

OPTIMIZACIJA LEGIRANJA JEKLA Z UPORABO RAČUNALNIŠKEGA PROGRAMSKEGA PAKETA ALLOY-PRO®

THE SOLUTION OF ALLOYING PROBLEMS USING THE COMPUTER ADDED PROGRAM PACKAGE ALLOY-PRO®

Blaženko Koroušič

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 LJUBLJANA

Prejem rokopisa - received: 1999-04-01; sprejem za objavo - accepted for publications: 1999-05-10

Opisane so številne prednosti pri uporabi računalniškega programa v kombinaciji z bazo podatkov pri izračunavanju legirnih dodatkov pri izdelavi jekla. Podane so osnovne značilnosti programskega izvajanja kompleksnega izračunavanja legiranja v jeklarni pri izdelavi različnih jekel. V zadnjem desetletju so bile razvite številne aplikacije linearnega programiranja za potrebe legiranja in optimalnega izračunavanja vložka, zlasti za velike računalniške sisteme. Programski paket ALLOY-PRO® je bil izdelan z namenom, da pokrije področje osebnih računalnikov za potrebe manjših in srednje velikih jeklarn in livarn jekla.

Ključne besede: proizvodnja jekla, legiranje, linearno programiranje, baza podatkov, Alloy-Pro

The advantages associated with the application of the databank system with software program ALLOY-PRO® to the calculation of a number alloying operations in the steelshop in the production of different types steel grades are described. Potential applications for the use of the ALLOY-PRO® routines in program for handling complex alloying calculations and can cover an extremely diverse range of applications. Over last years, it become obvious that many programs (especially for frame computers) would benefit from the ability to make the charge or alloy calculations. ALLOY-PRO® software was developed for the small foundries and steelworks and is based on improved linear programming routines and enhanced by a set of practical interface routines to allow their easy use in the praxis.

Key words: steel production, alloying, linear programming, databank, Alloy-Pro

1 UVOD

Legiranje je pomembna tehnološka faza pri izdelavi jekla, ki se prilagaja tehnološki liniji in vrsti uporabljenega postopka. Sodobna jeklarska praksa uporablja pri končni stopnji izdelave jekla t.i. postopke sekundarne metalurgije: - ponovčno peč (LF), VOD (vacuum oxygen decarburization) ali VAD (vacuum arc degassing) in druge.

Uvajanje avtomatizacije v jeklarsko prakso je med prvimi zajelo postopke legiranja, kajti izbira optimalne količine in vrste legur močno vpliva na ekonomičnost proizvodnje jekla. Razvoj močnih računalniških sistemov je odprl neslutene možnosti uvajanja avtomatskega nadzora legiranja in šaržiranja v realnem času.

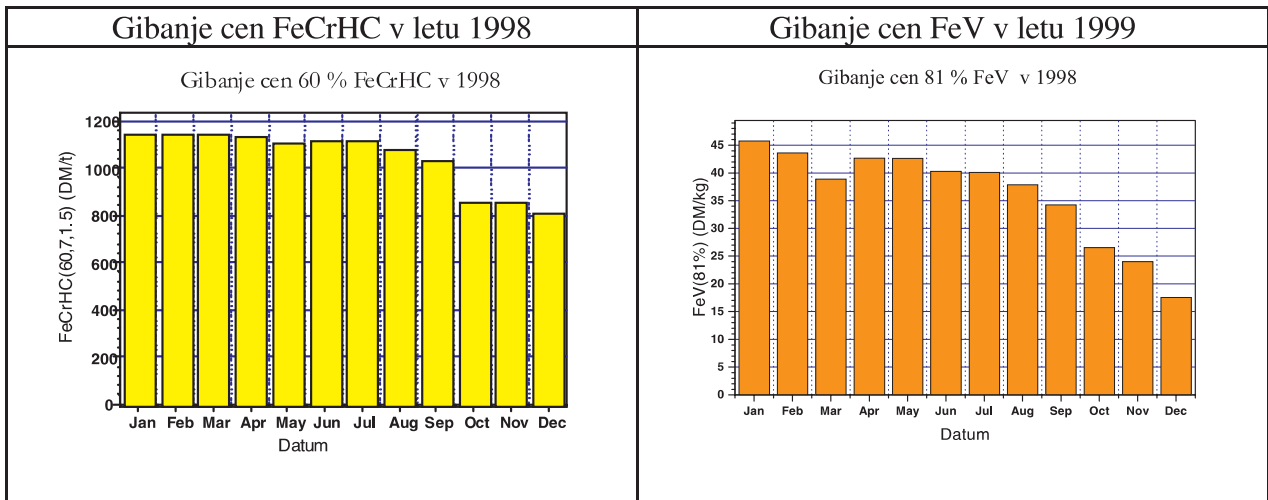
V članku je predstavljen sodoben način vodenja avtomatskega legiranja jekla z računalniško podprto programsko opremo ALLOY-PRO®, ki temelji na principih linearnega programiranja in je razvito za okolje 'windows'. Pomembno vlogo pri tovrstnih aplikacijah igra izdelava lastne baze podatkov, njeno ažuriranje in zaščita, kajti zanesljivost vhodnih podatkov, ki se uporabljajo pri nadaljnjem procesiranju, je izredno pomembna.

