

Optimalizácia nastavenia valcovacích medzier pri valcovaní profilov

Optimization of gap set-up in profile rolling

Tomáš Borovský¹

¹tomas.borovsky@tuke.student.sk

¹Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Košice, Slovenská Republika

Abstrakt—Pri valcovaní profilov sa ako vstupný materiál používa sochor, zvyčajne so štvorcovým priečnym prierezom. Ten sa postupne znižuje ako vývalok prechádza jednotlivými stolicami opatrnými kalibrovanými valcami. Rýchlosti jednotlivých stolic sú zvyčajne automaticky regulované tak, aby boli dosiahnuté žiadané ťahové pomery medzi jednotlivými stolicami. Nastavenie samotných valcovacích medzier na profilovej trati je však zvyčajne v rukách operátorov. Keďže nie je prítomné meranie rýchlostí, alebo priečného prierezu materiálu za jednotlivými stolicami, kompenzovanie opotrebenia valcov a následne nastavenie valcovacej medzery závisí od skúseností obsluhy. V tejto práci je prezentované automatické analytické vyhodnotenie opotrebenia valcovacích medzier a ich následné riadenie pomocou genetických algoritmov.

KLúčové slová—valcovanie profilov, valcovacia rýchlosť

Abstract—The billets are used to be rolled in profile rolling, usually with square cross section. The cross section is progressively reduced as the workpiece passes through individual stands, which are equipped by grooved rolls. The speed of each stand is usually automatically controlled to achieve stable inter-stand tension conditions. Rolls gap set-up in profile rolling mill is usually completely in the hands of operators. Since there is no rolling speed or cross section measuring after each stand in the mill, compensation of rolls wear and consequent gap adjustment depends on skills and experiences of operators. The analytical automatic evaluation of rolls groove wear and consequent control of rolls gap based on genetic algorithm are presented in this paper.

Keywords—wire rod rolling, rolling speed, genetic algorithm

I. ÚVOD

Pri valcovaní profilových materiálov je priečny prierez vývalku postupne znižovaný v kontinuálnom procese valcovania kalibrovanými valcami do požadovaného tvaru finálneho produktu [1]. Rýchlosť vývalku za jednotlivými stolicami nie je meraná, ale je vypočítaná na základe teoretického priemeru valca [4], [8]. Keďže sa vývalok nachádza v niekoľkých stolicach naraz, je nutné aby rýchlosti týchto stolic boli synchronizované a riadené tak, aby boli udržiavané stabilné ťahové pomery medzi týmito stolicami. K tomu slúži tzv. kaskádne riadenie a automatická regulácia ťahu medzi stolicami [6].

A. Kaskádne riadenie

Pre zabezpečenie stabilných ťahových pomerov medzi jednotlivými stolicami v prípade zmeny rýchlosti na iných

stolicach je upravená rýchlosť na všetkých stolicach v smere proti toku materiálu tzv. kaskádnym riadením, ktoré zachováva pôvodné pomery rýchlostí pre stolice, ktorých sa netýka zmena rýchlosti z dôvodu regulácie ťahu [6].

B. Riadenie ťahu

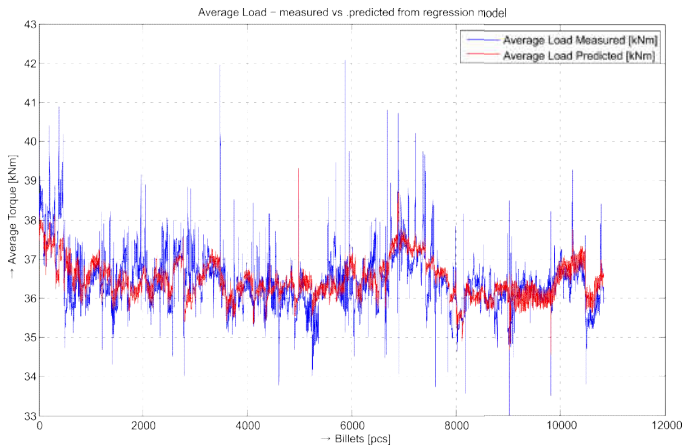
Riadenie ťahu môže byť vykonané nasledujúcimi spôsobmi:

- LTC – riadenie minimálneho ťahu porovnávaním momentu motora danej stolice pred a po zavedení vývalku do nasledujúcej stolice [6], [9].
- Regulácia výšky slučky – vytvorenie voľnej slučky zabezpečí bez ťahový stav medzi stolicami, kde je vytvorená voľná slučka. Rýchlosť danej stolice je riadená tak, aby bola zabezpečená požadovaná výška slučky a to taká, aby umožnila bez ťahový stav medzi danou a nasledujúcou stolicou [6], [9].
- Priame riadenie šírky vývalku – ak sú za jednotlivými stolicami inštalované senzory priečného prierezu vývalku, resp. šírky vývalku, je možné regulovať šírku vývalku prostredníctvom ťahu medzi danými stolicami. Keďže výška vývalku je daná nastavením valcovacej medzery, zmeny v ťahových pomeroch sa prejavajú práve na šírke vývalku [7].

