

Zygmunt Wusatowski, Kazimierz Lenart

Katedra Przeróbki Plastycznej

Próba określania rozszerzenia i wydłużenia miękkiej stali przy walcowaniu na zimno

Przeanalizowanie dotychczas opublikowanej literatury. Przeprowadzono próby walcowania na zimno na sucho, które posłużyły do opracowania właściwych zależności matematycznych. Przeliczenia kontrolne potwierdzają prawidłowość otrzymanych wzorów.

1. Wstęp

Bardzo liczne i zakrojone na szeroką skalę są badania nad sposobem płynięcia, a więc wydłużenia i rozszerzenia miękkiej stali walcowanej na gorąco. Próby natomiast przy walcowaniu na zimno były dotychczas nieliczne, zwykle prowadzono je na marginesie jakichś innych badań. Nie istnieją również matematyczne zależności, które by określały rozszerzenie miękkiej stali przy walcowaniu na zimno.

Celem tej pracy jest uzupełnienie tej luki, tym bardziej że rozwijające się walcownie profilów zimnowalcowanych wymaga prawidłowego ujmowania tych zjawisk.

Wybrano również z rozmysłu próby przy walcowaniu na sucho, ponieważ w tym przypadku istnieje największe rozszerzenie. Każdy smar wprowadzony działa przeciwnie, powiększa wydłużenie kosztem rozszerzenia i celem dalszych prac będzie ujęcie wpływu różnych smarów w porównaniu z walcowaniem na sucho.

2. Dotychczasowe badania

Pierwsze próby określania rozszerzenia przy walcowaniu na zimno prowadzono z zamiarem przebadania wszystkich własności przy walcowaniu na zimno pewnych stali miękkich.

Zwykle badania takie określiły wzajemne zależności: $\Delta b = b_1 - b_0$ rozszerzenia bezwzględnego od $\Delta h = h_0 - h_1$ gniotu bezwzględnego lub $\frac{\Delta h}{h_0}$ gniotu względnego.

Lueg i Pomp [2] przebadali w ten sposób wpływ składu chemicznego stali oraz szerokości początkowej taśmy od 5 do 150 mm — przy 2 mm grubości na wielkość rozszerzenia przy walcowaniu na zimno miękkiej stali.

Przebadali oni również wpływ kilku smarów na wielkość rozszerzenia w porównaniu z walcowaniem na sucho.

Dalsze badania przeprowadził Lueg [2] walcując na zimno taśmy stalowe 30×2 mm, z czterech różnych stali martenowskich o zawartości 0,02% C do 0,37% i jednej stali prądnicowej. W próbach tych określił on również wpływ walcowania walcami o różnej średnicy na rozszerzenie.

Wykresy wynikowe były robione jak uprzednio, a więc przedstawiając zależność rozszerzenia od gniotu. Próby te objęły również walcowanie na walcach o różnych współczynnikach tarcia i różnymi smarami.

W ZSRR próby takie były także walcowane, na przykład w badaniach Siewierdienki i Astachana [3]. Określili oni podobnie na wykresach zależność pomiędzy gniotem względnym a rozszerzeniem względnym dla różnych miękkich taśm o szerokości od 5 do 40 mm walcowanych na zimno.

Pomimo poszukiwań nie udało się znaleźć prób określania zależności matematycznych rozszerzenia przy walcowaniu na zimno z wyjątkiem płaszczenia drutów okrągłych na taśmę [1].

Zagadnienie takie nie wchodzi w nasze obecne rozważania.

3. Badania własne

W badaniach naszych celem otrzymania matematycznych zależności pomiędzy współczynnikiem rozszerzenia β i wydłużenia λ w zależności do współczynnika gniotu przy walcowaniu na zimno wykorzystano znaną i wypróbowaną metodę określania tych samych współczynników przy walcowaniu na gorąco [4].

Szczególnie cały tok matematycznych obliczeń był podobny i dlatego nie będziemy tego dodatkowo tu omawiać.

W wyniku prowadzonych prób otrzymał Z. Wusatowski [4 i 5] następujące zależności dla walcowania na gorąco:

$$\beta = \gamma^{-w} \quad (1)$$

$$\lambda = \gamma^{(w-1)} \quad (2)$$

gdzie:

$$-W = 10^{-1,269 \cdot \varepsilon_w^{0,556} \cdot \delta_w} \quad (3)$$

w zależności (3) oznaczają:

$$\delta_w = \frac{b_1}{h_1} \text{ — wskaźnik kształtu,}$$

$$\varepsilon_w = \frac{h_1}{D} \text{ — wskaźnik walców,}$$

gdzie: D — średnica czynna walców.

Do prób walcowania na zimno użyto miękkiej stali o zawartości 0,1% C normalizowanej i wytrawionej w roztworze kwasu siarkowego.

