ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Hutnictwo z 6 Nr kol. 440

Eugeniusz Hadasik, Jacek Mazurkiewicz
Antoni Piela

Politechnika Śląska
Instytut Inżynierii Materiałowej

WSPÓŁCZYNNIK WYDŁUŻENIA WALCOWANEGO PASMA O CZĘŚCIACH BEZPOŚREDNIO NIEODKSZTAŁCANYCH

Streszczenie: W oparciu o wyniki badań doświadczalnych opracowano wzór do obliczania współczynnika wydłużenia przy walcowaniu pasma z nierównomiernym gniotem na szerokości. Przeprowadzono porównanie otrzymanych tym wzorem wartości z pomiarowymi i obliczonymi wg wzorów innych autorów.

Wykazano dużą dokładność proponowanego wzoru.

1. Wprowadzenie

Jedną z najbardziej istotnych wielkości stosowanych przy projektowaniu kalibrowania jest współczynnik wydłużenia, który pozwala na obliczenie ilości przepustów, wypełnienia wykroju, a pośrednio czasu walcowania, wydajności itp.

Stosowane obecnie metody obliczeń wydłużenia przy nierównomiernym gniocie posiadają szereg niedociągnięć i tak wzory Mutiewa, Tarnowskiego, Sokołowa itp. opierają się na współczynnikach wydłużenia części pasma odkształcanych bezpośrednio gniotem, obliczonych innymi, nie zawsze sprecyzowanymi metodami. W zależności od przyjętej metody otrzymuje się tymi wzorami różne wyniki. Obliczony przez Połuchina i Jegorowa [1] współczynnik wydłużenia w/w wzorami, przy przyjęciu wzoru Gubkina do obliczania wydłużenia części przekroju pasma odkształconych bezpośrednio gniotem, powoduje błędy w obliczeniu współczynnika wydłużenia dochodzące do 40%. Również podana przez Połuchina i Jegorowa empiryczna zależność do obliczania współczynnika wydłużenia ujmuje między innymi współczynnik tarcia, którego wartość, w zależności od przyjętej metody jego wyznaczania, wykazuje zmienne wartości, a w realnych warunkach walcowania jest trudna do określenia. W związku z tym podjęto próbę opracowania wzoru do obliczania współczynnika wydłużenia nie posiadającego wyżej opisanych niedociągnięć i równocześnie dającego poprawne wyniki.

2. Przyjęcia ogólnej postaci zależności na współczynnik wydłużenia

Na podstawie danych literaturowych [1, 2, 3] najistotniejszy wpływ na współczynnik średniego wydłużenia ma stosunek powierzchni odkształcanej bezpośrednio gniotem F_{oB} do powierzchni przekroju pasma przez przepustem F_o, kształt kotliny walcowania wyrażony stosunkiem długości rzutu łuku styku l_d do szerokości odkształcanej części pasma b_o oraz wartości gniotu bezpośredniego γ.

Wpływ tych czynników na współczynnik wydłużenia jest typu wykładniczego, przy czym wzrost F_{oB}/F_o oraz gniotu γ_B powoduje zwiększenie wydłużenia pasma, natomiast wzrost l_d/b_{oB} zmniejszenie wydłużenia. Na podstawie wstępnej analizy przyjęto do obliczeń następującą zależność opisującą współczynnik wydłużenia