Z uvedeného vyplýva, že v prípade zmeny ťahových pomerov regulácia zasiahne len pomer rýchlostí tých stolic, medzi ktorými sa reguluje ťah. Zmeny ťahu môžu nastať z dôvodu zmeny priečného prierezu materiálu resp. reálnej rýchlosti materiálu a to z dôvodu [1], [2], [3]:

- Opotrebenie drážky
- Zmena nastavenia valcovacej medzery
- Zmena teploty vývalku
- Zmena valcovacej rýchlosti

Keďže sa pri valcovaní udržiava pomerne homogénna teplota a stála valcovacia rýchlosť, variácia pomerov rýchlostí z dôvodu zmeny teploty resp. fluktuácie valcovacej rýchlosti pozdĺž vývalku môžu byť zanedbané [1], [8]. A tak, pomery rýchlostí medzi dvoma po sebe nasledujúcimi stolicami sú vlastne funkciou priečného prierezu vývalku týchto stolic. Keďže rýchlosti sú zaznamenávané, zmeny v ich pomeroch môžu byť použité pre reguláciu nastavenia valcovacích stolic [6].



Obr. 1 Porovnanie priemerného celkového momentu potrebného na valcovanie jednotlivých sochorov podľa regresného modelu a meraných dát, Roxor 12mm, SSM a.s., Strážske.

II. OPTIMÁLNE NASTAVENIE

Pre vyhodnotenie optimálneho nastavenia bola analyzovaná vzorka 10000 sochorov valcovacích kampaní produktu Roxor 12mm na valcovni SSM, a.s. Strážske. Pri viacnásobnej regresnej analýze bola zistená dobrá zhoda ($r^2=0,39$) modelu s meranými dátami práve ak sú vstupnými parametrami pomery rýchlostí. Ak boli pridané teploty a valcovacia rýchlosť, presnosť modelu sa zvýšila len nepatrne ($r^2=0,4$). Ako je vidieť na Obr. 1, potrebný valcovací moment kolíše v rozmedzí cca 7%, čo je pri celkovom valcovacom výkone, ktorý je na úrovni cca 4MW, nezanedbateľných 200-300kW. Analýzou meraných dát je teda možné vybrať optimálne nastavenie pomerov rýchlostí z ohľadom na minimalizovanie celkového valcovacieho momentu [5].

III. MODEL VALCOVACEJ MEDZERY

Ako fitness funkcia pre navrhovaný generický algoritmus je použitý lineárny model, ktorého vstupnými parametrami sú:

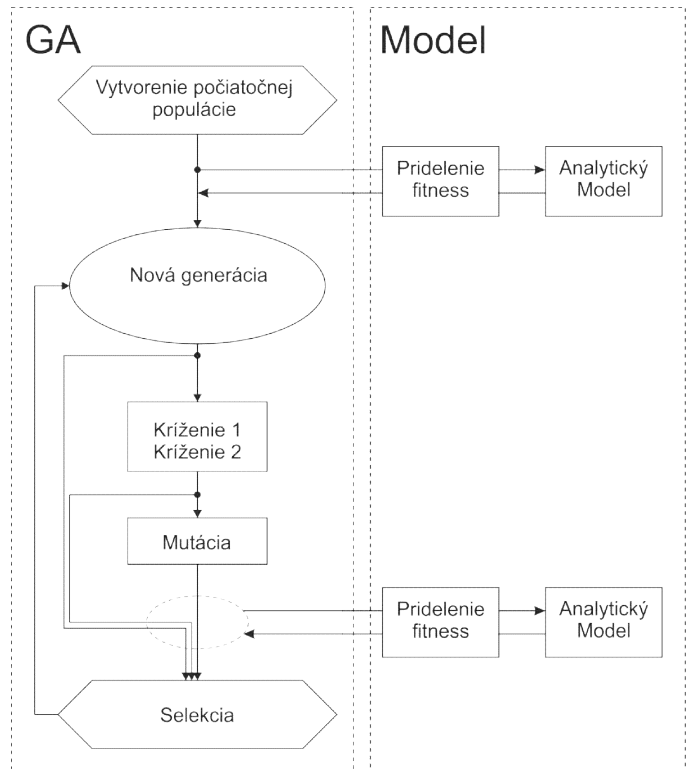
- D_{eff} – efektívny priemer valcov
- R_{vi} – pomer aktuálnych rýchlostí stolic
- R_{Si} – referenčný pomer rýchlostí stolic
- S_{ref} – referenčná plocha prierehu
- w_i – referenčná šírka vývalku

