

Izkušnje pri uporabi procesnega računalnika v jeklarni

UDK: 669.18:681.519

ASM/SLA: U4k, X14, D5, A5f, 1 — 54, 18 — 74

Jože Segel*

Pred več kot petimi leti so bili v jeklarno železarne Ravne uvedeni procesni računalniki v vse faze izdelave jekla na elektro obločnih pečeh. Pri odločanju o investiciji smo bili negotovi, saj je šlo za novost pri uporabi računalnika.

V članku bodo prikazane značilnosti več kot petletnih izkušenj uspešne uporabe računalnika in novosti na tem področju.

UVOD

Že pred desetimi leti so bile v železarni Ravne izdelane prve študije o možnostih uporabe računalnika v jeklarni. Vse študije so kazale na nena-
vadno velike ekonomske učinke, zato so vzbujale nezaupanje. Tudi zadnja inozemska študija je dala podobne rezultate in tako je prišlo leta 1976 do podpisa pogodbe za nabavo računalnika in izhodiščne programske opreme. Izhodiščne zato, ker so sodelavci službe za avtomatizacijo proizvodnih procesov (APP) železarne Ravne programe prilagodili in dopolnili tako, da so posamezni programi spremenjeni tudi do 50 %. Poleg tega je sedaj na razpolago nekajkrat več programov, kot je bilo kupljenih. Odločno smo se usmerili v takšen razvoj, saj je poleg ekonomskih in kakovostnih rezultatov dal tudi domačo skupino specialistov, ki so prevzeli razvoj na tem področju za celo železarno. Leto 1977 je bilo leto uvajanja. Projekt je bil zaključen v rekordnih 18 mesecih. Tako se računalnik uporablja neprekinjeno od leta 1978 dalje. S pomočjo industrijskih terminalov se je pričela uporaba procesnega računalnika na 4 elektroobločnih pečeh ter

se postopoma razširila še na vseh 9 peči in na jeklarno v železarni Štore.

POVEČANJE PORABE LEGIRANEGA ODPADKA

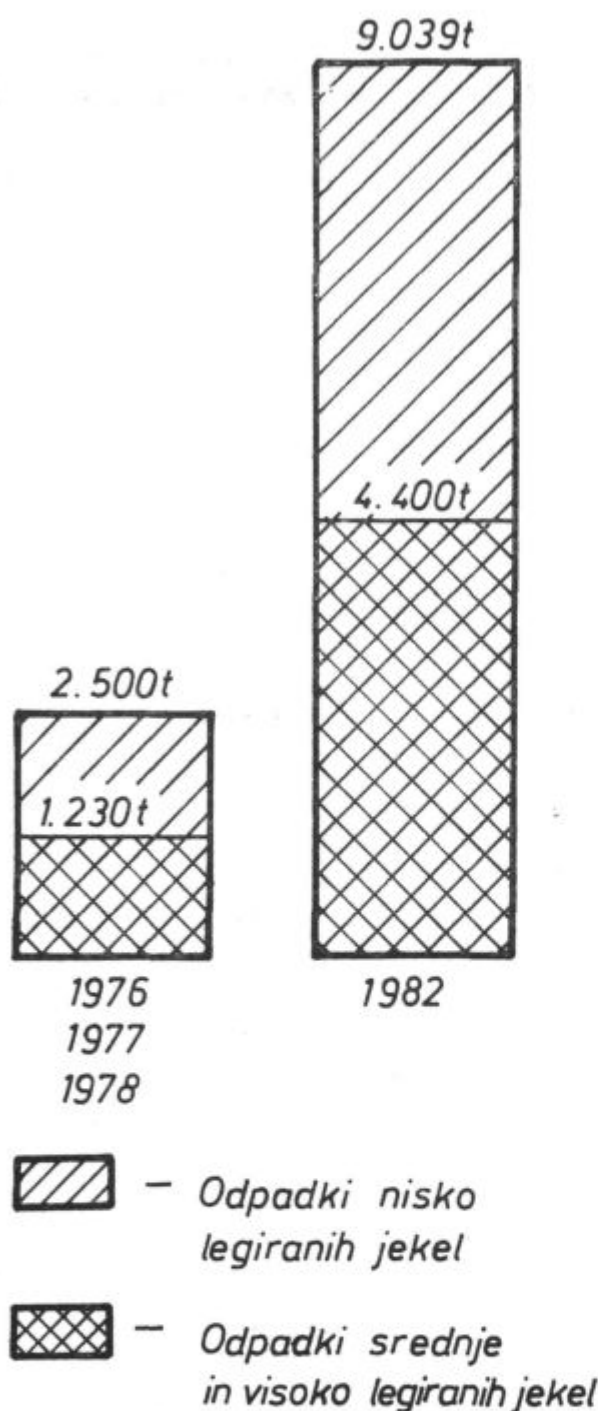
Legiran odpadke je staro železo z večjimi ali manjšimi vsebnostmi legiranih elementov, kot so: krom, nikelj, molibden, volfram, mangan, itd. Z večanjem porabe legiranega odpadka se zmanjšuje poraba ferolegur. Poleg legiranega odpadka iz obratov železarne je ta dosegljiv tudi z nakupom za dinarska in devizna sredstva. Še posebej pomembna je uporaba legiranih odpadkov, zato ker z dinarskimi sredstvi znižamo uvoz nekaterih ferolegur. Torej gre za delno substitucijo čistih surovin z odpadnim starim železom.