2 PROBLEMATIKA LEGIRANJA IN NJEN POMEN ZA PRAKSO

Pomen legiranja kot tehnološke faze celotnega procesa je najbolj razvidna iz stroškovne analize izdelave jekla. Stroškovnik za legiranje jekla upošteva le direktne stroške za dodane legure, ne pa variabile, ki so vezani na dinamiko tega procesa. Namreč, sodobna konstrukcijska jekla imajo že zelo ozke tolerančne meje in se zato približevanje ciljnim analiznim vrednostim pogosto izvaja v več fazah (od spodnje meje proti cilju). Izvajanje teh korakov je postopno in zato vezano na čas, ki je potreben za zajemanje vzorcev taline, čakanje na analizo kemične sestave, kar vse vpliva na proizvodne stroške.

Naslednja, zelo velika težava, ki postaja v zadnjem času zelo aktualna, je izredno spreminjajoče se cene na trgu legirnih elementov, kar povzroča številne težave, tako pri planiranju zalog kot tudi pri natančnem izvajanju nabave legur v jeklarni. Kot zgled nam lahko rabijo podatki gibanja cen visoko ogljičnega FeCr in FeV na svetovnem trgu po podatkih Metall-Buletin za leto 1998 (**slika 1**).

Proizvajalci visoko kvalitetnih jekel, kot so nerjavna in orodna jekla z visoko vsebnostjo kroma in vanadija, morajo upoštevati mesečna gibanja cen in tudi načrtovati minimalne zaloge legur za nemoteno proizvodnjo. Pomen vprašanja optimalnega legiranja jekla, zlasti pri izdelovalcih kvalitetnih jekel, postane razvidno iz anali-



Slika 1: Gibanje cen FeCrHC (visoko ogljični) in FeV na svetovnem trgu v 1998
 Figure 1: Movement of the FeCrHC price on the world market

ze stroškov. Tabela 1 prikazuje povprečne stroške za legiranje na tono jekla v treh jeklarnah koncerna Slovenskih železarn v letu 1998.

Problem optimalnega legiranja postaja še bolj aktualen, ko se začne prestrukturiranje proizvodnje in asortimenta v jeklarni v smeri kvalitetnejših in zato dražjih jekel, kar se danes dogaja v vseh treh slovenskih jeklarnah.

Tabela 1: Analiza povprečnih stroškov legiranja v jeklarnah Acroni-Jesenice, Metal-Ravne in Jeklo-Štore v letu 1998