Výstupom je zmena nastavenia valcovacích medzier Δg_i , ktorá je daná (1), kde ΔS_i je žiadaná zmena plochy prierehu a w_i je teoretická šírka vývalku danej stolice. ΔS_i je daná (2), kde R_{Si} je referenčný pomer prierehov medzi STD_i a STD_{i+1} (obe dané kalibračným predpisom), R_{vi} je pomer rýchlostí v_i a v_{i+1} , a S_{i+1} je:

- pre poslednú stolicu daného poradia je to plocha prierehu vývalku, ktorá je získaná meraním vzorky za STD_{i+1} ;
- pre ostatné stolice je to vypočítaná hodnota teoretickej plochy prierehu od poslednej stolice daného poradia v smere proti toku materiálu podľa R_{vi} . Plocha prierehu poslednej stolice daného poradia je získaná meraním vzorky.

Takto je teda určená závislosť plochy prierehov vývalku za jednotlivými stolicami od pomerov rýchlostí stolic.

$$\Delta g_i = \frac{\Delta S_i}{w_i} \quad (1)$$



Obr. 2 Diagram navrhovaného GA.

$$\Delta S_i = (R_{Si} - R_{vi})S_{i+1} \quad (2)$$

IV. GENETICKÝ ALGORITMUS

Navrhovaný generický algoritmus (GA) rieši úlohu vhodného nastavenia valcovacej medzery na stolicach prípravného poradia (STD01-STD06), pričom sa uvažuje so známou a stabilnou hodnotou S_6 (meranie za prípravným poradím, nastavenie podľa kalibračného predpisu). Diagram navrhovaného GA je znázornený na Obr. 2 a pozostáva z nasledujúcich častí [10]:

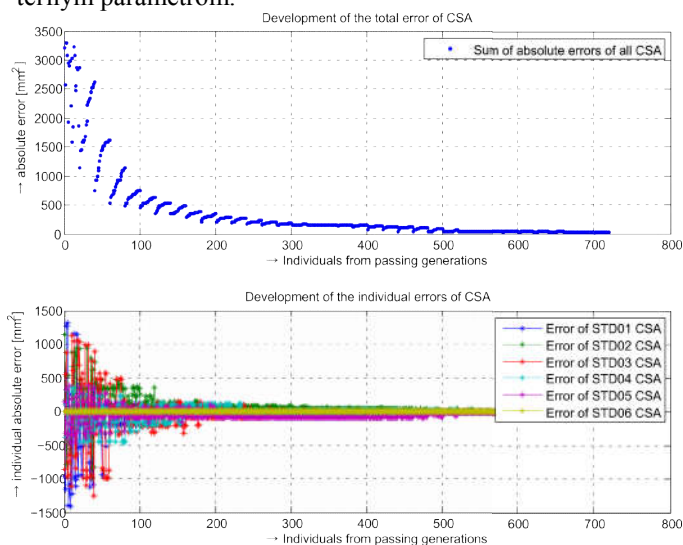
A. Vytvorenie počiatočnej náhodnej populácie

Populácia náhodných jedincov Δg_{init} (zmena valcovacej medzery oproti pôvodnému nastaveniu $g_{set\ init}$) je vektorom reálnych čísel, ktoré priamo reprezentujú navrhovanú zmenu valcovacej medzery jednotlivých stolic. Jednorozmerný vektor má dĺžku, ktorá odpovedá počtu vybraných stolic. Keďže sa uvažuje s prípravným poradím so šiestimi stolicami a nastavenie ako aj prierehu poslednej, šiestej stolice sú známe, vektor obsahuje navrhované nastavenia pre prvých 5 stolic. Hodnoty vektorov pre počiatočnú generáciu sú na jednotlivých pozíciách limitované podľa kalibračného predpisu a povolenej odchýlky.

