

Kontrola pasov garantirane kaljivosti in analiza vpliva kemijske sestave na kaljivost

DK: 620.179.3:519.24:562
ASM/SLA: J5, X14K, A3, A5f, S12

Jože Segel

Zaradi raznih tehnoloških vplivnih faktorjev, ki so funkcija časa, je potrebno kontrolirati pasove garantirane kaljivosti tudi takšnih jekel, pri katerih domnevamo, da je tehnologija osvojena. Obdelava podatkov za to dejavnost je rutinsko delo in zato primerno za AOP na računalniku.

Vpliv legirnih elementov na kaljivost določene jekla lahko izrazimo s koeficientom korelacije in regresijsko enačbo. Tako so dane možnosti, da z matematičnim modelom pristopimo k optimizaciji predpisane kemijske sestave za željen pas garantirane kaljivosti.

Obravnavanje podatkov Jominy preizkusov na računalniku je del večjega informacijskega sistema tehnične kontrole in raziskav, ki je bil razvit v železarni Ravne.¹

1. Izdelava Jominy pasov v železarni Ravne

Že več let uporabljamo v železarni Ravne Jominy poizkus kot redno metodo določanja kaljivosti v tekoči kontroli izdelanih jekel. Jominy poizkus pa nima kot kontrolna metoda pravega pomena, če ni kriterija za ocenjevanje, kdaj je kaljivost jekla dobra, slaba ali pomanjkljiva v posameznih območjih. V tekoči kontroli je nastala potreba po pasovih kaljivosti kot kontrolnih mejah, še preden so te zahteve začeli postavljati potrošniki.

Od začetka leta 1968 razpolaga železarna Ravne s pasovi garantirane kaljivosti za večino jekel svojega proizvodnega programa. Ti pasovi so izdelani na osnovi 95 % statistične gotovosti iz praktičnih poizkusov velikega števila šarž.

Pri vseh procesih industrijske proizvodnje nastopa kljub skrbni kontroli večja ali manjša variabilnost lastnosti produktov zaradi:

- različnih surovin,
- različnih agregatov,
- razlik v proizvodnih postopkih in
- različnega osebja, ki sodeluje v procesu.

To splošno pravilo prav posebno velja pri obravnavanju kaljivosti, ki je nedvomno ena najbolj občutljivejših lastnosti jekla.

Jože Segel je diplomirani inženir metalurgije, analitik za računalniške sisteme in vodja projektov AOP-TKR v Železarni Ravne

Zaradi raznolikosti vplivnih faktorjev, ki so funkcija časa, dobimo realno sliko o obstoječem nivoju in spremembah nivoja kakovosti kaljivosti jekla, le z rednimi periodičnimi analizami podatkov Jominy preiskav.

Periodična obdelava podatkov trdot pri Jominy preiskavah z analizo porazdelitve, ločeno po posameznih razdaljah od kaljenega čela, je rutinsko delo, ki je primerno za avtomatsko obdelavo na računalniku. Zato smo začeli v železarni Ravne sistematično zbirati podatke Jominy preiskav. Ti podatki se tako kot podatki ostalih meritev prenašajo v banko podatkov na računalniku. Shranjeni v banki podatkov nam služijo za redne ali izredne analize kakovostnega nivoja posameznih lastnosti jeklenih izdelkov, kakor tudi za analize vzrokov neprave kakovosti izdelkov.

2. Avtomatska obdelava podatkov Jominy preizkusov¹

Obdelava podatkov Jominy preizkusov je v železarni Ravne del kompleksnega informacijskega sistema avtomatske obdelave podatkov tehnične kontrole in raziskav. Celoten sistem obravnava podatke:

- fazne kontrole v obratu,
- kemijskega laboratorija,
- laboratorijske kalilnice,
- mehanskega laboratorija in
- podatke o neuspeli proizvodnji.

Podatki o Jominy preizkusu spadajo v skupino podatkov laboratorijske kalilnice in jih lahko obravnavamo ločeno ali v povezavi z drugimi vrstami podatkov. Posebej zanimivo je iskanje regresijske zveze med kemijsko sestavo jekla in rezultati Jominy preiskav.

2.1. Zbiranje podatkov

Izvirne podatke o Jominy preizkusu zbiramo na obrazcu, ki je prirejen za avtomatsko obdelavo na računalniku (AOP). Značilnost obrazca, prikazane na sliki 1, je ta, da ima vsak podatek svojo šifro in lahko zato vnašamo na kartice in v računalnik samo tiste izmerjene vrednosti (skupaj s šifro meritve), ki so bile izmerjene. Za tista jekla, pri katerih je pas garantirane kaljivosti že večkrat preverjen in utrjen, kontroliramo trdoto samo na izbranih oddaljenostih od kaljenega čela.