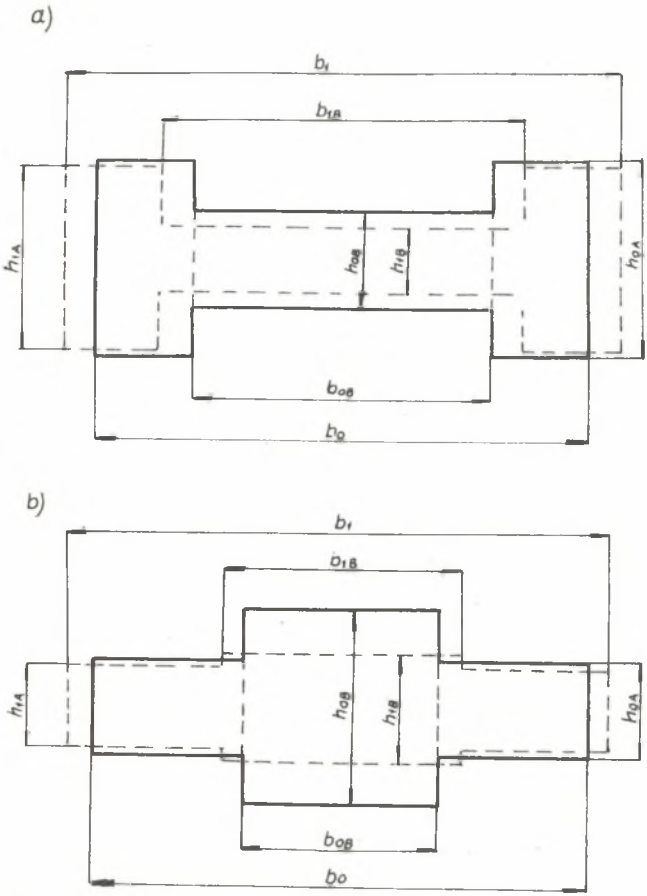
$$\lg \lambda = a \left(\frac{F_{oB}}{F_o}\right)^{n_1} \cdot \left(\frac{l_d}{b_{oB}}\right)^{n_2} \cdot \lg \gamma_B \qquad (1)$$

3. Opracowanie wzoru do obliczania współczynnika wydłużenia

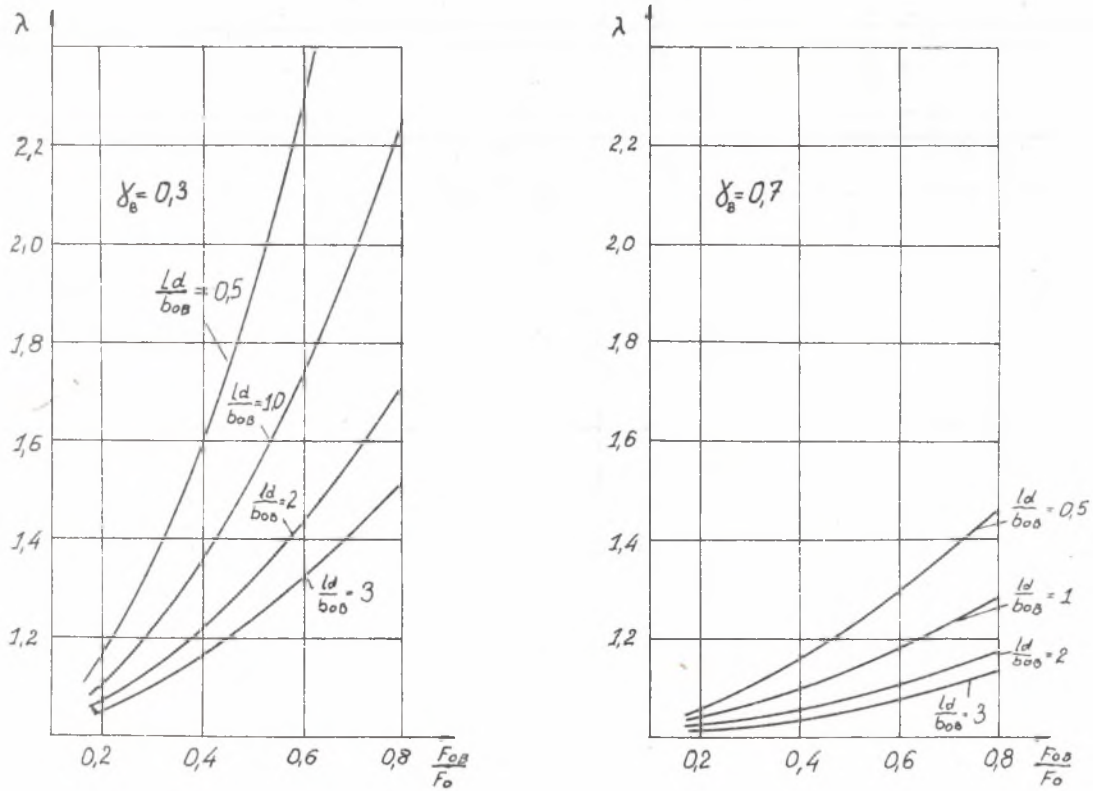
Opracowania statyczne mające na celu wyznaczenie i sprawdzenie proponowanej zależności oparto o badania zamieszczone w pracy doktorskiej M. Čauševiča [2], prowadzone na próbkach typu dwuteowego i krzyżowego, których kształt przedstawiono na rys. 1. Do analizy przyjęto 156 walcowanych próbek, w tym 136 typu dwuteowego i 20 typu krzyżowego o zmiennym stosunku F_{oB}/F_o w zakresie od 0,3 do 0,9 oraz l_d/b_{oB} od 0,7 do 3,7. Próbki walcowane były gniotem bezpośrednim γ_B równym od 0,3 do 0,8 w części środkowej, przy swobodnym poszerzeniu. Posługując się metodą analizy wielokrotnej regresji, przy założonym poziomie istotności równym 0,05, prowadzono obliczenia na elektronicznej maszynie cyfrowej Odra 1304. W końcowym efekcie otrzymano następujące wartości współczynników regresji: $a = -0{,}935$, $n_1 = 1{,}43$ i $n_2 = -0{,}61$, przy czym współczynnik korelacji wielokrotnej był równy 0,966. Ostateczna postać wzoru na współczynnik wydłużenia jest następująca:

$$\lg \lambda = -0{,}935 \left(\frac{F_{oB}}{F_o}\right)^{1{,}43} \cdot \left(\frac{l_d}{b_{oB}}\right)^{-0{,}61} \cdot \lg \gamma_B \qquad (2)$$

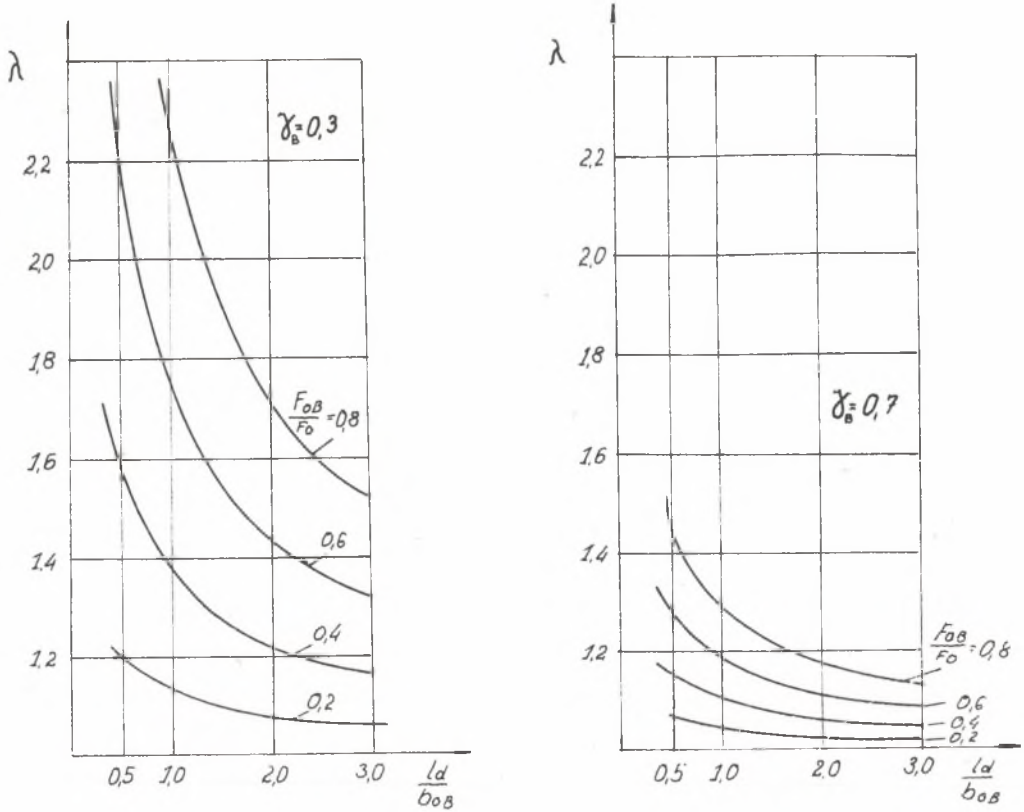
Na rys. 2 i 3 przedstawiono wpływ zmiennych wartości F_{oB}/F_o i l_d/b_{oB} przy stałej wartości gniotu γ_B na współczynnik wydłużenia. Charakter krzywych potwierdza badanie wykonane przez Połuchina i Jegorowa [1].