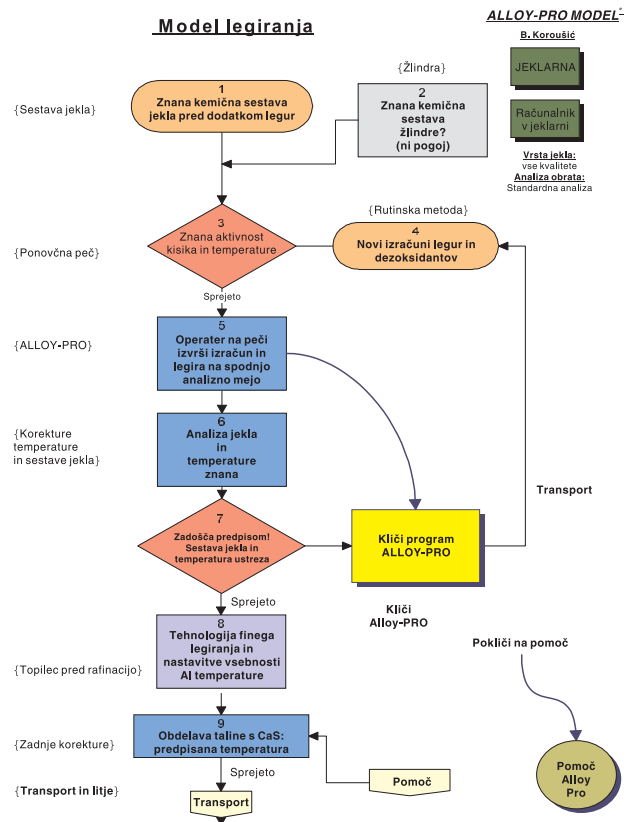
Zlitine	ACRONI		METAL		JEKLO	
Povp. stroški za zlitine	191	21,5	272	32,4	66	12,3
	DM/ t ¹⁾	% ²⁾	DM/t	%	DM/t	%

1) na tono tekočega jekla, 2) v % povprečnih mesečnih stroškov v jeklarni

3 PREDSTAVITEV RAČUNALNIŠKO PODPRTEGA MODELA LEGIRANJA

Sodobni programski paketi za optimalni način izračunavanja zlitinskih dodatkov in potrebnih dezoksidantov temeljijo na principih linearnega programiranja, pri čemer računalnik določi količino potrebnih zlitinskih dodatkov, zagotavljajoč ciljno kemijsko sestavo pri kombinaciji najnižji ponujenih cen za ferozlitine. Rezultat tega načina je hiter odziv in natančna simulacija dejanskih pogojev, zlasti glede na oksidacijsko stanje taline, pri čemer so prihranki pri operativnem času in legiranih elementih več kot samo vidni. Istočasno, ko poteka izračunavanje optimalne količine zlitin, pa program izračunava tudi toplotne efekte, vezane na raztapljanje zlitinskih dodatkov, in napoveduje temperaturo taline. Upoštevajoč izračunano liquidus - temperaturo taline in predpisano temperaturo litja, lahko sugerira dinamiko legiranja.

Slika 2 shematsko ponazarja sodobni model legiranja, ki omogoča razvoj lastne baze podatkov in širitev modula 'POMOC' za ekspertno komunikacijo med operaterjem-topilcem in programom.



Slika 2: Model računalniško podprtega izračunavanja zlitin v ponovni peči

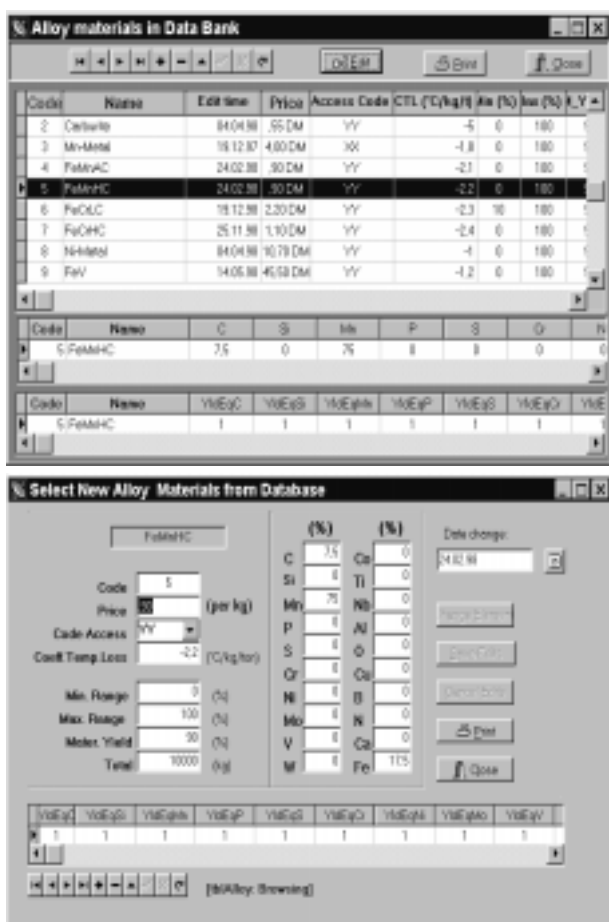
Figure 2: Computer added model of alloy calculations for the ladle furnace