Z legiranimi odpadki je povezanih veliko problemov pri sortiranju, zbiranju, tehtanju in skladiščenju tega vložka. Pri večji porabi legiranih odpadkov se poveča riziko zgrešitve kemične sestave. Vendar se vso to problematiko splača reševati, saj daje povečana poraba legiranih odpadkov izredno ugodne ekonomske (dinarske in devizne) učinke. S pomočjo posebnih akcij nabave, jeklarne in računalniške ekipe ter uporabe računalnika se je poraba legiranih odpadkov v železarni vsako leto skoraj podvojila. Prej je bila poraba leg. odpadkov okoli 2500 t, leta 1982 pa 9000 t. (Glej sliko 1!)

Legiranih odpadkov je mogoče porabiti še več, vendar je to pogojeno z dodatnim skladiščenjem, tehtnico in večjo skrbjo pri zbiranju in sortiranju legiranega odpadka.

Pri akciji za povečanje porabe legiranih odpadkov smo vključili poleg procesnega računalnika še centralni računalnik železarne, kjer imamo ve-

* Jože Segel, dipl. inž. metalurgije je vodja službe za avtomatizacijo proizvodnih procesov v železarni Ravne.



Slika 1

Povečanje porabe legiranih odpadkov pri uporabi računalnika

Fig. 1

Increased consumption of alloyed scrap due to the application of computer

liko centralno banko podatkov z vso tehnologijo, naročili, materiali itd. Uporabo programa za napovedovanje potreb vložka smo dopolnili z dinamično tehnologijo, izdelano na procesnem računalniku, kajti izračuni sestave vložka v jeklarni so boljši, če optimiziramo tudi naročila legiranega

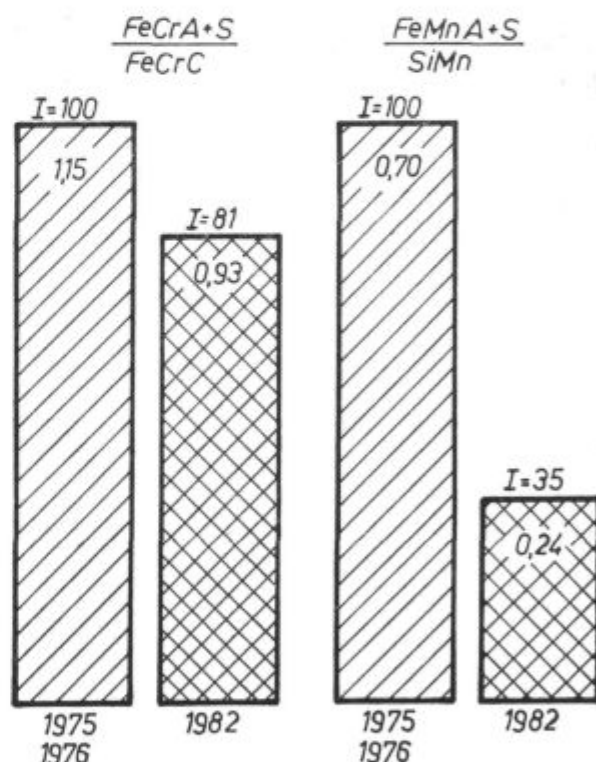
odpadka. Ta optimizacija je odvisna od konkretnih naročil in tržnih razmer ter možnosti nabave legiranih odpadkov.

