

László Szöke dipl. inž.
Železarski institut — Budapest

DK: 669.187.013.5
ASM/SLA: W 17 j, D 6—67

Izkušnje pri uporabi metaliziranih briketov in pelet v obločni peči

Avtor obravnava rezultate industrijskih poskusov uporabe metaliziranega vložka v obločni elektro peči. Nakazuje razliko v učinkovitosti obratovanja peči pri različni količini vloženi briketov oziroma peletk, ugotavlja odvisnost učinkovitosti od specifične moči transformatorja. Iz prikazanih rezultatov ugotavljamo, da je ekonomska uporaba metaliziranega vložka funkcija velikosti peči, načina vlaganja vložka in kvalitete vložka.

UVOD

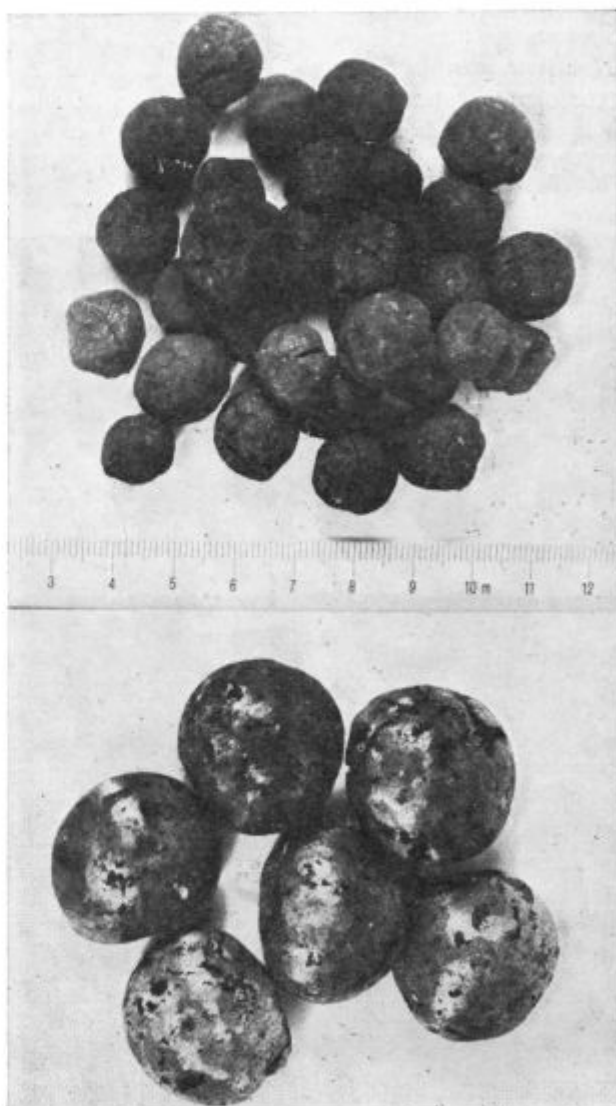
Raziskovalni institut za železarstvo Budapest je v elektrojeklarni železarne Lenin (Miškolc) napravil orientacijske poizkuse z uporabo metaliziranih briketov in pelet. Namen teh poizkusov je bil zbrati izkušnje za ovrednotenje vpliva uporabe teh materialov predvsem v sledečih pogledih:

- Vpliv načina šaržiranja na talilni učinek,
- Vpliv uporabe določene količine metaliziranega vložka na metalurška dogajanja,
- Vpliv metaliziranega vložka na kakovost jekla.

Kemične in fizikalne vrednosti uporabljenih vrst metalizirane rude

Za poizkuse smo imeli na razpolago približno 12 t metaliziranih briketov, reduciranih z ogljikom (izdelanih od VASKUT v obratu LKM), kakor tudi 150 t Purofer pelet (dobavil jih je Hüttenwerk Oberhausen AG.). Slika 1 kaže uporabljene snovi z ozirom na njihovo velikost.

Povprečna kemična sestava z ogljikom reduciranih VASKUT-LKM rudnih briketov in Purofer pelet je prikazana v tab. 1.



Slika 1
Velikost Purofer peletov in briketov

Tabela 1

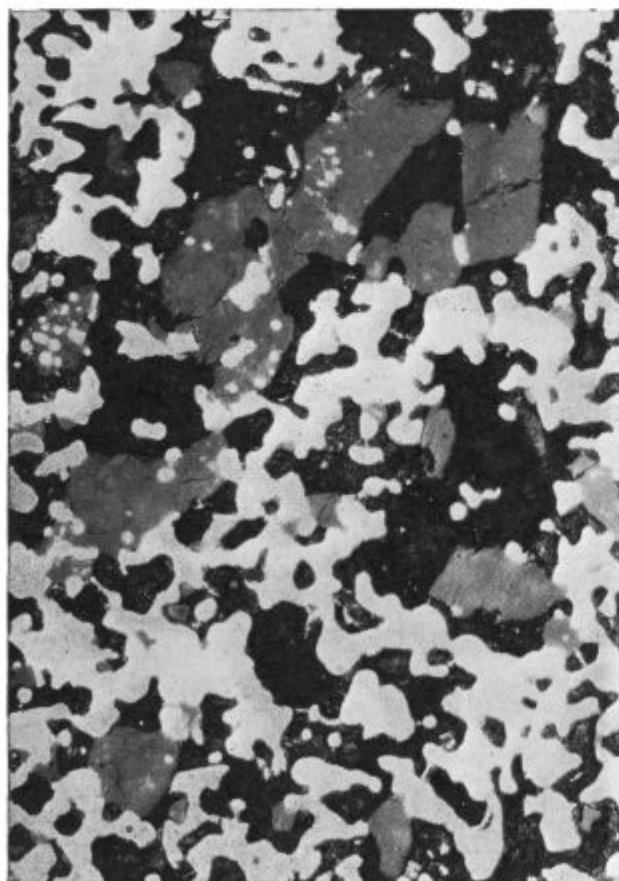
Tabela 1	VASKUT-LKM briketi	Purofer peleti
Skupni Fe %	84,0	92,1
Fe _{met} %	79,8	86,0
P %	0,016	0,031
S %	0,092	0,003
C %	1,44	0,85
SiO ₂ %	9,14	1,61
CaO ₂ %	2,00	1,60
MgO %	0,50	0,13
Al ₂ O ₃ %	3,06	ni določen
MnO %	0,38	ni določen
Stopnja redukcije %	94,5	93,5

Fizikalne vrednosti so zajete v tabeli 2.

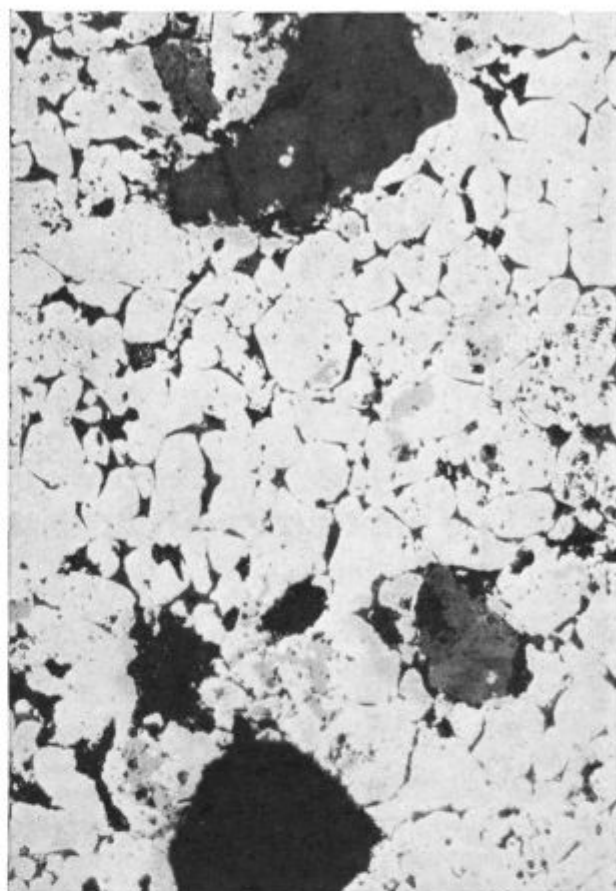
Tabela 2

Tabela 2	VASKUT-LKM briketi	Purofer peleti
Masa, mm	25 × 25 × 18	11—13 Ø
Gostota, g/cm ³	5,9	6,8
Efektivna gostota*, G/cm ³	4,3	3,5
Prostorninska teža, kg/m ³	2300	1730
Povprečna teža kosa, g/kos	21,72	2,92

*Merjeno s površino, prevlečeno z lakom.



Slika 2
Struktura briketov



Slika 3
Struktura Purofer pelet

Slika kaže karakteristično strukturo briketov in slika 3 strukturo pelet. Posnetki so vzeti iz sredine najedkanih preizkušancev.

Razdelitev poroznosti v briketih in peletih smo preiskali s kvantometrom 720 v prerezu preizkušancev (slika 4 in 5). Poroznost pri briketih se manjša od jedra proti površini. Pri Purofer peletih je poroznost na eni strani mnogo manjša, na drugi pa je njegova razdelitev v preseku mnogo enakomernejša.

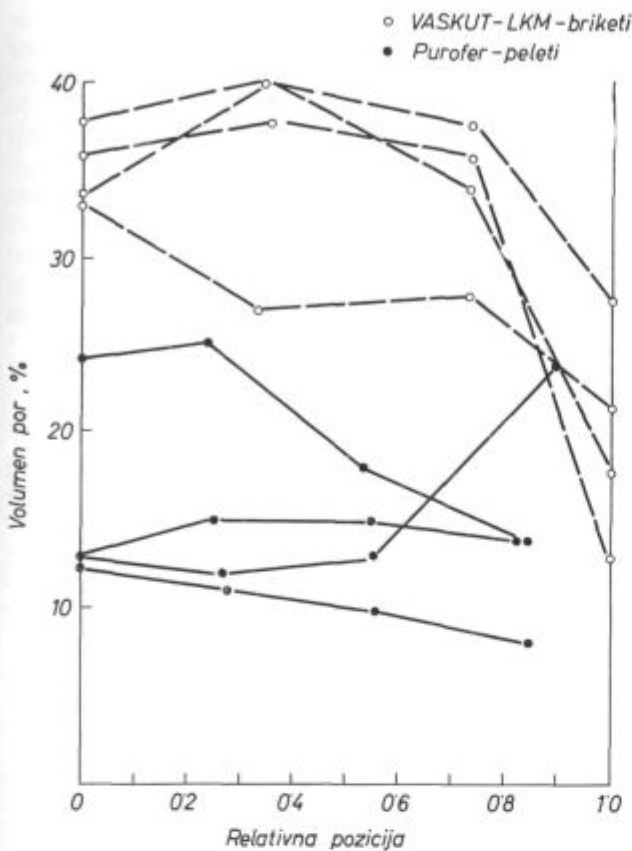
Obločne peči, uporabljene pri poizkusih

Briketi in peleti so bili vloženi v električne obločne peči 2,6—65 t LKM jeklarne, peči so imele bazično oblogo. Podatki peči so zajeti v tabeli 3.

Kot je razvidno, imajo vse peči običajni specifični koristni učinek transformatorja; UHP kriteriju — min. 400—450 kW/t — najbližja je 2,5 tonska peč.

Vrsta vložka metalizirane rude, predpisana tehnologija

Vložek metalizirane rude se lahko založi v obločno peč v celoti skupaj s starim železom s pomočjo transportnega žleba, potem ko je staro že-



Slika 4

Porazdelitev volumna por v prerezu VASKUT-LKM briketov in Purofer pelet

Tabela 3

Kapaciteta, t	2,5	11	16	65
Notranji premer peči, mm	1640	2410	2920	4550
Učinek transformatorja MVA	1,0	3,5	5,0	21
Maks. efektivni učinek MW	0,87	3,0	4,35	15
Specifični koristen učinek transformatorja na tono vložka kW/t	348	273	272	230
Učinek na m ² površine kopeli MW/m ²	0,410	0,660	0,645	0,920

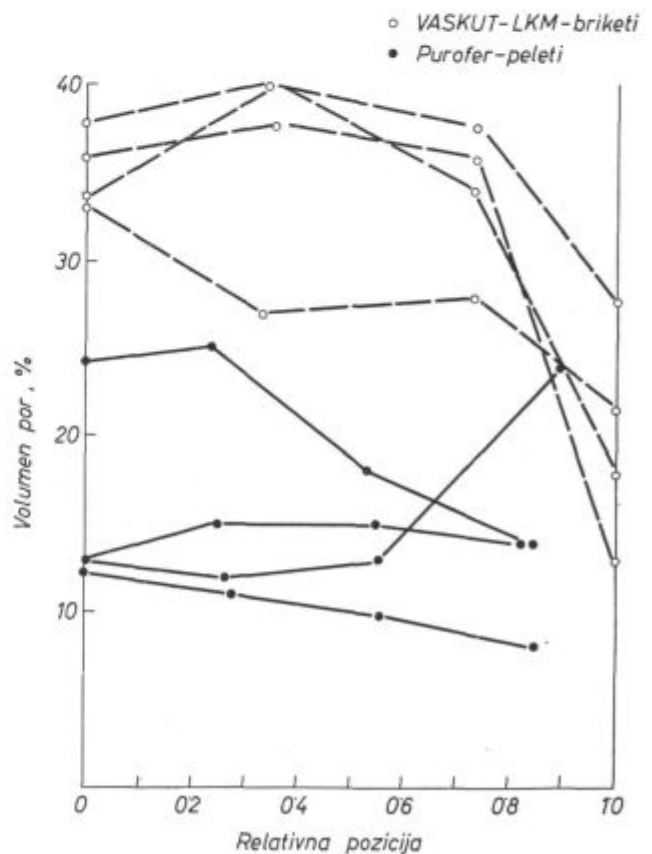
lezo že deloma raztaljeno, kontinuirno skozi predvideno eno ali tri odprtine v stropu, ali pa kontinuirno v peč, ki se vrti okoli vertikalne osi, z vmesnim predgretjem.

Pri naših poizkusih smo mogli iz gospodarnih razlogov uporabiti samo način šaržiranja v celoti. Sicer optimalno kontinuirno šaržiranje smo enostavno nadomestili s šaržiranjem z lopatami (n. pr. pri 2,6–12 tonskih šaržah).

Slika 6 kaže naše izkušnje s šaržiranjem Purofer pelet skupaj s starim železom. Najbolj neprijetne izkušnje smo imeli pri razporeditvi prvega

vložka v plasteh pri 65 tonski peči. Od zgoraj »na površino« potekajoče taljenje je počasno, ob koncu pa prične izredno močno (nevarno) kuhanje. Nedostatki, ki izvirajo iz neznatne toplotne prevodnosti pelet, in znižajo hitrost taljenja, so v literaturi opisani in s predmetnimi preiskavami potrjeni. Poizkusi ogrevanja jeklenih krogel enakega premera (v lab. področjih) so pokazali, da je ogrevalna hitrost kupa pelet z enotno težo v enakih pogojih 2,5 krat manjša kot pri gostih kroglah. Šaržiranje, ki metalurškemu karakterju briketov in pelet bolj ustreza, smo pri nekaj šaržah tako izvedli, da smo po šaržiranju enega dela metalizirane količine rude in tudi vložka starega železa ter po 80–90 %-nem taljenju kontinuirno vlagali še preostalo količino metalizirane rude pod elektrode. Hitrost šaržiranja v kopel s ca. 1550° C smo regulirali vizuelno z ozirom na kontinuirno raztalitev.

Pri poskusnih šaržah je bila vsebnost ogljika v talini okrog 0,25–0,30 % nad spodnjo mejno vrednostjo pri šaržah z oksidacijo, oz. na spodnji mejni vrednosti pri šaržah brez oksidacije. Pri briketih smo računali z 1,29 % in pri peletih z 1,75 % lastne vsebnosti kisika, le-ta porabi določeno vsebnost ogljika, oz. zahteva pri peletih še nadaljnjo količino ogljika v vložku, upoštevajoč vsebnost C v starem železu in potrebno vsebnost ogljika v talini.



