

UPORABA MODELA ZA OHLAJANJE NA HLADILNI LINIJI ŠTEKLA

APPLICATION OF THE MODEL FOR COOLING ON A STECKEL MILL RUN-OUT COOLING TABLE

Janko Kokošar

SŽ Acroni, d. o. o., Cesta B. Kidriča 44, 4270 Jesenice, Slovenija
jkokosar@acroni.si

Prejem rokopisa - received: 2001-11-19; sprejem za objavo - accepted for publication: 2002-02-04

Članek obravnava uporabo modela za hlajenje mnogoogljičnih jekel na hladilni liniji štekla. Z uporabo modela hlajenja se je izboljšala sposobnost za hladno valjanje mnogoogljičnih jekel. Prikazano je tudi, kako iz oblike krivulj ohlajanja lahko določimo, kdaj poteče premena iz avstenita v ferit in perlit.

Ključne besede: štekel, hlajenje, mnogoogljična jekla, premenska toplota

This article discusses the application of the model for the cooling of high-carbon steels on a Steckel mill run-out cooling table. How the cold rolling of carbon steels was improved by applying the results of a cooling model for the practical cooling of hot-rolled strips on a run-out cooling table. It is also presented how the shape of the cooling curve makes it possible to determine when the austenite-to-pearlite/ferrite transformation proceeds on the run-out cooling table.

Key words: Steckel, cooling, carbon steels, latent heat

1 OPIS MODELA HLAJENJA MNOGOOGLJIČNIH JEKEL

Da bi trakovi iz ogljičnih jekel dobili čim boljše mehanske lastnosti, jih moramo po vročem valjanju pravilno hladiti na hladilni liniji. Kolobarje je treba takoj po navijanju prenesti v hladilne jame, kjer se počasi ohladijo.

Hladilna linija, kjer trak, ki se pomika proti hladnemu navijalniku, hladimo z vodno prho, je razdeljena na šest hladilnih sekcij. Princip hlajenja mnogoogljičnih jekel na hladilni liniji štekla smo razvili na naslednji način:

Za hlajenje uporabljamo zadnje hladilne sekcije. Pri tem se trak ohladi pod temperaturo, ki je potrebna za premeno iz avstenita v ferit in perlit. Vendar je pri mnogoogljičnih jeklih inkubacijski čas (čas do nastanka premene) odvisen od kemijske sestave in traja od sekunde do deset minut. Namen hlajenja z zadnjimi sekcijami je, da lahko izkoristimo inkubacijski čas, ki je potreben, da poteče premena v celoti ali v čim večji meri po navitju traku v kolobar. Pri tem se sprosti premenska toplota. Tako dosežemo, da se temperatura kolobarja maksimalno poveča. Vroče kolobarje prenesemo v izolirane hladilne jame, kjer se počasi ohlajajo. Zato pride do delne sferoidizacije lamelnarnega perlita, kar omogoči, da je material bolj plastičen in primernejši za nadaljnjo predelavo v hladnem.

Dodatni pogoj za to, da bo sferoidizacija v hladilnih jamah potekla je, da ob premeni dobimo mikrostrukturo, ki je sestavljena iz finolamelarnega perlita. Da bi to dosegli, mora biti podhladitev dovolj velika. Vendar pa

ne preveč, ker se potem kolobar ob premeni ne segreje dovolj, nastanejo pa lahko še druge težave, na primer notranje napetosti materiala zaradi preveč intenzivnega hlajenja, ki imajo lahko za posledico krivljenje, tj. valovitost trakov.