| ŽELEZARNA RAVNE | | Laboratorijska kalinica | | JOMINY PREIZKUS | | | | | | | | | |
|---------------------|------|-------------------------|------------------|-----------------|------------------|--------------------|---|-------|----|----|----|-------------|----|
| VK | | Interni delovni nalog | | Šarža: | | Vrsta jekla po ŽR: | | Datum | | V | | Jeklo (JUS) | |
| 6 | 3 | 7 | 2 | | | | | D | M | L | J | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Naziv meritve | Koda | Izmerjena vredn. | Naziv meritve | Koda | Izmerjena vredn. | | | | | | | | |
| Temp. normalizacije | 210 | | Temp. kaljenja | 510 | | | | | | | | | |
| Temp. žarjenja | 110 | | Temp. popuščanja | 911 | | | | | | | | | |
| HRC pri 1 mm | 561 | | HRC pri 17 mm | 577 | | | | | | | | | |
| HRC pri 2 mm | 562 | | HRC pri 18 mm | 578 | | | | | | | | | |
| HRC pri 3 mm | 563 | | HRC pri 19 mm | 579 | | | | | | | | | |
| HRC pri 4 mm | 564 | | HRC pri 20 mm | 580 | | | | | | | | | |
| HRC pri 5 mm | 565 | | HRC pri 25 mm | 581 | | | | | | | | | |
| HRC pri 6 mm | 566 | | HRC pri 30 mm | 582 | | | | | | | | | |
| HRC pri 7 mm | 567 | | HRC pri 35 mm | 583 | | | | | | | | | |
| HRC pri 8 mm | 568 | | HRC pri 40 mm | 584 | | | | | | | | | |
| HRC pri 9 mm | 569 | | HRC pri 45 mm | 585 | | | | | | | | | |
| HRC pri 10 mm | 570 | | HRC pri 50 mm | 586 | | | | | | | | | |
| HRC pri 11 mm | 571 | | HRC pri 55 mm | 587 | | | | | | | | | |
| HRC pri 12 mm | 572 | | HRC pri 60 mm | 588 | | | | | | | | | |
| HRC pri 13 mm | 573 | | HRC pri 65 mm | 589 | | | | | | | | | |
| HRC pri 14 mm | 574 | | HRC pri 70 mm | 590 | | | | | | | | | |
| HRC pri 15 mm | 575 | | HRC pri 75 mm | 591 | | | | | | | | | |
| HRC pri 16 mm | 576 | | HRC pri 80 mm | 592 | | | | | | | | | |

Krivulja JE - Ni v mejah predpisa _____ izdaja

Luknjali: Verific.: Proba: Vodja ali delovodja:

Slika 1

Obrazec za zajemanje podatkov Jominy preizkusa.

Fig. 1

Form for collecting data of Jominy test.

Druga značilnost organizacije zajemanja obravnavanih izvornih podatkov je ta, da so s številko internega delovnega naloga metalurških laboratorijev povezani med seboj vsi podatki, ki se nanašajo na isti delovni nalogi in jih lahko zato pri kompleksnejših raziskavah s pomočjo AOP med seboj povežemo in analiziramo. Karakteristični podatki posameznega Jominy preizkusa so podani na internem delovnem nalogu, ki se tudi prenaša v računalnik.

2.2. Obdelava podatkov

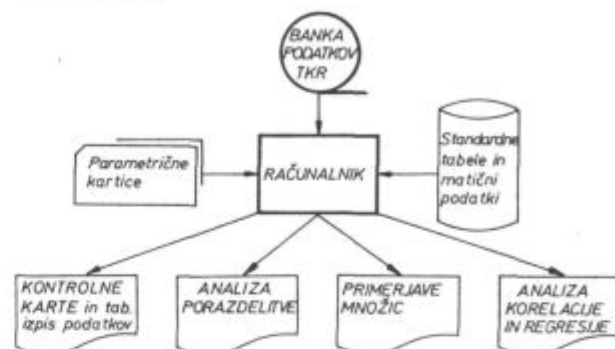
AOP obravnavanega področja lahko razdelimo v dve skupini:

- polnjenje banke podatkov in
- matematično-statistične analize podatkov — zbranih iz banke podatkov.

Prva skupina obdelav podatkov vsebuje že klasično kontrolo in prenos podatkov v eksterni del računalniškega spomina — v našem primeru na magnetni trak. Polnjenje banke podatkov poteka

redno, medtem ko so matematično statistične analize občasne.

Ravno področje analiz kakovostnega nivoja in vzrokov neprave prekaljivosti jekel je primerno za uporabo cele vrste matematično-statističnih analiz. Shemo te druge skupine obdelav podatkov kaže slika 2.



Slika 2

Uporaba banke podatkov za matematično statistične analize Jominy preizkusa.

Fig. 2

Use of data bank for mathematical statistical analysis of Jominy test.

Kontrolne karte (predvsem X-Rp)² nam služijo za slikovni, kronološki prikaz kaljivosti določene jekla in nas opozarjajo na tiste šarže, ki so izven kontrolnih mej. Uporaba kart je primerna za podrobno analizo kakovosti posameznega jekla.

S pomočjo analize porazdelitve lahko objektivno definiramo pasove garantirane kaljivosti. Ker je to področje še posebej pomembno, je opisano v posebnem poglavju.

Matematično-statistično metodo primerjav srednjih vrednosti in standardnih deviacij lahko uporabljamo za primerjanje pomembnosti razlik med kaljivostjo sorodnih jekel in pomembnosti razlik v kaljivosti jekla, ki smo mu spremenili tehnološki postopek; torej za primerjavo kakovosti jekla, izdelanega po stari in novi tehnologiji.

Kako lahko uporabimo primerno organizirano banko podatkov za povezovanje podatkov Jominy poizkusov z drugimi vrstami podatkov, nam kaže analiza vpliva kemijske sestave na kaljivost jekla s pomočjo analize korelacije in regresije. Ta primer, ki je opisan v nadaljevanju, se lahko razširi še na analizo drugih vzrokov neprave kaljivosti jekel.