Dla otrzymania zmiennego stosunku $\delta_w = \frac{b_1}{h_1}$ od 1 do 20 użyto prętów kwadratowych 10×10 mm ($\delta_w = 1$), płaskowników o 5×20 mm o $\delta_w = 4$ i 5×40 mm o $\delta_w = 8$.

Następnie płaskowników o 3×36 mm ($\delta_w = 12$), 3×48 mm ($\delta_w = 16$) oraz 3×60 mm ($\delta_w = 20$).

Założony program gniotów odpowiadał współczynnikom gniotu γ od 0,9 do 0,3.

Próby walcowania wykonane na walcierce duo o średnicy walców 240 mm, długości beczki 450 mm, walce stalowe szlifowane gładkie. Wszystkie próby walcowano na sucho bez smarowania. Szybkość walcowania około 0,5 m/sek.

Po walcowaniu próbki mierzono w 2 do 3 miejscach i do opracowań brano zawsze średnie wartości pomiaru. Dla kontroli przewalcowano drugą próbkę w tych samych warunkach i do tablic brano średnią z obu pomiarów. Jeśli któraś próbka dała złe wyniki, przewalcowano jeszcze trzecią próbkę kontrolną, a wykazującą odchyłki odrzucono.

Przykładowo tablica 1 podaje wyniki pomiarów i przeliczonych współczynników próbek 1 do 27. Dalszych pomiarów nie przytaczamy.

5. Opracowanie wyników

Zebrałe wyniki w tablicy 1 i następnych nie przytaczanych podzielono na 6 grup zależnie od wskaźników δ_w i na podgrupy zależne od wskaźników ε_w , zupełnie podobną metodą jak w opracowaniu dla walcowania na gorąco [4].

Równocześnie wykonano wykresy pomocnicze nanosząc na oś odciętych wartości γ , na oś rzędnych zaś wartości β i λ .

Tablica 1

Dane pomiarowe i współczynniki walcowania

Lp.	h_1 mm	h_2 mm	b_1 mm	b_2 mm	F_1 mm ²	F_2 mm ²	$\beta_{Tz} = \frac{b_2}{b_1}$	$\gamma = \frac{h_2}{h_1}$	$\lambda = \frac{F_1}{F_2}$	$\delta_w = \frac{b_1}{h_1}$	$\varepsilon_w = \frac{h_1}{D}$ D = 240 mm
1	10,01	6,11	10,04	13,01	100,50	79,49	1,2958	0,6104	1,2643	1,0030	0,0417
2	10,01	5,86	10,03	12,71	100,40	74,48	1,2672	0,5855	1,3480	1,0020	0,0417
3	10,05	5,04	10,04	14,30	100,90	72,07	1,4243	0,5015	1,400	0,9990	0,0419
4	10,02	5,05	9,97	14,40	99,90	72,72	1,4443	0,5040	1,3737	0,9950	0,0418
5	10,02	4,58	10,02	15,24	100,40	69,80	1,5210	0,4708	1,4383	1,0000	0,0418
6	10,03	3,91	10,03	14,90	100,60	58,26	1,4855	0,3898	1,7267	1,0000	0,0418
7	10,04	3,91	10,04	15,50	100,80	60,60	1,5438	0,3894	1,6633	1,0000	0,0418
8	10,02	3,90	10,02	15,45	100,40	60,25	1,5414	0,3892	1,6664	1,0000	0,0418
9	10,03	3,12	10,04	15,10	100,70	47,11	1,5040	0,3111	2,1375	1,0010	0,0418
10	10,02	3,07	10,04	15,68	100,60	48,14	1,5618	0,3064	2,0897	1,0020	0,0418
11	10,01	2,93	10,03	12,90	100,40	37,80	1,2861	0,2927	2,6560	1,0020	0,0417
12	10,02	6,96	10,02	12,10	100,40	84,22	1,2076	0,6946	1,1921	1,0000	0,0418
13	10,04	6,96	10,03	12,10	100,70	84,22	1,2064	0,6932	1,1957	0,9990	0,0418
14	10,00	6,97	10,00	12,10	100,00	84,34	1,2100	0,6970	1,1857	1,0000	0,0417
15	10,00	7,82	10,01	11,33	100,10	88,60	1,1319	0,7820	1,1298	1,0001	0,0417
16	10,02	7,66	10,03	11,71	100,50	89,70	1,1675	0,7645	1,1120	1,0010	0,0417
17	10,01	7,88	10,04	11,20	100,50	88,26	1,1155	0,7872	1,1387	1,0030	0,0417
18	10,01	8,53	10,03	10,70	100,40	91,27	1,0668	0,8522	1,1000	1,0020	0,0417
19	10,03	8,95	10,03	10,50	100,60	93,97	1,0469	0,8923	1,0706	1,0000	0,0418
20	5,02	4,15	20,57	21,86	103,26	90,72	1,0627	0,8267	1,1382	4,0976	0,0209
21	5,03	4,02	20,60	21,00	103,62	84,42	1,0194	0,7992	1,2274	4,0954	0,0210
22	5,02	4,04	20,56	21,00	103,21	84,84	1,0214	0,8048	1,2165	4,0956	0,0209
23	5,02	3,45	20,53	22,10	103,06	76,24	1,0765	0,6873	1,3518	4,0896	0,0209
24	5,03	3,43	20,60	22,00	103,62	75,46	1,0680	0,6819	1,3732	4,0954	0,0210
25	5,03	3,46	20,48	22,23	103,01	76,92	1,0854	0,6879	1,3391	4,0716	0,0210
26	5,03	2,83	20,46	22,61	102,91	63,99	1,1051	0,5626	1,6082	4,0676	0,0210
27	5,02	2,98	20,43	22,90	102,56	68,24	1,1209	0,5936	1,5029	4,0697	0,0209