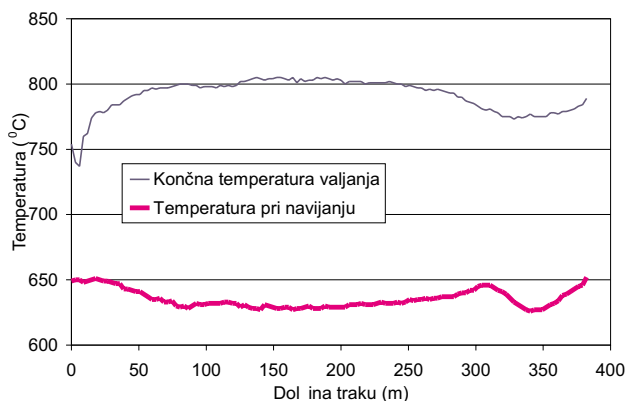
Z računalniško simulacijo hlajenja sem razvil način za točno napoved z napako največ 10 °C, kako je treba ogljično jeklo hladiti, da dosežemo določeno temperaturo navijanja, če se premenska toplota pred navijanjem ne sprosti, oziroma premensko toploto odštujemo, če se le-ta sprosti. Te temperature so v odvisnosti od jekla od 520 do 580 °C. Če se premenska toplota sprosti pred meritvijo s pirometrom, potem je izmerjena temperatura navijanja višja. V praksi hladimo tako, kot je umerjeno za trak, pri katerem se premenska toplota še ni sprostila.

2 DODATNE POSEBNOSTI MODELA

Dodatne podrobnosti modela za ohlajanje na hladilni liniji štekla so opisane v članku ¹. Tu bom opisal še nekaj podrobnosti in uporabnost tega modela.

Primer je prikazan na **sliki 1**.

Če je temperatura traku po zadnjem prevleku višja, bi pričakovali, da se bo povečala tudi temperatura traku pred navijanjem. S **slike 1** pa je razviden nasproten pojav, ko večja temperatura traku po zadnjem prevleku pomeni manjšo temperaturo pri navijanju. Ta pojav si lahko razložimo s tem, da ravno med meritvijo temperature poteka transformacija, ki ima za posledico ogretje traku. V delu traku, ki je po valjanju toplejši, transformacija avstenita v perlit in ferit poteče pred



Slika 1: Vpliv končne temperature valjanja na temperaturo tik pred navijanjem traku, če se premenska toplota sprošča med meritvijo temperature, ki je tik pred navijanjem

Figure 1: Influence of final strip-rolling temperature on the strip-coiling temperature, if latent heat is released during the temperature measurement which is immediately before strip coiling

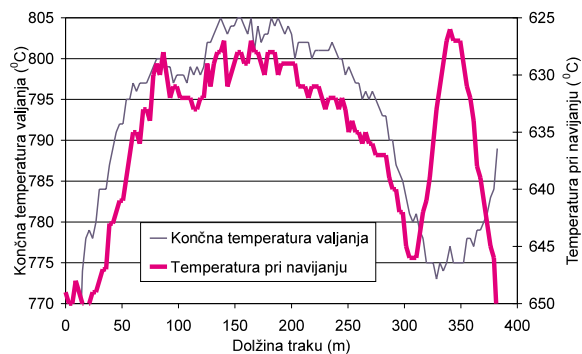
merilnim mestom (pirometrom) v manjšem deležu kot na hladnejšem delu traku, zato je temperatura, ki jo prikazuje pirometer, na tem delu nižja. Na katerem delu hladilne linije bo začela potekati transformacija, je v veliki meri odvisno od kemične sestave jekla, predvsem od deleža ogljika, mangana in kroma v njem. Da bi se premenska toplota začela sproščati ravno pred navijanjem, mora biti pri določeni hitrosti in debelini traku delež ogljika, mangana in kroma ravno pravšnji. Ti elementi še najbolj povečajo inkubacijski čas za nastanek premene. V obravnavanem primeru je bila hitrost traku 2,76 m/s, njegova debelina 3,1 mm, delež ogljika 0,6 %, mangana 0,67 % in kroma 0,05 %. Hlajenje z vodo, ki pomeni najbolj intenzivni del hlajenja, je trajalo 3,2 s, do meritve temperature pa so po koncu hlajenja z vodo pretekle še 4,0 s. Voda ohladi trak na dovolj nizko temperaturo, ki je potrebna za nastanek premene, inkubacijski čas pa je odvisen od kemijske sestave. Šele po preteku inkubacijskega časa prične teči premena, pri tem pa se trak segreva.

Na desni strani **slike 1** ni več videti odvisnosti, ki je opisana zgoraj. To je zato, ker pri zadnjem delu traku hitrost ni več enakomerna in je za hlajenje uporabljen poseben režim.

Na **sliki 2** so krivulje s **slike 1** prikazane v drugem merilu, tako da potek temperature pred hladilno linijo in navijanjem vidimo še bolj točno. Ugotavljamo, da tudi spremembe temperature za nekaj stopinj pri navijanju niso naključne, ampak so posledica takšnih sprememb temperature traku pred začetkom hlajenja.

Če so kemijska sestava in druge razmere takšne, da se večina premenske toplote sprosti že pred meritvijo, je temperatura traku pred navijanjem skoraj konstantna. Tak primer je prikazan na **sliki 3**.

Tu opazimo podoben efekt kot na **sliki 1**, vendar je ta pojav dosti manjši, ker se je večina premenske toplote že sprostila.



Slika 2: Točnejše prikazan vpliv končne temperature valjanja na temperaturo tik pred navijanjem traku, če se premenska toplota sprošča med meritvijo temperature, ki je tik pred navijanjem

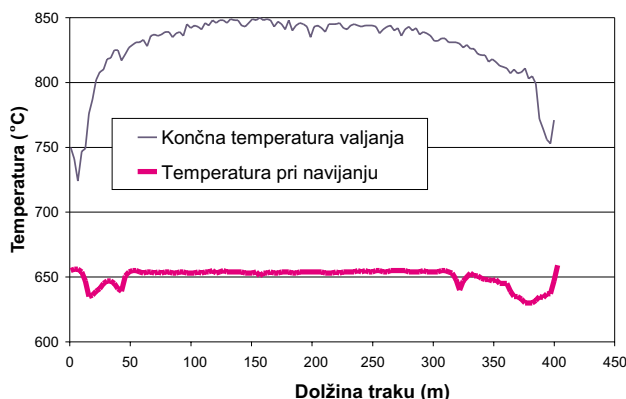
Figure 2: More exact presentation of the influence of final strip-rolling temperature on strip-coiling temperature, if latent heat is released during the temperature measurement which is immediately before strip coiling

Delež ogljika je bil 0,58 %, mangana 0,62 % in kroma 0,04 %. Debelina traku je bila 3 mm, hitrost pa 3,81 m/s. Vzrok za zgoden potek transformacije pri tem jeklu je drugačna kemijska sestava (manjši delež C in Mn).

Pri legiranih mnogoogljičnih jeklih z enim odstotkom kroma je inkubacijski čas za potek premene dolg tudi do 10 minut. V tem primeru prične teči premena šele, ko je kolobar prenesen v hladilno jamo. Temperatura kolobarja se v jami poveča do 700 °C.

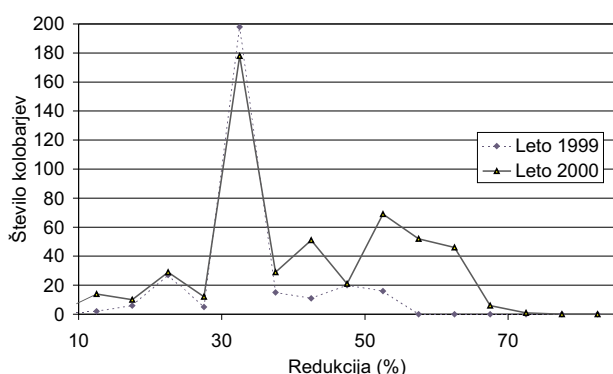
Če pa je kemijska sestava ravno takšna, da je inkubacijski čas okoli minute, se kolobar segreje kmalu po navijanju. Tako opazimo poseben pojav, da se rdeča barva počasi širi od notranjosti proti zunanosti kolobarja. Hitrost širjenja je enaka kot tista, s katero se je navijal kolobar.

Samo segrevanje zaradi premenske toplote je možno vidno opaziti, saj je kolobar pred navijanjem še črne barve, naviti pa postane močno rdeč.