B. Križenie 1

Jedinci sú vybraní z populácie pomocou váženej rulety [10], pričom ako porovnávací faktor je zvolená suma absolútnych hodnôt chýb referenčného a vypočítaného, resp. navrhovaného prierehu jednotlivých stolic. Následne dôjde

ku kríženiu medzi dvoma jedincami. Nový jedinec je vektorom ktorý vznikol kombináciou dvoch vektorov daných jedincov. Množstvo takto vytvorených jedincov je limitované voliteľným parametrom.



Obr. 3 Vývoj plochy CSA jednotlivých stolic počas simulácie, pričom sú zobrazení všetci generovaní jedinci (aj tí, ktorí sa nedostanú do ďalšej generácie). Referenčné hodnoty sú znázornené čiernymi priamkami, noví jedinci znakom "x".

C. Kríženie 2

Ďalším krížením je výmena jedného prvku vektora medzi dvoma náhodne zvolenými jedincami. Množstvo takto vytvorených jedincov je limitované voliteľným parametrom.

D. Mutácia

Z výslednej populácie je náhodne vybraný parametrom určený počet jedincov, u ktorých sa vyberie jeden prvok vektora, ktorý sa zmení na náhodne vygenerovanú hodnotu v rozmedzí parametrom danej povolenej mutačnej odchýlky od pôvodnej hodnoty prvku vektora. Množstvo takto vzniknutých jedincov je limitované voliteľným parametrom.

E. Selekcia

Selekcia zabezpečí prechod do nasledujúcej generácie len najlepším jedincom. Faktorom ktorý rozhoduje o kvalite jedinca je suma absolútnych hodnôt chýb plochy priečných prierezov všetkých stolic. Množstvo postupujúcich jedincov je dané voliteľným parametrom.

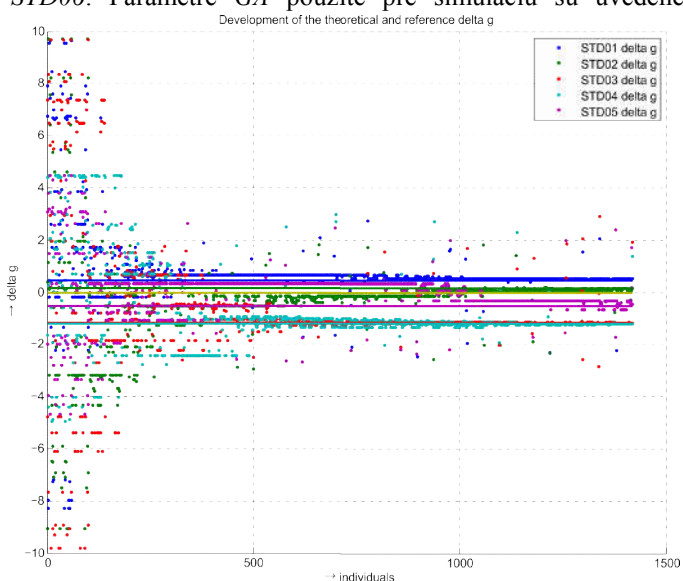
TABUĽKA 1 VYBRANÉ PARAMETRE GA ZVOLENÉ PRE SIMULÁCIU.

Názov parametra	Hodnota
Počet jedincov pre kríženie	5
Postup do výberu z kríženia	10
Postup do výberu z mutácie	5
Postup do výberu z výmeny časti reťazca	10
Postup do výberu z predošlej generácie	20
Počet jedincov postupujúcich ďalšej generácie	20

V. SIMULÁCIA

Pre simuláciu GA a fitness funkcie bol použitý program *Matlab* a ako simuloval sa proces výberu vhodného nastavenia

valcovacích medzier stolic prípravného poradia (*STD01-STD06*) počas valcovania produktu *Roxor* 12mm, pričom sa uvažuje so známou hodnotou plochy priečného prierezu za *STD06*. Parametre GA použité pre simuláciu sú uvedené



Obr. 4 Priebeh generácii genetického algoritmu, v hornom grafe je suma absolútnych chýb priečných prierezov jednotlivých stolic, dolný graf sú jednotlivé chyby priečných prierezov stolic.