Tablica 2

Wartości b i ε_v , oraz $\log b$ i $\log \varepsilon_v$.

b_1	$\log b_1$	ε_{w1}	$\log \varepsilon_{w1}$	b_2	$\log b_2$	ε_{w2}	$\log \varepsilon_{w2}$
-0,10431	-0,98167	0,0136	-1,86646	-0,08376	-1,07696	0,0147	-1,83268
-0,10355	-0,98485	0,0137	-1,86328	-0,09118	-1,04010	0,0148	-1,82974
-0,10451	-0,98084	0,0138	-1,86012	-0,14373	-0,84254	0,0205	-1,68825
-0,09879	-1,00529	0,0139	-1,85699	-0,13983	-0,85449	0,0206	-1,68613
-0,16974	-0,77032	0,0140	-1,85387	-0,12206	-0,91328	0,0207	-1,68403
-0,07955	-1,09936	0,0141	-1,85078	-0,16175	-0,79129	0,0210	-1,67778
-0,07873	-1,10386	0,0142	-1,84771	-0,16782	-0,77521	0,0209	-1,67985
-0,08894	-1,05090	0,0143	-1,84466	-0,40707	-0,39030	0,0417	-1,37985
-0,08876	-1,05178	0,0144	-1,84164	-0,35125	-0,45445	0,0418	-1,37882
-0,12686	-0,89654	0,0146	-1,83565	-0,28757	-0,54121	0,0419	-1,37779
	-9,92541 : 10 = -0,992541		-18,52116 : 10 = -1,852116		-7,67983 : 10 = -0,767983		-16,21492 : 10 = -16,21492

Przygotowane w ten sposób przeliczenia zebrano ostatecznie w tablicy-2 i na rysunku 1, których dane posłużyły do otrzymania końcowego równania.

Dla obliczenia stałych wykładnika nowego równania $\beta = \gamma^{-W_1}$ przy walcowaniu na zimno postępowano następująco:

Wykładnik potęgowy równania

$$-W_1 = -g^{-b}$$

jest typem równania

$$y = ax^k,$$

po zlogarytmowaniu otrzymujemy równanie prostej w układzie logarytmicznym

$$\log y = \log a + k \log x.$$

Opierając się na wynikach walcowania zebranych w tablicach oraz wzorach stosowanych przez jednego z autorów [4] obliczono wykładnik potęgowy k oraz czynnik a :

$$k = \frac{\Sigma \log b_2 - \Sigma \log b_1}{\Sigma \log \varepsilon_{2w} - \log \varepsilon_{1w}} = \frac{-0,767983 + 0,992541}{-1,621492 + 1,852116} = 0,9736$$

$$\log a = \Sigma \log b_1 - k \Sigma \log \varepsilon_{1w} =$$

$$= -0,992541 + 0,9736 \cdot 1,852116 = 0,810679$$

$$a = 6,467.$$

Zatem końcowe równanie przyjmie postać:

$$\beta = \gamma^{-10^{-6,467} \varepsilon_w^{0,9736} \cdot \varepsilon_w} \quad (4)$$

oraz dla

$$\lambda = \gamma^{(W_1-1)},$$

gdzie:

$$W_1 = -10^{-6,467} \varepsilon_w^{0,9736} \cdot \varepsilon_w \quad (5)$$

Rysunki 2 oraz 3 przedstawiają dane zawarte w tablicy 2 oraz wykres funkcji $-b = 6,467 \varepsilon_w^{0,9736}$ w układzie zwykłym i podwójnie logarytmicznym.

