

RAZVOJ MODELA OHLAJANJA NA HLADILNI LINIJI ŠTEKLA

DEVELOPMENT OF THE MODEL OF COOLING ON A STECKEL MILL COOLING TABLE

Janko Kokošar

SŽ Acroni, d.o.o., Cesta B. Kidriča 44, 4270 Jesenice, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 1999-08-28; sprejem za objavo - accepted for publication: 2000-05-25

V članku je prikazan razvoj fizikalnega modela za ohlajanje ogljičnih jekel na hladilni liniji za šteklom. Delno je prikazan tudi vpliv hlajenja na mehanske lastnosti.

Ključne besede: ohlajanje pločevine, valjarna štekel, prenos toplote, ogljična jekla, latentna toplota

The progress of a physical model for carbon-steel strip cooling on a Steckel Mill Runout Cooling Table is presented. The influence of cooling on the mechanical properties is also partially presented.

Keywords: strip cooling, Steckel mill, heat transfer, carbon steels, latent heat

1 UVOD

Na hladilni liniji štekla je treba ohladiti trak od končne temperature valjanja, nekje med 800 in 900 °C, do temperature navijanja, ki je primerna za neko jeklo. Kritična so jekla z večjimi deleži ogljika. Če ohladimo preveč, se trak lahko zdrobi že na hladilni liniji, če pa ohladimo premalo, se bo trak lomil pri nadaljnji predelavi.

Prvi cilj je bil zato narediti simulacijo ohlajanja na hladilni liniji, ki bi se ujemala z realnim ohlajanjem. Drugi cilj pa je bil ugotoviti, kako različne temperature navijanja vplivajo na mehanske lastnosti ogljičnih jekel.

2 RAZVOJ FIZIKALNEGA MODELA

Prvo umerjanje hladilne linije je bilo narejeno z avstenitnimi nerjavnimi jekli, ko hladilna voda ni bila uporabljena. Ta jekla nimajo premene iz avstenita v ferit, zato so enostavnejša za preračunavanje in jih uporabljajo za umerjanje tudi po svetu. Za ta jekla je v literaturi¹ navedena odvisnost specifične toplote od temperature, prav tako tudi toplotne prevodnosti in gostote materiala. Za to simulacijo potrebujemo še toplotno prestopnost pri hlajenju z zrakom in z valjčnicami ter odvod toplote s sevanjem. Izbran je bil koeficient emisivnosti 0,85, ki je naveden v literaturi.

Pri izračunu je bila privzeta poenostavitev, da je gostota jekla ves čas enaka, kot je pri 20 °C. Ker je bila za trakove debelin od 3 do 6 mm izračunana majhna razlika (do 10 °C) med notranjostjo in površino traku, lahko privzamemo takšno poenostavitev. Zaradi te majhne razlike temperatur nekoliko netočno podana toplotna prevodnost jekla na izračun temperature ne vpliva veliko. Majhna razlika temperatur (med notranjostjo in

površino traku) omogoči tudi razne druge poenostavitve pri izračunih.

Koeficient toplotne prestopnosti z zrakom je okoli 20 W/(m²K) in je odvisen od tega, ali je zrak segret, kakšen je pretok zraka, ali gledamo zgornji ali spodnji del traku in podobno. Ta koeficient pri naših izračunih na rezultat ne vpliva dosti, le 7 °C, če koeficient povečamo za 5 W/(m²K). Močnejši je koeficient odvajanja toplote s sevanjem. Vendar, če ta koeficient emisivnosti povečamo za 0,05, se izračunana temperatura zmanjša le za 5 °C.

Za kontrolo je bilo izmerjeno ohlajanje plošč debelin od 3 do 5 mm na zraku. Izmerjene vrednosti so se dobro ujemale z rezultati simulacije.

Ostane še koeficient toplotne prestopnosti z valjčnicami. Ta je bil preračunan iz meritve in simulacije. Izračunana vrednost za ta koeficient je bila 16 W/(m²K).

Naslednji korak je bilo umerjanje hladilnih sekcij. Hladilna linija je sestavljena iz šestih sekcij. Lahko izberemo eno ali več, s katerimi bomo z vodo hladili trak.

Trakovi iz avstenitnih nerjavnih jekel so bili ohlajani vsakič s po eno sekcijo. Iz meritve in simulacije je bila izračunana toplotna prestopnost. Rezultat je bil 600 W/(m²K). Rezultat je bil približno enak za vse sekcije.