4 PRIPRAVA BAZE PODATKOV

Priprava baze podatkov, ki jo program uporablja pri izračunavanju zlitin, ima glavno vlogo. Vneseni podatki morajo biti verificirani in pravočasno ažurirani. Vzdrževalec baze podatkov je odgovoren za njihovo pravilnost in je zato dostop do baze večinoma vezan na geslo, ker je zaščita podatkov ključnega pomena.

Slika 3 prikazuje značilno podobo glavnega panela zlitin in tabelo izbranih mas elementov, na osnovi katerih se izvaja programsko izračunavanje.

Na podoben način so vneseni tudi podatki o jeklih, in sicer njihova sestava pred legiranjem in ciljna sestava s spodnjo in zgornjo mejo. Posebna skrb mora biti



Slika 3: Izbira zlitine iz tabele in vnos ali korekcija vhodnih podatkov v bazi podatkov

Figure 3: Selection of alloy from the table or the correction of input data in the database

Tabela 2: Analiza t.i. 'prve probe' vzete iz EOP

Vrsta jekla	Sestava jekla, masni delež (%)									
	WN	C	Si	Mn	P ¹⁾	S ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V
GX22CrMoV12 1										
'Prva proba'		0,08	0,09	0,13	0,004	0,01	0,20	0,01	0,03	0,01
Ciljna sestava	1,4931	0,23	0,30	0,65	0,03	0,02	11,5	1,10	0,85	0,30

¹⁾ najvišje dovoljene vrednosti v končni probi so za P=0,03% in S=0,02%

Slika 4: Izvleček poročila o zlitinskih dodatkih v bazi podatkov
Figure 4: Report detail of the alloys materials in the database

posvečena pripravi podatkov o t.i. kovinskem in elementnem izkoristku. Namreč, vsak zlitinski dodatek ima svoj faktor izkoristka η zlitine in je odvisen od vrste materiala, njegove granulacije, kvalitete (primesi žlindre) in je večinoma neke vrste konstanta, npr. η FeCrHC = 95%. Poleg tega poznamo še elementni izkoristek, ki je vezan na element in pripadajočo številko enačbe izkoristka (glej sliko 3 npr. YldEqC=1). Tako postane delo zelo fleksibilno in se lahko prilagaja tipu jekla, ki ga izdelujemo in tehnološki fazi.

Vzdrževalec baze podatkov odgovarja tudi za vzdrževanje prenosa podatkov med nabavno službo in jeklarno. S slike 4 je razvidno poročilo o zlitinskih dodatkih, ki je usklajeno med nabavno službo in jeklarno.

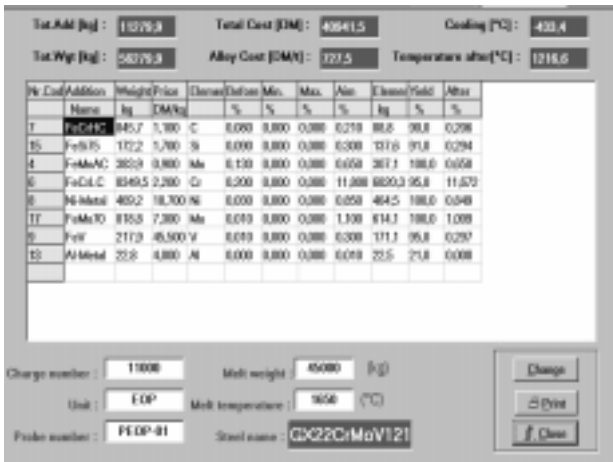
5 REZULTATI IZRAČUNAVANJA LEGUR

Priprava potrebnih zlitinskih dodatkov lahko poteka na različnih lokacijah, zato si oglejmo nekaj praktičnih primerov:

5.1 Primer št. 1. Izračun potrebnih predlegur za elektro-obložno peč

V elektro obložni peči (EOP) za nominalno maso taline 45 ton talimo kovinski vložek, ki po raztalitvi pokaže naslednjo kemijsko sestavo (tabela 2):

Operater uporablja prakso, da večino potrebnega kroma doda že prej v EOP, da pridobi na času pri delovnem taktu EOP - ponovna peč - litje. Z računalniškim programom najprej nastavi ciljne vrednosti tako, da uporabi čim več FeCr z visokim ogljikom in preostale legure, razen niklja (glede na temperaturne razmere), kar dodaja v ponovno peč. Slika 5 prikazuje, kako program



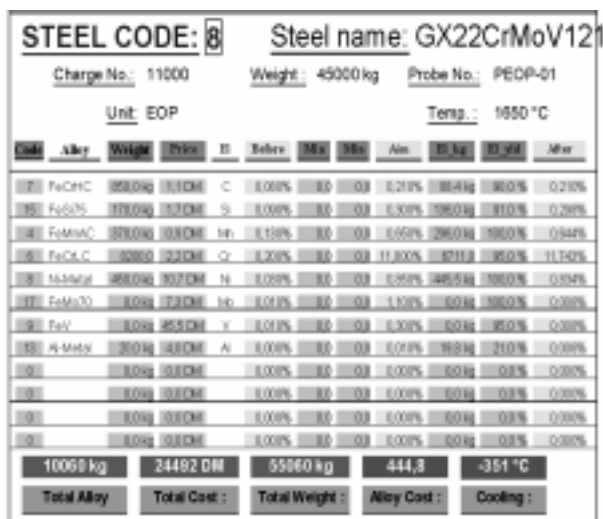
Slika 5: Rezultat računalniškega izračuna potrebnih legur glede na ciljno sestavo

Figure 5: Computer xcalculated amounts of alloy materials with regard to aim analysis

avtomatsko izračuna celotno količino potrebnih legur glede na ciljno sestavo jekla. Operater nato spreminja izračunane količine legur in se prilagaja termičnemu stanju taline (hladilni efekt z nikljem; slika 6)

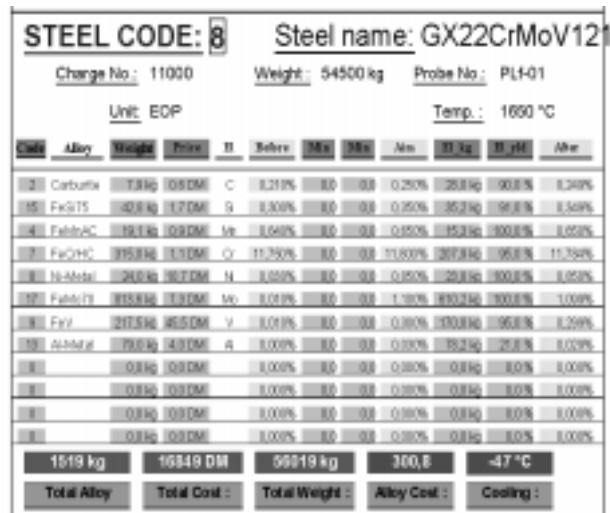
5.2 Primer št. 2. Izračun potrebnih legur za ponovčno peč (t.i. fino-legiranje)

V ponovčno peč navadno dodajajo preostale potrebne legure že med prebodom EOP, kar poleg drugih toplotnih izgub vodi do močne podhladitve taline. Zato jo operater najprej ogreje na primerno temperaturo in šele nato vzame vzorec za kemijsko analizo. Optimalna jeklarska praksa je, da se v tej fazi doda čim več zlitinskih dodatkov, kajti čas zadrževanja taline v po-



Slika 6: Dejansko izbrane količine in vrsta legur za dodatke v EOP

Figure 6: Computer determined amounts and sort of alloys as the additions for EAF



