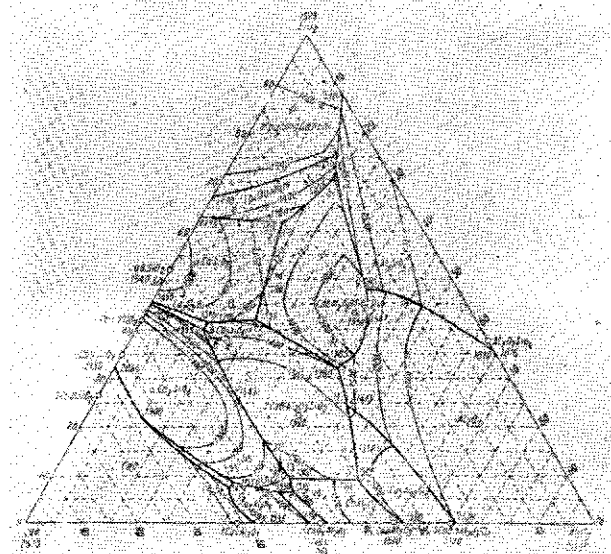
Koncentracija MgO v žlindri %	0	5	10	15	20
$(\text{CaO} + \text{MgO})$ %	52	55	58	60	63
Največja stopnja razžveplanja	14	23	84	110	55

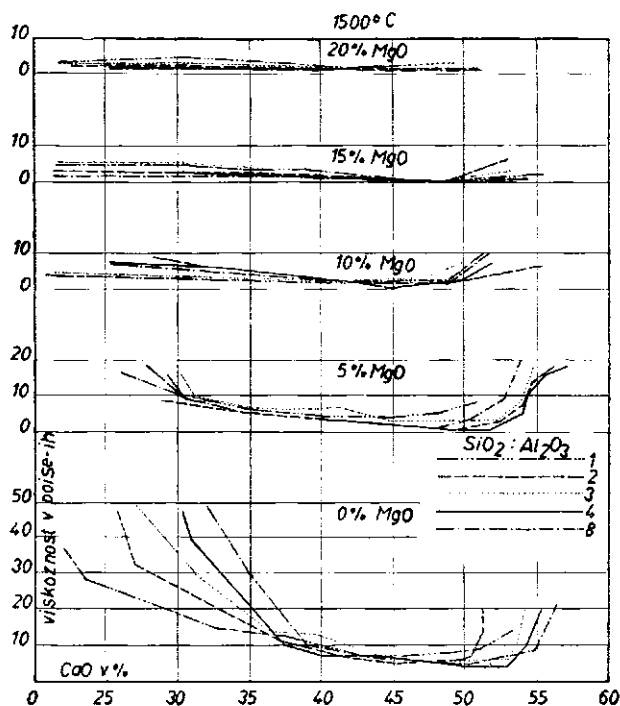
Stopnja razžveplanja je definirana z razmerjem koncentracije S v žlindri in v grodlju. Z menjavanjem temperature žlindre se spreminja tudi to razmerje (na primer pri 1525 stopinj Celzija je dvakrat večje kot pri 1475 stopinj Celzija). Vrednosti v razpredelnici so bile dobljene pri najboljšem možnem koeficientu razdelitve in je bilo to zvezano s precej večjo težo talila, žlindre in s tem seveda povečano porabo koksa.

Poleg omenjenih ugotovitev je za proces v visoki peči važen tudi razkroj karbonatov, ki sodelujejo v sestavi priklad v visoki peči. Razpad takih karbonatov, ki po svoji genezi niso sedimenti vodnih raztopin, se prične z izločanjem CO_2 po naslednjem vrstnem redu:

Priklada	Po Friedrichu	Po A. A. Baikovu in A. S. Tamarevu
	temperatura izločanja °C	CO_2 (pritisk CO_2 1 atm) °C
MgCO_3	570	640 do 660
$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	750 do 895	735 do 905
CaCO_3	895	900 do 921

Slika 11





Slika 12

Ta temperatura disociacije je odvisna od fizikalnih lastnosti mineralne substance. Pri marmoru je maksimalna 921 stopinj Celzija, minimalna pri nekristaliziranem apnenecu, pri čistem kalcitu pa 910 stopinj Celzija.