Potem so bili ti izračunani koeficienti uporabljeni pri izračunu ohlajanja ogljičnih jekel. Do sedaj je bilo predpisano ohlajanje trakov iz ogljičnih jekel na 580 do 660 °C. Če trakove hladimo po tem predpisu, poteče premena iz avstenita v ferit delno ali v celoti na hladilni liniji. Pri hlajenju sem uporabil še zadnje sekcije, tako da je bilo jeklo v večjem delu hladilne linije še avstenitno. Zato zgornjo simulacijo za nerjavna jekla lahko uporabimo in iz razlike temperatur ovrednotimo, koliko premene je poteklo na hladilni liniji. Argumenti, da ta

razlika temperatur res pomeni premensko toploto na hladilni liniji, so:

- temperatura navijanja je odvisna od uporabljene sekcije (**tabela 1**)
- potek temperature navijanja v odvisnosti od hitrosti traku (**slika 1**)
- razlika izmerjene in izračunane temperature navijanja v okviru napake izračuna ni negativna
- pri primerih, kjer naj bi poteklo na liniji le malo premene, je ta porast temperature majhen in pozitiven
- pri jeklih, kjer je za potek premene potrebno dalj časa, kot navadno, te razlike skoraj ni
- specifična toplota za jeklo z avstenitno mikrostruktu-ro v odvisnosti od temperature je zelo podobna tisti za razna jekla, tako so podobne tudi vrednosti med avstenitnimi nerjavnimi in ogljičnimi jekli
- če je bila temperatura navijanja zelo visoka, višja od temperature premene za ogljična jekla, navedene v literaturi², je bila tudi razlika temperatur enaka nič
- opaženo je bilo lokalno zmanjševanje temperature navitega traku, če se je debelina traku povečevala (**slika 2**).

Koeficient toplotne prestopnosti z vodo je konstanten, dokler se temperatura traku ne zmanjša toliko, da tanka plast vodne pare, ki se tvori pri hlajenju, ni več kompaktna. Tedaj se toplotna prestopnost poveča. Tega povečanja ni bilo opaziti, torej se toplotna prestopnost poveča nekje pod 530 °C. To mejno temperaturo, pri kateri postane plast vodne pare nekompaktna, imenujemo Leidenfrostovo temperaturo. Čim višji je tlak vodnega curka, višja je ta temperatura. Vodni tlak na hladilni liniji je 7 barov.

Tabela 1: Vpliv uporabljene hladilne sekcije na temperaturo navijanja traku

Table 1: Influence of used cooling section on strip coiling temperature

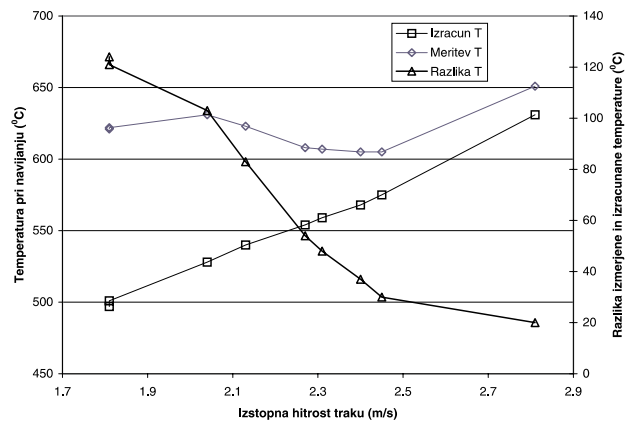
Zaporedni trak v seriji	Temperatura navijanja (°C)	Hladilna sekcija	C (%)	Mn (%)	Povečanje temperature zaradi premene (°C)
1	558	6	0,66	0,70	23
2	554	6	0,66	0,70	21
3	554	6	0,66	0,70	22
4	593	5	0,66	0,70	54
5	590	5	0,66	0,70	52
6	631	5	0,67	0,62	95
7	632	5	0,67	0,62	94
8	631	5	0,67	0,62	92
9	652	4	0,67	0,62	110
10	652	4	0,67	0,62	110
11	652	4	0,67	0,62	112

Debelina traku: 3 mm

Hitrost traku: 3,4 m/s

Končna temperatura valjanja: 820 °C

Vrsta jekla: Ck 67



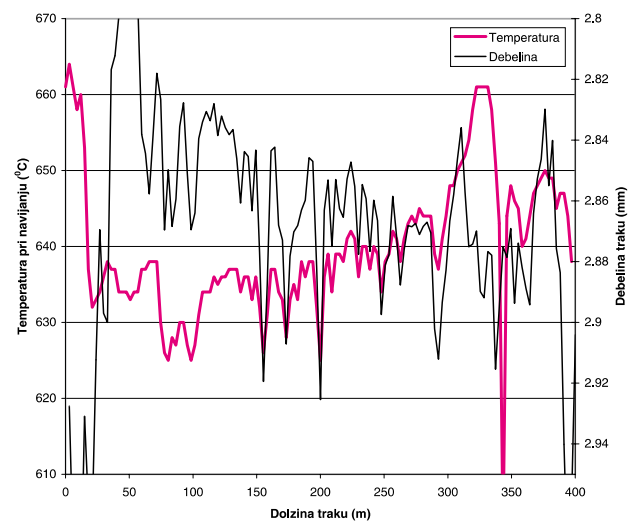
Slika 1: Vpliv hitrosti traku na segretje traku zaradi premenske toplote

Figure 1: Influence of strip velocity on strip coiling temperature

Analizirane so bile različne meritve ohlajanja, pri katerih smo opazili pojav Leidenfrostove temperature. Nad to temperaturo pa smo opazili zelo konstanten koeficient toplotne prestopnosti.

