

**INFLUENCE OF THE SHAPE OF A ROLLER GAP WHEN ROLLING
ON ROLLING STOCK STRAIGHTNESS****A. Pokorný¹, O. Učeň²**

Summary: *In several newly built or modernised strip rolling mills in the Czech Republic, defects leading to products of low quality or product wasting have appeared. The article explains manifestations and causes of these defects. It rests on a few mathematical models that describe and indicate possible methods for the removal or the substantial elimination of imperfections.*

1. Úvod

Počátkem roku 2000 byly v ČR uvedeny ve dvou válcovnách (v Nové huti a ŽDB) a jedné kovárně (Hulín) nové nebo pronikavě modernizované válcovny plechů, respektive válcovačka kroužků. Jejich uvádění do provozu bylo doprovázeno potížemi, které měly společného jmenovatele v tom, že vyválcovaná produkce ve formě pásů, svitků pásů nebo kroužků byla tvarově nepřesná a nesplňovala obvyklé požadavky na kvalitu pásů, respektive svitků a kroužků.

Vznikla proto iniciativa, která si kladla za cíl vysvětlit a najít příčiny nežádoucího stavu a vyhledat možná řešení ke zlepšení.

2. Výsledky sledování válcování a vady na pásech a svitcích

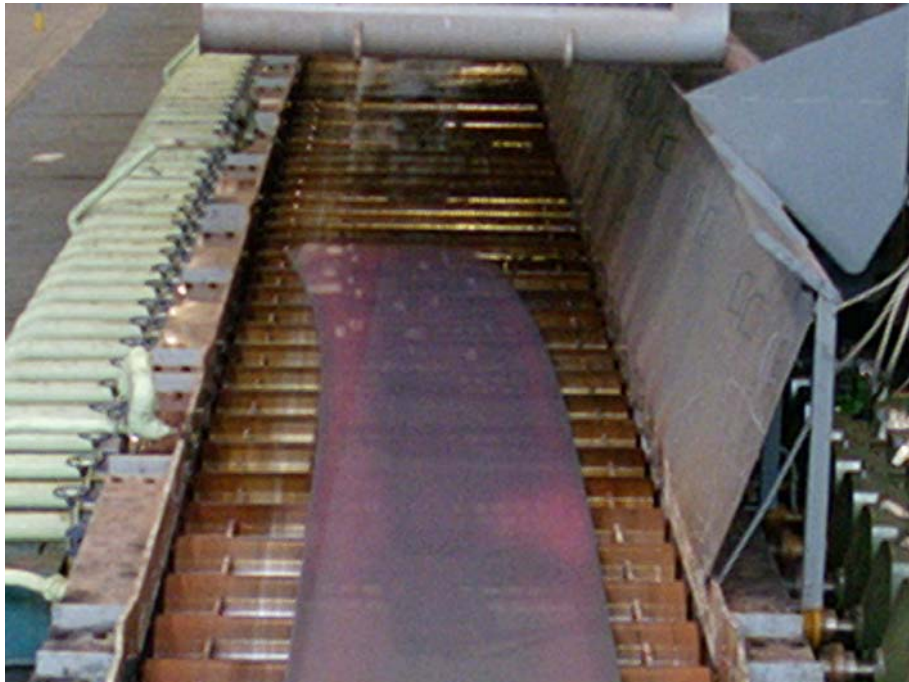
Pásky ve směru délky měly vady, zakřivení v podélném směru, které jsou ve válcovně nazývány „šavlemi“. Typický příklad šavle znázorňuje obr. 1. Je-li takový pás svinován ve svitek, vzniká teleskopický svitek jak je vidět z obr. 2. Pokud se pás nesvinuje do svitků a zpracovává se dělením na větší počet kusů, pak veliké zakřivení takového pásu nesplňuje požadavky norem na kvalitu a materiál je prodáván v nižší jakostní třídě.

Válcované kroužky obr.3, se obvykle v posledních fázích válcování, kdy se jejich příčný průřez i průměr blížily konečným parametrům tvarově deformovaly tak, že vznikaly tvary podobné deformované elipse, což se provozně označovalo jako „rybí tlama“ a kroužek byl zmetkován.

