

OPTIMIZACIJA POSTOPKA IZRAČUNAVANJA KOVINSKEGA VLOŽKA Z UPORABO RAČUNAL- NIŠKEGA PROGRAMSKEGA PAKETA CHARGE-PRO®

THE SOLUTION OF OPTIMAL CHARGE CALCULATIONS USING CHARGE-PRO® THE COMPUTER-AIDED PROGRAM PACKAGE

Blaženko Koroušič

Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija
blazenko.korouasic@imt.si

Prejem rokopisa - received: 2001-03-30; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-05-22

Opisane se številne prednosti pri uporabi računalniškega programa v kombinaciji z bazo podatkov pri izračunavanjih vložnih materialov pri izdelavi jekla v jeklarnah in jeklolivarnah. Podane so osnovne značilnosti programskega izvajanja kompleksnih izračunavanj kovinskega vložka v jeklarnah in jeklolivarnah pri izdelavi različnih, zlasti visoko legiranih jekel. V zadnjem desetletju so bile razvite številne aplikacije linearnega programiranja za potrebe optimalnega izračunavanja vložka, zlasti za velike računalniške sisteme. Programski paket CHARGE-PRO® je bil izdelan z namenom, da pokrije področje osebnih računalnikov za potrebe manjših in srednje velikih jeklarn in jeklolivarn.

Ključne besede: izračun kovinskega vložka, Charge-Pro, baza podatkov, linearno programiranje, proizvodnja jekla, proizvodnja jeklo-litine

The advantages of using the databank system with the CHARGE-PRO® software program to calculate the number of charge-mix operations in the steelshop in the production of different types of steel grades, especially for high-alloyed steels, are described. The potential applications for the CHARGE-PRO® routines in a program for handling complex charge-mix calculations is extremely diverse. In recent years it has become obvious that many programs (especially for frame computers) would benefit from the ability to make charge calculations. The CHARGE-PRO® software was developed for small and medium 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 practise.

Keyword: Charge mix calculation, Charge-Pro, databank, linear programming, steel production, steel foundry

1 UVOD

Izračun in sestava kovinskega vložka je pomembna tehnološka faza pri izdelavi jekla, ker se mora naročena količina in kvaliteta prilagajati proizvodnemu programu in ritmu tehnološke linije. Sodobna jeklarska praksa uporablja kot talilne agregate močne elektroobložne in indukcijske peči, v katerih se kovinski vložek raztali v najkrajšem možnem času. Po odvzemu t. i. 'prve probe' se mora operater zelo hitro **odločiti**, ali bo nadaljeval postopek za načrtovano kvaliteto ali pa bo izdelal alternativno kvaliteto (npr. ko je vsebnost bakra v talini nad dovoljeno mejo), ki jo kemična sestava jekla v 'prvi probi' še tolerira. Končna stopnja izdelave jekla se nato izvaja po t. i. **postopkih sekundarne metalurgije** v ponovni peči (LF) ali/in v VOD (vacuum oxygen decarburization) ali/in po VAD (vacuum arc degassing) in drugih variantah. Alternativna pot pomeni za jeklarno vedno izpad dinamike proizvodnje in se mora število t. i. 'zgrešenih šarž' omejiti na spodnjo mejo.

Uvajanje avtomatizacije v jeklarsko prakso je med prvimi zajelo postopke za pripravo optimalne sestave kovinskega vložka ter legiranje, kajti ravno ti dve operaciji močno vplivata na ekonomičnost proizvodnje jekla in doseganje proizvodnje z nizkimi proizvodnimi stroški. Današnji sodobni talilni agregati omogočajo dovajanje

velikih moči na tono jekla, tako da sodobne električne peči omogočajo izdelavo tudi do 42 talin na dan.

Po drugi strani je razvoj močnih računalniških sistemov odprl neslutene možnosti za uvajanje avtomatskega načina izračunavanja kovinskega vložka in legiranja v realnem času.