Slika 5

Porazdelitev volumna por v prerezu VASKUT-LKM briketov in Purofer pelet

Razporeditev vložka v peči	Vrsta taljenja	Možnosti napak
	Taljenje od zgoraj „na površino“	Nepravilna razdelitev pelet v vložku. Nevarnost eksplozije pri kuhanju. Zmanjšanje talilne hitrosti.
	Taljenje od spodaj	Nastanek mastu ob koncu taljenja
	Taljenje od spodaj	Taljenje brez motenj

Slika 6

Različna razporeditev starega železa in pelet v oblačni peči in vpliv na taljenje pri enkratnem šaržiranju

V splošnem je bilo pred šaržiranjem dano na dno peči okrog 3 % žganega apna z ozirom na težo vložka.

Tabela 4

Vrste metalizirane rude	Kapaciteta peči t	2,5 t	11 t	65 t
—	Običajen vložek	1,23 t/h—100 %	4,99 t/h—100 %	27,97 t/h—100 %
Briketi	30—40 % od vložka	1,29 t/h—105 %		
Briketi	50 % od vložka	1,55 t/h—126 %		
Purofer peleti	15 % od vložka, šaržirano s košem			26,73 t/h—96 %
Purofer peleti	20 % od vložka šaržirano s košem			22,60 t/h—81 %
Purofer peleti	kontinuirno šaržirano		4,93 t/h—98,5 %	
Purofer peleti	30 % od vložka šaržirano s košem			18,80 t/h—67,5 %
Purofer peleti	kontinuirno šaržirano	1,56 t/h—127 %		
Purofer peleti	50 % od vložka, šaržirano kontinuirno		4,91 t/h—98 %	

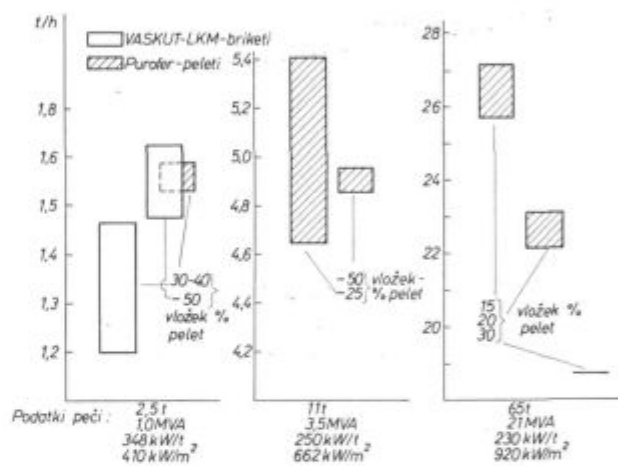
Zaradi visoke vsebnosti jalovine in kislega značaja briketov, kakor tudi njihove visoke vsebnosti S je bila talilna žilindra vedno popolnoma odstranjena. Pri šaržah napravljanih iz pelet je bilo to izvršeno samo pri šaržah brez oksidacije, pa tudi tu ni bila odstranitev žilindre vedno popolna.

Sicer pa je odgovarjala tehnologija izdelave standardnemu tehnološkemu regulativu jekla.

Delež briketov v vložku je znašal 34—50 %, pelet pa 10—50 %. Pri 13 od 27 poizkusnih šarž ni bilo oksidacije in pri eni šarži je bil odstranjen samo fosfor.

Metalurška svojstva taljenja

Slika 7 kaže zvezo med učinkom taljenja in deležem vložka metalizirane rude. Pri 2,5 tonski



Slika 7

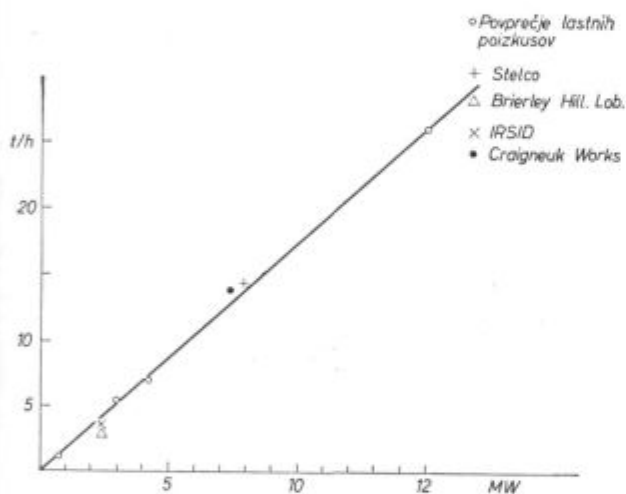
Talilni učinki pri šaržah 15—50 % metalizirane rude v vložku

peči z največjim specifičnim električnim učinkom je nastalo pri zvišanju deleža briketov od 30 na 50 % izboljšanje talilnega učinka.

S Purofer peleti smo isto vrednost dosegli že pri 30 % deležu v vložku. V 11-tonskih pečeh z manjšim specifičnim koristnim učinkom transformatorja, zvišanje deleža kontinuirno šaržiranih Purofer pelet od 25 % na 50 % v vložku ni dalo nobenega izboljšanja učinka taljenja. Pri 65-tonski peči z najmanjšim specifičnim električnim koristnim učinkom, kjer smo vložek lahko šaržirali samo v celoti, smo z zvišanjem deleža Purofer pelet od 15 % na 30 % ugotovili zmanjšanje učinka taljenja.

Tabela 4 je primerjava povprečnih talilnih učinkov za običajne šarže in šarže z metaliziranim vložkom.

Slika 8 kaže povprečne talilne učinke naših lastnih poizkusov v primerjavi s koristnim učinkom transformatorja in inozemskimi rezultati. Naše lastne rezultate moremo brez nadaljnega uvrstiti v inozemsko vrsto podatkov.