3. Pasovi garantirane kaljivosti

Izdelava in kontrola pasov garantirane kaljivosti s pomočjo računalnika je neposredno povezana z uporabo matematično-statistične analize porazdelitve, zato si jo поблиže oglejmo.

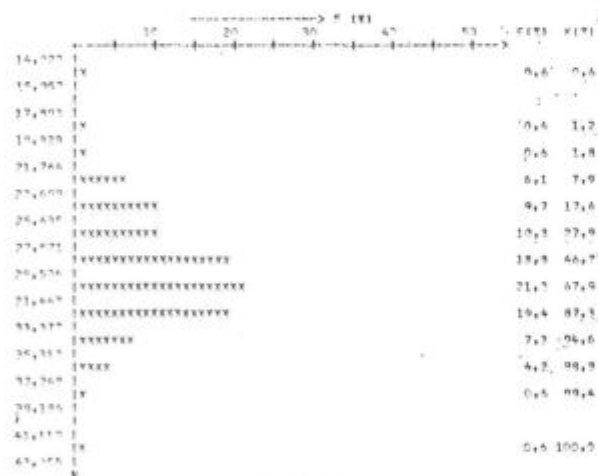
Pri analizi porazdelitve dobimo naslednje informacije:

- aritmetično srednjo vrednost,
- standardni odklon,
- število podatkov,
- koeficient variacije,
- statistične kontrolne meje,
- izpis podatkov, ki so zunaj kontrolnih mej ($X \pm 3 \cdot \text{SIGMA}$),
- rezultat testa na normalno Gaussovo in Poissonovo porazdelitev in
- histogram porazdelitev (slika 3).

TELEFONNA RAVNE = 400 DIZALSKO MEŠALO DATUM: 01.10.74 STRANI: 3
 PANEČLAVJE: 1427 ANALIZA POPRAVEDELOSTV MUŠICE: 32
 OBRABAVNA ZA: JAKLO 74. 6750 (VCMO 140)
 DOKUMENT: TEMPERATURA KALJENJA 840/870
 VREČA MERILNE: HRC PET BR 111 670/1057

ŠTEVILNI PODATKI: N = 565
 SREDNJA VREDNOST $\bar{X} =$ 29,596
 STANDARDNI ODKLON S = 3,471
 KOEFICIENT VARIACIJE V = 11,82 %
 SPONJEJA MEJA $\bar{X} - 3S =$ 17,9028 $\bar{X} + 1,96S =$ 31,9197
 ZORNJA MEJA $\bar{X} + 3S =$ 41,1997 $\bar{X} + 1,96S =$ 37,0797
 IZVH KRAJNJIH MEJ (X-3S) DO SPONJESIH 11,693 43,008

P O P R A V E D E L I T E V J E N O R M A L N A G A U S S O V A



Slika 3
 Rezultat analize porazdelitve podatkov Jominy preizkusov jekla Č.4732 (VCMo-140).
 Fig. 3
 The result of analysis of data distribution for Jominy tests of Č.4732 (VCMo-140) steel.

Iz teh podatkov lahko dobimo odgovore na vprašanja:

- ali obstaja realni razlog za mnenje, da je prišlo v procesu do nepredvidene spremembe,
- ali je z namernimi spremembami proizvodnega postopka ali vložka dosežen želeni cilj in
- kakšno toleranco kakovosti lahko zagotovimo pri obstoječem tehnološkem postopku.

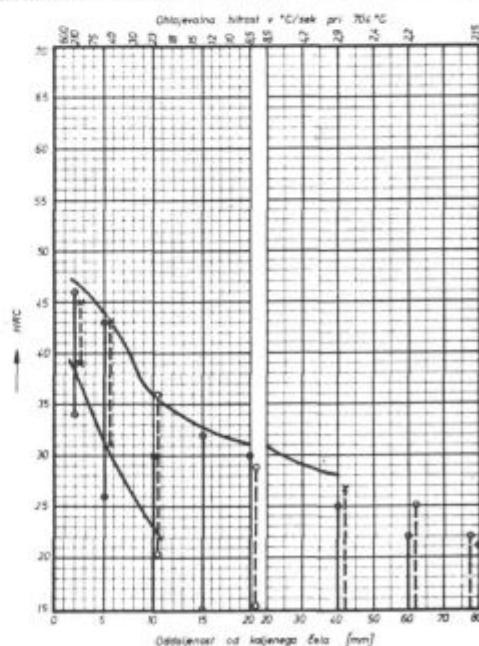
Rezultati analize porazdelitve se dalje uporabijo za grafični prikaz pasov garantirane kaljivosti

in redkeje za prenos porazdelitve v verjetnostno mrežo.

Širine in nivo garantirane kaljivosti posameznega jekla se spreminjajo z leti. Za primer zasledovanja in primerjave pasov garantirane kaljivosti s standardnimi JUS pasovi si oglejmo slike 4 do 7. Slike so vzete iz kataloga Jominy pasov železarnе Ravne. Širine pasov na določenih oddaljenostih od kaljenega čela lahko primerjamo med seboj, saj se je pri starih kakor pri novih izračunavala na osnovi 95 % statistične gotovosti. Pri kontroli dejanske širine pasu je označena tudi vrsta porazdelitve.