V članku bo predstavljen sodoben način izvajanja avtomatskega načina izračunavanja kovinskega vložka v jeklarnah in jeklolivarnah z uporabo računalniško podprte programske opreme CHARGE-PRO®, ki sloni na principih linearnega programiranja in je razvita za okolje 'windows'. Pomembno vlogo pri tovrstni aplikacijah igra poleg izdelave lastne baze podatkov njeno ažuriranje in zaščita. Pomembna je tudi kvalitetna priprava kovinskega vložka ter ažurno spremljanje kemične sestave legiranih materialov, kajti zanesljivost vhodnih podatkov, ki se uporabljajo pri nadaljnjem procesiranju, igra izredno pomembno vlogo.

2 PROBLEMATIKA OPTIMALNEGA IZRAČUNAVANJA KOVINSKEGA VLOŽKA IN NJEN POMEN ZA PRAKSO

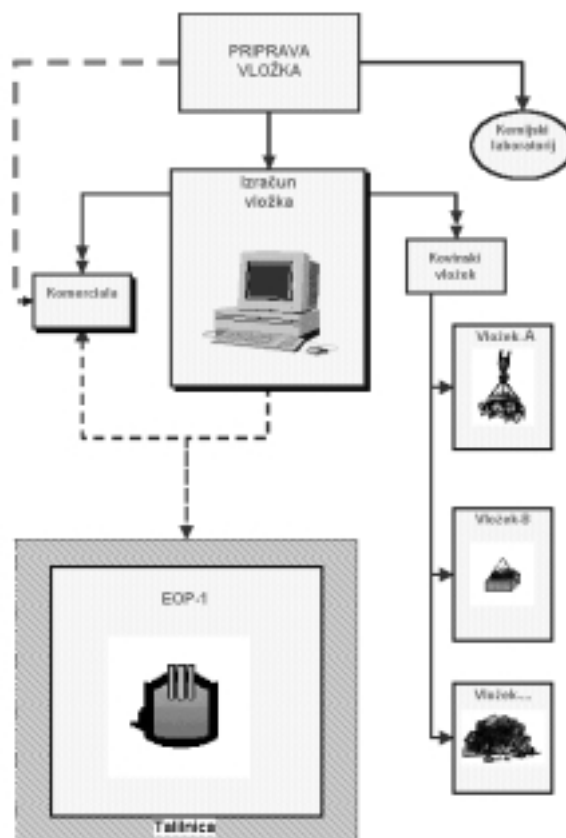
Pomen optimalne sestave kovinskega vložka kot tehnološke faze celotnega procesa se najbolj vidi v

stroškovni analizi izdelave jekla. Sestava stroškov za kovinski vložek jekla upošteva le direktne stroške za kovinske materiale, ne pa tudi **variabilne**, ki so vezani na optimalno sestavo t. i. 'prve probe' po raztalitvi kovinskega vložka in posledice zaradi 'ključne odločitve' operaterja, ali je kemična sestava sploh primerna za naročeno kvaliteto jekla. V veliko primerih pa zaradi neprimerne vsebnosti nezaželenih elementov (večinoma gre za vsebnosti fosforja in bakra) kvalitete, ki je na programu, ni mogoče izdelati. Namreč, sodobna konstrukcijska jekla imajo predpisane že zelo ozke tolerančne meje in se zato velikemu številu zgrešenih šarž lahko izognemo le z optimalno nabavo, izbiro in sestavo kovinskega vložka. Dodatni problem obstaja pri proizvajalcih kvalitetnih jekel, ker imajo na zalogi znatne količine **lastnega odpadka**. Zaradi elementov, ki hitro oksidirajo pri taljenju kovinskega vložka (npr. vanadija, volframa, kroma in dr.), je treba le-tega sestaviti tako, da se upošteva tudi oksidacija elementov v fazi taljenja.