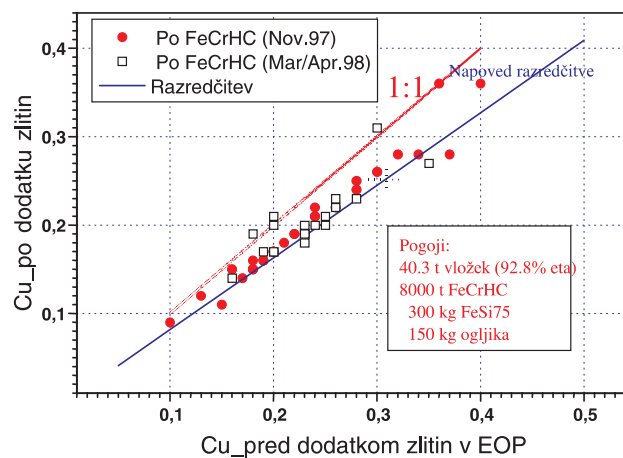
Slika 7: Izračun potrebnih zlitin v ponovni peč s ciljem doseganja predpisane sestave

Figure 7: Computer determination of needed alloys for the ladle furnace with regard on aim analysis

novni peč naj bo čim krajši. Kot prikazuje slika 7, se v talino dodajajo preostali elementi predvsem Mo in V, ki so izredno drage surovine, zato operater postavljene ciljne vrednosti premakne proti spodnji meji. Izračunane zlitine dodaja ponavadi v korakih, glede na oksidacijsko in termično stanje taline, toda poudarek je na čim-prejšnjem približevanju ciljni sestavi, kajti časa za preostale akcije je izredno malo.

5.3 Primer št. 3. Kontrola bakra v t.i. 'prvi probi' pred legiranjem

Pri izdelavi visoko legiranih orodnih jekel, legiranih s kromom, molibdenom in vanadijem je vsebnost bakra omejena na primer na največ 0.25 mas.%. Pogosto se zgodi, da je vsebnost Cu večja od 0,25 mas.%, in nastaja



Slika 8: Porazdelitev bakra v ti. 'prvi probi' pred in po dodatku osnovnih legur v EOP

Figure 8: Copper distribution in 'first probe' in EAF after the addition of the basic alloys

vprašanje, kolika je najvišja dopustna meja v t.i. 'prvi probi', ki se lahko še tolerira glede na postopek legiranja, ki nato sledi. Kot primer navajamo porazdelitev bakra v 'prvi probi' (slika 8) in napoved razredčitve le-tega pri izbranih pogojih legiranja jekla (ciljna sestava je okrog 12 % Cr).

Iz dobljenih rezultatov izhaja, da lahko pri celotnem legiranju v EOP postavimo kot najvišjo dovoljeno mejo vsebnosti bakra v 'prvi probi' na približno 0.3 mas.%. Ta ugotovitev in njeno izvajanje v praksi pripomore pri uporabi cenejšega kovinskega vložka.

6 SKLEPI

V članku je obravnavana uporaba programskega načina izračunavanja zlitin pri izdelavi jekel. Predstavljen je programski paket **ALLOY-PRO**[®], ki je izdelan za osebne računalnike za t.i. okolje 'windows' in je namenjen za potrebe manjših in srednje velikih jeklarn in livarn jekla.

Osnovne smernice računalniškega izvajanja legiranja so:

- vzdrževanje in razširitev lastne baze podatkov, ki omogoča uporabniku optimiranje, tako vložka kot tudi legiranja,
- učinkovito unificiranje vnosa podatkov (cene, količine) za različne kvalitete jekel in laže prilagajanje spreminjajočim se, tržnim razmeram na področju ferolegur,
- lažja in zanesljivejša pot pri izvajanju optimizacije legiranja v jeklarni.

S praktičnim primerom je predstavljen postopek izdelave baze podatkov in način izvajanja legiranja kvalitetnega jekla GX 22CrMoV 12 1, upoštevajoč sodobne smeri izdelave po tehnološki liniji elektro obločna peč - ponovčna peč - litje jekla.

Pokazan je praktičen primer uporabe programa legiranja pri kontroli bakra v t.i. 'prvi probi' po raztalitvi vložka, kjer zaradi razredčitve taline z večjimi količinami zlitinskih dodatkov lahko uporabljamo cenejše materiale.

7 LITERATURA

- ¹ Dokumentacija o programskem paketu **ALLOY-PRO**[®], uporaba in navodila, 1998