

Vprašanje racionalne razdelitve želenega celotnega odvzema ali redukcije debeline pri hladnem valjanju trakov na ustrezno število parcialnih odvzemov ali vtikov

UDK: 621.77.014.3 : 669.11—418

ASM/SLA: F 23, 1-67

Miroslav Nikolić

Na osnovi iz geometrije valjanja izhajajočih odnosov je v sestavku predložen postopek za ugotavljanje koeficienta trenja μ in maksimalne absolutne redukcije debeline traku v vtiku Δh max, kar je v danem primeru valjanja ključna podlaga za oblikovanje optimalne lestvice odvzemov in vtikov za doseg želenega celotnega odvzema po programu.

Ekonomičnost in produktivnost pri določenem programu valjanja sta vedno recipročni funkciji porabljenega časa zanj.

Skupni čas valjanja za celotni odzjem A % po programu, računani na enoto proizvoda, pa je odvisen od treh dejavnikov: razdelitve posameznih parcialnih odvzemov a % in števila vtikov, ustrežajočih srednjih hitrosti valjanja, ter od zgubnih in manipulativnih časov.

Predmet nadaljnje obravnave bo prvi dejavnik: razdelitev parcialnih odvzemov in število vtikov za celotni odzjem po programu.

Kot je znano, s parcialnim odvzemom označujemo procentualno redukcijo prereza v enem vtiku, ki jo pri hladnem valjanju trakov, kjer širina traku pri valjanju ostaja konstantna, izražamo z

$$a = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 \% = \frac{\Delta h}{h_0} \cdot 100 \%$$

No: h_0 in h_1 sta debelini traku pred vtikom in po njem.

Velikost možnega parcialnega odvzema v danem primeru je odvisna od lastnosti materiala predmetnega traku: sestave jekla, strukture in stopnje predhodne hladne predelave; pa tudi od karakteristike valjčnega stroja: dimenzij in tipa stroja, moči pogonskih motorjev, premera delovnih valjev, učinkovitosti hlajenja, aplicirane zatezne sile navijalnega in kontrazatezne sile odvijalnega bobna, itd.

Vemo, da se s stopnjo hladne predelave splošno povečuje trdnost in trdota, zmanjšuje pa plastičnost materiala. Iz tega razloga je razumljivo, da so možni odvzemi v vtiku največji na začetku hladnega valjanja sprejemnih vroče valjanih ali žarjenih trakov, potem pa postopoma upadajo. Torej ne upada samo absolutna možna redukcija Δh mm, temveč tudi procentualna a %.

Upoštevaje še dejstvo, da visoki specifični pritiski na delovni površini valjev (pri valjih iz običajnega kovanega in kaljenega Cr-jekla že od 170 kg/mm² navzgor) povzročajo gotovo elastično sploščenje, tako da se kontaktni lok dotikalne ploskve s trakom ustrezno poveča, vidimo, da metodično določanje optimalne lestvice parcialnih odvzemov in vtikov za želeni totalni odzjem pri določenem delovnem programu ni enostavna zadeva.

Pri strojih z delovnimi valji razmeroma majhnega premera (Sendzimir, W. Rohn) so problematični predvsem možni odvzemi pri prvih vtikih na surovih vložnih trakovih maksimalnih debelin; nasprotno pa so pri strojih z delovnimi valji razmeroma velikega premera (Duo, Quarto) problematični odvzemi pri zadnjih vtikih na že predvaljanih trakovih minimalnih debelin.

Delovni programi v obratni praksi večino temeljijo na lestvici vtikov in ustrežajočih parcialnih odvzemov, ki je bila določena z poizkusi ali pa sloni na navodilih in tujih izkustvih v analognih delovnih pogojih. Toda pri tem so redkokdaj sistematično dognane mejne vrednosti, ki so specifično različne od primera do primera. Za ta namen so umestne kritično analitične metode, če so le dani pogoji za njihovo uporabo.

Tukaj bi z vidika geometrije valjanja rad obravnaval in analiziral maksimalni možni odzjem v odvisnosti od merodajnih parametrov, kar je posebno važno za Sendzimir in druge mnogovaljčne stroje z majhnimi premeri delovnih valjev pri prvih vtikih razmeroma debelih, toda mehkih vložnih trakov, kjer plastičnost materiala še ne predstavlja omejitve za polni izkoristek geometrijsko možnega odvzema.