Slika 3: Vpliv končne temperature valjanja na temperaturo tik pred navijanjem traku, če se večina premenske toplote sprosti pred meritvijo temperature, ki je tik pred navijanjem

Figure 3: Influence of final strip-rolling temperature on the strip-coiling temperature, if latent heat is mainly released during the temperature measurement which is immediately before strip coiling



Slika 4: Izboljšanje deformacije pri hladnem valjanju mnogoogljičnih jekel zaradi pravilnejšega hlajenja traku na hladilni liniji štekla

Figure 4: Improvement of cold-rolling deformation capability due to a more methodical cooling practice on the Steckel mill run-out cooling table

Proti koncu se hitrost navijanja traku nekoliko pospeši, da se ustvari ustrezen nateg. Pokazalo se je, da je ta pospešek odvisen od vrste jekla, torej od trdnosti materiala in tudi od tega, ali ima trak feritno ali avstenitno mikrostrukturo. To pa je še dodatno diagnostično sredstvo za ugotavljanje mikrostrukture jekla.

3 UPORABNOST MODELA ZA HLAJENJE MNOGOOGLJIČNIH JEKEL

Ko sem razvil nov model za hlajenje mnogoogljičnih jekel, sem spremenil predpis za njihovo hlajenje in ga pozneje še postopno prilagajal. Zapiranje hladilnih jam prvotno ni bilo dovolj hitro, zato smo zapiranje pospešili. Dokazal sem, da s hitrejšim zapiranjem hladilnih jam dobimo boljšo predelovalnost ogljičnih jekel. Če kolobarje ogljičnih jekel hladimo pravilno in poskrbimo za vzdrževanje temperature v hladilnih jamah, material dobi delno sferoidizirano mikrostrukturo. Tako je nadaljnja predelava lažja, z manj verjetnosti, da bi prišlo do pokanja. V letu 2000, ko sem uvedel vse opisane ukrepe, se je predelava materiala izboljšala. To pomeni, da smo pri hladnem valjanju lahko izvedli večjo deformacijo pred prvim sferoidizacijskim žarjenjem kot pred uvedbo novih ukrepov. Tako se je zmanjšala potreba po žarjenju in tudi število hladnih valjanj.

Na **sliki 4** je prikazano, kako so kolobarji Ck 60 debeline 3 mm porazdeljeni glede na doseženo prvo deformacijo pred žarjenjem v letih 1999 in 2000. V

slednjem se je povečal delež kolobarjev z veliko prvo deformacijo.

V letu 2001 je prišlo še do nadaljnega izboljšanja.

Zmanjšalo se je tudi število kolobarjev z zelo slabimi mehanskimi lastnostmi. Prej se je namreč dogajalo, da so zaradi strahu, da bi prišlo do zakalitve in pokanja trakov med ohlajanjem na hladilni liniji, v valjarni hladili manj intenzivno (z neko rezervo).

Ker so sedaj lastnosti kolobarjev bolj ponovljive, je možno ugotoviti tudi vpliv samega valjanja na mehanske lastnosti mnogoogljičnih jekel.

Poleg tega, da se je zaradi modela za ohlajenje izboljšala produktivnost, se je zaradi novih ugotovitev povečala tudi predvidljivost dogajanja pri hlajenju. Zgodilo se je na primer, da pirometri niso delovali, pa so bili trakovi vseeno ohlajeni pravilno.

Ker so temperature navijanja sedaj predvidljive, sem glede na rezultate računalniških simulacij aproksimalno empirično formulo, ki pove, kakšno hitrost traku moramo uporabiti, da pri določenih vhodnih parametrih dobimo predpisano temperaturo traku brez upoštevanja premene. To pa daje možnost za večjo avtomatizacijo hlajenja.

4 SKLEP

Ne samo pri omenjenem primeru, ampak povsod, kjer imamo na razpolago veliko izmerjenih količin, lahko z analizo procesa, s simulacijami in statističnimi analizami proces izboljšamo, torej zmanjšamo stroške in povečamo izkoristek. Z več merilne opreme dobivamo vedno več merilnih podatkov, vendar te meritve večinoma pustimo neanalizirane, misleč, da ni enostavnih poti, ker so parametri vplivno zelo prepleteni. Vendar, vedno več ko je meritev, več je tudi relacij med njimi, ki so zelo ponovljive. Opisani primer in tisti, opisani v prejšnjem članku ¹, kažejo, da je ponovljivost in napovedljivost možna z napako le nekaj °C.

ZAHVALA

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

5 LITERATURA

¹ J. Kokošar, *Materiali in tehnologije*, Ljubljana, 34 (2000) 5, 239-241