Rys. 1. Kształt walcowanych próbek:
a) dwuteowy, b) krzyżowy



Rys. 2. Współczynnik wydłużenia w zależności od zmiennych w sposób ciągły wartości F_{oB}/F_o i zmiennej skokowo wartości l_d/b_{oB} i γ_B



Rys. 3. Współczynnik wydłużenia w zależności od zmiennych w sposób ciągły wartości l_d/b_{oB} i zmiennej skokowo wartości F_{oB}/F_o i γ_B

4. Sprawdzenie otrzymanej zależności

W celu sprawdzenia poprawności otrzymanego wzoru oparto się o wyniki badań Szadrina [4], Połuchina i Jegorowa [1] oraz Čauševiča [2].

Literaturowe wyniki badań współczynnika wydłużenia porównano z wartościami otrzymanymi wg wzoru (2) oraz dodatkowo z wynikami obliczonymi wg wzorów innych autorów [1, 2, 3]:

- Mutiewa

$$\lg\lambda = (1{,}15\ F_{oB}/F_o - 0{,}15) \cdot \lg\lambda_B,$$

- Tarnowskiego

$$\lg\lambda = 1{,}5\ (F_{oB}/F_o - 0{,}1) \cdot \lg\lambda_B$$

- Wusatowskiego

$$\lg\lambda = -\ (1 - w) \cdot F_{oB}/F_o \cdot \lg\ \vartheta_B,$$

- Połuchina i Jegorowa

$$\lg\lambda = \frac{1}{1 + \left(\frac{l_d}{b_{oB}}\right)^{4\mu}} \cdot \left[1{,}5 - \frac{0{,}047}{\left(\frac{l_d}{b_{oB}}\right)^{4\mu}}\right] \cdot \frac{F_{oB}}{F_o} \cdot \lg\frac{1}{\vartheta_B},$$

przy czym λ_B obliczono wzorem Wusatowskiego [5] w postaci:

$$\lg\lambda_B = -\ (1-w) \cdot \lg\vartheta_B,$$

gdzie:

$$w = 10^{-1{,}269\ \left(\frac{h_{oB}}{D}\right)^{0{,}556}} \cdot \frac{b_{oB}}{h_{oB}}$$

Wzór Wusatowskiego dobrano ze względu na dużą zgodność wyników uzyskanych powyższymi wzorami z wynikami badań doświadczalnych. Porównanie wyników badań z obliczonymi powyższymi wzorami oraz wzorem (2) zestawiono w tablicy 1, 2, 3.

Obliczone oszacowane odchylenie standardowe $S_{(\lambda)}$ wyników pomiarów z obliczonymi pozwala stwierdzić, że najbardziej zbliżone wartości do rzeczywistych daje wzór (2), dla którego $S_{(\lambda)} = 0{,}031$, następnie wzór Wusatowskiego (0,037), Połuchina i Jegorowa (0,043), Tarnowskiego (0,043) oraz Mutiewa (0,044). Na podstawie sumy odchyleń wartości obliczonych od wartości pomiarowych $\sum(\lambda - \lambda_p)$ należy stwierdzić, że wzór Tarnowskiego daje wyniki na ogół zawyżone w stosunku do rzeczywistych (+0,648), a wzory Mutiewa (-1,35), Wusatowskiego (- 0,772) oraz Pałuchina-Jegorowa (- 0,665) wartości zaniżone. Wzór (2) daje wartości nieznacznie zawyżone (+ 0,097)

Tablica 1

Porównanie obliczonych współczynników wydłużenia wg różnych wzorów z pomiarowymi, z prób Szadrina [4] . (D_r = 375 mm, μ = 0,3)