Miroslav Nikolić je diplomirani inženir elektrostrojništva ter dolgoletni šef predelovalnih obratov Zelezarne Jesenice, sedaj v pokojju.

Osnovni parametri pri hladnem valjanju so s svojimi oznakami razvidni iz priložene sheme. Omenil bi le, da n označuje nevtralno točko (nemško »Fliessscheide«) na kontaktnem loku, α_n ustrezajoči nevtralni kot in μ koeficient trenja.

I. pogoj, da valja primeta trak in potegneta medse je: $\text{tg } \alpha \leq \mu$

II. pogoj, da potem »prosto valjanje« brez kakšne pomembne zatezne, oziroma vlečne sile navijalnega in kontravlečne sile odvijalnega bobna brezhibno teče, je: $\text{tg } \frac{\alpha}{2} \leq \mu$

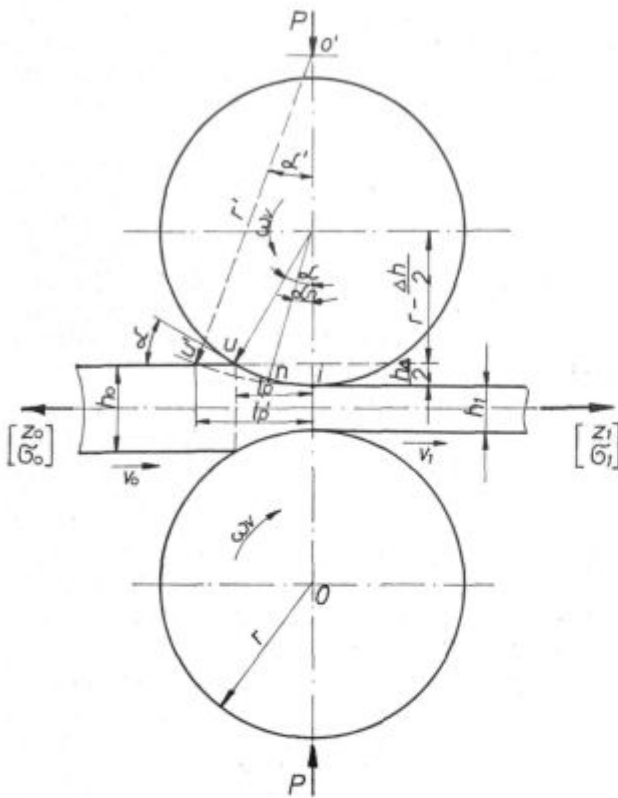
Iz sheme lahko ugotovimo še naslednje odnose:

$$lp^2 = r^2 - \left(r - \frac{\Delta h}{2}\right)^2$$

$$lp = \sqrt{\Delta h \left(r - \frac{\Delta h}{4}\right)}$$

$$\sin \alpha = \frac{lp}{r} = \sqrt{\frac{\Delta h \left(r - \frac{\Delta h}{4}\right)}{r^2}}$$

Če velikost kota α izražamo v ločnem merilu ($360^\circ = 2\pi$), potem je pri natančnem računu in razmeroma večji vrednosti kota α treba upoštevati, da je: $\sin \alpha < \alpha < \text{tg } \alpha$.



Shema hladnega valjanja
Fig. 1
Scheme of cold rolling

V približnem računu in pri razmeroma majhnih kotih α , kot so običajni pri hladnem valjanju, pa lahko predpostavimo, da je: $\sin \alpha \approx \alpha \approx \text{tg } \alpha$. Navadno se obenem zanemarija tudi vrednost $\frac{\Delta h^2}{4}$.

Pri majhnih kotih je vrednost Δh proti r razmeroma majhna. Pri večjih kotih pa z zanemarjanjem vrednosti $\frac{\Delta h^2}{4}$

dobimo za $\sin \alpha$ večjo vrednost, ki se približuje vrednosti za $\text{tg } \alpha$, ta pa je za izračun koeficienta trenja odločilna.