Pri preiskavi v laboratoriju je bilo ugotovljeno, da razkroj CaCO_3 v vakuumu, in ne v CO_2 atmosferi, ne nastopi praktično do 650°C, energično pa se prične razkroj v intervalu temperature od 775 do 800°C. V visokih pečeh, kjer je parcialni pritisk CO_2 v plinih manjši od 1 atm, poteka razpad CaCO_3 med 800 in 900°C.

Pri preiskavah MgCO_3 se je v novjšem času ugotovilo, da so temperature razkroja bile višje, kot jih navaja Friedrich in enake onim, ki jih navajata Baikov in Tamarov. Disociacija dolomita pričanja pri 735°C v CaCO_3 in MgCO_3 , pri čemer se CO_2 pospešeno izloča iz MgCO_3 in se zaključuje v struji CO_2 pri pritisku 1 atm pri 905°C.

Ekonomski vidiki zahtevajo, da se uporablja kot priklada predvsem sam apnenec, čeprav bi bilo zaželeno delati včasih tudi z drugimi prikladami. V primerih, kjer je dolomit z ekonomskega ali geološkega vidika prikladnejši, je mogoče tudi dolomit koristno uporabljati pri taljenju vsake vrste grodja.

2. Apnenec kot dodatek v SM peči

Pri taljenju jekla v SM peči se uporablja kot dodatek le kvaliteten apnenec in produkt žganega apnenca – apno. Ustrezajoč apnenec naj vsebuje:

CaO min	50 %
MgO max	1,5 %
S max	0,05 %
SiO_2 max	1,5 %
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ max	2 %
P max	0,03 %

Apnenec oziroma žgano apno postaneta na ta način edini izvor CaO , glavne komponente v žlindri SM peči. Količina apnenca in apna v vložku odloča v glavnem razmerje količin tekočega grodja in starega železa. Pri vložku, ki ga sestavljata tekoči grodji in staro železo, dodajamo lahko apno ali apnenec. Apnenec se dodaja zato, da bi se povečal učinek mešanja oziroma kuhanja kopeli te-

daj, ko apnenec »kipi«. Navadno se dodaja apnenec v vložek v začetku, če pa je potrebno dodajanje med rafinacijo, se v glavnem dodaja žgano apno za tvorbo prve žlindre, ki že nastalo žlindro manj ohlaja, potrebno ga je polovico manj in odpade poraba toplote, ki je sicer potrebna za izgon CO_2 . Pri delu s hladnim vložkom je prav tako zaželeno izkoristiti vlogo apnenca za premešavanje kopeli, vendar se zaradi skrajšanja časa taljenja raje uporablja žgano apno. Največkrat se apnenec uporablja za nastanek prve žlindre v periodi rafinacije. Prosti CO_2 se izkoristi pri tem potoku oksidacije z oddajo kisika železu.

Pri uporabi apnenca, kot pri taljenju sodelujoče komponente, je potrebno poznati ustrezajočo količino prostih bazičnih oksidov ($\% (\text{CaO} + \text{MgO}) - 2,5 \% \text{SiO}_2$), kar je seveda odvisno od kemične sestave apnenca. Vsak procent SiO_2 v apnenecu zmanjša namreč vsebovanje bazičnih oksidov približno za 2,5 %. Glede na kemično analizo mora dober apnenec imeti približno 98 % ($\text{CaO} + \text{CO}_2$) in vsebovati čim manj Mg, ker se tak apnenec bolje raztaplja v prvi žlindri. Lambing nasprotno splošnemu naziranju dokazuje, da se pri dolgotrajnem taljenju dosega boljše stanje dna peči pri delu z apneneci, ki vsebujejo do 2 % Mg. Koncentracija S v apnenecu je navadno nizka, vendar je priporočljivo voditi evidenco o količini S posebno takrat, ko zahteva jeklo vložek z zelo nizkim S.