Nr próbki	Wymiary początkowe próbki				Wielkości przeliczeniowe			Współczynnik wydłużenia										
	b_{0B} mm	b_{0B} mm	F_o mm^2	h_{1B} mm	$\frac{F_{0B}}{F_o}$	$\frac{ld}{b_{0B}}$	γ_B	z pomiaru λ_p	wg Mutiewa λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Tarnowskiego λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Wusatowskiego λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Paluch. Jegorowa λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg wzoru (2) λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$
1	15,0	28,0	730,0	9,7	0,575	1,126	0,647	1,167	1,143	+2,4	1,204	-3,7	1,162	+0,5	1,185	-1,8	1,187	-2,0
2	15,1	28,0	736,9	10,1	0,574	1,094	0,669	1,157	1,130	+2,7	1,186	-2,9	1,148	+0,9	1,171	-1,4	1,174	-1,7
3	20,1	28,0	788,9	10,8	0,569	1,491	0,537	1,183	1,188	-0,5	1,272	-8,9	1,215	-3,2	1,219	-3,6	1,225	-4,2
4	20,0	28,0	982,0	10,0	0,570	1,546	0,500	1,190	1,213	-2,3	1,309	-11,9	1,244	-5,4	1,242	-5,2	1,249	-5,9
5	15,1	18,0	736,9	9,5	0,369	1,800	0,629	1,081	1,057	+2,4	1,086	- 0,5	1,078	+0,3	1,086	-0,5	1,074	+0,7
6	15,1	18,0	736,9	9,7	0,369	1,768	0,642	1,070	1,055	+1,5	1,082	-1,2	1,075	-0,5	1,084	-1,4	1,070	0,0
7	20,0	18,0	1225,0	9,5	0,294	2,465	0,475	1,113	1,058	+5,5	1,091	+2,2	1,092	+2,1	1,072	+4,1	1,072	+4,1
8	20,0	18,0	982,0	10,0	0,367	2,406	0,500	1,100	1,078	+2,2	1,118	-1,8	1,108	-0,8	1,091	+0,9	1,094	+0,6
9	25,2	18,0	1224,7	9,5	0,370	3,014	0,377	1,094	1,105	-1,1	1,158	-6,4	1,144	-5,0	1,120	-2,6	1,118	-3,7
10	25,0	18,0	1217,5	9,5	0,370	2,995	0,380	1,081	1,104	-2,3	1,157	-7,6	1,143	-6,2	1,190	-2,8	1,118	-3,7
11	15,0	8,5	732,0	9,2	0,174	3,880	0,613	1,038	1,006	+3,2	1,013	+2,5	1,020	+1,8	1,021	+1,7	1,017	+2,1
12	15,1	8,5	736,9	9,3	0,174	3,880	0,616	1,035	1,006	+2,9	1,013	+2,2	1,021	+1,4	1,020	+1,5	1,017	+1,8
13	20,0	8,5	980,0	9,3	0,173	5,270	0,465	1,046	1,008	+3,8	1,018	+2,8	1,029	+1,7	1,027	+1,9	1,022	+2,4
14	20,0	8,5	980,0	9,0	0,173	5,343	0,450	1,030	1,009	+2,1	1,019	+1,1	1,030	0,0	1,025	+0,5	1,023	+0,7
15	20,2	8,5	989,8	9,4	0,173	5,294	0,465	1,048	1,008	+4,0	1,018	+3,0	1,029	+1,9	1,027	+2,1	1,022	+2,6

Tablica 2

Porównanie obliczonych współczynników wydłużenia wg różnych wzorów z pomiarowymi, z prób Połuchina i Jegorowa [1] . (D = 360 mm, $\mu = 0,3$)

Nr prób-ki	Wymiary początkowe próbki				Wielkości przeliczeniowe			Współczynnik wydłużenia										
	b_{OB} mm	b_{OB} mm	F_o mm^2	b_{1B} mm	$\frac{F_{OB}}{F_o}$	$\frac{ld}{b_{OB}}$	ψ_B	z pomiaru λ_p	wg Mutiewa λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Tarnowskiego λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Wusatowskiego λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Połuchina Jegorowa λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg wzoru (2) λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$
1	45,0	25,0	1405,0	28,6	0,801	2,173	0,636	1,187	1,150	+3,7	1,210	-2,3	1,156	+3,1	1,144	+4,3	1,211	-2,4
2	45,0	20,0	1125,0	28,5	0,800	2,725	0,633	1,170	1,125	+4,5	1,175	-0,5	1,130	+4,0	1,133	+3,7	1,183	-1,3
3	45,0	30,0	1686,0	28,6	0,801	1,811	0,636	1,190	1,174	+1,6	1,244	-3,4	1,181	+0,9	1,191	-0,1	1,239	-4,9
4	45,0	25,0	1625,0	28,5	0,692	2,180	0,633	1,162	1,125	+3,7	1,176	-1,4	1,113	+4,9	1,141	+2,1	1,170	-0,8
5	45,0	20,0	1586,0	28,5	0,567	2,725	0,633	1,120	1,080	+4,0	1,113	+0,7	1,031	+2,9	1,093	+2,7	1,109	+1,1
6	45,0	15,0	1575,0	28,4	0,429	3,644	0,631	1,075	1,043	+3,2	1,061	+1,4	1,053	+2,2	1,053	+2,2	1,060	+1,5
7	45,0	40,0	2488,0	28,7	0,723	1,354	0,638	1,214	1,187	+2,7	1,265	-5,1	1,199	+1,5	1,215	-0,1	1,245	-3,1
8	45,0	35,0	2075,0	28,6	0,759	1,552	0,636	1,195	1,182	+1,3	1,257	-6,2	1,192	+0,3	1,206	-1,1	1,243	-4,8
9	45,0	25,0	1325,0	28,5	0,849	2,180	0,633	1,175	1,163	+1,2	1,228	-5,3	1,168	+0,7	1,176	-0,1	1,234	-5,9
10	40,9	16,5	1020,0	15,2	0,662	4,122	0,372	1,345	1,196	+14,9	1,280	+6,5	1,214	+13,1	1,162	+18,3	1,241	+10,4
11	36,2	14,8	814,0	15,1	0,658	4,164	0,417	1,250	1,162	+8,8	1,230	+2,0	1,177	+7,3	1,140	+7,3	1,208	+4,2
12	30,0	12,6	573,0	15,0	0,660	4,124	0,500	1,220	1,118	+10,2	1,167	+5,3	1,129	+9,1	1,111	+10,9	1,164	+5,6
13	25,0	10,0	379,0	14,9	0,660	4,264	0,596	1,150	1,076	+7,4	1,106	+4,4	1,083	+6,7	1,079	+7,1	1,117	+3,3
14	22,5	8,8	300,0	14,9	0,660	4,20[illegible]	0,662	1,108	1,056	+5,2	1,078	+3,0	1,061	+4,7	1,063	+4,5	1,093	+1,5
15	20,0	8,0	244,0	14,9	0,656	3,78[illegible]	0,745	1,080	1,038	+4,2	1,053	+2,7	1,041	+3,9	1,050	+3,0	1,069	+1,1

Tablica 3

Porównanie obliczonych współczynników wydłużenia wg różnych wzorów z pomiarowymi, z prób Causevica [2] . (D = 308 mm, μ = 0,3)

Nr prób-ki	Wymiary początkowe próbki				Wielkości przeliczeniowe			Współczynnik wydłużenia										
	b_{0B} mm	b_{0B} mm	Fo mm^2	h_{1B} mm	$\frac{F_{0B}}{F_o}$	$\frac{ld}{b_{0B}}$	ϑ_B	z pomiaru λ_p	wg Mutiewa λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Tarnowskiego λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Wusatowskiego λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg Poluch. Jegorowa λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$	wg wzoru (2) λ	$(\lambda_p-\lambda)\cdot 100$
1	45,0	63,6	4338,0	23,1	0,660	0,972	0,513	0,513	1,344	+4,6	1,503	-11,3	1,377	+1,3	1,383	+0,7	1,421	-3,1
2	20,0	50,0	2328,0	13,2	0,430	0,642	0,660	1,160	1,121	+3,9	1,178	-1,8	1,153	+0,7	1,173	-1,3	1,147	+1,3
3	19,7	50,0	1650,0	12,5	0,597	0,666	0,635	1,265	1,216	+4,9	1,311	-4,6	1,242	+2,3	1,241	+2,4	1,296	-3,1
4	20,2	29,4	1155,0	12,5	0,514	1,171	0,619	1,150	1,137	+1,3	1,199	-4,9	1,162	-1,2	1,176	-2,6	1,169	-1,9
5	20,0	20,5	1368,0	12,2	0,300	1,691	0,610	1,071	1,047	+3,0	1,074	-0,3	1,074	-0,3	1,078	-0,9	1,057	+1,9
6	19,65	20,7	677,0	12,0	0,601	1,658	0,611	1,175	1,138	+3,7	1,197	-2,2	1,155	+2,0	1,167	-0,8	1,187	-1,3
7	19,8	13,1	655,0	12,3	0,396	2,594	0,621	1,076	1,051	+2,5	1,075	+0,1	1,067	+0,9	1,062	+1,4	1,069	+0,7
8	20,3	29,5	1461,0	16,0	0,410	0,872	0,788	1,060	1,020	+1,2	1,070	-1,0	1,061	-0,1	1,039	+0,9	1,070	-1,0
9	20,0	14,5	722,0	16,8	0,402	1,531	0,840	1,040	1,020	+2,0	1,030	+1,0	1,026	+1,4	1,039	+0,1	1,034	+0,6
10	20,0	15,0	738,0	16,8	0,407	1,480	0,840	1,040	1,020	+2,0	1,029	+1,1	1,026	+1,4	1,041	-0,1	1,035	+0,5
11	19,9	13,0	432,0	12,0	0,599	2,683	0,603	1,120	1,097	+2,3	1,138	-1,8	1,109	+1,1	1,110	-1,0	1,128	-0,8
12	19,9	13,2	430,0	12,0	0,611	2,642	0,603	1,130	1,101	+2,9	1,143	-1,3	1,112	+1,8	1,112	+1,8	1,138	+0,8
13	20,0	13,1	372,0	12,0	0,704	2,679	0,600	1,150	1,122	+2,8	1,172	-2,2	1,131	+1,9	1,142	+0,8	1,171	-2,1
14	20,0	12,8	287,0	12,0	0,892	2,742	0,600	1,172	1,162	+1,0	1,226	-5,4	1,165	+0,7	1,150	+3,9	1,189	-1,7
15	20,0	9,3	208,8	12,0	0,894	3,774	0,600	1,160	1,222	-6,2	1,169	-0,9	1,125	+3,5	1,122	+4,3	1,165	-0,5

5. Wnioski

1. Największą zgodność obliczeń z wynikami pomiarów otrzymano w przypadku stosowania wzoru (2).
2. Stwierdzono, że wzór Wusatowskiego do obliczania wydłużenia części pasma odkształconej bezpośrednio gniotem, stosowany jako uzupełnienie do wzorów Mutiewa i Tarnowskiego powoduje, że wyniki otrzymane wg tych wzorów są wystarczająco zbliżone do wyników pomiarów.

LITERATURA

[1] Połuchin P., Jegorow B.: Obrabotka stali i splawow - tom XXXVI, Mietallurgizdat, Moskwa 1957.

[2] Čauševič M.: Praca doktorska, Zenica 1969 (nie publikowane).

[3] Mutiew M.: Kalibrowka cziernowych wałkow, Mietallurgija, Moskwa 1964.

[4] Szadrin W.: Inzieniernyje mietody rasczietow deformacji mietałła pri prokatkie, Mietallurgija, Moskwa 1973.

[5] Wusatowski Z.: Podstawy walcowania, WGH, Katowice 1960.

КОЭФФИЦЕНТ ВЫТЯЖКИ ПРОКАТЫВАЕМОЙ ПОЛОСЫ С ЧАСТЯМИ НЕПОСРЕДЕТВЕННО НЕДЕФОРМИРОВАННЫМИ

Р е з ю м е

Опираясь на результаты исследований разработана формула для вычисления коэффициента вытяжки при прокатке полосы с неравномерным обжатием на ширине. Проведено сравнение полученных по этой формуле значения с измерными и вычисленными формулами других авторов. Доказана большая точност предложенной формулы.

THE RATE OF ROLLED STRIP ELONGATION WITH THE PARTS DIRECTLY NON-DEFOMED

S u m m a r y

On the basis of the experimental results the formula for calculating the rate of elongation during the rolling process of strip with the iree-gular deformation has been worked out.

The comparison of the obtained values with the values calculated after some other authors formula has been carried out.

Great rigour of the proposed formula has been proved.