ZNIZANJE STROŠKOV ELEKTRICNE KONICE

Električna energija predstavlja pomemben strošek pri proizvodnji jekla. Dve tretjini teh stroškov se nanašata na stroške električne konice. Prekomerna poraba električne energije ob električnih konicah je izredno draga. S pomočjo procesnega računalnika so doseženi za 6—7 % nižji stroški, kar predstavlja pomemben letni prihranek energije.

Originalno programsko rešitev vodenja konice smo v železarni izboljšali na več področjih, in sicer:

- natančnost vodenja konice se je izboljšala od 2 % na 0,5 %,
- pri izklapljanju peči se hitreje časovno zamika hod peči,



— Razmerje porabe ferolegur pred uporabo računalnika

— Razmerje porabe ferolegur pri uporabi računalnika 1982 leta

Slika 2

Znižanje porabe dragih ferolegur na račun cenejših

Fig. 2

Reduction in consumption of expensive ferro-alloys on account of cheaper ones

— postavili smo pravilnejšo porazdelitev prioritet med pečmi.

ZAMENJAVA DRAGIH FEROLEGUR Z CENEJŠIMI

Ferolegure kroma in mangana se močno razlikujejo po čistoti in ceni. Kolikor je mogoče, je treba zamenjati čistejše in dražje ferolegure z manj čistimi, večkomponentnimi in cenejšimi. To nam je tudi uspelo s pomočjo računalnika. Drastične spremembe kaže slika 2 za dva primera, podobno pa je stanje pri drugih ferolegurah.

Kar za 30—70 % se je razmerje med porabo dragih in cenejših ferolegure spremenilo v korist manjše porabe dragih ferolegur.

ZNIZANJE PORABE FEROLEGUR IN IZBOLJŠANJE KAKOVOSTI JEKLA

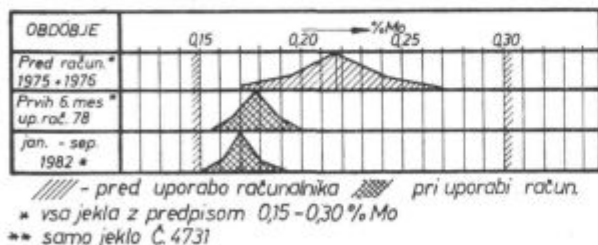
Poraba uvoženih ferolegur se je pri posameznem jeklu znižala zaradi že omenjene povečane porabe legiranih odpadkov in zaradi znižanja povprečne vsebnosti legiranih elementov v jeklu.

Skupni letni devizni prihranki znašajo od 500.000 \$ do 1.000.000 \$, odvisno od leta in cen uvoženih ferolegur. To je veliko več, kot so pred šestimi leti stali procesni računalniki.

Oglejmo si primerjavo sprememb širine in lege porazdelitve posameznih legiranih elementov in primerjavo lanskoletnih rezultatov z rezultati prvih 6 mesecev uporabe procesnega računalnika pri izračunu dodatka ferolegur.

Začnimo z molibdenom, ki predstavlja že kar šolski primer iz prakse, kaj se da doseči z uporabo računalnika.

Na sliki 3 vidimo, da je že v prvih mesecih uporabe računalnika prišlo do močne spremembe širine porazdelitve. V preteklem letu je bila dosežena povprečno 0,17 % vsebnost molibdena z odstopanji za $\pm 0,02$ %. Verjetno je s tem dosežena že skoraj skrajna meja možnosti, saj je omejena

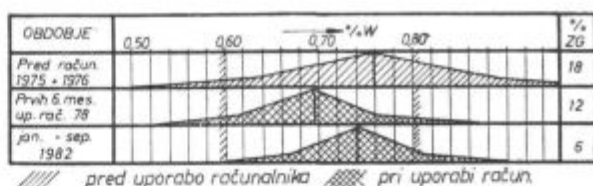


Slika 3

Zoženje in sprememba leg porazdelitve vsebnosti Mo pri uporabi procesnega računalnika pri jeklih 0,15—0,30 % predpisanih Mo

Fig. 3

Narrowing and shifting of the Mo-content distribution in using process computer for steel with prescribed 0.15 to 0.30 % Mo