Slika 8

Odnos med talilnim učinkom in koristnim učinkom transformatorja pri poskusnih šaržah z VASKUT-LKM in rezultati drugih raziskav

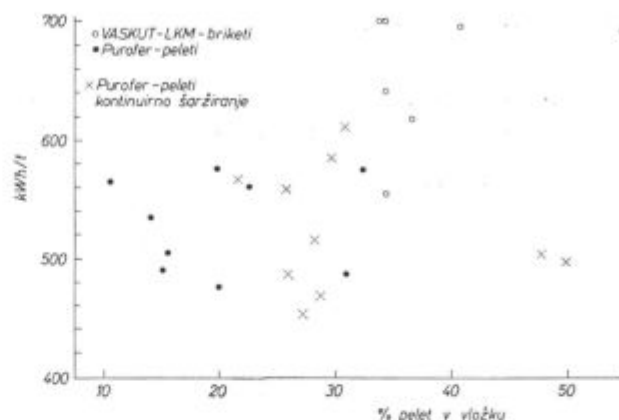
Za peč 348 kW/t z najboljšim specifičnim koristnim učinkom transformatorja smo dosegli torej 5—27 % zvišanje talilnega učinka pri kontinuirnem šaržiranju metaliziranih briketov in Purofer pelet.

Pri 11-tonski peči 250 kW/t je bil talilni učinek za 1,5 do 2 % manjši kot pri običajnem vložku.

Tabela 5

Kapaciteta peči t	11	65
Povprečna specifična poraba toka za taljenja:		
a) za običajen vložek	472 kWh/t—100 %	
b) 20—50 % pelet	524 kWh/t—111 %	463 kWh/t—100 %
c) 15—30 % pelet		513 kWh/t—111 %

Pri 65-tonski peči z 230 kW/t in šaržiranju s košem je nastal pri zvišanju količine Purofer pelet padec talilnega učinka za 4—32,5 %.



Slika 9

Specifična poraba toka za taljenja šarž, izdelanih z briketi in peleti

Slika 9 kaže razmerje med specifično porabo toka za taljenja in deležem metalizirane rude. Najvišje vrednosti se pokažejo pri uporabi rud z veliko jalovine (briketi) in naraščajo z deležem v vložku; pri Purofer peletih so vrednosti manjše in se ne pokaže odločilen porast pri povečanih odstotkih v vložku.

V tabeli 5 prikazujemo primerjavo med povprečno porabo za taljenja pri uporabi Purofer pelet in brez njih.

Specifična poraba toka za taljenja je torej pri kontinuirnem šaržiranju s košem enakomerno za 11 % višja kot pri običajnem vložku.

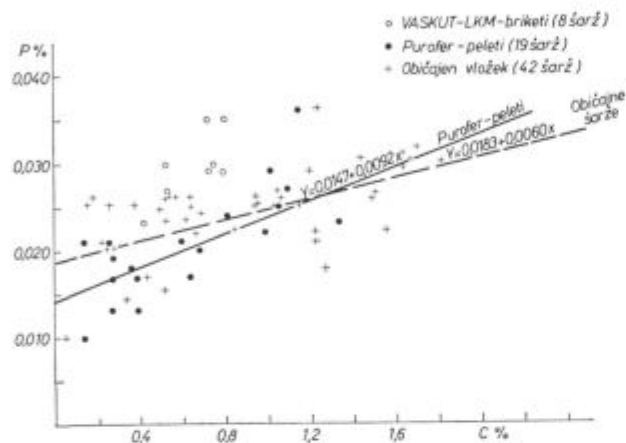
Pri taljenju je bilo pri uporabi metalizirane rude ugotovljeno, da se pojavlja valovanje kopeli od »kuhanja apnenca« do srednje močnega kuhanja rude. To aktivno taljenje je zelo koristno z ozirom na vsebnost vodika in dušika v talini in zagotavlja tudi ustrezno vsebnost kisika v kopeli, kot kaže tabela 6.

Pri uporabi metalizirane rude dobimo torej pri taljenju enake vsebnosti plina kot pri žilavenju taline. Izgleda, da lahko žilavenje opustimo (oksidacija) tudi pri takih vrstah jekla, kjer je bila ta operacija doslej predpisana.

Tabela 6

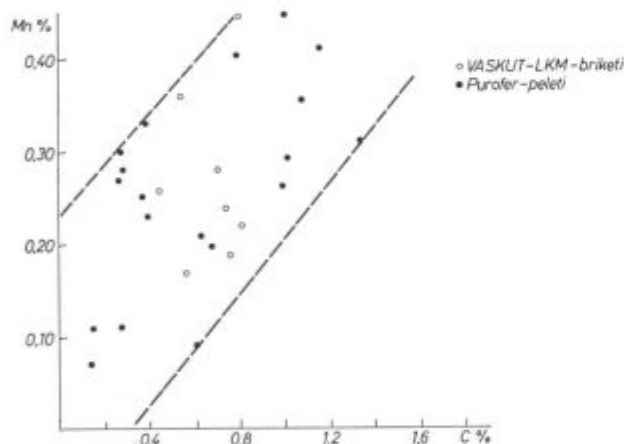
	Vodik	Dušik	Kisik
Običajen vložek z VASKUT-LKM briketi v vložku	11,4 cm ³ /100 g—100 %	56,7 ppm—100 %	82 ppm—100 %
Purofer peleti v vložku	6,3 cm ³ /100 g—56 %	14,4 ppm—26 %	170 ppm—208 %
	4,6 cm ³ /100 g—49,5 %		237 ppm—290 %

Slika 10 kaže razmerje med P in C pri taljenju. Regresijske premice se sekajo pri 1,3 % C; izpod te vrednosti je vsebnost P v talini šarže s Purofer peleti manjša kot pri običajnem vložku.