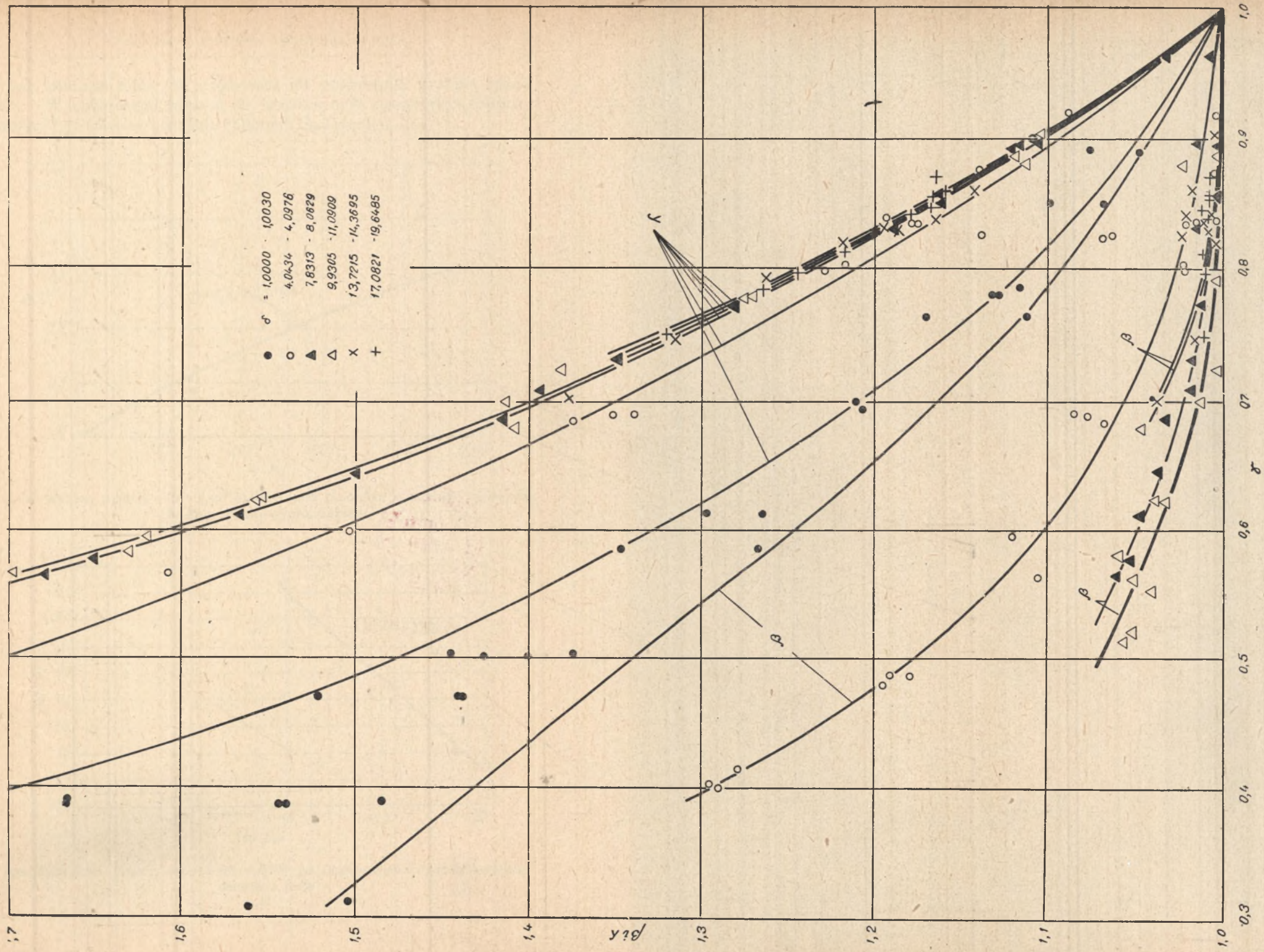
Dla kontroli obliczono współczynnik rozszerzenia β_{obl} według wzoru (4), wyznaczono współczynniki rzeczywiste β_{rz} z wymiarów próbek po walcowaniu.

Wyniki obliczeń i pomiarów zestawiono w tablicy 3, gdzie kolumna lewa $-W_1$

$$-W_1 = 10^{-6,467} \varepsilon_w^{0,9736} \cdot \varepsilon_w,$$

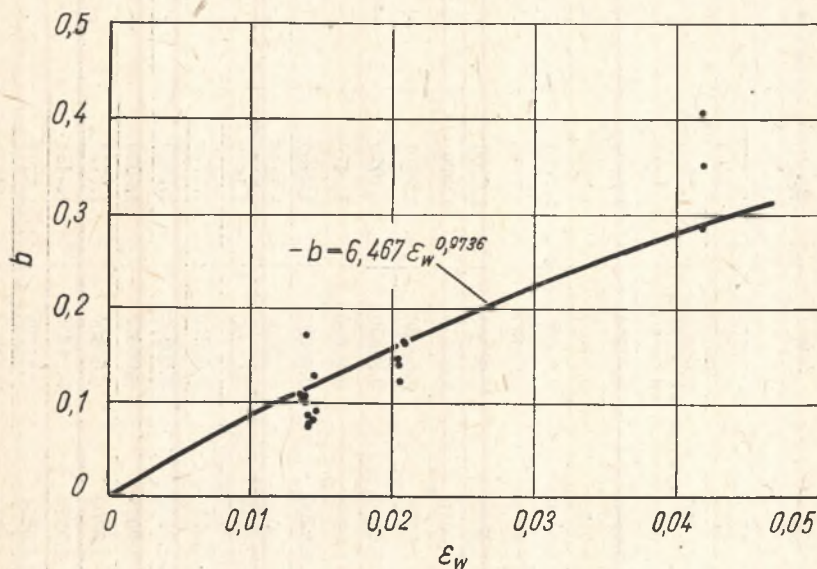
zaś Δ przedstawia błąd obliczony zależnością:

$$\Delta \% = \frac{\beta_{obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}} 100. \quad (6)$$

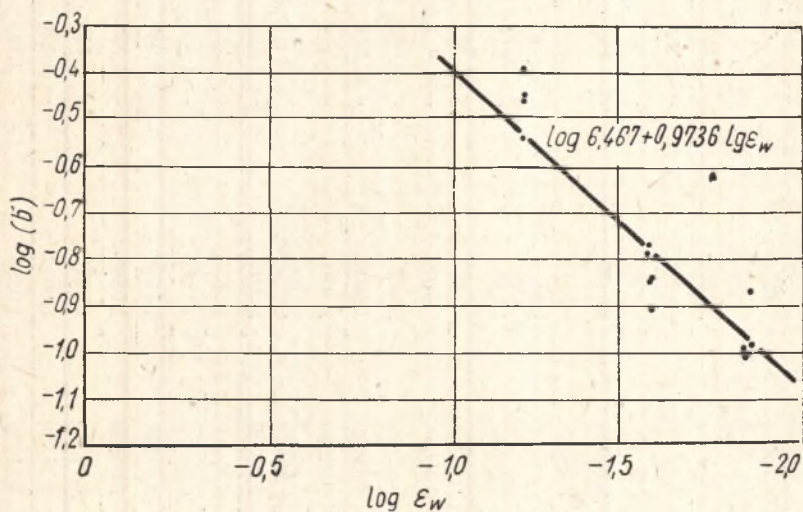


Rys. 1. Zależność współczynników β i λ od γ przy różnych stosunkach $\delta_w = \frac{b_1}{h_1}$

Prawa kolumna tablicy 3 przedstawia dla porównania wartości wskaźnika $-W$ obliczonego wzorem (3), współczynnik rozszerzenia obliczony wzorem (1) i również podobnie obliczono błąd wzorem (6).



Rys. 2. Wykres funkcji $-b = 6,467 \epsilon_w^{0,9736}$ oraz punktów, z których interpolacji funkcja została wyprowadzona



Rys. 3. Wykres funkcji $-b = 6,467 \epsilon_w^{0,9736}$ po zlogarytmowaniu oraz punktów danych z prób