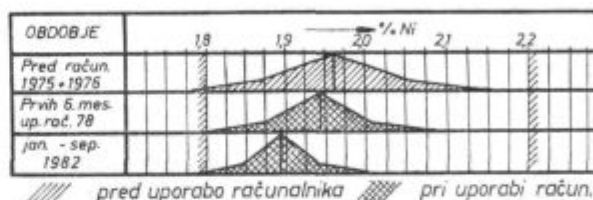


Slika 4

Sprememba širine in lege porazdelitve W in trikratno zmanjšanje odstotka zgrešenih šarž pri jeklu Č. 4650 po uporabi proc. računalnika

Fig. 4

Change in the width and the position of W distribution, and triple reduction of portion of failed melts of Č. 4650 steel due to the application of process computer



Slika 5

Spreminjanje povprečne vsebnosti Ni v skladu z zoženjem porazdelitev Ni pri jeklu Č. 5432

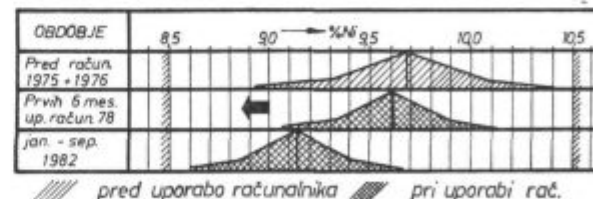
Fig. 5

Variation of the average Ni content according to the narrowed Ni distribution in Č. 5432 steel

tudi natančnost kvantometrov, homogenost in zanesljivost kemične sestave ferolegur, kvaliteta vzorčenja in tehtanja vložka ter ferolegur.

Kadar imamo opravka z nerealnim analzičnim predpisom, želimo le zmanjšati odstotek šarž izven analzičnega predpisa, in to tako, da osrednjo vrednost zožene porazdelitve lociramo v sredino analzičnega predpisa. Primer enkrat ožje porazdelitve in trikratno znižanje odstotka zgrešenih šarž kaže slika 4 za jeklo Č. 4650.

Od elementov, ki ne odgorevajo, si oglejmo še Ni, in to v primeru nizke in visoke vsebnosti. Na sliki 5 in 6 vidimo tipično postopno zoženje porazdelitve in povprečne vsebnosti elementa. Za jeklo Č. 5432 na sliki 5 je značilno, da se je povprečna vsebnost spreminjala v skladu s spreminjanjem širine porazdelitve in da pri obstoječi širini porazdelitve ne moremo pričakovati še nižje povprečne vsebnosti Ni pri tem jeklu, kajti z dodatnim zni-

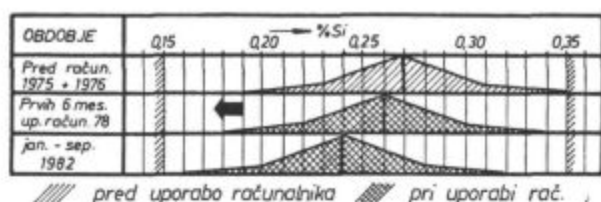


Slika 6

Hitro dosežena zožitev in kasnejša premaknitev lege porazdelitve pri Ni in jeklu Č. 4571

Fig. 6

Fast obtained narrowing and later shifting of the position of the Ni distribution in Č. 1513 steel



Slika 7

Spreminjanje lege, ne pa tudi širine porazdelitve Si pri jeklu Č. 1531

Fig. 7

Variation of the position but not of the width of the Si distribution in Č. 1531 steel

ževanjem vsebnosti Ni bi se preveč povečala verjetnost zgrešitve spodnje predpisane meje.

Pri jeklu Č. 4571 pa je nikelj že v prvih šestih mesecih uporabe računalnika dosegel tisto širino porazdelitve, ki se z leti ni bistveno spreminjala. Puščica na sliki 6 kaže, da je bil dobljen pri redni obdelavi podatkov končnih kemičnih analiz na centralnem računalniku železarne predlog sprememb želene vsebnosti niklja, ki je bil očitno v praksi tudi realiziran. V obeh primerih je bilo najprej doseženo znižanje odstotka zgrešenih šarž na nič, kar je v skladu s postopkom spreminjanja ciljane kemične sestave.

Spremembe v širini porazdelitve ne kažeta ne Si in ne Mn. Pride le do premaknitve porazdelitve, kot to kaže primer za Si pri jeklu Č. 1531 (slika 7). Še vedno pa je porazdelitev v sredini predpisa. Za C, Si in Mn v praksi velja, da se ne znižajo vsebnosti teh legiranih elementov na račun znižanja stroškov, saj so to v primerjavi z drugimi uvoženimi ferolegurami poceni legure, ki pa imajo zelo močan vpliv na mehanske in kalilne lastnosti jekla.