3 NEKAJ PRIMEROV MERITEV, KI KAŽEJO VEDENJE PREMENSKE TOPLOTE

Iz **tabele 1** je razvidno, kako so temperature navijanja odvisne od tega, katero sekcijo uporabimo. Če hladimo z zadnjo (šesto) sekcijo, je za potek premene iz avstenita v ferit na hladilni liniji najmanj časa. Premena na liniji poteče le v majhnem obsegu, zato je povečanje temperature zaradi premenske toplote v primeru hlajenja z zadnjo sekcijo najmanjše. Vpliv na hitrost poteka premene ima tudi delež mangana v jeklu, kar tudi lahko razberemo iz **tabele 1**.



Slika 2: Vpliv spreminjanja debeline istega traku na temperaturo navijanja traku

Figure 2: Influence of thickness changes of the same strip on strip coiling temperature

Vpliv na to, ali bo premenska toplota nastala na hladilni liniji ali v kolobarju, ima tudi hitrost traku. Čim manjša je ta, več premenske toplote bo nastalo na progi. Ta vpliv je razviden s **slike 1**. V vseh primerih so bili uporabljeni trakovi debeline 4,5 mm od iste šarže in uporabljena je bila šesta sekcija, torej zadnja. Hitrost traku je obratno sorazmerna s časom, ko se trak nahaja na hladilni liniji. Povečevanje temperature navijanja z zmanjševanjem hitrosti traku (torej s povečevanjem časa ohlajanja) ni možno razložiti brez premenske toplote.

Najdeno je bilo nekaj dokazov, da se s povečevanjem debeline povečuje čas, da premena v celoti poteče. Eden od primerov je prikazan na **sliki 2**, ko se je debelina traku zelo spreminjala. Na sredini traku, kjer so enakomerni pogoji hlajenja, je opazno, kako temperatura pred navijanjem traku sledi njegovi debelini. (Skala za debelino je obrnjena v drugo stran.) Ko se debelina poveča, se temperatura traku zmanjša in obratno. Statistična analiza je potrdila, da to ni naključno. Ta pojav je možno tudi enostavno razložiti.

4 VPLIV HLAJENJA NA MEHANSKE LASTNOSTI

Po izkušnjah in literaturi² je bil zgrajen tudi model, kaj se dogaja v jeklu med hlajenjem in kako to vpliva na mehanske lastnosti.

Doseči je treba nizko temperaturo traku pri navijanju (nad 530 °C), da se v jeklu naredi zadosti kali za nastanek drobno lamelnega perlita z majhno medlamelarno razdaljo.

Model je pokazal, da je bolje ohlajati z zadnjimi sekcijami. Tako poteče premena v kolobarju. Zaradi nizke temperature ob navijanju dobimo fino lamelarni

perlit. Zaradi premenske toplote se nato temperatura kolobarja poviša, kar privede do (delne) sferoidizacije cementita. Po navijanju kolobarje prenesemo v posebne izolirane jame, kjer poteka ohlajanje zelo počasi. Tako dobimo trak z najugodnejšo mikrostrukturno za nadaljnjo hladno predelavo, brez nevarnosti, da bi material pri preoblikovanju pokal.

To, da ohlajanje z zadnjimi sekcijami omogoči sferoidizacijo v navitem kolobarju, je bilo v Acroniju ugotovljeno že prej, sedaj pa smo tudi našli razlago za to in izhodišča za izboljšave.

5 SKLEP

Rezultati kažejo, da je s kombinacijo meritev in računalniške simulacije mogoče analizirati procese pri ohlajanju ogljičnih jekel. Postopke analize je možno razširiti tudi na druga jekla.

ZAHVALA

Zahvaljujem se sodelavcem iz Raziskav in razvoja ter iz Vroče valjarne v Acroniju za pomoč pri meritvah in za odgovore na vprašanja.

6 LITERATURA

¹ F. Richter, Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften von 52 Eisenwerkstoffen, Verlag Stahleisen M. B. H., Düsseldorf, 1973

² R. Kaspar, W. Kapellner, C. Lang, Steel research, 59 (1988), 492-498