Torej: $lp \approx \sqrt{\Delta h \cdot r}$; $\sin \alpha \approx \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{r}}$

I. pogoj za prijem: $\mu \geq \text{tg } \alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{r}}$

ali: $\Delta h \leq r \cdot \mu^2$

II. pogoj za brezhiben potek prostega valjanja:

$$\mu \geq \text{tg } \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\sqrt{\frac{\Delta h}{r}}}{2}$$

ali: $\Delta h \leq 4 \cdot r \cdot \mu^2$

Ker nas zanima ravno mejna, maksimalna možna vrednost redukcije Δh , se glasita enačbi:

za I. pogoj: $\Delta h_{\max} = r \cdot \mu^2$

za II. pogoj: $\Delta h_{\max} = 4 \cdot r \cdot \mu^2$

Iz teh enačb sta razvidni dve dejstvi:

a) da je ključni parameter, ki pri določenem polmeru valjev r odreja maksimalno možno absolutno redukcijo debeline traku Δh mm koeficient trenja μ ;

b) da pri danem polmeru r in koeficientu trenja μ II. pogoj za brezhiben potek valjanja dovoljuje 4-krat večji Δh kot I. pogoj za prijem začetka traku pri vtiku.

Z ozirom na to, da so za vtikanje traku med valja na začetku valjanja na razpoložli razne olajševalne okoliščine in pomožni postopki, bomo nadalje upoštevali kot zanimiv in ustrezen II. pogoj in enačbo:

$\Delta h_{\max} = 4 \cdot r \cdot \mu^2$, če sta vlečni sili zanemarljivi ($Z_1 \approx 0$; $Z_0 \approx 0$).

Pri sodobnih valjčnih strojih pa, kot vemo, teče po izvršenem vtiku nadaljnje valjanje z aplikacijo močne natezne ali vlečne sile navijalnega bobna in kontravlečne ali zaviralne sile odvijalnega, ki pa že sovplivata na maksimalno možno velikost Δh , ker vplivata na položaj nevtralne točke n in na ustrezni nevtralni kot α_n .

Iz teorije valjanja vemo, da nevtralna točka n deli kontaktni lok dotikalne ploskve na cono zaostajanja $u-n$, in cono prehitevanja $n-l$.

V točki n sta si obodna hitrost valjev in hitrost traku popolnoma enaki v horizontalni projekciji: $v_v \cdot \cos \alpha_n = v_{in}$.

Z ozirom na majhno vrednost α_n : $\cos \alpha_n \rightarrow 1$ in dobimo enačbo: $v_v = V_{in}$.

Proti vhodni točki u hitrost traku vedno bolj zaostaja proti obodni hitrosti valja ter je $V_o < V_v$. Proti izhodni točki i pa vedno bolj prehiteva, tako da je $V_i > V_v$.

Važno je misliti na to, da se s porastom vlečne sile Z_1 ($Z_1 = \sigma_1 \cdot b \cdot h_1$) povečuje tudi nevtralni kot α_n in da se točka n pomika nazaj proti točki U ; cona prehitevanja se povečuje! S povečanjem zaviralne sile Z_o ($Z_o = \sigma_o \cdot b \cdot h_o$) pa se kot α_n zmanjšuje in točka n se pomika naprej proti točki i ; cona zaostajanja se povečuje!

Če sta si obe sili enaki $Z_1 = Z_o$ ali če sta obe enaki ničli pa nimata vpliva na položaj točke n niti na velikost kota α_n , s tem pa tudi nobenega vpliva na možno maksimalno redukcijo Δh .

Za potek brezhibnega valjanja je še en pogoj: $\alpha_n \geq 0$. Vsaj v izhodni točki i mora hitrost traku doseči obodno hitrost valjev in v tem mejnem primeru $\alpha_n = 0$, $V_i = V_v$ se točka n ujema s točko i . Ni niti prehitevanja niti podrsavanja v izhodni točki.

Za prikaz medsebojne odvisnosti vseh obravnavanih dejavnikov uporabimo kot najbolj prikladno enačbo Feinberga:

$$\alpha_n = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2 \cdot \mu} \right) + \frac{1}{4 \cdot \mu \cdot r \cdot p} (\sigma_1 \cdot h_1 - \sigma_o \cdot h_o)$$

NB! \bar{p} je povprečni specifični pritisk valjev na horizontalno projekcijo dotikalne površine:

$$\bar{p} = \frac{P}{F_p} = \frac{P}{1p \cdot b}; \quad b = \text{širina traku}$$

V primeru, da sta $Z_1 = Z_o$, je $\sigma_1 \cdot h_1 - \sigma_o \cdot h_o = 0$ in drugi člen enačbe odpada. Tedaj: $\alpha_n = \frac{\alpha}{2} \left(1 - \frac{\alpha}{2 \cdot \mu} \right)$.