Pri jeklih Č.4320, Č.4131, Č.4731 in Č.4732 lahko opazimo, da so se meje garantirane kaljivosti znatno zožile, kar lahko pripisujemo izboljšavi in stabilizaciji tehnoloških postopkov. Pri jeklu Č.4320 (EC-80) lahko zožitev v prvem delu pasu garantirane kaljivosti pripišemo povišani temperaturi kaljenja na 870°C. S tem ukrepom se je povišala spodnja meja pasu za 4 HRC in ravno za toliko se je zožil pas garantirane kaljivosti.

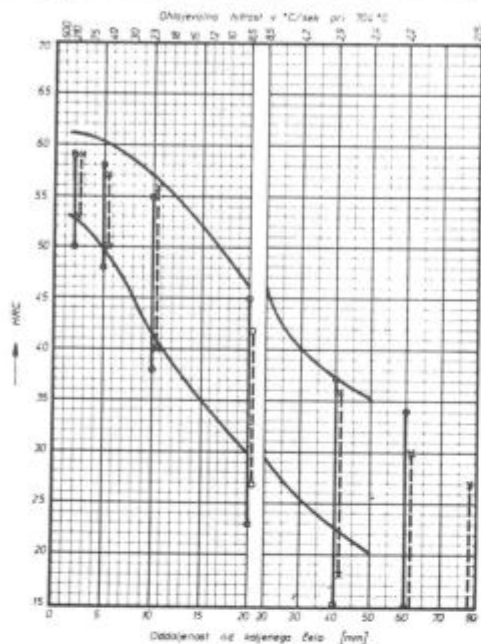
| PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|-----------|------|------|------|------|
| Č. 4320 | (R) | C % | Si % | Mn % | Cr % | Ni % | Mo % |
| | od | 0,4 | 0,15 | 1,00 | 0,80 | | |
| | do | 0,9 | 0,40 | 1,30 | 1,30 | | |
| 95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov | | | | | | | |
| Odobije | JUS Č.89020 | do 1969 leta | 1974 leta | | | | |
| Število izbit | | 162 | 114 | | | | |
| Kaljenje | 810 - 840 °C | 820 °C | 870 °C | | | | |
| Papušanje | | | | | | | |



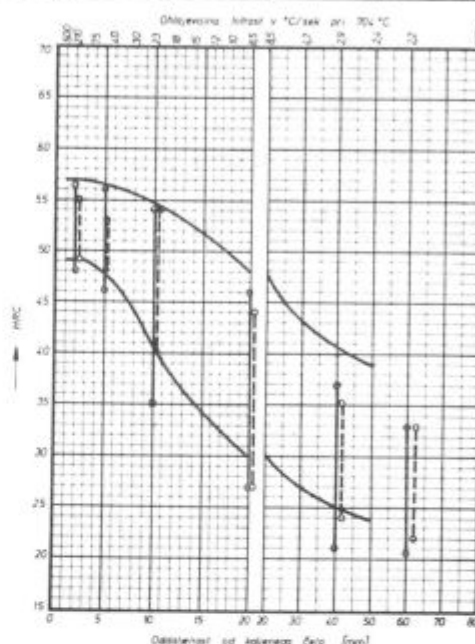
Slika 4
 Pas garantirane kaljivosti jekla Č.4320 (EC-80).
 Fig. 4
 Band of guaranteed hardenability of Č.4320 (EC-80) steel.

| PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|------|-----------|------|------|------|-----|--|--|
| Č. 4131 | | C % | Si % | Mn % | Cr % | Ni % | Mo % | V % | | |
| VC 140 | | od 0,38 | 0,15 | 0,50 | 0,90 | | | | | |
| | | do 0,45 | 0,40 | 0,80 | 1,20 | | | | | |
| 95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov | | | | | | | | | | |
| Obdobje | JUS CB9021 | do 1969/leta | | 1974/leta | | | | | | |
| Število šarf | | 109 | | 128 | | | | | | |
| Kaljenje | 820 - 850 °C | 840 °C | | 840 °C | | | | | | |
| Papušanje | | | | | | | | | | |

| PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS | | | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|------|-----------|------|------|------|------|--|--|
| Č. 4731 | | C % | Si % | Mn % | Cr % | Ni % | Mo % | V % | | |
| VCMo 135 | | od 0,30 | 0,15 | 0,50 | 0,90 | | | 0,15 | | |
| | | do 0,37 | 0,40 | 0,80 | 1,20 | | | 0,30 | | |
| 95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov | | | | | | | | | | |
| Obdobje | JUS CB9021 | do 1969/leta | | 1974/leta | | | | | | |
| Število šarf | | 254 | | 28 | | | | | | |
| Kaljenje | 830 - 860 °C | 840 °C | | 840 °C | | | | | | |
| Papušanje | | | | | | | | | | |



Slika 5 Pas garantirane kaljivosti jekla Č.4131 (VC-140).



Slika 6 Pas garantirane kaljivosti jekla Č.4731 (VCMo-135).

Fig. 5 Band of guaranteed hardenability of Č.4131 (VC-140) steel.

Fig. 6 Band of guaranteed hardenability of Č.4731 (VCMo-135) steel.

Primerjavo spremembe širine pasu jekla Č. 4131, Č.4731 in Č.4732 od 1969 do 1974. leta ter primerjavo s podobnimi SAE-H jekli kaže tabela 1.