Naslednji, zelo pereč problem, ki postaja v zadnjem času še bolj aktualen, je izredno nihajoče stanje na trgu kovinskih vložnih materialov, kar povzroča številne težave, tako pri načrtovanju zalog kakor tudi pri hitri nabavi.

3 SHEMA POVEZAV MODULOV PRI RAČUNALNIŠKEM IZRČUNAVANJU KOVINSKEGA VLOŽKA ZA JEKLOVARNE IN/ALI JEKLOLIVARNE

Na **sliki 1** je prikazana shematska povezava vseh pomembnejših modulov pri računalniško podprtem izračunavanju kovinskega vložka. Direktna povezava med komercialo-topilnico in pripravo vložka je nujno potrebna, ker gre večkrat za hitre odločitve, ko je čas za pripravo optimalnega kovinskega vložka kratek. Dosedanja praksa je pokazala, da imajo operaterji pri pripravi vložka za določeno kvaliteto jekla standardni recept, ki ga, če se le da, najraje uporabijo, in je tako težko slediti strategiji topilnice, da enakomerno in načrtno porablja vložne materiale.



Slika 1: Model računalniško podprte priprave kovinskega vložka za topilnico

Figure 1: Computer-aided model for the preparation of the metallic charge-mix for a meltshop

4 PRIPRAVA BAZE PODATKOV

Priprava baze podatkov, ki jo program uporablja pri izračunavanjih vložnih materialov, ima prvenstveno vlogo. Vneseni podatki morajo biti verificirani in pravočasno ažurirani tako po kemijski sestavi, nabavnih cenah kakor tudi količinah. Vzdrževalec baze podatkov je odgovoren za njihovo pravilnost in je zato dostop do te baze praviloma vezan na geslo. Baza podatkov je ločena od programa za izračunavanje vložka.

V **tabeli 1** je navedena sestava kovinskih materialov v eni izmed jeklarn kvalitetnih jekel, ki so na razpolago

Tabela 1: Povprečna analiza vhodnih kovinskih materialov v jeklolivarni v mešanici kovinskega vložka

Vrsta jekla	Analiza jekla, masni delež (%)									
	Količina	C	Si	Mn	P ¹⁾	S ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V
Mat-1	7700	2,70	0,60	0,8	0,035	0,025	16,00	0,69	1,00	0,20
Mat-2	1400	0,05	0,40	0,7	0,03	0,015	13,00	0,42	3,80	0,18
Mat-3	3000	3,50	1,60	0,8	0,20	0,100				
Mat-4	1000	1,20	0,45	13,2	0,03	0,020	1,85			
Mat-5	1500	7,00	1,50	0	0,03	0,010	70,00			
Mat-6	1800	0,10	0,10	0,2	0,03	0,030				0,20
Mat-7	65							65		

¹⁾ Nominalne vrednosti, podane le kot orientacijske

Slika 2: Praktični primer izračunavanja sestave t. i. 'prve probe' za jeklo izbrane sestave

Figure 2: Practical example of a metallic charge-mix calculation for 'first probe' for the known steel quality

za sestavo kovinskega vložka za določeno vrsto jekla in so dostopni za programsko izračunavanje. V **tabeli 1** ni podatkov o sestavi bakra, saj je potrebna t. i. 'prva proba' za ugotavljanje njenih vrednosti.

Poleg kemične sestave je treba vnesti tudi nabavne cene ali, če gre za povratni material, lastne cene, ki rabijo za obračunavanje med obrati (predelava-topilnica).

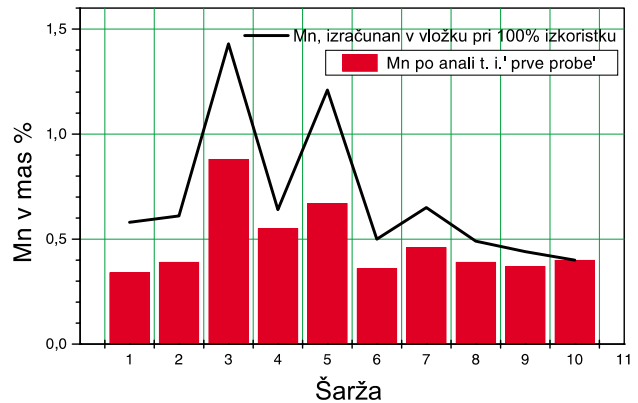
5 PREDSTAVITEV RAČUNALNIŠKO PODPRTEGA MODELA IZRAČUNAVANJA KOVINSKEGA VLOŽKA ZA JEKLARNE IN/ALI JEKLOLIVARNE

Programska oprema CHARGE-PRO® ima na razpolago dva modula za izračunavanje kovinskega vložka:

- ročno izračunavanje
- avtomatsko izračunavanje.

5.1 Ročno izračunavanje kovinskega vložka

Modul za ročno izračunavanje se uporablja za preverjanje obstoječe prakse priprave kovinskega vložka, in kot je prikazano na **sliki 2**, za oceno zelo pomembnega podatka o izkoristku določenega elementa med taljenjem kovinskega vložka. Jeklarska praksa je pokazala, da se nekateri elementi v kovinskem vložku oksidirajo med taljenjem in kot oksidi (razen ogljika, ki se kot CO prenaša v plinsko atmosfero) selijo v žilindrino fazo. Stopnja odgora med taljenjem je odvisna od talilnega agregata, vrste vložnih materialov ter načina dela, količine dovedene energije in vrste drugih parametrov. Navadno se vrednost odgora med taljenjem v sodobnih električnih pečeh giblje okoli 94% (**1064kg vložka za 1 tono taline**). Izkoristki posameznih elementov, kot so C, Si, Mn, Cr in drugi, se lahko gibljejo v širokih mejah (glej primer v **tabeli 2**).



Slika 3: Izkoristki mangana med taljenjem jeklenega odpadka v elektroobložni peči

Figure 3: Manganese yield during melting of metallic scrap in an electro-arc furnace

Pomembno je opozoriti, da pri računalniškem načinu izračunavanja vložka dobivamo tudi koristne informacije o stroških izdelane taline, kar je danes pomemben podatek, ker se tako lahko napovejo stroški izdelave jekla pred odločitvijo in prevzemom naročila.

Za primer izračunavanja sestave t. i. 'prve probe' po raztalitvi vložka, prikazani na **sliki 2**, so bili uporabljeni praktični rezultati za konkretno jeklolivarno in so podani skupaj z analizo t. i. 'prve probe'. Za vsako skupino jekla moramo pripraviti ustrežne vrednosti izkoristkov elementov in jih nato povezati s t. i. **enačbami izkoristka**. Pri dobro urejeni jeklarni/jeklolivarni se z leti, po zaslugi dobre statistične obdelave, ustvari lastna baza podatkov, ki ima velik pomen in pomeni del 'know-how'.

Na **sliki 3** je prikazana povezava med napovedano vsebnostjo mangana za 10 šarž, izdelanih v elektroobložni peči pri izkoristku mangana 100%, in dejansko vrednostjo mangana v talini po odvzemu t. i. 'prve probe' po končani fazi taljenja vložka.

Tabela 2: Povprečne vrednosti izkoristka elementov med raztapljanjem kovinskega vložka (mas %)

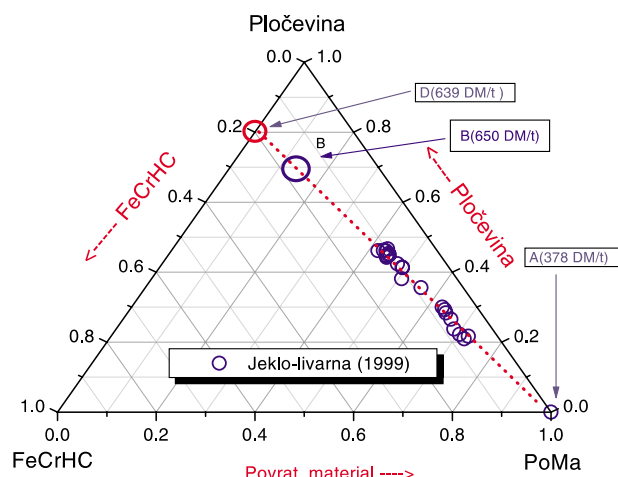
% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Mo	% V	% Al
95	60	90	95	99	100	95	21

5.2 Avtomatsko izračunavanje kovinskega vložka

Avtomatski način izračunavanja kovinskega vložka je zanimiv iz več razlogov:

- kadar delamo povsem novo jeklo in nimamo še dovolj lastnih izkušenj
- kadar kupec postavi omejitve pri nekaterih elementih, npr. vsebnost Cu ali P naj ne bi presegla 0,015% oziroma 0,025%
- pri preskušanju obstoječe prakse v nekoliko spremenjenih razmerah.

Na **sliki 4** je prikazan konkretni primer optimizacije sestave kovinskega vložka pri izdelavi visoko-legiranega



Slika 4: Gibanje sestave kovinskega vložka pri izdelavi jekla z 12 % Cr

Figure 4: Change in the chemical composition of the melt during the production of 12 % Cr steel

jekla z 12 % Cr. Operater ima na razpolago kvalitetno pločevino s kontrolirano vsebnostjo fosforja in bakra v zadostnih količinah. S programom CHARGE-PRO® najprej preskusi sestavo vložka za prvo varianto. Če ni zahtev za uporabo lastnega odpadka PoMa (pomožni material), bo računalnik po vnosu mase in sestave jekla sestavil kovinski vložek tako, da bo uporabil **ca 20% FeCrHC (visoki ogljik) in 80% pločevine**. Orientacijska cena 1 tone taline je po vhodnih podatkih okoli 639 DM. Povratni material za izbrano jeklo je ocenjen na 378 DM/t. Ta ekstremni primer se tudi uporablja v praksi (zlasti v jeklo-livarnah), so pa potrebne korekture kemijske sestave. Če gre za kvalitetne jeklene ulitke, pri katerih igra pomembno vlogo čistota jekla glede nekovinskih vključkov, je ta varianta praktično neuporabna.

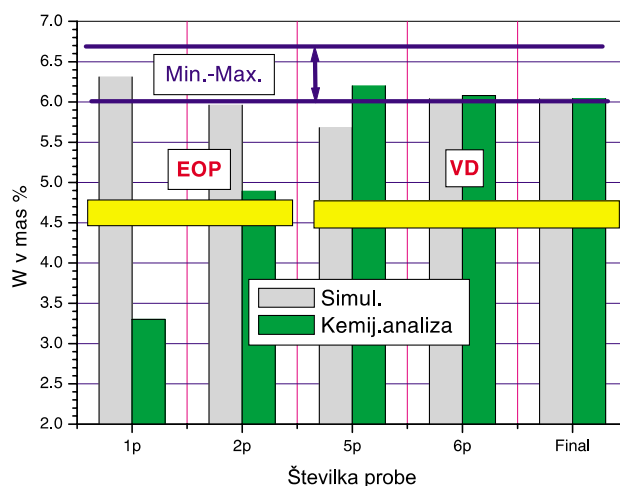
Praktične izkušnje pri izdelavi izbrane vrste jekla so pokazale, da glede na pričakovane lastnosti lahko uporabimo kombinacijo treh osnovnih komponent, in sicer:

- pločevino v količini ca. 70 %
- FeCrHC v količini 17,5 %
- lastni povratni material v količini 12,5%

za katero je obračunska cena podana v višini 650 DM/t. Z uporabo programa CHARGE-PRO® je bilo možno pokazati, da so možne tudi sestave kovinskega vložka z višjo udeležbo povratnega materiala, če ves čas držimo razmerje pločevina:FeCrHC v nakazanem razmerju 80:20.

5.3 Uporaba programskega izračunavanja vložka pri izdelavi jekla z visoko vsebnostjo Mo in W

Številne jeklarne kvalitetnih jekel izdelujejo orodna jekla z visoko vsebnostjo Mo in W. Sodobna tehnološka pot izdelave tovrstnih jekel je taljenje kovinskega vložka, kemična sestava, ki je zelo blizu končni, in nato posebna obdelava v napravah sekundarne metalurgije.



Slika 5: Gibanje sestave volframa med izdelavo hitroreznega jekla S 6-5-2 po EOP- in VD-postopku

Figure 5: Change in the chemical composition of tungsten content during the production of high-speed steel type S 6-5-2 in EAF (electric arc furnace) and VD (vacuum degassing) unit

Ker imajo sodobne električne peči veliko moč taljenja, se v kovinski vložek (v košari) šaržira vsaj 90% vseh potrebnih količin Mo in W v obliki ferozlitin FeMo in FeW. Zaradi izredno visokih temperatur tališča teh zlitin (FeMo70 okoli 1800-1900 °C in FeW80 okoli 3410 °C) in njihove visoke gostote (FeMo70 okoli 9,4 g/cm³ in FeW80 okoli 15,4 g/cm³) je taljenje vložka, kljub intenzivnemu dovajanju talilne energije, izredno počasen proces. Praksa je pokazala, da je v teh primerih napovedana kemijska sestava glede Mo in W veliko bolj zanesljiva kot dejanska analiza odvzete probe.

Na sliki 5 je prikazana primerjava med vsebnostjo volframa, izračunano v kovinskem vložku, v primerjavi z analiznimi vrednostmi pri izdelavi hitroreznega jekla S-6-5-2 po postopku EOP in VD. Šele po prelitju taline iz EOP v VD-ponovco se vrednost volframa približa pričakovani, glede na dodano maso FeW in maso taline ob upoštevanju delnega odgora volframa med taljenjem.

6 SKLEPI

V članku je obravnavana problematika računalniškega izračunavanja kovinskega vložka za jeklarne in jeklolivarne. Predstavljen je programski paket CHARGE-PRO®, ki je izdelan za osebne računalnike za t. i. okolje 'windows', in je namenjen za potrebe manjših in srednje velikih jeklarn in jeklolivarn.

Osnovne smernice računalniškega izračunavanja kovinskega vložka so:

- vzdrževanje in razširitev lastne baze podatkov, ki omogoča uporabniku optimiranje procesa sestave kovinskega vložka kot tudi legiranja
- učinkovito poenotenje vnosa podatkov (cene, količine) za različne kvalitete jekel in lažje prilagajanje

spreminjajočim se tržnim razmeram na področju vložnih materialov in ferolegur

- lažja in zanesljivejša pot pri izvajanju optimizacije sestave kovinskega vložka v jeklarni oziroma jeklovivarni.

S praktičnimi primeri je predstavljen postopek (na osnovi izdelane baze podatkov) izvajanja izračuna kovinskega vložka pri izdelavi jekla z 12 % Cr, upoštevajoč sodobno usmerjenost izdelave jekla po tehnološki liniji: elektroobložna peč - ponovna peč - litje jekla.

Pokazan je praktičen primer uporabe programa pri kontroli vsebnosti volframa po raztalitvi vložka in

nadaljnji obdelavi taline po vakuumskem postopku. Zaradi visokega tališča ferozlitin tipa FeMo in FeW jemanje vzorcev taline **ne daje realnih podatkov** v začetni fazi procesa, kar pogosto vodi do **zgrešenih analiz in velikih časovnih izgub** v cilju reševanja tovrstnih šarž.

7 LITERATURA

- ¹ CHARGE-PRO[®], The computer aided program package, Company UNIMET, Ljubljana, 2000