To, da posamezen element odgoreva, še ni razlog, da ne bi mogli zožiti porazdelitve vsebnosti takega elementa. Dokaz za to sta V in Cr. Na sliki 8 vidimo določen uspeh pri vanadiju, kjer se je porazdelitev zožila za 1/3 in povprečna vsebnost znižala za 0,025 %.

Slika 9 kaže spreminjanje porazdelitve Cr pri jeklu Č. 4150, ki se dela po pretopitvenem postopku. Doseženo je hkratno zoženje porazdelitve in znižanje vsebnosti Cr.

Porazdelitev se je zožila za 1/3 do 1/2.

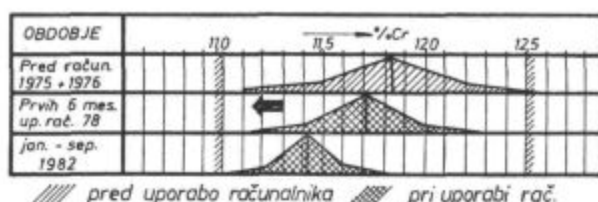


Slika 8

Zoženje porazdelitve in znižanje vsebnosti vanadija pri jeklu Č. 6444

Fig. 8

Narrowing of the distribution and the reduction of vanadium content in Č. 6444 steel



Slika 9

Postopna zožitev porazdelitve in znižanje vsebnosti Cr pri jeklu Č. 4150

Fig. 9

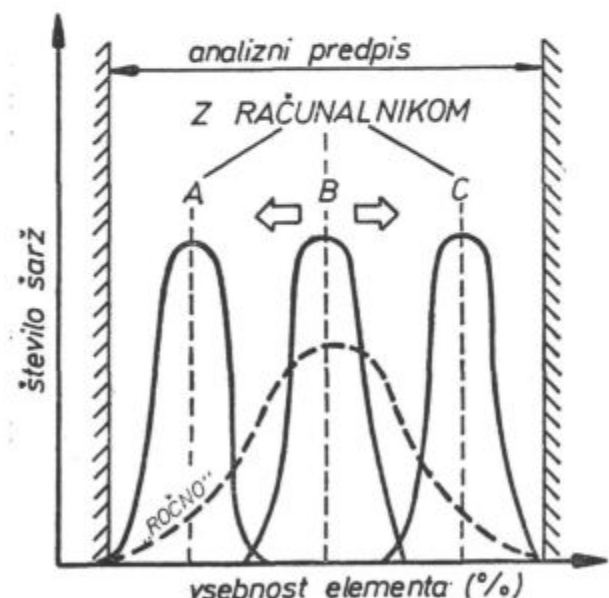
Gradual reduction of the distribution and the reduction of chromium content in Č. 4150 steel

Poglejmo, kakšne zožitve širine porazdelitve vsebnosti legiranih elementov lahko imamo za realne in jih je treba doseči pri tistih jeklih, kjer še niso dosežena:

- C do 15 %
- Si do 10 %
- Cr 30—50 %
- Ni 30—50 %
- V 20—30 %
- W 20—40 %
- Mn do 20 %
- Mo 40—60 %

Takšna znižanja standardnega odklona veljajo seveda le za delo na elektroobločnih pečeh brez ponovne tehnologije in avtomatskega doziranja.

Železarna Ravne proizvaja preko 350 vrst jekel, od navadnih ogljičnih do zelo visoko legiranih in zahtevnih jekel. Bolj ko je jeklo legirano, bolj pomembna je vloga računalnika pri legiranju. Pri

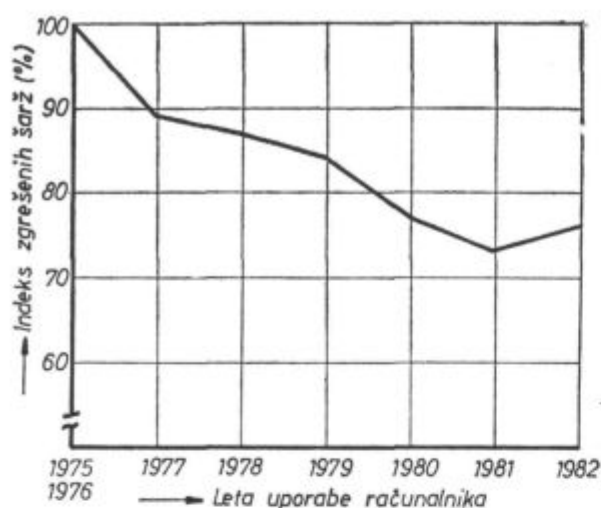


Slika 10

Premikanje lege porazdelitve vsebnosti legiranih elementov pri uporabi procesnega računalnika