Pri vseh obravnavanih jeklih opazimo, da se je širina pasov pomembno zožila. Nadalje lahko opa-

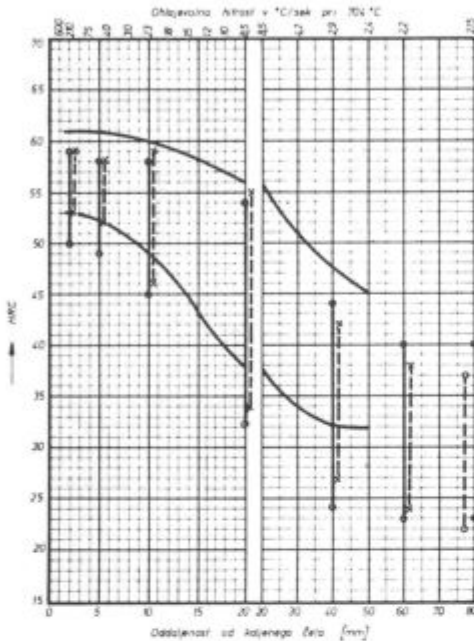
zimo, da je širina pasu takšna ali celo ožja kot pri SAE-H jeklih (podobne kemijske sestave).

To nam potrjuje uvodno trditev, da je potrebno spremljati kakovost jekla (v našem primeru kaljivost), čeprav se smatra, da je tehnologija je-

Tabela 1 — Primerjava širine pasu garantirane kaljivosti

| Jominy oddaljenost (mm) | Č.4131 (VC-140) | | | Č.4731 (VCMo-135) | | | Č.4732 (VCMo-140) | | |
|-------------------------|-----------------|------|------------|-------------------|------|------------|-------------------|------|------------|
| | ZEL. RAVNE | | SAE 5140-H | ZEL. RAVNE | | SAE 4134-H | ZEL. RAVNE | | SAE 4140-H |
| | 1969 | 1974 | | 1969 | 1974 | | 1969 | 1974 | |
| 2 | 9,0 | 6,0 | 7,0 | 8,5 | 6,0 | 7,0 | 8,5 | 6,0 | 7,5 |
| 6 | 10,0 | 9,0 | 11,0 | 11,0 | 7,5 | 10,0 | 10,0 | 9,0 | 9,0 |
| 10 | 18,5 | 14,5 | 18,0 | 18,5 | 14,0 | 13,0 | 13,5 | 13,0 | 12,0 |
| 20 | 20,5 | 16,5 | 16,5 | 19,5 | 16,5 | 16,0 | 20,0 | 20,5 | 19,0 |
| 30 | 24,0 | 16,5 | 14,5 | 16,0 | 12,5 | 15,0 | 21,0 | 16,5 | 20,0 |
| 40 | | | | 15,0 | 12,0 | 14,5 | 19,0 | 15,5 | 20,5 |
| 50 | | | | 15,0 | 12,0 | 14,0 | 18,0 | 14,5 | 19,5 |

| PAS GARANTIRANE KALJIVOSTI po JUS | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--------------|-----------|------|------|------|------|-----|
| Č.4732 | K | C % | Si % | Mn % | Cr % | Ni % | Mo % | V % |
| | od | 0,38 | 0,15 | 0,50 | 0,90 | | 0,15 | |
| VCMo 140 | do | 0,45 | 0,40 | 0,80 | 1,20 | | 0,30 | |
| | 95% območja so ugotovljena na osnovi tipov statističnih porazdelitev: O Gaussova, ● Poissonova, Δ Lognormalna, X Nenormalna, + Premalo podatkov | | | | | | | |
| Obdobje | JUS CBS.021 | do 1969 leta | 1974 leto | | | | | |
| Število šarž | | 188 | 165 | | | | | |
| Kaljenje | 820 - 850 °C | 860 °C | 840 °C | | | | | |
| Populacija | | | | | | | | |



Slika 7

Pasu garantirane kaljivosti jekla Č.4732 (VCMo-140).

Fig. 7

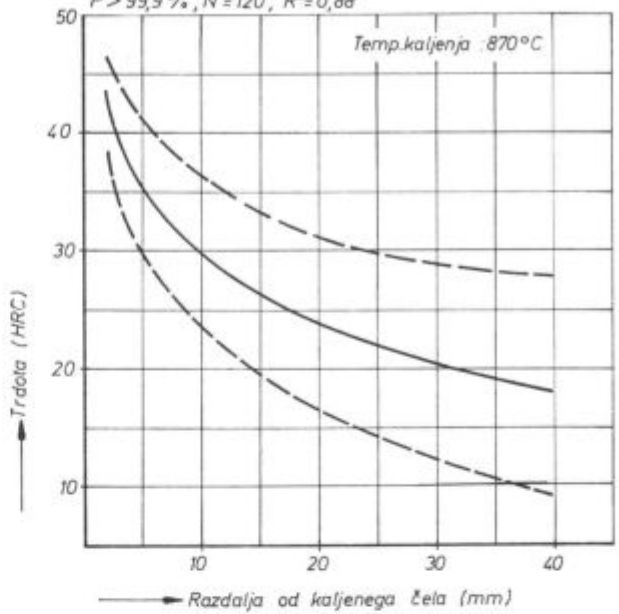
Band of guaranteed hardenability of Č.4732 (VCMo-140) steel.

kla osvojena. Še posebej je pomembno, da se preveri kaljivost jekla pri pomembnejši tehnološki spremembi. Le tako bomo imeli objektivno sliko o obstoječi kaljivosti določenega jekla.