¹ Prof. Ing. Arnošt Pokorný, CSc.: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; tř. 17.listopadu 15; 708 33 Ostrava – Poruba; tel.: +420 57 732 4578, fax: +420 57 732 4600; e-mail: arnost.pokorny@vsb.cz

² Ing. Oldřich Učeň: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; tř. 17.listopadu 15; 708 33 Ostrava – Poruba; tel.: +420 57 732 4274, fax: +420 57 732 4600; e-mail: oldrich.ucen.fs@vsb.cz

Měřeními, zejména tloušťek pásů v místech zakřivení, byly zjištěny rozdíly v tloušťkách napříč pásu, což bylo motivací k matematickému vyjádření s cílem najít matematický model, který by obsahoval parametry, které ovlivňují velikost zakřivení pásu v podélném směru.



Obrázek1



Obrázek2

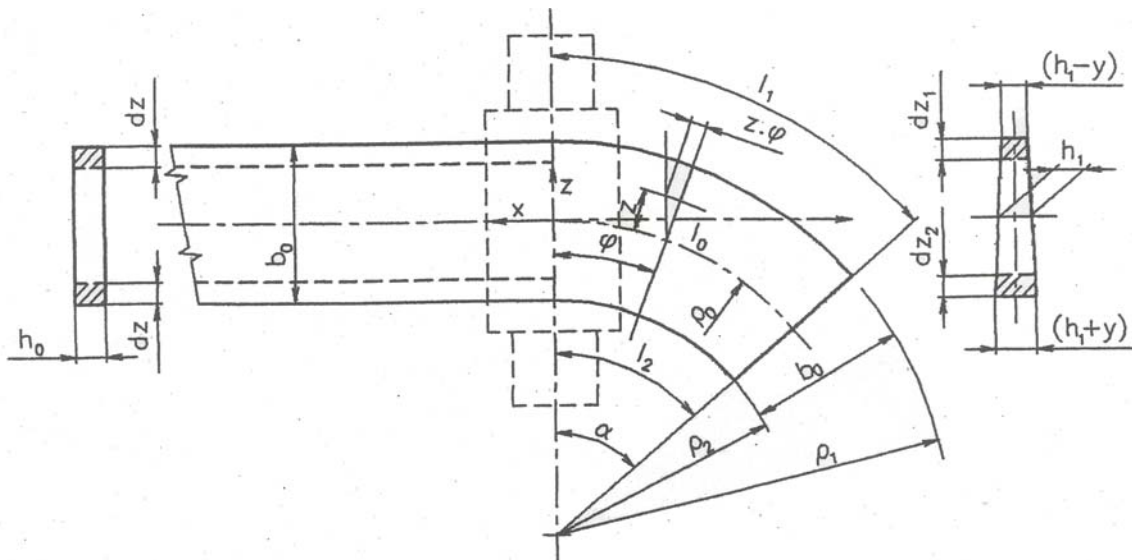


Obrázek3

3. Matematický model zakřivení pásu v podélném směru

Na obr. 4 je znázorněno schéma, které umožní sestavit matematický model pro určení zakřivení pásu.

Předpokládejme, že do tvářecího procesu v mezeře mezi válci vstupují dva stejné objemy tvořené proužkem o šířce dz , tloušťce h_0 a délce l_0 .



Obrázek4

Objem vstupující do tvářecí operace na každé straně pásu je:

$$v_0 = dz \cdot h_0 \cdot l_0 \quad (1)$$

Stejný objem pro tvářecí operaci vně zakřivení (předpokládá se, že tvářením se objem materiálu nemění):

$$v_0 = dz_1 \cdot (h_1 - y) \cdot l_1 \quad (2)$$

Provedeme-li stejnou úvahu pro vnitřní zakřivení, pak je:

$$v_0 = dz_2 \cdot (h_1 + y) \cdot l_2 \quad (3)$$

Je-li pás dostatečně široký ($b_0 \gg h$) pak lze předpokládat, že:

$$b_0 = b \quad \text{a} \quad dz_1 = dz_2 = dz \quad (4)$$

Řešením rovnic 1, 2, 3 za předpokladu 4 a pomocí geometrických závislostí, které lze získat pomocí obr. 4 dostaneme [1] pro poloměr zakřivení ρ na vnější straně pásu:

$$\rho_1 = \frac{b}{2} \cdot \left(\frac{h_1}{y} + 1 \right) \quad (5)$$

pro zakřivení na vnitřní straně pásu

$$\rho_2 = \frac{b}{2} \cdot \left(\frac{h_1}{y} - 1 \right) \quad (6)$$

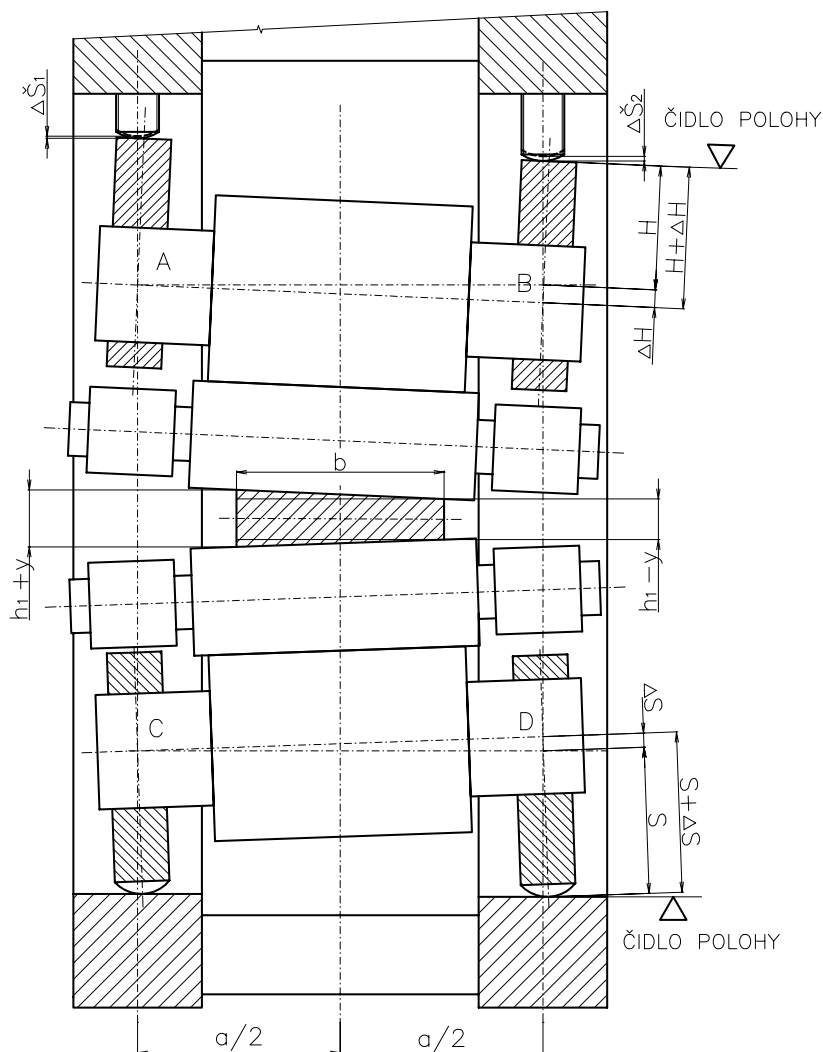
Z rovnic 5 a 6 vyplývá, že poloměr zakřivení ρ se bude zmenšovat se zmenšující se šířkou pásu b a jeho tloušťkou h_1 na výstupu z válcovací stolice, v níž bude nastavena mezera mezi válci s chybou y měřenou na obou okrajích válců. Se zvětšením této chyby se poloměr zakřivení bude zmenšovat.

$$\text{Z rovnic 1, 2, 3 a 4 vyplývá, že bude-li } y=0 \text{ je } \rho_1 = \rho_2 = \rho = \infty \quad (7)$$

což znamená, že pás válcovaný bez chyby nastavení válců, to je $y = 0$ bude přímý, nevznikne zakřivení pásu – šavle.