Fig. 10

Shifting of the position of the content of alloying elements in use of the process computer



Slika 11

Znižanje odstotka (indeksa) zgrešenih šarž pri legirnih elementih

Fig. 11

Reduction of the portion (index) of failed melts with alloying elements

visoko legiranih jeklih je že nepogrešljiv, pri navadnih ogljičnih jeklih pa so ekonomski in kakovostni učinki procesnega računalnika bolj skromni. Vendar je težišče razvoja železarne Ravne v smeri zahtevnejših ter legiranih, in ne masovnih jekel.

Zožitev porazdelitve končne kemične sestave jekla daje enakomernjšo kakovost jekla in je novi pripomoček za reguliranje mehanskih in kalinskih lastnosti jekla. Ozka porazdelitev vsebnosti posameznega legirnega elementa se lahko usmeri v tisto področje analiznega predpisa, ki daje boljše lastnosti jekla (slika 10). To smo naredili s pomočjo internih analiznih predpisov pri 15 jeklih, vendar se raziskave na tem področju nadaljujejo.

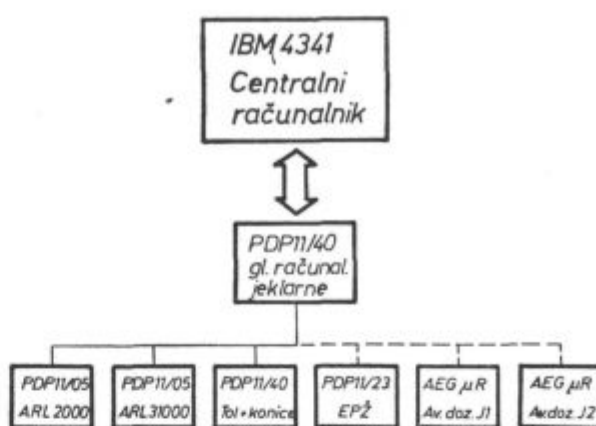
Merilo kvalitete dela v jeklarni je med drugim tudi odstotek kemijsko zgrešenih šarž. Na sliki 11 je prikazano znižanje odstotka (v obliki indeksa) zgrešenih šarž za vrsto preteklih let.

ZANIMIVE NOVOSTI

V celoten sistem računalništva v jeklarni se vključuje tudi kemijski laboratorij. Pred dvema letoma smo direktno povezali oba računalnika na kvantometrih kemijskega laboratorija z glavnim procesnim računalnikom jeklarni. Tako se rezultati kemijske analize avtomatsko prenesejo iz enega računalnika na drugega in na ustrezen terminal v jeklarni, valjarni, kovačnici ali mini livarni.

Avtomatizirano je tudi polnjenje banke podatkov TKR na centralnem računalniku in zmanjšano število žensk na nočni izmeni v kemijskem laboratoriju.

Še posebej zanimiva je inovacija, ki jo imenujemo avtomatski LEGI. To je avtomatizacija izra-



Slika 12

Računalniška hierarhija jeklarni

Fig. 12

Computer organisation in the steel plant

čuna dodatka ferolegur ob javljanju rezultatov kemičnih analiz.

Pripravlja se neposredna povezava med avtomatskim dozirnim sistemom in računalniškim informacijskim sistemom jeklarni. Tako ima shema računalniških povezav za jeklarno (na sliki 12) hierarhično karakteristiko.

AKTUALNA PROBLEMATIKA

Rezultati uporabe računalnika se razlikujejo glede na vrsto jekla, peč, topilca, ožalca starega železa, delovodjo pri peči in pripravi vložka. Nekateri delavci bolj pazijo na proizvodne stroške, drugi manj. Pri navadnih jeklih je majhen vpliv računalnika na stroške izdelave jekla, pri visoko legiranih pa je že praktično nepogrešljiv.