Slika 10

Odnos med C in P v talinah s 15–50 % metalizirane rude v vložku in običajnim vložkom



Slika 11

Odnos med C in Mn pri talinah z briketi in Purofer-peleti v vložku

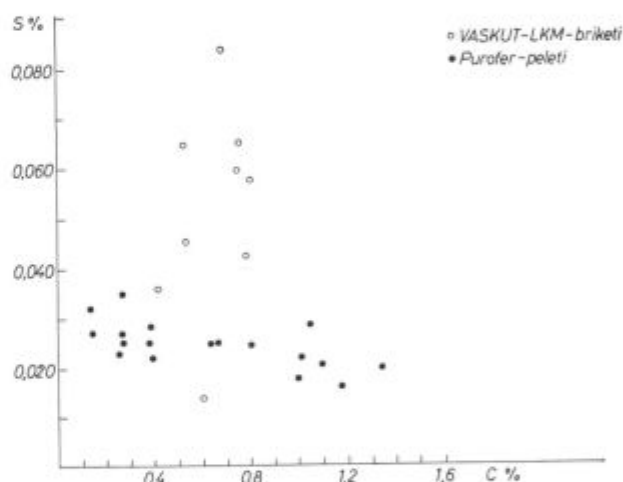
Slika 11 kaže razmerje med C in Mn pri taljenju za šarže z briketi oz. s Purofer peleti. Mn vsebnost, kot je običajno, s stopnjevanjem vsebnosti C narašča.

Slika 12 kaže razmerje med S in C pri taljenju.

Visoka količina S pri taljenju vložkov v VASKUT-LKM briketi je posledica kisle jalovine in visoke vsebnosti S v briketu.

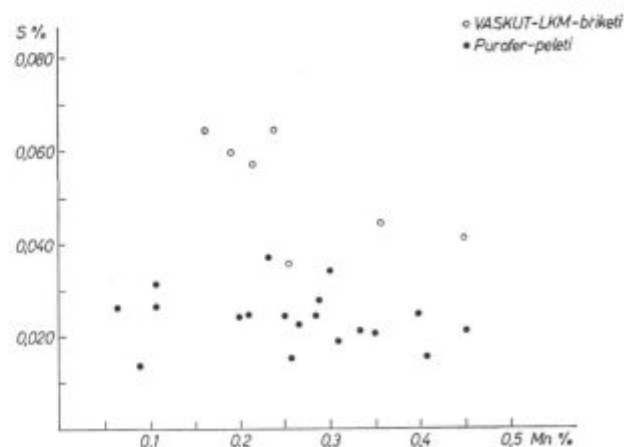
Slika 13 kaže S in Mn pri taljenju. Za šarže, izdelane s Purofer peleti je značilno, da je po taljenju v talini nizka vsebnost S v ozkem intervalu pri širokem intervalu Mn.

Slika 14 kaže razmerje med viškom baze (izračunan iz sestave talilne žilindre oz. žilindre, ki se tvori na koncu kuhanja) in razdelitve žvepla. Vrišana premica karakterizira ravnotežnostne pogoje. Pri kislih talilnih žilindrah — briketnih šaržah — je razdelitev žvepla ugodnejša kot pri ravnotežju; naši podatki za Purofer pelete pa opazovanje N. Mc. Callum-a in R. J. W. Peters-a niso podprla.



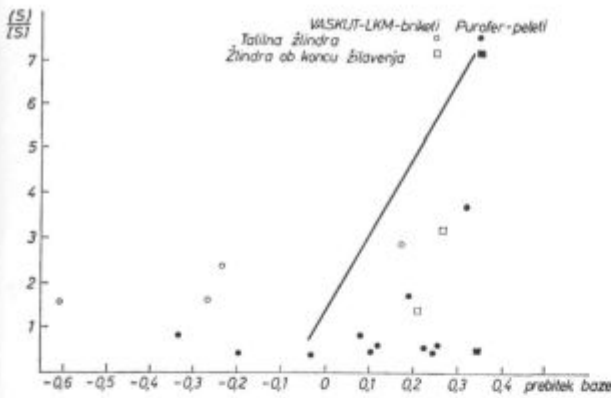
Slika 12

Odnos med C in S v talinah z metalizirano rudo v vložku



Slika 13

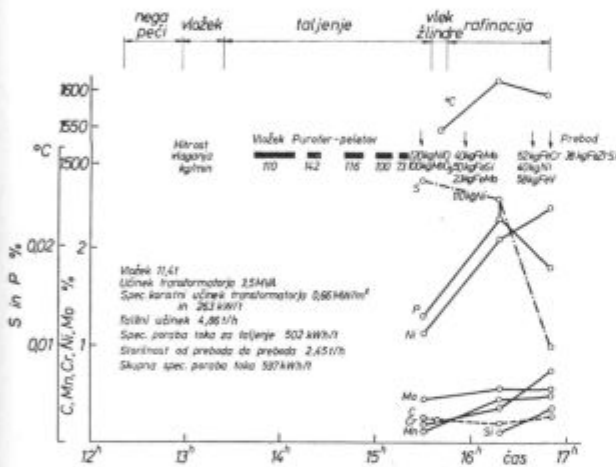
Odnos med Mn in S pri talinah z metalizirano rudo v vložku



Slika 14

Odnos med S/S in prebitkom baze pri talinah z brketi v vložku

Slika 15 kaže potek Cr-Ni-Mo poboljšane šarže, izdelane z 48 % Purofer pelet v vložku.