4. Příčiny vzniku chybného nastavení mezery mezi válci

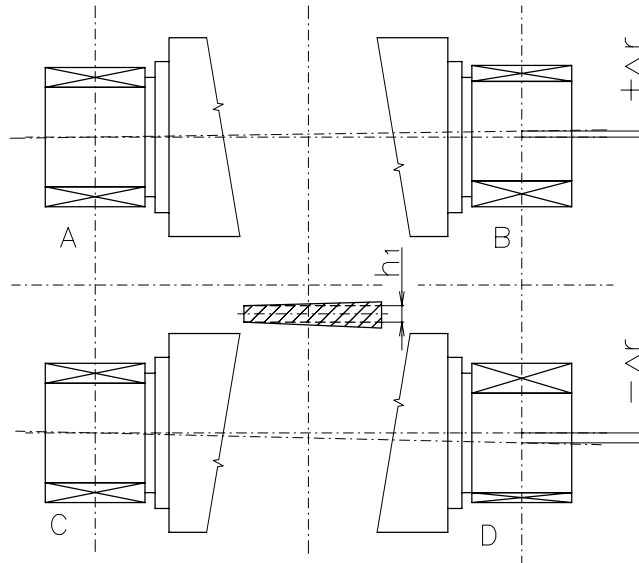
Chyby v nastavení mezery mezi válci souvisí s nepřesnostmi ve výrobě jednotlivých součástí válcovací stolice, mezi něž je nutné počítat i zvolení tolerancí na některé rozměry důležitých dílů, například ložiskových těles opěrných válců u kvartostolic, nebo horních středních a spodních ložiskových těles u triostolic. Pokud není vzdálenost dosedací plochy stavěcího mechanismu nebo čidel, která informují o poloze příslušného válce vzhledem k ose díry ložiska válce tolerována, vznikají odchylky “ y ” ve tvaru mezery mezi válci, jak o tom informuje obr. 5.