Pasu garantirane kaljivosti lahko opišemo tudi čisto matematično z ustreznimi enačbami. Na sliki 8 vidimo enačbe in tem enačbam pripadajoči diagram pasu garantirane kaljivosti za jeklo Č.4320 (EC-80). Enačbe dobimo s pomočjo analize regresije dejanskih podatkov. Že iz standardnih diagramov pasov garantirane kaljivosti vidimo, da je širina pasu pri različnih jeklih različna in da je pri nekaterih močno odvisna od razdalje od kaljenega čela. Zvezo med povprečno trdoto pri Jominy preizkusu jekla Č.4320 in širino pasu garantirane kaljivosti kaže slika 9.

Povečanje širine razsipanja trdot pri tem jeklu lahko pripišemo močnejšemu vplivu variacij kemijske sestave pri manjši hitrosti ohlajanja in temu, da so meritve trdot po Rockwellu pri spodnji meji ali celo pod spodnjo mejo uporabnosti te metode nenatančne in nezanesljive.

HRC = 49,51 - 8,536 · log (razdalje)
Širina pasu = 392 · (2,62 + 0,05 · (razdalja))
P > 99,9 %, N = 120, R² = 0,88

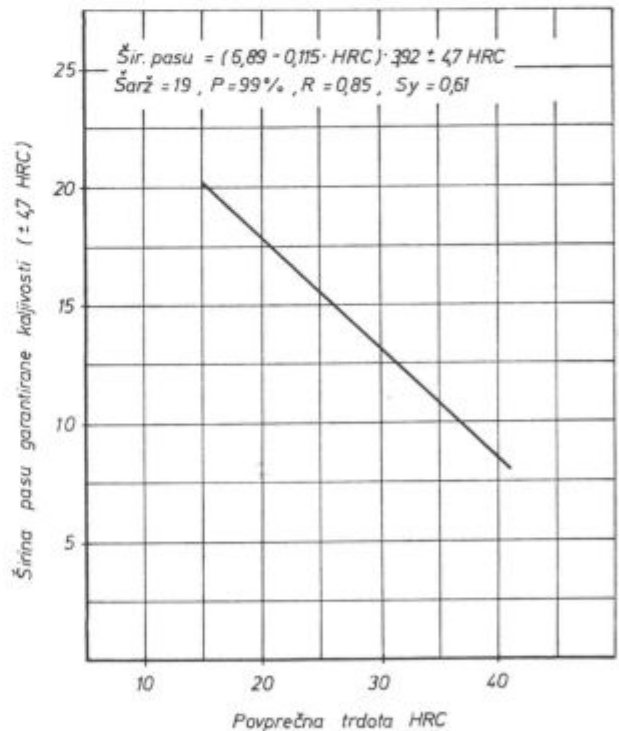


Slika 8

Regresijska zveza med trdoto in razdaljo od kaljenega čela pri jeklu Č.4320 (EC-80).

Fig. 8

Regression relationship between the hardness and the distance from the hardened face in Č.4320 (EC-80) steel.



Slika 9

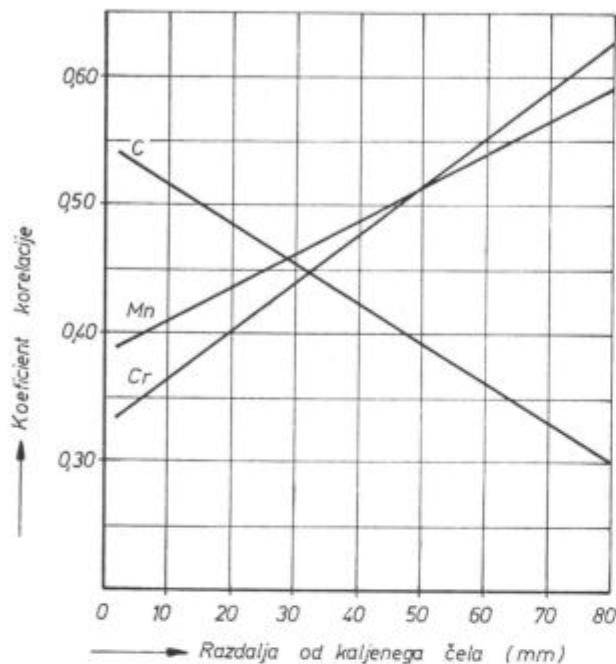
Zveza med povprečno trdoto pri Jominy preizkusu jekla Č.4320 in širine pasu garantirane kaljivosti.

Fig. 9

Relation between the mean hardness of Č.4320 steel by Jominy test and the width of the band of guaranteed hardenability.

4. Vpliv kemijske sestave na kaljivost jekla

V tem poglavju bomo obravnavali rezultate iskanja načina kvantitativne določitve vpliva pomembnejših elementov kemijske sestave na kaljivost jekla. Z metodo multiregresije bomo določili v obliki enačbe in regresijskih parametrov vpliv kemijske sestave na kaljivost jekla Č.4732 (VCMo-140).