Slika 15

Izdelava Cr-Ni-Mo šarže (48 % Purofer-pelet v vložku)

Kvaliteta izdelanih vrst jekla

Pri šaržah, izdelanih z žilavenjem ali brez, je bila po odstranitvi žilindre nadaljnja tehnološka praksa običajna. Nismo ugotovili nikakih kvarnih posledic vsled uporabe metalizirane rude. V tabeli 7 prikazujemo sestave poizkusnih šarž, izdelanih z uporabo metalizirane rude.

Pri valjanih in kovanih ingotih je bila toplotna predelava brezhibna. Šarže so ustrezale zahtevam modrega preloma, ultrazvoka in stopničasto struženih preizkušancev, kakor tudi predpisom o trdnosti, kaljivosti in vključkih.

Seveda je bilo tudi mogoče znižati količino nezaheljenih oligoelementov. V sliki 16 primerjamo vsebnost Cu, Ni, Mo v šaržah z metaliziranim vložkom in brez njega. Povprečje se zniža z vsakim elementom in posebno močno pri Cu za 21 %.

Tabela 8 kaže trakasto strukturo karbida kot tudi oksidne in sulfidne vključke pri šaržah jekla za krogljčne ležaje.

Tabela 8

Statistična primerjava kvalitete šarž za krogljčne ležaje, ki so bile izdelane z običajnim vložkom (H), oz. s Purofer peleti (P):

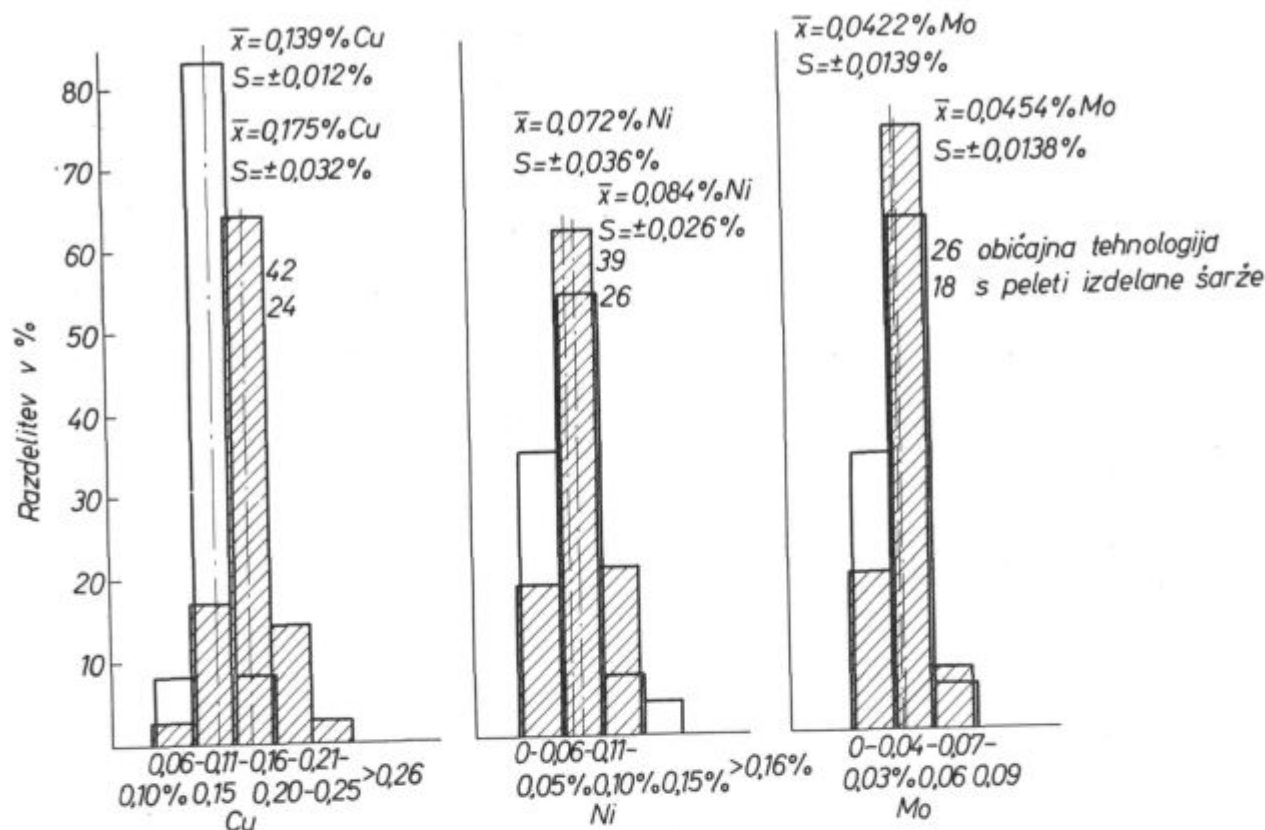
	H	P	H	P	H	P
x	1,934	1,973	1,610	1,476	1,726	1,569
s	0,915	0,880	0,461	0,583	0,199	0,380
Preiskane šarže:	31	5	31	5	31	5
vzorcji	196	36	195	42	195	36

Uporaba Purofer pelet torej nima nobenega škodljivega vpliva na preiskane kakovostne vrednosti jekla za krogljčne ležaje.