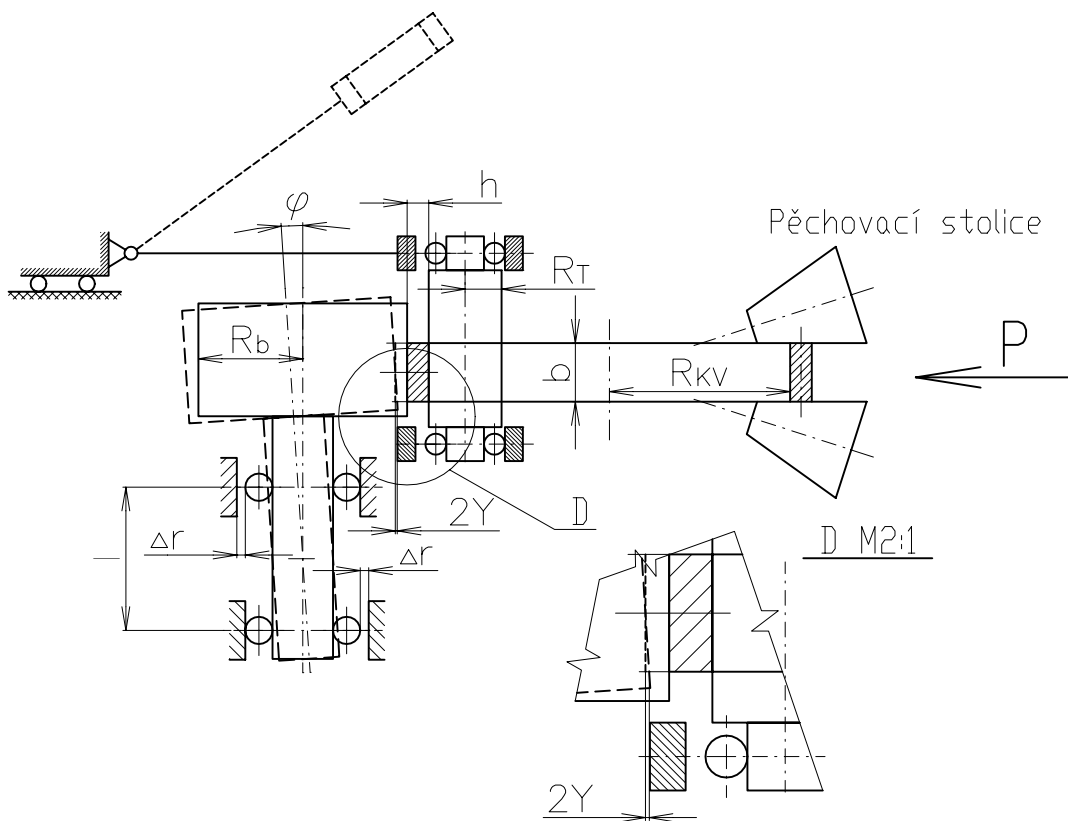
Obrázek5

Nelze také pominout skutečnost, že valivá ložiska použitá například u kvartosolic v Nové hutí, jejichž průměr vnitřního kroužku činí 1000 mm, mohou být dodána při normální radiální vůli Δr v rozsahu 0,43 až 0,64 [2]. V jedné z horších kombinací možností mohou nastat rozdíly v nastavení v ose stavěcích šroubů o velikosti $2(0,64 - 0,43) = 0,42$ mm. Grafická představa o této vadě je znázorněno na obr. 6. Obě zmíněné chyby se mohou sečítat nebo i odčítat. Vzniká tím dalších několik možností změny tvaru mezery mezi válci a a tím i možností odchylek od přímočarosti provalků.

Při válcování kroužků na zařízení, které je schématicky znázorněno na obr. 7 je s ohledem na letmé uspořádání poháněného válce o větším průměru zřejmé, že radiální vůle valivých ložisek Δr ve třídě C3 o velikosti 0,07 mm, se nevhodným konstrukčním řešením násobí a vytváří spolu s opěrným nepoháněným válcem také klínovitý tvar mezery mezi válci. Je možné určit bez uvážení průhybu poháněného válce i velikost chyby “y” a pro výpočet zakřivení použít vztahy 5 a 6.

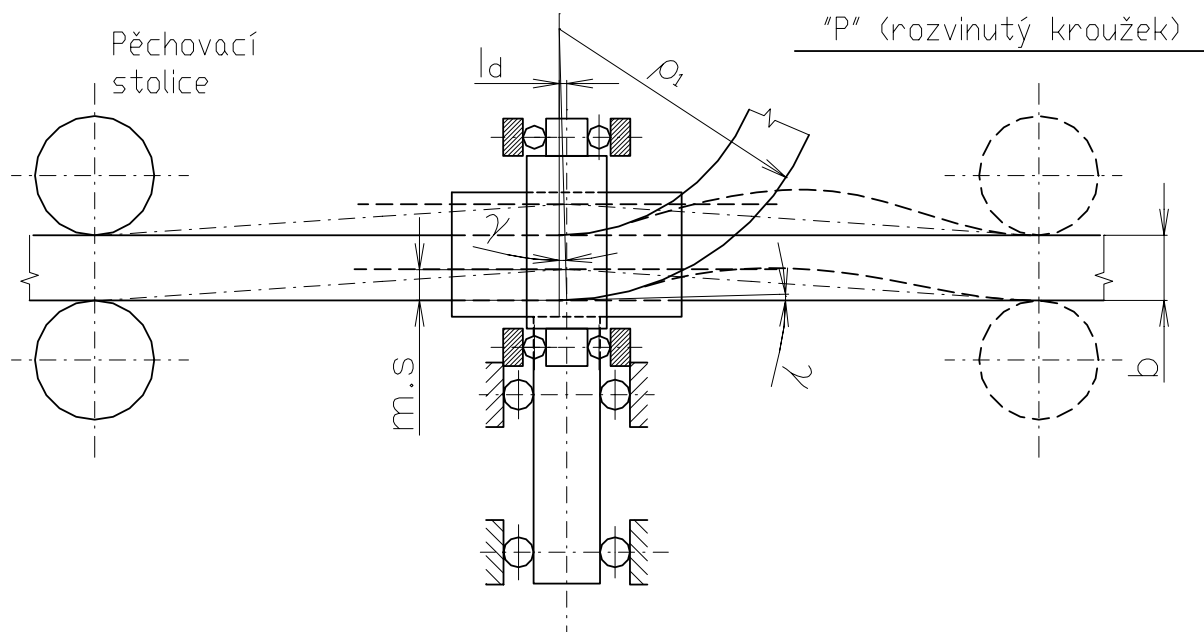


Obrázek6



Obrázek7

Obrázek 8, který znázorňuje druhý pohled na schéma válcovačky kroužků vysvětluje, že popsaným způsobem vzniklá chyba je příčinou vad při válcování kroužků v závěrečné fázi, to je tak zvaných „rybích tlam“.