Naštejmo osrednje aktualne probleme uporabe računalnika v jeklarni:

- tehtanje in sortiranje legiranega odpadka,
- indiferentnost in nejasna odgovornost za visoke stroške izdelave nekaterih šarž,
- varovanje izpada računalnikov in nujna nabava nekaj dodatne opreme iz uvoza,
- večjo specifično porabo električne energije je med drugim povzročala občasna prekinitev uporabe programa za izbiro naročila in znižanja porabe grodlja.
- vse revnejši proizvodni program — vse večje količine navadnega jekla.

ZAKLJUČEK

Pet let uspešne uporabe procesnega računalnika v jeklarni je očitno zaradi velikih deviznih in dinarskih prihrankov in boljše ter enakomernjše kakovosti jekla.

Pomeni pa tudi dobro izhodišče za uvajanje računalnikov v krmiljenje proizvodnih procesov v drugih tozdih železarne Ravne in v drugih slovenskih železarnah. Železarna Ravne je bila deležna številnih domačih in tujih priznanj, ki naj pomenijo vzpodbudo pri nadaljnjem delu.

REFERENCE

1. Segel J.: Uporaba procesnega računalnika v elektro jeklarni (Approaches to computercontrol in meltshop steel-making) Third international iron and steel congress 1978, Chicago, USA, proceedings Zelezarski zbornik 12-1978-2, str. 37-47
2. Rodič J., Segel J.: Application of a meltshop process computer system for quality control functions. Sixth international vacuum conference — International conference on special melting, San Diego, California, USA, april 23-27, 1979, proceedings p. 798-819
3. Segel J., Bratina J.: Praktische Erfahrungen der Rechneranwendung in der Schmelzmetallurgie, ETH — Kolloquium für Materialwissenschaften, Juni 1979, Zürich
4. Segel J., Bratina J.: Erfahrungen bei Anwendung des Rechners im Hüttenwerk Technica, 13/1979
5. Segel J.: Uporaba operacijskih raziskav pri računalniškem krmiljenju proizvodnih procesov Posvetovanje o informacijskih sistemih v združenem delu, VEKS Maribor, sept. 1979
6. Rodič J.: Experiences of Zelezarna Ravne with the application of meltshop computer for quality control functions Posvetovanje o avtomatizaciji v jeklarski proizvodnji, marec 1980, Katowice, Poljska
7. Segel J.: Uporaba procesnega računalnika pri izračunu sestave vložka Livarski vestnik, XXVII, 1980 — 5, 6, str. 162-171
8. Segel J.: Some approaches to computer control in foundry (Nekatere možnosti računalniškega krmiljenja v livarni) VI. international conference on production research, Novi Sad 1981
9. Segel J.: Coordination and adaptation of optimized computer models in meltshop 3rd Arc Furnace Meeting, Miskolc, Hungary, sept. 1981

ZUSAMMENFASSUNG

Mehr als fünfjährige Erfahrungen der Anwendung eines Prozessrechners im Stahlwerk des Hüttenwerks Ravne geben ein interessantes Bild über die ökonomischen und qualitätsmässigen Wirkungen der einzelnen Anwendungsbereiche des Rechners. Der Prozessrechner ist für die einzelnen Phasen der Stahlerzeugung an den Lichtbogen und Induktionsöfen eingeführt worden. Die Anwendung zweier DIGITAL Rechner hat sich von vier auf insgesamt zehn Elektroöfen verbreitet. Unter diesen zehn sind zwei im Stahlwerk Store das vom Hüttenwerk Ravne 70 km entfernt ist. In diesen Jahren sind die anfangs eingeführten Programme ergänzt und ausgebessert worden. Neue Programmpakete für die direkte Verbindung mit zwei Quantometren, der automatischen Berechnung der Ferrolegierungszugabe und die Verbindung mit der automatischen Dosierung von Ferrolegierungen sind entwickelt worden.

Aus ökonomischem Standpunkt sind hauptsächlich folgende Ergebnisse erreicht worden:

— Teilweise Substitution der Ferrolegierungen durch legierten Schrott, wobei der Verbrauch an legiertem Schrott drei bis viermal angestiegen ist.

— Um 30-70 % ist das Verhältniss zwischen dem Verbrauch der teuren und der billigen Ferrolegierungen Cr

und Mn niedriger, zugunsten des niedrigeren Verbrauches teurer Ferrolegierungen.

— Der durchschnittliche Gehalt teurer Legierungselemente ist wesentlich niedriger.

— Um 6-7 % sind die Kosten für die Spitzen der elektrischen Energie kleiner.

— Die Investitionskosten in den Prozessrechner haben sich früher als in 6 Monaten bezahlt.

Auf dem Qualitätsgebiet sind folgende wichtige Merkmale zu nennen:

— Die Breite der Verteilung der einzelnen Legierungselemente ist um 1/2 bis 1/3 enger geworden.

— Der Anteil der Fehlanalysen ist um 20 % niedriger.

— Die Regelung der mechanischen und Härteigenschaften von Stahl ist mit Hilfe des Prozessrechners, der Verschiebung und der richtigen Einstellung der Verteilung für die einzelnen Legierungselemente im Rahmen der Analysenvorschrift eingeführt worden.

Im Artikel werden die wichtigsten Merkmale der fünfjährigen Erfahrungen mit der Beschreibung der einzelnen Ergebnisse vom wirtschaftlichen und qualitativen Standpunkt angezeigt.

SUMMARY

More than five-year experiences with the use of a process computer in the Ravne steelworks give an interested image on the economic and quality effects in some fields of the computer application. The computer was introduced into single phases of the steel-manufacturing process in electric arc and induction furnaces of the electric steel plant. Application of two DIGITAL computers extended from 4 to totally ten electric furnaces among which two are in Store Ironworks about 70 km far from the Ravne Ironworks. In this period the initial programs were completed and improved, and new program packs for direct connection with two quantometers, for automatic calculation of ferro-alloy additions, and for connection with the automatic feeding of ferro-alloys were developed.

From the economic viewpoint the following important effects were achieved:

— Partial substitution of ferro-alloys by the alloyed scrap; thus the alloyed scrap consumption increased for 3 to 4 times.

— The ratio between the consumption of expensive and cheap Cr and Mn ferro-alloys was reduced for 30 to 70 % in favour to the reduction of expensive ferro-alloys.

— The average content of expensive alloying elements was essentially reduced in the final chemical analysis of steel.

— Costs of peak consumption of the electric energy were reduced for 6 to 7 %.

— Investment into the process computer was paid off in less than 6 months.

Important are also the effects in steel quality, as:

— Distribution width of single alloying elements was reduced for 1/2 to 1/3.

— Portion of chemically failed melts was reduced for 20 %.

— Regulation of mechanical and hardening properties of steel was introduced by the process computer, by shifting and by correct aiming of the distribution of single alloying elements inside the prescribed analytical limits.

Paper gives the basic characteristics of the five-year experiences by the description of single results from the viewpoint of economy and the quality of steel manufacturing.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Свыше пятилетних опытных исследований при применении вычислительной машины для управления процессом в сталеплавильном цехе металлургического завода Железарна Равне дали примечательный обзор экономических и качественных мощностей в отдельных областях применения этой машины. Вычислительная машина была введена в отдельные фазы изготовления стали в электродуговых и индукционных печах сталеплавильного цеха. Применение двух цифровых вычислительных машин (ЦВМ) расширено с четырех на все десять дуговые печи от которых две дуговые печи находятся в металлургическом заводе Железарна Шторе (этот завод лежит прибл. 70 км от металлургического завода Железарна Равне). В течении этих лет намеченная программа была дополнена, и улучшена и на основании этого развиты новые программные пакеты для непосредственной связи с двумя квантометрами, автоматическим вычислением добавок в связи с автоматической дозировкой ферросплавов.

Что касается экономики, то получены главным образом следующие результаты:

— частичное замещение ферросплавов с легированными отходами; таким образом расход легированных отходов увеличился на 3 до 4 раза;

— расход дорогих ферросплавов в отношении до дешевых Cr и Mn уменьшен на 30—70 % в пользу дорогих ферросплавов;

— существенное снижение среднего содержания дорогих легированных элементов в конечном химическом составе сталей;

— снижена затрата при пиковой электроэнергии на 6—7 %;

— инвестиции вложены в вычислительную машину для управления процессом были возвращены прежде 6-ти месяцев.

Примечательны также достижения в области качества стали. При этом установлено следующее:

— ширина распределения отдельных легированных элементов сузилась на 1/2 до 1/3;

— на 20 % снижено число неудачных шихт.

Введена также регулировка определения механических свойств стали и закалки стали, а также сдвига и правильного прицеливания подразделения отдельных легированных элементов в внутри пределов предписанного состава.