Tablica 3

Współczynniki W, współczynniki rozłóczenia β oraz błędy w procentach $\Delta\%$

Lp.	$-W_1$	$\beta_1 \text{ obl}$	$\Delta_1 \% = \frac{\beta_{1 \text{ obl}} - \beta_{\text{rz}}}{\beta_{\text{rz}}} \cdot 100$	δ_w	$-W$	β_{obl}	$\Delta \% = \frac{\beta_{\text{obl}} - \beta_{\text{rz}}}{\beta_{\text{rz}}}$
1	0,50800	1,2850	- 0,833	1,0030	0,60620	1,3490	+ 4,100
2	0,52020	1,3210	+ 4,262	1,0020	0,60650	1,3840	+ 9,210
3	0,50770	1,4200	- 0,302	0,9990	0,60650	1,5200	+ 6,710
4	0,50820	1,4180	- 1,820	0,9950	0,60800	1,5170	+ 5,030
5	0,50820	1,4110	- 7,232	1,0000	0,60800	1,5810	+ 3,940
6	0,50820	1,6400	+ 8,650	1,0000	0,60800	1,7730	+ 20,410
7	0,50820	1,6150	+ 4,611	1,0000	0,60800	1,7790	+ 16,530
8	0,50820	1,6150	+ 4,740	1,0000	0,60800	1,8000	+ 16,730
9	0,50890	1,8110	+ 20,412	1,0010	0,60650	1,9986	+ 32,880
10	0,50750	1,8220	+ 16,660	1,0020	0,60586	2,0470	+ 31,060
11	0,52020	1,8950	+ 47,344	1,0020	0,60650	2,1075	+ 63,860
12	0,50820	1,2040	- 0,298	1,0000	0,60800	1,2470	+ 3,340
13	0,50870	1,2050	- 0,116	0,9990	0,60680	1,2490	+ 3,530
14	0,50900	1,2016	- 0,694	1,0000	0,60690	1,2450	+ 2,890
15	0,50900	1,1333	+ 0,123	1,0001	0,60690	1,1610	+ 2,570
16	0,50870	1,1460	- 1,841	1,0010	0,60670	1,1770	- 0,810
17	0,50185	1,1276	+ 1,047	1,0030	0,60620	1,1560	+ 4,630
18	0,50830	1,0846	+ 1,668	1,0020	0,60650	1,1020	+ 3,290
19	0,50820	1,0475	+ 0,038	1,0000	0,60800	1,0720	+ 2,390
20	0,24350	1,0510	- 1,100	4,0976	0,24830	1,0484	+ 1,340
21	0,24220	1,0555	+ 3,345	4,0954	0,24780	1,0571	+ 3,690
22	0,24370	1,0550	+ 3,289	4,0956	0,24840	1,0553	+ 3,310
23	0,24420	1,0956	+ 1,774	4,0896	0,24890	1,0980	+ 1,990

c. d. tabl. 3

Lp.	-W ₁	β ₁ obl	$\Delta_1 \% = \frac{\beta_{1obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}} \cdot 100$	δ _w	-W	β _{obl}	$\Delta \% = \frac{\beta_{obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}}$
24	0,24210	1,0970	+ 2,715	4,0954	0,24780	1,0990	+ 2,900
25	0,24880	1,0976	+ 1,124	4,0716	0,24980	1,0980	+ 1,160
26	0,24460	1,1510	+ 4,153	4,0676	0,25010	1,1540	+ 4,420
27	0,24590	1,1370	+ 0,901	4,0697	0,25050	1,1394	+ 1,650
28	0,25400	1,2055	+ 0,895	4,0610	0,25070	1,2030	+ 0,686
29	0,24790	1,1960	+ 0,377	4,0458	0,25263	1,2000	+ 0,713
30	0,24504	1,1933	+ 1,152	4,0797	0,24970	1,1973	+ 1,490
31	0,24460	1,2507	- 6,730	4,0675	0,25010	1,2570	- 2,760
32	0,24550	1,2522	- 2,972	4,0574	0,25100	1,2690	- 1,760
33	0,24510	1,2422	- 2,687	4,0615	0,25060	1,2482	- 2,210
34	0,24390	1,0450	+ 2,501	4,0755	0,24950	1,0461	+ 2,610
35	0,24480	1,0445	+ 4,199	4,0656	0,25030	1,0454	+ 4,280
36	0,24490	1,0446	+ 3,048	4,0817	0,24950	1,0454	+ 3,120
37	0,2444	1,0210	+ 1,998	4,0878	0,24900	1,0214	+ 2,030
38	0,24545	1,0333	+ 3,082	4,0575	0,25100	1,0340	+ 3,150
39	0,24460	1,0255	+ 2,447	4,0675	0,25010	1,0260	+ 2,490
40	0,06725	1,0024	- 0,347	7,9074	0,06687	1,0003	- 0,557
41	0,06898	1,0076	- 0,267	7,8313	0,07067	1,0078	- 0,247
42	0,06612	1,0077	+ 0,689	8,0325	0,06711	1,0077	+ 0,689
43	0,06648	1,0075	+ 0,468	8,0162	0,06749	1,0076	+ 0,478
44	0,06245	1,0109	+ 0,178	8,0427	0,06688	1,0083	- 0,022
45	0,06602	1,0109	+ 0,707	8,0366	0,06702	1,0105	+ 0,667
46	0,06618	1,0172	+ 0,523	8,0285	0,06719	1,0175	+ 0,553