Slika 10

Vpliv C, Mn in Cr na Jominy trdoto v odvisnosti od oddaljenosti od kaljenega čela za jeklo Č.4732

Fig. 10

Influence of C, Mn and Cr on the Jominy hardness dependent of the distance from the quenched face for the steel Č.4732

Na sliki 10 vidimo koeficiente korelacije med trdoto in ogljikom, manganom, oziroma kromom, ki se spreminja v odvisnosti od hitrosti ohlajanja. Pri manjših ohlajevalnih hitrostih je vpliv C manj-

ši kot pri večjih. Ravno obratno pa velja za Mn in Cr. Odvisnosti so premo sorazmerne.

Z analizo korelacije smo obdelali več vrst jekla. Korelacijski koeficient med določenim kemijskim elementom in določeno globino pri Jominy preizkusu se od jekla do jekla spreminja. Če primerjamo vpliv posameznih elementov na kaljivost jekla Č.4320 in Č.4732, vidimo, da so razlike (tabela 2). Te razlike lahko pripisujemo:

- različni povprečni vsebnosti kemijskega elementa,
- različni varianci kemijskega elementa in
- povečanju vpliva drugih kemijskih elementov.

Za boljše razumevanje rezultatov analize korelacije naj navedemo oceno koeficienta korelacije²: do 0,30 — negotova — neznatna medsebojna zveza

od 0,30—0,70 — pomembna zveza

od 0,70—0,90 — ozka zveza

nad 0,90 — zelo ozka zveza

Negativni korelacijski koeficient pomeni, da je zveza obratno sorazmerna.

Pri obravnavanih šaržah je neznatna medsebojna zveza med silicijem in kaljivostjo jekla Č.4732.

Kako pada ali narašča vpliv posameznih legirnih elementov z oddaljenostjo od kaljenega čela, vidimo tudi iz regresijskih enačb v tabeli 3. Za jeklo Č.4732 smo izdelali analizo vpliva kemijske sestave na trdoto pri sedmih različnih ohlajevalnih hitrostih, oziroma oddaljenostih od kaljenega čela. Zaradi velikega števila šarž (125) so odvisnosti zelo zanesljive (> 99,9 %). Koeficient določitve nam pove, da lahko okoli 50 % variacij trdote Jominy preizkusa pripišemo vplivu kemijske sestave. Ostala polovica variacij je pri tej analizi ostala nepojasnjena in jo lahko pripisujemo različni velikosti zrna, točnosti Jominy preizkusa, čistosti jekla, ostalim kemijskim elementom v jeklu itd.

Tabela 2 — Koeficienti korelacije med kemijsko sestavo in trdoto pri Jominy preizkusu za jeklo Č.4320 in Č.4732

| Razdalja od kaljenega čela (mm) | Č.4320 (EC-80) | | | | Č.4732 (VCMo-140) | | | |
|---------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| | C | Cr | Mn | Mo | C | Cr | Mn | Mo |
| | 0,15—0,18 % | 0,88—1,13 % | 1,00—1,30 % | 0,01—0,08 % | 0,38—0,45 % | 0,90—1,25 % | 0,49—0,80 % | 0,15—0,25 % |
| 2 | 0,59 | 0,17 | 0,28 | 0,10 | 0,71 | 0,06 | —0,03 | —0,06 |
| 5 | 0,64 | 0,21 | 0,32 | 0,14 | 0,65 | 0,20 | —0,12 | —0,01 |
| 10 | 0,47 | 0,43 | 0,44 | 0,26 | 0,58 | 0,43 | 0,08 | —0,06 |
| 20 | 0,37 | 0,59 | 0,52 | 0,36 | 0,57 | 0,51 | 0,30 | 0,03 |
| 40 | 0,35 | 0,64 | 0,55 | 0,31 | 0,55 | 0,46 | 0,32 | —0,06 |
| | 19 šarž | | | | 125 šarž | | | |

Tabela 3 — Regresijske enačbe kaljivosti jekla Č.4732 (VCMo-140) za kalilno temperaturo 840° C

| Razdalja od kalje-nega čela (mm) | Ohlajeval-na hitrost pri 704° C (v °C/sek) | Regresijska enačba | Koeficient determinacije R ² |
|----------------------------------|--|---|---|
| 2 | 210 | $HRC = 77,62 - 7,88 \cdot \frac{1}{C} - 1,80 \cdot \frac{1}{Mn} \pm 1,9$ | 0,40 |
| 5 | 46 | $HRC = 78,52 - 8,58 \cdot \frac{1}{C} - 2,11 \cdot \frac{1}{Mn} \pm 1,8$ | 0,49 |
| 10 | 23 | $HRC = 89,91 - 9,37 \cdot \frac{1}{C} - 3,52 \cdot \frac{1}{Mn} - 9,33 \cdot \frac{1}{Cr} \pm 2,9$ | 0,46 |
| 20 | 8,5 | $HRC = 129,17 - 84,11 \cdot \frac{1}{Cr} - 0,97 \cdot \frac{Cr}{C} + 30,27 \cdot Mn - 31,04 \cdot Si \pm 7,0$ | 0,57 |
| 40 | 2,9 | $HRC = 27,05 + 26,84 \cdot Cr - 10,99 \cdot \frac{1}{C} + 13,24 \cdot Mn^2 \pm 4,6$ | 0,58 |
| 60 | 2,2 | $HRC = 87,41 - 18,99 \cdot \frac{1}{Cr} - 11,12 \cdot \frac{1}{C} - 7,17 \cdot \frac{1}{Mn} \pm 3,9$ | 0,58 |
| 80 | 2,15 | $HRC = 87,94 - 8,41 \cdot \frac{1}{Mn} - 11,38 \cdot \frac{1}{C} - 18,92 \cdot \frac{1}{Cr} \pm 5,9$ | 0,41 |

Obravnavanih šarž: 125, P: 99,9 %

Dobljene enačbe lahko uporabimo za izdelavo nomogramov ali izdelavo računalniškega modela, s katerim lahko izračunamo Jominy krivuljo za posamezno šaržo. To v praksi pomeni, da bi lahko s pomočjo banke podatkov že na osnovi kemijske sestave šarže ingota ocenili, ali bo izdelek imel zahtevano kaljivost ali ne.