Analize apnencev iz različnih nahajališč, ki se uporabljajo v metalurških procesih v železarni Jesenice, so prikazane v razpredelnici:

Nahajališče	Sestav v %						Količina prostih bazičnih oksidov
	CaO	MgO	SiO_2	Fe_2O_3	S	CO_2	
Vremski Britof	54,05	1,44	0,40	0,38	0,088	41,97	54,49
Kresnice I	50,91	1,61	4,80	1,18	0,008	37,92	40,52
Kresnice II	54,50	1,44	0,16	0,42	0,008	39,62	55,54
Repentabor I	49,12	5,63	1,30	1,22	0,017	40,76	51,50
Repentabor II	55,62	1,28	0,36	0,38	0,008	39,78	56,00
Jesenice I	52,71	2,89	0,20	0,10	0,025	41,44	55,1
Jesenice II	31,40	21,50	0,20	0,16	0,030	45,20	52,4

Fizikalne lastnosti apnenca

V odvisnosti od pogojev, ki jih stavljajo železarne, nastopa apnenec v kosih, dimenzij 75 do 200 mm. Del apnenca je lahko tudi v kosih, manjših od 75 mm, ki nastanejo zaradi prekladanja in premetavanja drobljenca. Kot je bilo že omenjeno, je ena od važnih karakteristik apnenca njegovo mešalno delovanje v času taljenja, ki daje pri razkroju CO_2 . Čas, ki je potreben za ta razkroj oziroma čas izločanja CO_2 , je funkcija temperature, dimenzijskih odnosov in oblike kosov apnenca, kakor tudi parcialnega tlaka CO_2 v atmosferi. Razkroj apnenca se pričene na površini in se širi nato proti sredini z enako hitrostjo v vseh smereh, odvisno od temperature. Pri določnem sestavu apnenca in pri isti temperaturi je hitrost razkrajanja definirana z velikostjo površine, kar pomeni, z dimenzijo oziroma obliko kosov. Pri enakih pogojih se kos apnenca, ki ga omejujejo ploskve, hitreje razkrajajo od okroglega kosa apnenca. Kosi z nepravilnimi oblikami imajo namreč od 20 do 50 % večjo površino kot okrogli pri isti prostornini. Čeprav je bilo ugotovljeno, da se nekateri apneneci hitreje razkrajajo od drugih, ni mogoče reči, da to bistveno vpliva na tok procesa. Važnejša od hitrosti razkrajanja apnenca je hitrost raztapljanja. Ti svojstvi pa vedno ne sovpadata. Na osnovi opazovanj pri uporabi različnih apnencev, ki se po kemičnem sestavu le malo razlikujejo, je domnevati, da na hitrost raztapljanja vplivajo le fizikalna svojstva. V gotovih primerih se razkrajajo kosi apnenca še v fazi dviganja na površino, medtem ko se pri drugih spajajo z žlindro, s katero se dvignejo nato na površino v obliki mase,

ki je težko taljiva. Pogoji nastanka takega spajanja so verjetno odvisni v večini primerov od delovanja peči in ne od samega apnenca. Pri enakih pogojih je smatrati lažje topen tisti apnenec, ki se hitreje raztopi pri prehodu na površino kopeli. Na površini delcev apna se napravi najprej sloj Ca-silikata, ki skuša zaščititi delce apna oziroma apnenca od nadaljnjega vpliva žilindre. Da bi taljenje pospešili, dodajajo večje količine raznih dodatkov, na primer jedavec, dobro železno rudo, škajo ali boksit.

Jasno je tudi, da je raztapljanje tem hitrejšo, čim manjši so kosi CaO in čim enakomerneje so razporejeni v sloju žilindre. Reakcija se poživlja, ko se dodatki raztapljajo in se stična površina žilindre veča. Ni pa še preiskano, kako vpliva kakovost apnenca na nastanek in razporejanje delcev apnenca v žilindri.