Obrázek 8

Na přímočarost provalku při válcování mají vliv ještě další skutečnosti například nedostatky v zajištění synchronního pohybu stavěcích mechanismů válců, rozdílné silové účinky na jednotlivé stavěcí mechanismy, rozdílné odpory ve vedení ložiskových těles během nastavování mezery mezi válci v průběhu válcování, různá teplota provalku vzhledem k jeho šířce, špatně seřízený tlakový ostřík okují vodou při válcování za tepla, špatně seřízené chlazení válců vodou podobně.

Zkušenost však ukazuje, že tolerance na některé rozměry vyjmenovaných součástí a odchylky ve velikostech radiálních vůlí u valivých ložisek, o nichž ve svých katalogích informují výrobci ložisek, jsou hlavními zdroji špatné přímočarosti provalků, pokud se těmito skutečnostmi nevěnuje pozornost při návrhu a projekci automatického systému řízení tloušťky provalku po jeho délce a při organizačně technickém opatření, které souvisí s výměnami celých skupin sestavených z válců, ložisek a ložiskových těles [3] u provozovatele.

V případě válčovačky kroužků, je možné problém řešit jiným konstrukčním uspořádáním valivého uložení poháněného válce spolu s předpisem o párování ložisek, což by s ohledem na jejich velikost bylo ještě ekonomicky únosné.

5. Matematický model pro určení odchylek, proti přímočarosti vývalku při opakovaní průchodu provalku strojem s chybou ve válcové mezeře

Každý další průchod mezerou mezi válci, která je ovlivněna chybou "y" zmenšuje poloměr zakřivení pásu ve smyslu vztahů 5 a 6, protože se zvětšuje nebo zmenšuje prodloužení nebo stlačení vláken pásu na jeho vnějším nebo vnitřním okraji [1].

Pomocí obr.4 lze určit poměrné prodloužení nebo stlačení λ vnějšího nebo vnitřního okraje pásu:

$$\lambda_{1,2} = \frac{z \cdot \varphi}{\rho \cdot \varphi} \quad (8)$$

Jestliže dosadíme po úpravě 8 za $z = b/2$, pak poměrné prodloužení vnějšího okraje pásu je ve tvaru:

$$\lambda_1 = \frac{b}{2 \cdot \rho_1} \quad (9)$$

a poměrné stlačení vnitřního okraje pásu je:

$$\lambda_2 = -\frac{b}{2 \cdot \rho_2} \quad (10)$$

Budeme-li sledovat opakování průchodu provalku strojem se stejnou chybou nastavení mezery mezi válci "y" na vnějším okraji pásu, dostaneme po "i" průchodech vztah pro poměrné prodloužení ve tvaru:

$$\lambda_1^{(i)} = \frac{l_1^{(i)} - l_o^{(i-1)}}{l_o^{(i-1)}} = \frac{\Delta l_1^{(i)}}{l_o^{(i-1)}} \quad (11)$$

kde $l_o^{(i-1)}$... je délka středního vlákna pásu po (i-1) průchodu

$l_1^{(i)}$... je délka vnějšího vlákna pásu po i-tém průchodu

Vyjádříme-li poměrné prodloužení dle vztahu 9 pak dostaneme:

$$\lambda_1^{(i)} = \frac{b}{2 \cdot \rho_1^{(i)}} \quad (12)$$

Porovnáním 11 a 12 získáme vztah pro přírůstek délky vnějšího vlákna v i-tém průchodu:

$$\Delta l_1^{(i)} = \frac{b \cdot l_o^{(i-1)}}{2 \cdot \rho_1^{(i)}} \quad (13)$$

Celkový přírůstek délky vláken na vnějším okraji po i-průchodech:

$$\sum_{i=1}^{(i)} \Delta l_1^{(i)} = Y \cdot \left(\frac{l_o^{(0)}}{h_1^{(1)} + y} + \frac{l_o^{(1)}}{h_1^{(2)} + y} + \dots + \frac{l_o^{(i-1)}}{h_1^{(i)} + y} \right) \quad (14)$$

Při úpravě této rovnice byl poloměr zakřivení $\rho_1^{(i)}$ v rovnici 13 vyjádřen dle vztahu 5.