V mejnem primeru, ko $\alpha_n = 0$ sledi:

$$0 = \frac{\alpha}{2} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{2 \cdot \mu} \right) \text{ in } \alpha_{lim} = 2 \cdot \mu$$

ter s tem potrdilo našega II. pogoja za prosto valjanje. Torej, če sta vlečna sila Z_1 in zaviralna sila Z_o uravnani na isto velikost, velja za mejni primer preje pojasnjene maksimalne absolutne redukcije Δh_{max} , tudi tukaj formulirana enačba za II. pogoj:

$$\Delta h_{max} = 4 \cdot r \cdot \mu^2.$$

Če bi z lahkoto v vsakem konkretnem primeru mogli natančno določiti dejanski μ , bi izračun maksimalne možne absolutne redukcije Δh_{max} bil enostavna zadeva. Toda po vseh informacijah je direktno določanje vrednosti koeficienta μ zvezano z velikimi težavami.

Vemo, da se pri hladnem valjanju trakov giblje večinoma v območju od 0,04 do 0,10.

Vemo tudi, da odvisi od karakteristike uporabljenega maziva, od stanja in gladkosti površine valjanja, ker se pri pravilnem mazanju s povečanjem brzine zmanjšuje.

Orientacijsko vzete vrednosti za μ lahko občutno odstopajo od dejanske v danem primeru, s tem pa se dobi napačne vrednosti za Δh_{max} , ker je le-ta določen s kvadratom vrednosti μ !

Za ilustracijo vzemimo, da premer valjev znaša 90 mm \varnothing , $r = 45$ mm ter da μ znaša enkrat 0,04, drugič pa 0,10! $Z_1 = Z_o$!

$$\text{V prvem primeru } \Delta h_{max} = 4.45 \text{ mm} \cdot 0.04^2 = 0.288 \text{ mm}$$

$$\text{V drugem primeru je } \Delta h_{max} = 4.45 \text{ mm} \cdot 0.10^2 = 1.8 \text{ mm}$$

V primeru, da ima vhodni trak debelino $h_o = 3$ mm, znaša maksimalni odvzem:

$$\text{v prvem primeru } a_{max} = \frac{0.288}{3} \cdot 100 \% = 9.6 \%$$

$$\text{v drugem primeru } a_{max} = \frac{1.8}{3} \cdot 100 \% = 60 \%$$

NB! Seveda s povečanjem vlečne sile Z_1 do dovoljene meje vrednosti za σ_1 ter z rastočo razliko $Z_1 - Z_o$ se v prvem primeru tudi da povečati Δh_{max} !

Torej ostaja problem, kako priti do konkretne vrednosti ključnega parametra μ v danih realnih delovnih pogojih ter s tem do instrumenta za presojo maksimalne možne redukcije z vidika geometrije valjanja, na osnovi česar bi bilo mogoče, upoštevaje ostale vplivne dejavnike, oblikovati optimalne lestvice odzvemov in vtikov za posamezne programe valjanja.

Na osnovi dosedanjih razlag bi kot sugestijo predložil naslednjo indirektno metodo, uporabno v primeru, kjer je valjni stroj opremljen z instrumenti za natančno podajanje mernih vrednosti osnovnih in za izračun μ zahtevanih elementov:

1. Osnovni elementi za tekoče odčitavanje:

a) vlečna sila navijalnega in zaviralna sila odvijalnega bobna, Z_1 in Z_o .

b) debelina vhodnega dela traku h_o in izhodnega h_i . Po možnosti sproti diferenca $\Delta h = h_o - h_i$.

c) dejanska obodna brzina vgrajenih valjev V_v . Izhodna brzina traku V_i . Po možnosti sproti diferenca: $V_i - V_v$.

d) pred vgrajenjem določiti točni dejanski premer, oziroma polmer r delovnih valjev!

2. Merilni postopek:

a) Zravnati sili Z_1 in Z_o na enako vrednost: $Z_1 = Z_o$ in ju obdržati konstantni!

b) zmanjševati postopoma h_i ter pri nominalni postavljeni valjni hitrosti $V \cong V_v \cong V_i$ opazovati

postopno zmanjševanje točne razlike $V_1 - V_v$. Željeno je, da pri tem $V_v = \text{const}$.

c) ko se razlika $V_1 - V_v$ približa ničli, ali V_1 postane enako V_v , odčitati razliko $h_0 - h_1$, ki predstavlja Δh_{max} .

d) na osnovi registriranih vrednosti za doseženi mejni primer $\alpha_n = 0$ pri nominalni brzini valjanja V in ostalih pogojih valjanja v konkretnem primeru se izračuna dejanska vrednost μ za ta primer valjanja:

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\Delta h_{\text{max}}}{r}}$$

Omenili smo, da sta v mejnem primeru, ko je $\alpha_n = 0$ in se nevtralna točka n postavi v izhodno točko i , hitrosti $V_1 = V_v$.