V procesu izdelave žilindre se, kot je bilo že prej omenjeno, uporablja tudi temperaturno obdelani apnenec — žgano apno. Za pravilno odvijanje procesov v kopeli zahtevamo, da tudi apno vsebuje čimmanjši procent SiO_2 ter ostalih primesi. SiO_2 ne zmanjšuje le deleža CaO v apnu, temveč tudi v žilindri, prav za ono količino, ki je potrebna za tvorbo kalcijevega silikata. Dodatki apna za neko želeno stopnjo bazicitete se večajo in vodijo do velikih količin žilindre. Prav tako zmanjšujejo razpoložljivo količino CaO dolomitne primesi in ustvarjajo gosto žilindro, ki postaja tako neaktivna. Dobro apno, ki naj služi kot dodatek v SM peči, naj ustreza naslednjim zahtevam:

SiO_2 max	3 %
Al_2O_3 max	1,5 %
Fe_2O_3 max	1,5 %
MgO max	3 %
S max	0,10 %
P max	0,05 %
Zarozguba max	10 %

Za izdelavo kvalitetnih jekel priporočajo manjšo žarozgubo, in sicer maksimalno do 4 %. Pri S navaja Leitner kot dovoljeno količino SO_3 , ki ne sme presegati 0,1 %. Nekaj tipičnih analiz apna prikazuje razpredelnica

Vzorec	Sestav v %					Zarozguba
	CaO	MgO	SiO_2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	S	
1	93,73	2,03	0,56	0,56	0,200	2,43
2	95,79	0,67	1,14	0,48	0,059	1,40
3	95,79	1,01	0,54	0,45	0,022	1,28

Največjo razliko opazimo v procentih vsebovanja žvepla pri različnih vzorcih apna. Velikost tega elementa se spreminja v odvisnosti od geneze ter načina in temperature obdelave apnenca. Nizka koncentracija S (manjša od

0,1 %), je zaželena pri proizvodnji nekaterih kvalitet jekel, posebno tedaj, če je srednja koncentracija S že pri ostalih materialih vložka višja.

Dobro žgano apno je potrebno varovati tudi pred vplivom vlage, ker je razpadlo apno neprimerno. Zaradi vlage nastali Ca(OH)_2 vsebuje kemično vezano vodo, katere ni mogoče odpraviti s sušenjem, temveč je potrebno predgrevanje stopnjevati do rdečega žara, do temperature razpadanja Ca(OH)_2 . Pri vlaganju Ca(OH)_2 v peč odda ta pri dotiku s tekočo kopeljo jekla in razkroju vode svoj H_2 in O_2 jeklu.

Literatura:

- L. Marič: Sistematska petrografija
 Grubenmann-Niglli: Die Gesteinsmetamorphose
 V. I. Lušicki: Sokraščeni kurs petrografij 1948
 Geološki zavod: Poročilo o geološkem kartiranju severnega pobočja Mežakle
 R. Peele: Mining Engineer's Handbook I, II, 3 Edition
 J. Tiring: Kamnolomi apnenca v LRS ter uporaba apnenca v industriji in tehniki
 C. Rekar: Zelezarstvo I. 1949
 M. A. Pavlov: Rasčet domennih ših 1947
 Committee on Physial Chemistry of Steelmaking: Basic Open Hearth Steelmaking
 M. A. Pavlov: Metalurgija čuguna II.
 Priručnik za kvalitet sirovina i pomočnog materijala
 Kratki spravočnik metalurga
 F. Leitner, E. Plöckinger: Die Edeltahlerzeugung

VI. Zaključek

Naraščajoča proizvodnja industrijskih podjetij, ki v svojem tehnološkem procesu uporabljajo apnenec kot glavno ali pomožno surovino, postavlja pred producente apnenca nalogo, kako zadovoljiti zahtevam potrošnikov po kvaliteti in količini. Morda je res težko razumeti, da pri tem rudnem blagu nastaja problematika, tako v pogledu kvalitete, kot kvantitete, čeprav je okoli nas ali v naši neposredni bližini videti dovolj te kamenine. Razumljivejša postane ta problematika, če vemo, kako različne zahteve glede kvalitete postavljajo različni tehnološki procesi, v katerih sodeluje apnenec kot mineralna surovina in iz kakšnih geoloških prilik izvira njegov nastanek, in poleg kemičnih še njegove petrografske in fizikalne lastnosti. Za dobro in pravilno izkoriščanje apnenca je potrebno poznati vse omenjene prilike in lastnosti, poleg tehnološkega postopka, v katerem se uporablja apnenec. Prav tako je posvetiti več pozornosti in študija samemu pridobivanju, kar utemeljuje že tako mnogovrstna uporaba.