c. d. tabl. 3

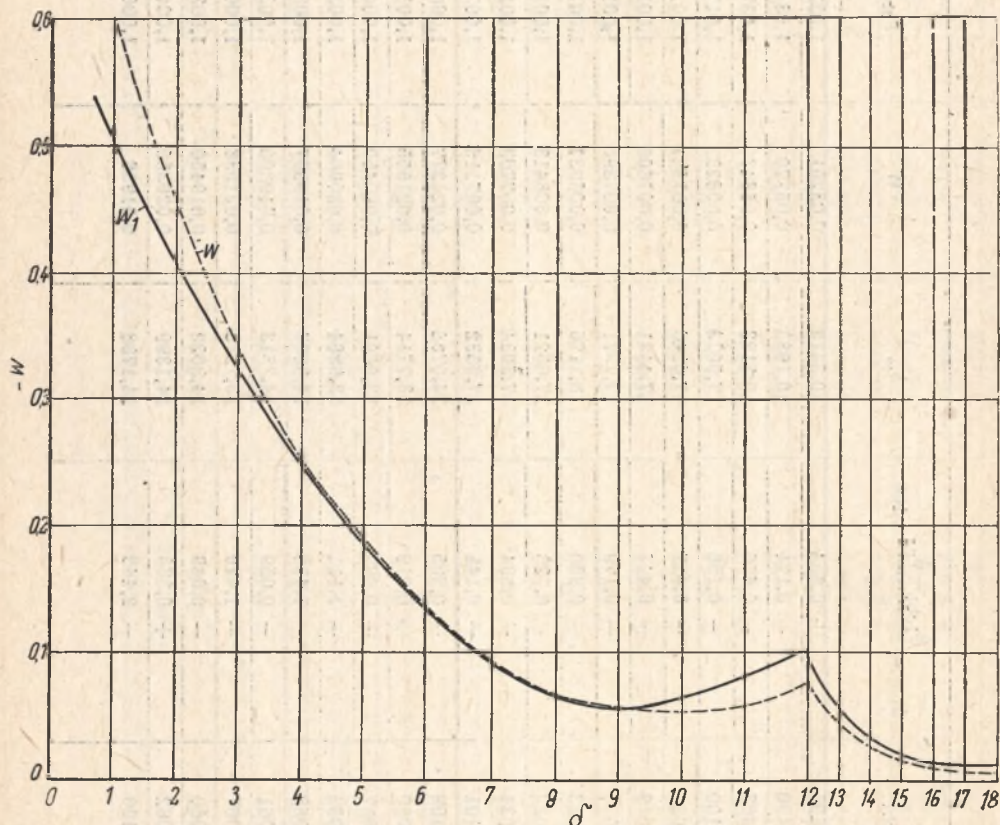
Lp.	$-W_1$	β_1 obl	$\Delta_1 \% = \frac{\beta_{1obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}} \cdot 100$	δ_w	$-W$	β_{obl}	$\Delta \% = \frac{\beta_{obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}}$
47	0,06671	1,0109	- 0,227	8,0081	0,06767	1,0126	- 0,059
48	0,06458	1,0206	+ 0,413	8,0629	0,06580	1,0210	+ 0,629
49	0,06490	1,0228	+ 0,659	8,0485	0,06612	1,0233	+ 0,708
50	0,06658	1,0397	- 1,989	8,0122	0,06758	1,0397	- 1,989
51	0,06675	1,0260	- 0,706	8,0041	0,06777	1,0260	- 0,706
52	0,06704	1,0300	- 0,655	7,9919	0,06830	1,0264	- 1,099
53	0,06810	1,0342	- 1,222	7,9495	0,06837	1,0342	- 1,222
54	0,06769	1,0381	- 1,424	7,9635	0,06805	1,0383	- 1,405
55	0,08399	1,0100	+ 0,407	10,4706	0,05654	1,0067	+ 0,079
56	0,07996	1,0204	+ 0,680	10,4985	0,05488	1,0140	+ 0,049
57	0,08228	1,0109	- 1,076	10,5572	0,05521	1,0070	- 1,458
58	0,08237	1,0104	+ 0,948	10,8524	0,05336	1,0054	+ 0,349
59	0,08122	1,0321	- 1,488	10,8358	0,05298	1,0208	- 2,567
60	0,08489	1,0189	- 0,342	10,7207	0,05529	1,0123	- 0,987
61	0,08173	1,0183	+ 0,295	10,9633	0,05305	1,0118	- 0,344
62	0,08344	1,0212	+ 1,158	10,0840	0,05896	1,0149	+ 0,534
63	0,07824	1,0257	+ 2,100	10,9198	0,05117	1,0169	+ 1,224
64	0,07914	1,0287	+ 1,589	10,3750	0,05492	1,0196	+ 0,691
65	0,07873	1,0423	- 0,201	10,3954	0,05465	1,0293	- 1,464
66	0,07936	1,0385	+ 0,396	10,0909	0,05064	1,0244	- 0,966
67	0,07916	1,03804	+ 0,013	10,9462	0,05140	1,0245	- 1,194
68	0,08275	1,0567	- 0,094	10,4665	0,05596	1,0380	- 1,862
69	0,08888	1,0598	+ 0,741	10,5960	0,05853	1,0390	- 1,226