v TABUĽKA 1, počet iterácií bol v tomto prípade fixne stanovený na 35. Jedinci populácie sú reprezentovaní vektorom 1×5 , ktorého hodnoty odpovedajú navrhnutým zmenám valcovacej medzery Δg , pričom jednotlivým jedincom je po každej iterácii modelom priradený fitness vektor, ktorý obsahuje chybu voči referenčnému priečnému prierezu jednotlivých stolic ako aj súčet absolútnych hodnôt týchto chýb. Počiatočná populácia je tvorená dvadsiatimi jedincami s náhodne zvolenými hodnotami vektora v rozmedzí ± 10 mm pre prvé 3 stolice a ± 5 mm pre *STD04* a *STD05*. Na Obr. 3 je znázornený vývoj plochy priečného prierezu (*CSA*) jednotlivých stolic počas simulácie GA, pričom čiernou sú znázornené referenčné hodnoty podľa kalibračného predpisu. Na Obr. 4 je znázornený priebeh minimalizovania chyby pomocou fitness funkcie. V jeho hornej časti je to suma absolútnych hodnôt chýb pre dané stolice, spodný graf znázorňuje chyby jednotlivých stolic. Porovnanie výsledku simulácie GA s analytickým výpočtom je uvedené v TABUĽKA 2, kde Δg_{GA} a S_{GA} sú nastavenie a odpovedajúca plocha CSA podľa GA; a Δg_{ana} a S_{ana} sú nastavenie a plocha CSA podľa analytického výpočtu.

TABUĽKA 2 POROVNANIE VÝSLEDKOV SIMULÁCIE S REFERENČNÝMI HODNOTAMI.

	STD01	STD02	STD03	STD04	STD05
Δg_{GA} [mm]	0,522	0,127	-1,171	-1,210	-0,482
Δg_{ana} [mm]	0,468	0,139	-1,178	-1,219	-0,520
S_{GA} [mm ²]	11506	8289	5598	4178	3039
S_{ana} [mm ²]	11498	8290	5597	4177	3036

VI. ZÁVER

Pri valcovaní profilových materiálov je zvyčajne aplikovaná automatická regulácia ťahu ktorá riadi rýchlosti stolic tak, aby boli dosiahnuté žiadané, stabilné ťahové pomery medzi jednotlivými stolicami. Regulácia valcovacích medzier a vy-

hodnotenie opotrebenia drážok valcov však zostáva v rukách operátorov a kompenzovanie opotrebenia drážky je nutné vykonávať manuálne. Táto práca prezentuje analýzu možnosti analytického, nepriameho vyhodnotenia opotrebenia drážok valcov pomocou zmien v pomeroch rýchlostí medzi stolicami a následne navrhuje systém výpočtu optimálneho nastavenia na báze genetických algoritmov. Optimalizovaním nastavenia valcovacích medzier sa predpokladá predĺženie životnosti valcov ako aj úspora elektrickej energie.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] L. Youngseog, *Rod and Bar Rolling: Theory and Applications*, CRC Press, Korea, 2004.
- [2] NIIR Board of Consultants&Engineers, *The Complete Technology Book on Hot Rolling of Steel*, Delhi – India, National Institute of Industrial Research, 2010.
- [3] Cony Eriksson, *Roll Pass Design for Improved Flexibility and Quality in Wire Rod Rolling*, Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2004.
- [4] M. G. Malmgren, I. Onghia, *Technological Papers*, Morgardshammar AB, Sweden, 2006.
- [5] A Nilabja, T. Mathur, *Profile Mill Advanced Service Portfolio*, Technological ABB, 2013.

- [6] X. Sun, H.F. Sun, Speed cascade control system for bar and wire rod mills, *ABB Value Paper*, ABB China Ltd, 2009
- [7] Dag. N. Sollander, Upgrading rod and bar mills with state-of-the-art control technology, ABB Automation Systems AB, Sweden, 1999.
- [8] Mária Kollerová a Milan Židek a Bohumil Počta a Vladimír Dědek. *Valcovanie*, Bratislava, Slovakia, Alfa, 1991
- [9] T. Borovský, D. Ďurovský, K. Kyslan, “Material Tracking with Dynaic Torque Adaptation for Tension Control in Wire Rod Mill”, *Advances in Electrical and Electronic Engineering*, pp. 176-182, 2017.
- [10] D. Micek, “Genetické algoritmy“, Vysoké učení technické v Brně, Master Thesis, Brno: Brno University of Technology, 2009.



T. Borovský sa narodil 28.5.1987 v Trebišove. V roku 2012 ukončil vysokoškolské štúdium na katedre elektrotechniky a mechatroniky na Technickej univerzite v Košiciach. Následne pracoval ako elektrotechnický inžinier na valcovni a oceľiarni spoločnosti Slovakia Steel Mills, a.s., teraz ako automatizačný inžinier pre valcovne v spoločnosti SMS Group, S.p.A. Popri zamestnaní pokračoval v externom doktorskom štúdiu v odbore Mechatronika na Technickej univerzite v Košiciach, pričom sa venuje riadeniu valcovacích tratí.