Kot smo videli v razpravi, služi apnenec v metalurgiji predvsem v visokih pečeh kot priklada. V obliki žganega apna, redkeje v obliki apnenca pa se kot nemetalni vložek uporablja tudi pri bazičnem postopku v SM peči. V obeh primerih služi za izdelavo žilindre in pravilnemu odvijanju metalurških procesov med žilindro in surovim železom oziroma med žilindro in tekočim jeklom.

Nove knjige v strokovni knjižnici

- Lončar — Uvod u električne mjerenja
 Swaluw — Einführung in die Fernseh-Servicetechnik
 Schaafsma — Moderne Qualitätskontrolle
 — Hundert Jahre Cowper Winderhitzung
 Riek — Kunstlicht und Photographic
 Siegel — Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences
 Plank — Handbuch der Kältetechnik, Bd. III

- Hornauer — Industrielle Automatisierungstechnik
 — Livarski priročnik
 Eležanovskij — Elektroprivod reversivnih stanov gorjačej prokatki
 Tereščenko — Avtomatičeskoe upravlenie elektrodvigateljami s korotkozamkiutim potorom
 I. Mohorič — Zgodovina obrti in industrije v Trzinu
 — DIN Taschenbuch 20, Mineralöl- und Brennstoffnormen

- Bazilevič — Metod eksperimentalnega izsledovanja domennogo processa
- Erdmann-Jesnitzer — Werkstoff und Schweißung II
- Beljankin — Technische Petrographie
- Friedrich — Tabellenbuch für die Elektrotechnik
- Salmag — Die Keramik, 4. Aufl.
- Reimer — Elektronenmikroskopische Untersuchungs- und Präparationsmethoden
- Chr. Rose — Industrielles Fernsehen
- Wastchenko — Magnesiumbehandeltes Gusseisen
— Regelungstechnische Praxis 1959, 1960
— Obrabotka stali
- Hanke — Prüfung metallischer Werkstoffe, Bd. II
— Hemijski priročnik
- Dobovišek — Fizikalna kemija metalurških procesov
- Norton — Refractories
- Brunhuber — Legierungshandbuch der Nichteisenmetalle
- Niemann — Maschinenelemente, Bd. I, II
- Pavlovič — Priručnik za upotrebu čelika
- Matanovič — Splošna elektrotehnika II
- Kolhoff — Polarography, Vol. 1, 2
- Kolhoff — Volumetric Analysis, Vol. 3
- Boltz — Colorimetric Determination of Nonmetals
- Codel — Analytical Chemistry of Titanium Metals and Compounds
- Lewis — Elements of Mining
- Hewes — American Highway Practise, Vol. 1
- Pavlov — Gornie raboti
- Pritula — Zašita zavodskih podzemnih truboprovodov ot korozii
- Sisojan — Električeskaja duga v električeskoj peči
- Schumacher — Die Gas-Energie
- Heiligenstaedt — Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen, 3. Aufl.
- Schack — Der Industrieelle Wärmeübergang, 5. Aufl.
- Ernst — Die Hebezeuge, Bd. I, II, III
- LLOYD's Register of Shipping — Rules and Regulations for the Contruction and Classification of Steel Ships

POPRAVEK

Pri izdelavi risb za kliširanje k članku ing. Kramarja »Delovanje električne peči na tokovni lok« so se nam vrinile pomote, ki jih s tem popravljamo.

Pri sliki št. 1 na str. 34 bi moralo biti pravilno napisano R_s namesto P_s . Pri risbi št. 2 na isti strani mora biti pravilno napisano R_K namesto P_K . Pri sliki št. 8 na str. 37 mora biti pravilno napisano I_2 namesto I_K . Na sliki št. 5 mora biti na vektorju U_R vektor I_p .