c. d. tabl. 3

Lp.	$-W_1$	β_1 obl	$\Delta_1 \% = \frac{\beta_{1obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}} \cdot 100$	δ_w	$-W$	β obl	$\Delta \% = \frac{\beta_{obl} - \beta_{rz}}{\beta_{rz}}$
70	0,08111	1,0495	+ 0,884	10,8413	0,05291	1,0321	- 0,788
71	0,08262	1,0490	- 0,171	10,1983	0,05770	1,0340	- 1,598
72	0,08287	1,0467	- 0,670	10,1123	0,05847	1,0325	- 2,539
73	0,015891	1,0100	- 0,158	17,5073	0,008223	1,0172	+ 0,553
74	0,015456	1,0023	- 0,427	17,6246	0,007941	1,0012	- 0,536
75	0,014053	1,0019	- 0,447	17,4431	0,007605	1,0010	- 0,536
76	0,017637	1,0028	- 0,179	17,7971	0,007395	1,0012	- 0,368
77	0,013757	1,0023	- 0,850	18,1176	0,006937	1,0011	- 0,969
78	0,010290	1,0023	- 0,723	17,0821	0,008413	1,0019	- 0,762
79	0,014100	1,0034	- 0,594	17,3034	0,007763	1,0019	- 0,733
80	0,013916	1,0101	- 0,148	17,9532	0,007116	1,0020	- 0,948
81	0,036660	1,0109	- 0,305	14,0708	0,021377	1,0062	- 0,769
82	0,035180	1,0060	+ 0,019	13,7714	0,021555	1,0036	- 0,218
83	0,033602	1,0067	+ 0,609	13,9601	0,020450	1,0040	+ 0,339
84	0,034924	1,0052	- 1,111	13,9884	0,020904	1,0034	- 1,288
85	0,033387	1,0058	- 1,430	14,3695	0,019397	1,0033	- 1,656
86	0,032970	1,0061	- 0,059	14,3313	0,019300	1,0037	- 0,298
87	0,034913	1,0067	- 1,429	13,7215	0,021536	1,0042	- 1,674
88	0,033194	1,0060	- 0,049	14,3023	0,019456	1,0035	- 0,298
89	0,034500	1,0082	+ 0,388	14,1399	0,020350	1,0047	+ 0,039
90	0,033670	1,0120	- 2,448	14,1786	0,01936	1,0069	- 2,940

Z porównania wyników oraz błędów w tablicy 3 okazało się, że wielkość rozszerzenia miękkiej stali węglowej walcowanej na sucho na zimno nie odbiega daleko od wartości rozszerzenia tej samej stali na gorąco z wyjątkiem przekrojów o małych współczynnikach $\delta_w = 1$ do 4.

Potwierdza to rysunek 4. Przedstawia on wykres zależności wykładnika $-W$ według równania (3) dla walcowania na gorąco oraz $-W_1$ według równania (5) dla walcowania zimnego na sucho.



Rys. 4. Zależność wykładników $-W$ obliczanej wzorem (3) oraz $-W_1$ otrzymanej wzorem (5) w funkcji δ_w .

Z rysunku 4 stwierdzamy, że w zakresach δ_w 4 do 9 oraz 14 do 18 różnice między $-W$ oraz $-W_1$ są niewielkie.

W tych więc zakresach jest możliwe obliczenie współczynników wydłużenia i rozszerzenia zależnościami (1 do 3) również dla walcowania na zimno.

5. Wnioski

Porównanie wartości obliczonych i mierzonych w tablicy 3 stwierdza, że wyprowadzone zależności (równ. 4, 5) są słuszne w granicach niewielkiego błędu przy walcowaniu na zimno na sucho.

Dla dużych gniotów powyżej 50% (dla małych γ) błąd znacznie rośnie.

Wynika stąd, że wyprowadzone zależności są słuszne do tych wartości.

W zakresach $\delta_w = 4$ do 9 można stosować wzory do walcowania na gorąco (1 do 3).

Celowe jest przeprowadzenie dalszych prób i badań dla ustalenia wpływu różnych smarów na sposób płynięcia miękkiej stali przy walcowaniu na zimno.

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Puppe, *Walzwerkswesen*. T. III. Düsseldorf 1939.
- [2] H. Hoff i Th. Dahl, *Grundlagen des Walzverfahrens*. Düsseldorf 1950.
- [3] *Tiechnologičeskije procesy obrabotki stali i spławow*. Sbornik. XXXIII. Moskwa 1955.
- [4] Z. Wusatowski, *Gniot, wydłużenie i rozciąganie w procesie walcowania na gorąco*. Prace GIMO. T. 1. 1949, str. 27—58.
- [5] Z. Wusatowski, *Podstawy procesu walcowania*. Katowice 1952.