Šarže izdelane z uporabo metalizirane rude — kemična sestava:

Tabela 7

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
0,21—0,30	0,20—0,42	0,40—0,60	max. 0,040	max. 0,040				
0,31—0,40	0,20—0,42	0,60—0,90	max. 0,040	max. 0,040				
0,41—0,50	0,20—0,42	0,60—0,90	max. 0,040	max. 0,040				
0,12—0,20	0,30—0,50	0,60—0,80	max. 0,030	max. 0,030	0,90—1,30	max. 0,50	0,40—0,60	
1,25—1,40	0,25—0,45	0,40—0,60	max. 0,040	max. 0,040	0,90—1,20		0,30—0,45	
1,50—1,65	0,25—0,45	0,40—0,60	max. 0,04	max. 0,04			0,30—0,45	
0,42—0,49	0,17—0,37	0,50—0,80	max. 0,035	max. 0,035	max. 0,25	max. 0,25		max. 0,25
0,31—0,39	0,17—0,37	0,50—0,80	max. 0,035	max. 0,035	0,80—1,10	max. 0,25		
0,38—0,44	0,17—0,37	0,65—0,80	max. 0,035	max. 0,035	0,95—1,10	max. 0,25		
0,25—0,35	0,17—0,37	0,20—0,60	max. 0,020	max. 0,025	1,30—1,65	2,25—2,75	0,50—0,70	V: 0,20—0,30
0,95—1,05	0,17—0,37	0,20—0,40	max. 0,020	max. 0,025	1,30—1,65	max. 0,25	max. 0,10	



Slika 16
 Vsebnost Cu-Ni-Mo po raztaljenju običajnega vložka z 10–37 % metaliziranih peletov

Primerjalna tabela produktivnosti in specifične porabe toka za šarže z običajnim vložkom in z metalizirano rudo

Tabela 9

Peč	2,5 t*	11 t*	65 t
Poprečna storitev, t/h, (tap to tap) za šarže z običajnim vložkom:	0,53 (100 %)	2,18 (100 %)	11,4 (100 %)
Poprečna storitev, t/h, metalizirana ruda v vložku z žilavenjem	0,53 (100 %)	2,31 (106 %)	10,9 (96 %)
in brez žilavenja	0,68 (128 %)	2,45 (112 %)	12,8 (112 %)
Poprečna poraba toka za šarže z običajnim vložkom	903 (100 %)	706 (100 %)	594 (100 %)
Poprečna poraba toka, metalizirana ruda v vložku z žilavenjem	945 (104 %)		677 (114 %)
brez žilavenja	828 (91 %)	637 (90 %)	590 (99,7 %)

* kontinuirno šaržiranje metaliziranih pelet

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der relativ kleinen Zahl der untersuchten Schmelzen, welche im Lichtbogenofen einmal aus Eisenschwammbricketen und zweitens aus im Purofer Verfahren erzeugten Eisenerzpellets geschmolzen worden sind, sind wir zu folgenden Feststellungen gekommen:

1. Die Anwendung von Eisenschwamm in untersuchten Mengen von 15 bis 50 % im Einsatz kann im Ofen mit einer entsprechend hohen spezifischen Transformatorleistung über 300 kW/t zu einer höheren Schmelzleistung führen. Beim kontinuierlichen Einsetzen kann diese noch weiter gesteigert werden.

2. Durch die Anwendung von Purofer Eisenerzpellets im Lichtbogenofen mit einer kleinen spezifischen Transformatorleistung wird die Schmelzleistung beim einsetzen mit Korb in Schichten vermindert.

3. Bei Anwendung von vorreduzierten Eisenerzpellets in einer Menge von mehr als 20% im Einsatz ist eine Möglichkeit gegeben die Frischperiode zu unterlassen. Es kommt nämlich zu einer Überlagerung der Frischperiode

mit der Einschmelzperiode und somit zur Erhöhung der Erzeugungsleistung.

4. Die Anwendung von Eisenschwamm hat keine besondere metallurgische Probleme ausgelöst.

5. Die Anwendung von Eisenschwammbricketten und Puroferpellets in einer Menge von 15 bis 50% im Einsatz hat keinen ungünstigen Einfluss auf die Stahlqualität und ist demnächst ein effektives Mittel zur Verminderung der Spurrelemente im Stahl.

SUMMARY

The following findings were achieved after a relatively small number of test-batches made with metallized ore briquettes and Purofer pellets in electric arc furnace:

1. The used metallized ore in quantity of 15 to 50 % of charge enables better smelting effect in the furnace at a corresponding high effective output of the transformer over 300 kW/t. The automatic charging can even increase these values.

2. In the furnace with small effective output of the transformer the smelting effect is reduced by charging Purofer pellets with basket in layers.

3. When more than 20 % pellets are used in the charge a favourable metallurgical conditions exist to drop the refining period.

4. Use of metallized ore did not cause any special metallurgical problems.

5. Use of metallized ore briquettes and Purofer pellets in amount 15 to 50 % of the charge did not have any unfavourable effect on the quality of manufactured steel, and on the other hand, this is an effective way to reduce the content of accompanying elements.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании относительно небольшого количества исследованных шихтов изготовленных из брикетов металлизированной железной руды и Purofer окатышей в электродуговой печи, получены следующие результаты:

1. Применение металлизированной руды в количестве 15—50 % в шихте даёт возможность в электродуговой печи повысить плавильную производительность при условии, если удельная плазменная эффективность трансформатора превышает 300 кВт/т.

2. В электродуговой печи с незначительным полезном эффекте трансформатора плавильная производительность печи уменьшается

при загрузке с Purofer окатышами пластами при помощи корзины.

3. При употреблении окатышей в количестве свыше 20 % в шихте, есть металлургическая возможность выполнить процесс без периода фришования.

4. Употребление металлизированной руды не вызвало никаких специальных металлургических вопросов.

5. Употребление брикетов из металлизированной руды и Purofer окатышей в количестве 15—50 % в загрузке не имело отрицательного влияния на качество выработанной стали; способом также эффективно уменьшено содержание окислительных элементов.