Raziskave, pri katerih smo želeli dobiti eno enačbo za izračun trdote pri poljubni Jominy razdalji in kemijski sestavi, so pokazale, da ima Jominy razdalja v primerjavi s kemijsko sestavo tako prevladujoč vpliv, da rezultati praktično niso uporabni in se bistveno razlikujejo od tistih, ki so navedeni v tabeli 3. Največja pomanjkljivost rezultatov je bila ta, da so bili mnogo manj zanesljivi in natančni.

Ce bi se omejili pri multiregresiji samo na linearne člene enačbe, bi lahko pri jeklih z nepravilno kaljivostjo le-to popravili s spremembo kemijske sestave na osnovi linearnega programa na računalniku.

5. Zaključek

Uporaba računalnika in matematično statističnih analiz pri obravnavanju garantiranih pasov kaljivosti in vpliva kemijske sestave jekla na tr-

dote pri Jominy preizkusu je del informacijskega sistema, ki je bil zgrajen v železarni Ravne za področje tehnične kontrole in raziskav. Nekatera dela na področju tehnične kontrole in raziskav pri obravnavanju informacij so čisto rutinska, zato je smotrno vključiti računalnik v to področje.

Zaradi raznih tehnoloških vplivnih faktorjev, ki so funkcija časa, je potrebno kontrolirati kaljivost tudi takšnih izdelkov, pri katerih menimo, da je tehnologija osvojena.

Vpliv legirnih elementov na kaljivost jekla lahko izrazimo z regresijskimi enačbami. S pomočjo analize korelacije in regresije lahko pristopimo h korigiranju problematične kaljivosti določenega jekla. Glede na željen pas kaljivosti lahko optimiziramo predpisano kemijsko sestavo na osnovi regresijskih enačb in linearnega programiranja.

Literatura

1. J. Segel: Avtomatska obdelava podatkov tehnične kontrole in raziskav, Železarski zbornik (Jesenice), 1975.
2. J. Rodič: Matematična statistika — METODE I, Metalburo, 1964.
3. J. Rodič: Kaljivost jekel — osnova za boljše ekonomiko, pravilnejšo in lažjo izbiro jekel, Železarski zbornik (Jesenice) 4 (1970) 1, str. 15—38.
4. J. Rodič: Izdelava in uporaba psavo kaljivosti, Nova proizvodnja (Ljubljana) 13 (1962) 2, str. 141—154.

ZUSAMMENFASSUNG

Wegen verschiedener technologischer, von der Zeit abhängiger Einflussfaktoren ist es nötig, die Härtebarkeit auch bei solchen Stählen zu kontrollieren, bei welchen

die Technologie als eingezogen betrachtet wird. Die Datenbearbeitung ist bei dieser Tätigkeit eine routinierte Sache und kann deshalb mit Hilfe des Computers ausge-

führt werden. Der Einfluss der Legierungselemente auf die Härbarkeit kann mit dem Korrelationskoeffizient und der Regressionsgleichung ausgedrückt werden. Die Gleichungen werden für die Optimierung der Vorschriften für die chemische Zusammensetzung auf einem gewünschten Streuband der garantierten Härbarkeit angewendet.

Die Bearbeitung der Daten des Jominy Versuches am Computer stellt nur einen Teil eines grösseren Informationssystems der technischen Kontrolle und der Forschung dar, welcher im Hüttenwerk Ravne entwickelt worden ist.

SUMMARY

Because of influence of various technological parameters which are changing with time also hardenability of such steels must be controlled for which the technology is supposed to be elaborated. Data treatment in such a case is a routine work and it can be made by a computer.

Influence of alloying elements on the hardenability of steel can be expressed by a correlation coefficient and

a regression equation. The equation are used to optimize the prescription of chemical composition for a wanted band of guaranteed hardenability.

Treatment of Jominy test data by computer is only a part of greater information system of technical control and investigations which was developed in Ravne Steelworks.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствии разнообразных технологических факторов которые влияют на ход процесса и параллельно с временем изменяются, необходимо проверять закаляемость также тех сортов сталей при которых заключили, что их технология уже успешно освоена и закончена. Обработка данных этой деятельности можно выполнять счётчиком, так как представляет работу по установленному порядку.

Влияние легированных элементов можно выразить при употреблении коэффициента корреляции и уравнения регрессии. Уравнения применяем для оптимизации предписания химического состава за желательную полосу гарантированной прокаливаемости.

Рассмотренные данные исследования образца Жомини полученные счётчиком представляют собой только часть более обширной системы технического контроля и исследований которые были развиты в металлургическом заводе Равне.