Pro celkové prodloužení krajního vlákna na vnějším okraji pásu po i-průchodech platí:

$$\lambda_{1c} = \frac{\sum_{i=1}^{(i)} \Delta l_1^{(i)}}{l_o^{(0)}} \quad (15)$$

kde $l_o^{(0)}$... je zvolená délka středního vlákna před prvním průchodem

Ve smyslu vztahu 5 je také:

$$\lambda_{1c} = \frac{b}{2 \cdot \rho_{1c}} \quad (16)$$

Porovnáním vztahů 15 a 16 dostaneme celkový poloměr zakřivení pásu na jeho vnějším okraji:

$$\rho_{1c} = \frac{b \cdot l_0^{(0)}}{2} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{(i)} \Delta l_1^{(i)}} \quad (17)$$

6. Využití matematického modelu výpočtu odchylek při opakovaných průchodech při válcování kroužků

Obrázek 7 i 8 vyjadřují vznik odchylek a změnu tvaru mezery mezi válci, což má za následek vytvoření vady zvané „rybí tlama“ v závěru válcování kroužku. Pomocí obr. 7 a 8 lze sestavit výpočtový model, který uvažuje vlivy radiálních vůlí v ložiskách “ Δr ” i výpočet zakřivení kroužku ρ_{1c} ve směru kolmém na působení válcovacích sil.

Z obr. 7 vyplývá, že vychýlení hřídele “ φ ” vlivem radiálních vůlí Δr je rovno (parametry využití ve vztazích , jsou zřejmé z obr. 7,8):

$$\varphi = \frac{2 \cdot \Delta r}{l} \quad (18)$$

Chybu mezery na válcovaném kroužku “ y ” (viz. obr. 7) lze určit ze vztahu:

$$y = \frac{b}{2} \cdot \varphi \quad (19)$$

Délka deformační zóny l_d , po jejíž délce vzniká vlivem zakřivení kroužku ρ_1 (obr. 8) posuv kroužku ve směru osy obou válců umožňuje určit velikost tohoto posuvu $m \cdot s$:

$$l_d = \gamma \cdot \rho_1 \quad \text{odkud} \quad \gamma = \frac{l_d}{\rho_1} \quad (20)$$

Stoupání šroubovice “ s ” na poháněném bubnu, po němž dochází k posuvu $m \cdot s$ (kde m vyjadřuje počet otáček poháněného bubnu nutný pro vyválcování kroužku):

$$s = \pi \cdot D_b \cdot \gamma \quad (21)$$

$$m \cdot s = \pi \cdot D_b \cdot \frac{l_d}{\rho_{1c}} \quad (22)$$

Za ρ_{1c} se ve výše uvedeném vztahu dosazuje výraz na pravé straně rovnice 17 a je v něm využito pro určení chyby mezery při válcování kroužku vztahu 14 a 19.

7. Závěr

Matematické modely uváděné v příspěvku vysvětlují příčiny vzniku vad při válcování plochých provalků nebo kroužků vlivem různých vůlí valivých ložisek použitých pro uložení válců, včetně vlivu velikosti tolerancí nebo jejich absence na důležité rozměry u ložiskových těles válců.

Získané poznatky umožňují projektantům systémů automatického řízení tloušťky pásu po jeho délce systém upravit a zdokonalit.

Konstruktéři nebo provozovatel válcovačky kroužků mají podklad pro rekonstrukci způsobu uložení válce poháněného válcovacího bubnu.

8. Literatura

Pokorný, A. (2001) Matematický model pro nepřímé měření chyby v tloušťce na okrajích válcovaného pásu, in: *Mezinárodní konference Loado 2001*, Vysoké Tatry, pp. 353-356.

SKF (1993) Katalog ložisek, *Large bearings for heavy engineering applications*

Pokorný, A., Učeň, O. (2002) Vliv výrobních odchylek hlavních součástí válcovací stolice na chyby nastavení mezery mezi válci a možnosti eliminace těchto vad, in: *XII. International Scientific Conference "Iron and Steelmaking"*, Podolánky, pp. 157-160