Pri pravilnem valjanju pa trak v izhodni točki vedno nekoliko prehiteva. Orientacijske vrednosti za to drsno prehitevanje

$$g = \frac{V_1 - V_v}{V_v} \cdot 100 \% \text{ na osnovi praktičnih po-}$$

skusov znašajo:

$$g = 0,5 \text{ do } 8 \%, \text{ ali } V_1 = 1,005 \cdot V_v \text{ do } 1,08 \cdot V_v$$

Torej je razlika $V_1 - V_v$ treba zajeti točno. V primeru, da je valjni stroj opremljen z instrumentom za prikaz tega podatka, bi še pri tekočem delu bilo mogoče nadzorovati, kako so možni odvzemi pri posameznih vtikih izkoriščeni. Pri vrednosti $V_1 - V_v = 0$ pomeni vrednost $h_0 - h_1$ maksimalno redukcijo Δh_{max} !

ZUSAMMENFASSUNG

Die Stichzahl samt der Abstufung der Partialabnahmen zur Gesamtreduktion der Banddicke bei gegebenem Walzprogramm ist einer von den massgebenden Faktoren, welche die spez. Gesamtwalzzeit pro Produkteinheit bestimmen.

Für die rationelle Gestaltung dieser Sticheinteilung zum Erreichen der minimalen Gesamtzeit und der optimalen Produktivität bei gegebenen Walzbedingungen ist es aber nötig in jedem konkreten Falle die mögliche maximale absolute Band-dickereduktion Δh_{max} pro Stich auf Grund der Walzgeometrie zu kennen.

Aus dargestellten funktionalen Beziehungen ist es ersichtlich, dass — neben dem Walzenradius r — der Reibungsbeiwert μ den Schlüsselparameter zur Bestimmung der Grösse Δh_{max} darstellt.

Nachdem — wie bekannt — das direkte Messen der tatsächlichen Grösse μ fast unmöglich ist, wird in diesem Aufsatz als Suggestion ein Verfahren zum Bestimmen der Grösse Δh_{max} und zum Ausrechnen des entsprechenden μ — Beiwertes vorgeschlagen, unter Bedingung, dass das Walzgerüst mit entsprechenden Instrumenten zum Messen und Angabe der dazu nötigen Grundelemente ausgestattet ist.

SUMMARY

One of parameters determining the total time of rolling per unit of product at the established operation program is the number of passes with the scale of partial reductions to achieve the over-all reduction of the strip thickness.

For rational formation of this scale in order to achieve the shortest rolling time and thus the optimal productivity in a certain rolling program it is necessary to know in each individual case the maximal possible absolute reduction of the strip thickness Δh_{max} for a single pass which is based on the geometry of rolling.

The presented functional relations show that value Δh_{max} is mainly determined by the friction coefficient μ beside the diameter of the working rolls.

Since direct determination of the actual value of μ is nearly impossible the paper suggests the method for finding the actual Δh_{max} value and for calculation of the μ value under condition that the rolling mill is equipped with instruments for measuring the needed basic parameters.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Один из факторов при помощи которых определяется совокупный период времени прокатки утраченный на единицу проката представляет собой число пропусков с скалой частичных обжатий для реализации совокупного обжатия или редукции толщины полос. Для рационального формирования скалы, с целью чтобы добиться минимальную утрату времени и оптимальную продуктивность при определенной программе прокатки, необходимо при каждом конкретном случае быть осведомлен о макс-ой абсолютной редукции толщины полос Δh_{max} одного пропуска на основании геометрии прокатки.

Из рассмотренных функциональных отношений следует, что кроме радиуса рабочих валков заключительный параметр при помощи которого определяется Δh_{max} , представляет собой коэффициент трения μ .

Так как, как это известно, прямое определение фактического значения μ почти невозможно, то в этой статье suggestивно предложен способ определения действительной величины Δh_{max} и вычислено значение для μ , при условии, если поанковая машина снабжена с соответствующими приборами для подачи измерительных величин необходимых основных элементов.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Članj Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS — sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSZ — Zelezarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341 int. 880 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj