

Zygmunt Wusatowski, Jerzy Krywult

Katedra Przeróbki Plastycznej

Ustalenie poprawki do wzoru Z. Wusatowskiego dla kilku stali stopowych

Wzory Z. Wusatowskiego na rozszerzenie i wydłużenie w procesie walcowania na gorąco są prawidłowe jedynie dla stali miękkich. Wykonano próby walcowania na 7 gatunkach stali stopowych, typowych dla naszych warunków i określono poprawkę d w stosunku do stali miękkich. Poprawka d uzależniona jest od zmiennych gniotów przy średnich zakresach temperatur walcowania oraz od zmiennych temperatur przy średnich zakresach gniotów jako najbardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy.

1. Wstęp

Szybki i wszechstronny rozwój polskiego przemysłu w ostatnim dziesięcioleciu postawił poważne zadanie przed naszym hutnictwem, a szczególnie w dziedzinie dostaw wyrobów walcowanych. O ile nasze hutnictwo mogło zaspokoić potrzeby, jeśli chodzi o wyroby walcowane ze stali węglowej, o tyle napotykało trudności, jeśli chodzi o zaspokojenie potrzeb na wyroby walcowane, profilowe ze stali stopowej. Spowodowane to było brakiem odpowiednich metod dokładnego obliczania kalibrowania walców. Kalibrownicy stosują dotychczas wzory używane dla stali zwykłych. Powoduje to w większości przypadków obniżenie jakości wyrobów walcowanych, a często braki w postaci zawałców, przepętnień lub niewypełnień profilu.

1.1. Cel pracy

Wyłania się potrzeba posiadania takich zależności, które by ujmowały możliwie ściśle zależności rozszerzenia i wydłużenia w procesie walcowania, a którymi można by obliczyć dowolne proste kalibrowanie dla

różnych gatunków stali, gdyż od tego w dużej mierze zależy i wydajność produkcji walcowni.

Za podstawę wzięto tu wzory Z. Wusatowskiego [1] ujmujące zależność rozszerzenia i wydłużenia dla stali zwykłej i w tej pracy próbowano je przystosować dla stali stopowych i wysokostopowych przez wyznaczenie odpowiednich współczynników uwzględniających rodzaj stali w zależności od temperatury, gniotu i współczynnika kształtu.

Wzór Z. Wusatowskiego ma postać:

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

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

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

przy czym:

$$\beta = \frac{b_2}{b_1} \text{ — współczynnik rozszerzenia,}$$

$$\gamma = \frac{h_2}{h_1} \text{ — współczynnik gniotu,}$$

$$\delta = \frac{b_1}{h_1} \text{ — współczynnik kształtu,}$$

$$\varepsilon_w = \frac{h_1}{D} \text{ — współczynnik walców.}$$

Wyrowadzając swój wzór Z. Wusatowski wyszedł z zasady stałej objętości.

$$\gamma \cdot \beta \cdot \lambda = 1, \quad (4)$$

gdzie:
$$\lambda = \frac{l_2}{l_1} \text{ — współczynnik wydłużenia.}$$

Celem powiększenia dokładności wzoru (1) wprowadzono cztery poprawki [1, 2, 3], a mianowicie:

$$\beta = a \cdot c \cdot d \cdot f \cdot \gamma^{-W} \quad (5)$$

oraz

$$\lambda = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{1}{f} \cdot \gamma^{(W-1)} \quad (6)$$

Poprawki a i c uwzględniają temperaturę oraz szybkość walcowania i mają bardzo wąski zakres zastosowania. Poprawka d uwzględnia gatunek stali, poprawka f zaś rodzaj i stan powierzchni walców.

Podane w poprzednich pracach [1] poprawki d dla kilku gatunków stali wyrowadzono na podstawie obcych badań. Nie pokrywały one rodzajów stali ani też warunków walcowania obecnie u nas. Dlatego okazało się konieczne wykonanie badań w większym zakresie dla ustalenia wartości poprawki d przydatnej dla warunków krajowych.

2. Próby własne

Do prób wybrano 7 gatunków stali stopowych o składzie podanym w tablicy 1. Przy doborze gatunków stali do badań, starano się uwzględnić potrzeby przemysłu co do:

1. zapotrzebowania danego gatunku stali w przemyśle,
2. reprezentowania przez wybrany gatunek pewnej grupy stali stopowych,
3. stali charakterystycznych ze względu na skład chemiczny,
4. stali, których dokładne obliczenie rozszerzenia stwarza duże trudności.

Tablica 1

Nr stali	Gatunek stali	Zawartość składników w procentach						
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
1	Szch 15	0,97	0,34	0,26	0,018	0,011	1,41	0,25
2	KC 3	0,19	0,28	0,38	0,021	0,022	12,18	0,13
3	18 HNWA	0,15	0,44	0,32	0,018	0,011	1,27	3,73
4	H 25 T	0,11	0,44	1,16	0,023	0,012	25,33	0,12
5	35 HGSA	0,30	1,03	1,13	0,024	0,006	0,89	0,28
6	KNR 1	0,11	0,52	1,42	0,023	0,018	17,01	7,01
7	KP 2	0,13	0,51	0,57	0,023	0,022	17,59	6,63

Próby wszystkich gatunków stali przeprowadzono na walcierce doświadczalnej [5] Instytutu Metalurgii Żelaza w Gliwicach.

Próby prowadzono w trzech etapach, stosując trzy rodzaje współczynnika kształtu:

	Współczynnik kształtu	Użyte pręty
1	$\delta = \frac{b_1}{h_1} = 1$	30 × 30 × 500 mm
2	$\delta = \frac{b_1}{h_1} = 2$	20 × 40 × 500 mm
3	$\delta = \frac{b_1}{h_1} = 5$	16 × 80 × 500 mm

Walcowanie przeprowadzono na walcierce duo na walcach o średnicy $D = 308$ mm walcami stalowymi gładkimi oraz przy szybkości walcowania stałej w granicach: $v = 0,6 - 0,8$ m/sek. Dla wszystkich gatunków stali ustalono z góry trzy zakresy temperatur walcowania: najniższą, średnią i najwyższą. Jako najniższą temperaturę przyjęto dolną temperaturę walcowania, przy której walcowanie gorące może jeszcze przebiegać

$$t_a = 850 - 950 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Jako temperaturę średnią przyjęto temperaturę obecnie stosowaną w procesie walcowania dla danego gatunku stali

$$t_b = 950 - 1100 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Jako temperaturę najwyższą przyjęto górną dopuszczalną granicę przy walcowaniu na gorąco

$$t_c = 1100 - 1200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Następnie ustalono gnioty procentowe stosowane w zakresie od 10 do 40%, a mianowicie $G \% = 10, 20, 30$ i 40%.

Próby przeprowadzone w ten sposób, że przy temperaturze najwyższej ($t_c = 1100 - 1200 \text{ } ^\circ\text{C}$) przewalcowano próby o współczynniku kształtu $\delta = 1$ wszystkich stali z gniotami $G \% = 10, 20, 30$ i 40%.

Następnie w tej samej temperaturze i z tymi samymi gniotami (10, 20, 30, 40%) zmieniając kolejno współczynniki kształtu prób z $\delta = 1$ na $\delta = 2$ i $\delta = 5$.

Ten przebieg prób powtórzono kolejno dla temperatury średniej ($t_b = 950 - 1100 \text{ } ^\circ\text{C}$) i najniższej ($t_a = 850 - 950 \text{ } ^\circ\text{C}$).

Próby do walcowania nagrzewano stopniowo do żądanej temperatury w piecu komorowym ogrzewanym gazem. Temperaturę w piecu mierzono za pomocą termopary. Podczas walcowania temperaturę walcowanej próbki mierzono pirometrem optycznym w szczelinie walców. Dla uzyskania jak najdokładniejszych pomiarów temperatury pirometrem optycznym próbki po wyjściu z pieca (przed walcowaniem) oczyszczano ze zgorzeli.

Próbki po przewalcowaniu mierzono w dwu miejscach, a podstawą do obliczeń były średnie wartości:

$$\begin{aligned} h_2 & \text{ — wysokość metalu po przewalcowaniu,} \\ b_2 & \text{ — szerokość metalu po przewalcowaniu,} \end{aligned}$$

które naniesiono do tablic pomocniczych.

Z danych pomiarowych prób przed i po walcowaniu obliczono i również zestawiono w tych samych tablicach następujące wartości:

1. $\beta_{\text{obl}} = a \gamma^{-W}$ — współczynnik rozszerzenia ważny dla stali zwykłej, obliczony suwakiem do wzoru Z. Wusatowskiego z uwzględnieniem poprawki na temperaturę,

2. $\beta_{\text{rz}} = \frac{b_2}{b_1}$ — współczynnik rozszerzania rzeczywisty,

3. $d = \frac{\beta_{\text{rz}}}{\beta_{\text{obl}}}$ — poprawka do wzoru Z. Wusatowskiego uwzględniająca skład chemiczny stali.

Poza tym przyjęto:

$f = 1$ — dla walców stalowych i utwardzonych gładkich.

Na podstawie obliczeń umieszczonych w tablicach wykonano wykresy, które ułatwiają praktyczne wyznaczenie poprawki d dla odpowiedniego gatunku stali.

Dla poszczególnych gatunków stali wykonano dwa rodzaje wykresów:

1. $d = f(G \%)$ — przy $t \text{ } ^\circ\text{C} = \text{const}$,

2. $d = f(t \text{ } ^\circ\text{C})$ — przy $G \% = \text{const}$,

z których wyznaczamy wartość poprawki d przy obliczaniu współczynnika rozszerzenia wzorem Z. Wusatowskiego w postaci:

$$\beta = d \cdot \gamma^{-W} \quad (7)$$

oraz współczynnika wydłużenia:

$$\lambda = \frac{1}{d} \gamma^{(W-1)} \quad (8)$$

Z rysunku odczytywać należy wartość poprawki d w zależności od warunków walcowania danego gatunku stali. Wartość wykładnika — W jest taka sama jak dla stali węglowych.

3. Omówienie wyników

Analiza przeprowadzonych prób w wyniku dokonanych obliczeń wykazuje, że skład chemiczny walcowanej stali oraz w pewnym stopniu jej struktura, poza tym temperatura i szybkość walcowania, stan powierzchni walców współczynnik kształtu — posiadają duży wpływ na wielkość współczynników rozszerzenia i wydłużenia.

Podczas przeprowadzania prób i analizy wyników stwierdzono wpływ struktury stali na wielkość rozszerzenia. Zauważono, że stale różniące się strukturą, na przykład KP2 o strukturze austenitycznej i KC3 — fer-

rytycznej z węglkami, wykazują znaczne różnice w wielkości współczynnika rozszerzenia przy zachowaniu tych samych warunków walcowania (te same: gniot, temperatura, szybkość walcowania, stan walców, współczynnik kształtu).

Ponieważ próby przeprowadzone były nie celem stwierdzenia i określenia wpływu struktury stali na wielkość rozszerzenia, problem ten pozostaje otwarty i wymaga dalszych badań.

Na podstawie otrzymanych obliczeń i wykonanych wykresów można stwierdzić, że otrzymane poprawki na skład chemiczny przekreślają możliwość otrzymania stałego współczynnika d (średniego) dla jednego gatunku stali.

Na przykład walcując stal 18 HNWA (chromowo-niklowa; rys. 1 a, 1 b, 1 c) przy założeniu stałej temperatury walcowania $t = 1000^\circ\text{C}$ (patrz rys. 1 b), stałego współczynnika kształtu $\delta = 1$, stałej średnicy walców $D = 308$ mm, stałej szybkości walcowania 1 m/sek, a zmieniając gniot procentowy od 40 do 10% otrzymamy:

$$\begin{aligned} \text{dla } G \% = 40\% & \text{ — } \beta_{rz} = 1,363; \text{ odpowiednie } d = 1,0735, \\ G \% = 30\% & \text{ — } \beta_{rz} = 1,248; \text{ odpowiednie } d = 1,04833, \\ G \% = 20\% & \text{ — } \beta_{rz} = 1,055; \text{ odpowiednie } d = 0,9956, \\ G \% = 10\% & \text{ — } \beta_{rz} = 1,023; \text{ odpowiednie } d = 0,9810. \end{aligned}$$

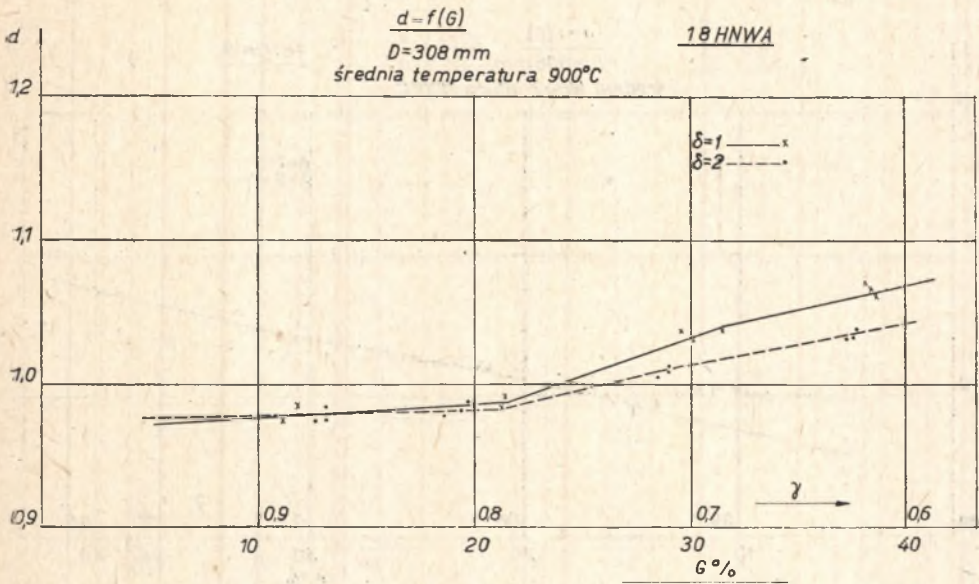
Na podstawie tego przykładu łatwo stwierdzić, że nie można przyjąć dla danej średniej wartości poprawki d , nie uwzględniając wielkości gniotu. Różnice pomiędzy wartością poprawki d dla gniotu 40 i 10% są zbyt duże, aby móc przyjąć średnią wartość. Gdyby przyjąć średnią wartość d , to wyniosłaby ona 1,0292. Ta wartość odpowiada poprawce d dla gniotu $G \% = 25\%$. Niesłuszne byłoby przyjmowanie jej także dla gniotów $G \% = 40\%$, gdy d rzeczywiste wynosi 1,0735 lub dla $G \% = 10\%$, gdzie d rzeczywiste wynosi 0,9810.

Zakładając w drugim przypadku zmienną temperaturę, a pozostałe czynniki pozostawiając te same, a mianowicie (rys. 2 a, b, c, d):

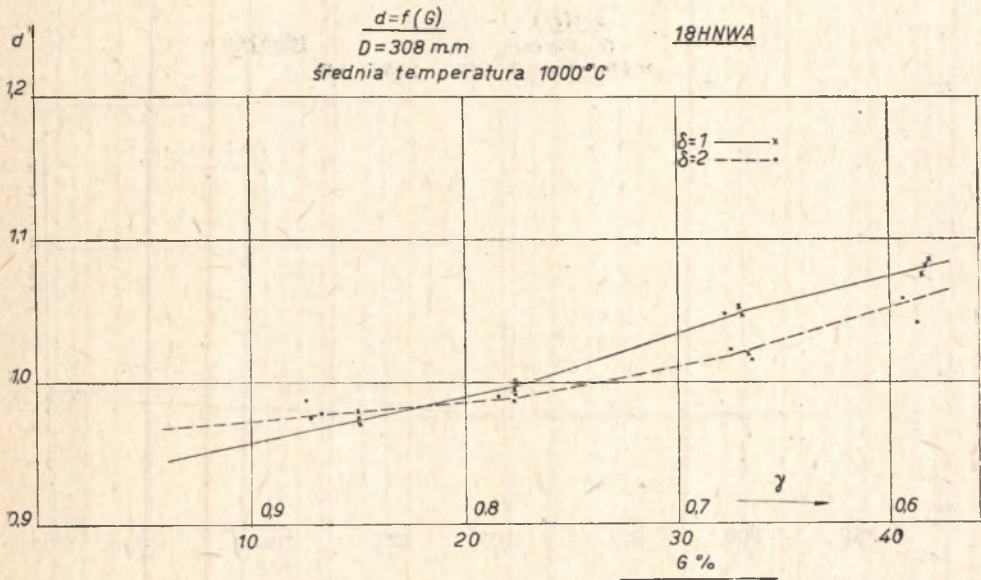
Średnica walców $D = 308$ mm, współczynnik kształtu $\delta = 1$, szybkość walcowania 1 m/sek, gniot $G \% = 30\%$, otrzymamy następujące wartości poprawki d (patrz rys. 2 c).

$$\begin{aligned} \text{dla } t_a = 1100^\circ\text{C} & \text{ — } \beta_{rz} = 1,218; \text{ odpowiednie } d = 1,0428 \\ t_b = 1000^\circ\text{C} & \text{ — } \beta_{rz} = 1,216; \text{ odpowiednie } d = 1,0376 \\ t_c = 900^\circ\text{C} & \text{ — } \beta_{rz} = 1,215; \text{ odpowiednie } d = 1,0336 \end{aligned}$$

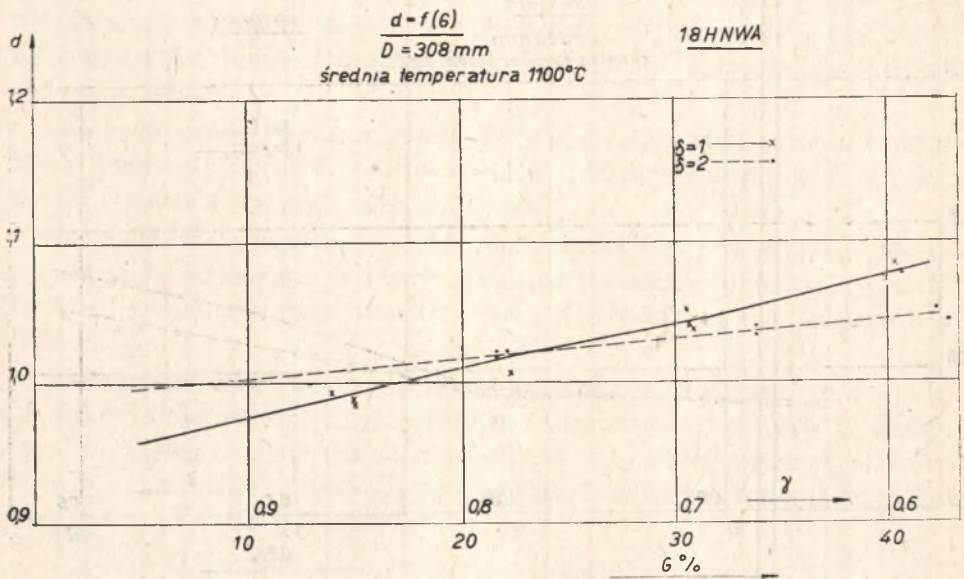
Z tych porównań wynika, że wpływ temperatury na wielkość poprawki d jest nieznaczny, należy go jednak w rozważaniach teoretycznych uwzględnić.



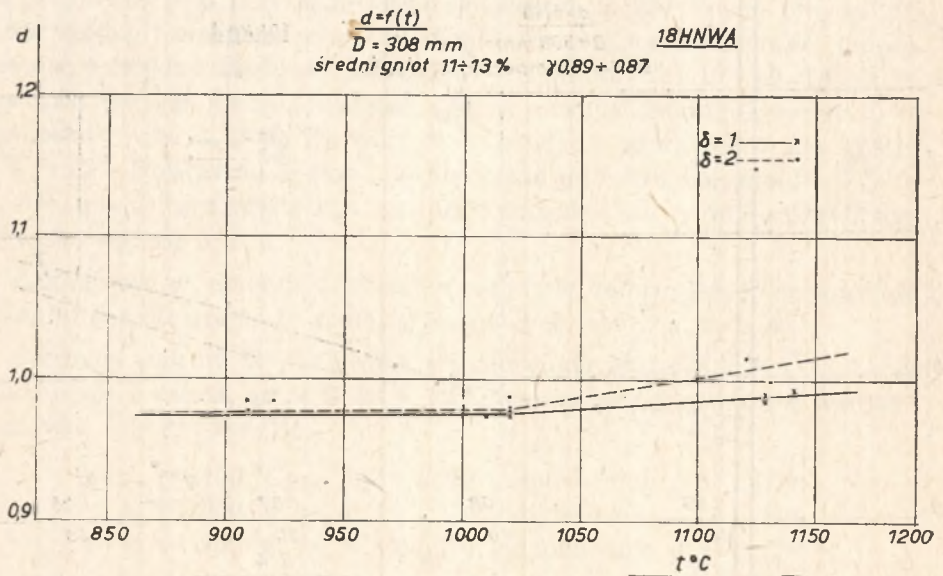
Rys. 1 a



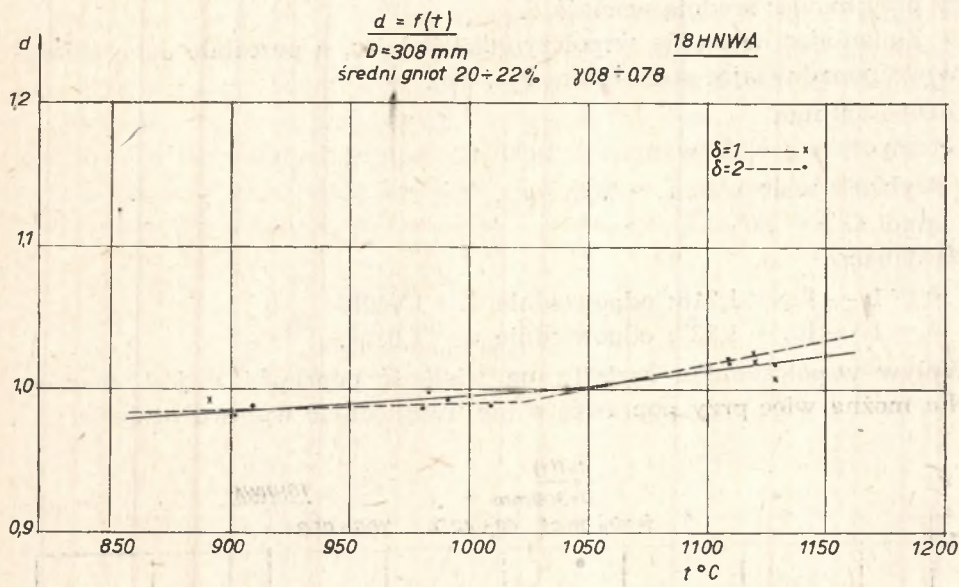
Rys. 1 b



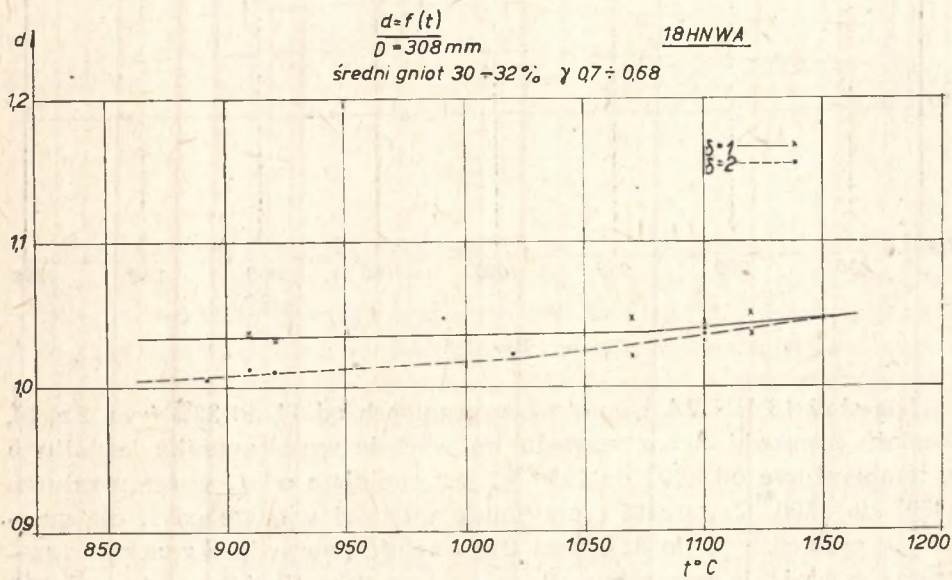
Rys. 1 c



Rys. 2 a



Rys. 2 b



Rys. 2 c

Praktycznie przynajmniej dla pewnych zakresów temperatur można by przyjmować średnią wartość d .

Zmieniając następnie współczynnik kształtu, a pozostałe dane założeniowe pozostawiając stałe (patrz rys. 2 c).

$$D = 308 \text{ mm}$$

$$\text{temperatura walcowania } t = 1000 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\text{szybkość walcowania } \sim 1 \text{ m'/sek},$$

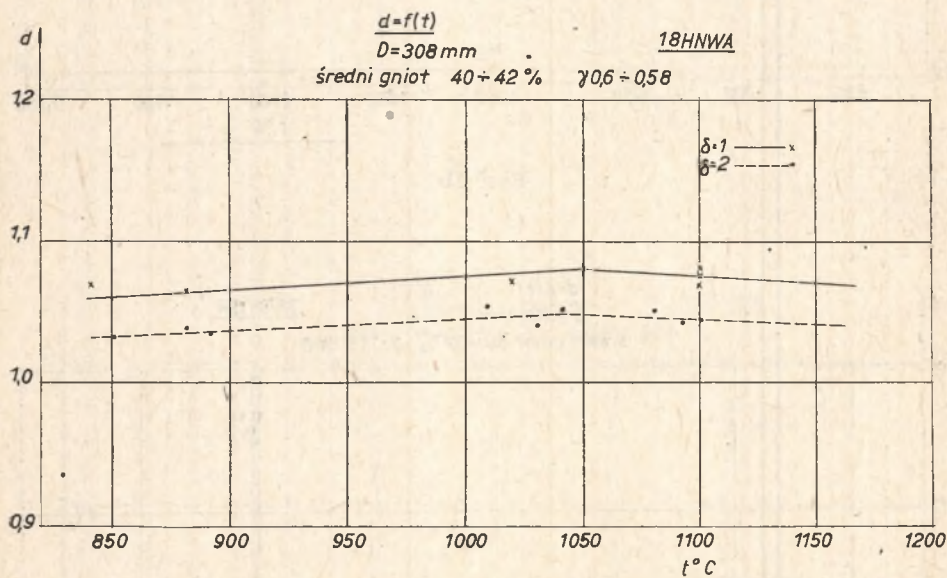
$$\text{gniot } G \% = 30\%$$

otrzymano:

$$\delta = 1 \text{ — } \beta_{rz} = 1,218; \text{ odpowiednie } d = 1,0428,$$

$$\delta = 1 \text{ — } \beta_{rz} = 1,137; \text{ odpowiednie } d = 1,0158.$$

Wpływ współczynnika kształtu na wielkość poprawki d jest znaczny. Nie można więc przy poprawce d nie uwzględniać wpływu kształtu.

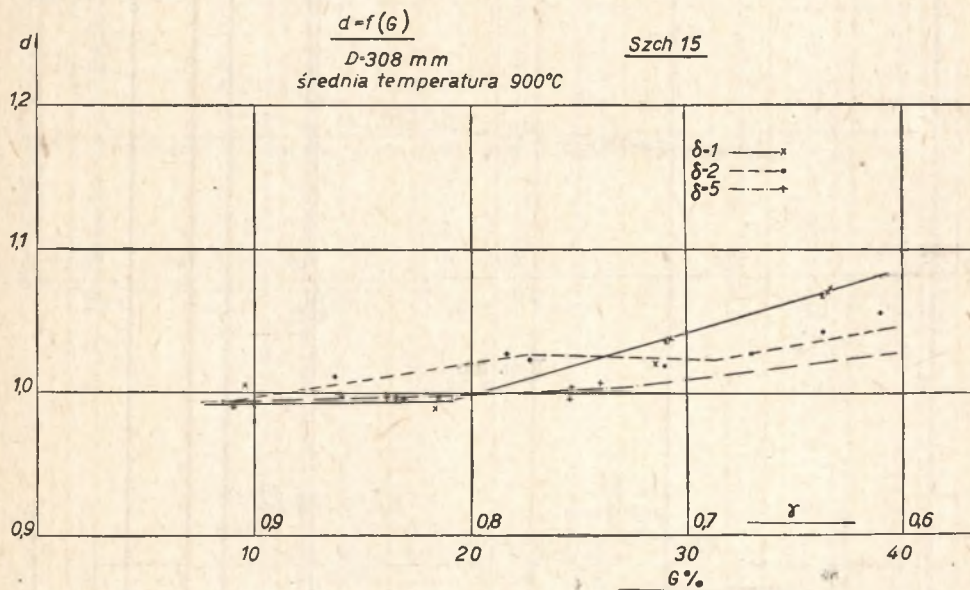


Rys. 2 d

Dla stali 18 HNWA i gniotów w granicach od 11 do 22% (rys. 2 a, b), wartość poprawki d bez względu na wartość współczynnika kształtu δ w temperaturze od 880° do 1030° C jest mniejsza od 1, w temperaturze 1050° do 1200° C wzrasta i przyjmuje wartości większe od 1, dla gniotów w granicach 30 do 32% (rys. 2 c) wartość poprawki d znacznie przekracza wartość 1, szczególnie dla $\delta = 1$ w zakresie temperatur od 880 do 1200° C, dla gniotów w granicach 40 — 42% (rys. 2 d), d przyjmuje wartości blisko 1,1 szczególnie dla $\delta = 1$.

Najwyższą wartość d — osiąga dla tych gniotów w temperaturze 1050 °C. Przy wzroście i spadku temperatury wartość d nieznacznie maleje. Dla tej stali jedynym słusznym wzorem ujmującym wielkość współczynnika rozszerzenia jest wzór (7) z uwzględnieniem poprawek z wykresu.

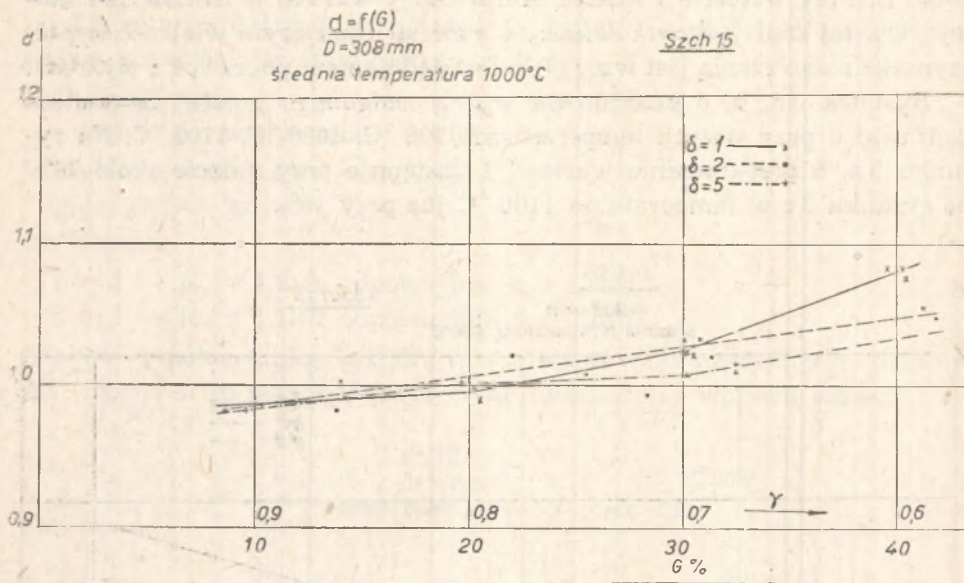
Rysunek 3 a, b, c przedstawia wpływ zmiennego gniotu na wartość poprawki d przy stałych temperaturach 900 °C, 1000 °C, 1100 °C. Na rysunku 3 a, b przekroczenie wartości 1 następuje przy gniocie około 20%, na rysunku 3 c w temperaturze 1100 °C już przy 15%.



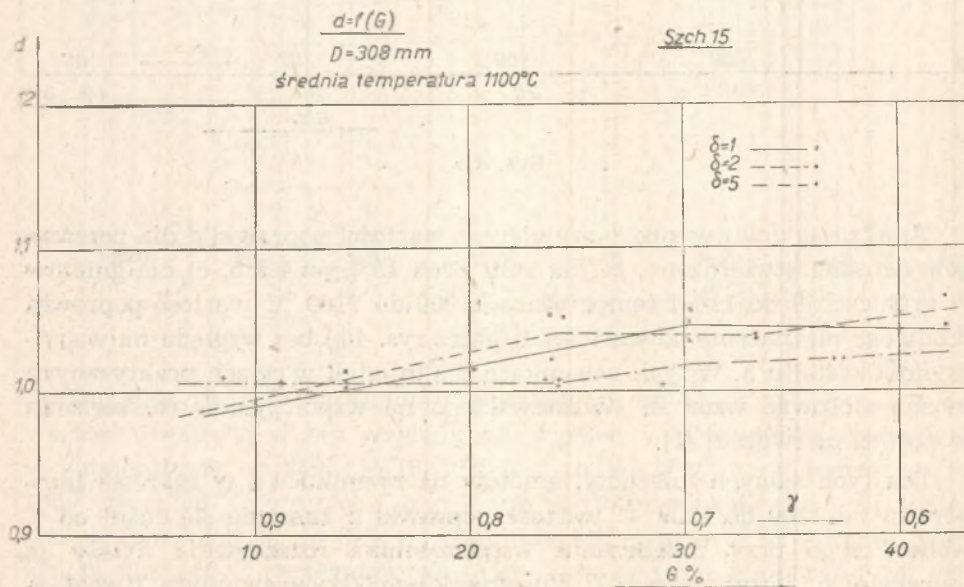
Rys. 3 a

Analizując dalej wyniki otrzymanych wartości poprawki d dla poszczególnych stali stwierdzono, że dla stali Szch 15 (rys. 4 a b, c) dla gniotów w granicach 9 do 11% i temperaturach 900 do 1100 °C wartość poprawki d odbiega nieznacznie od wartości 1 (patrz rys. 4 a) bez względu na współczynnik kształtu δ . W tych warunkach dla tej stali w celach praktycznych można stosować wzór Z. Wusatowskiego na współczynnik rozszerzenia w postaci pierwotnej (1).

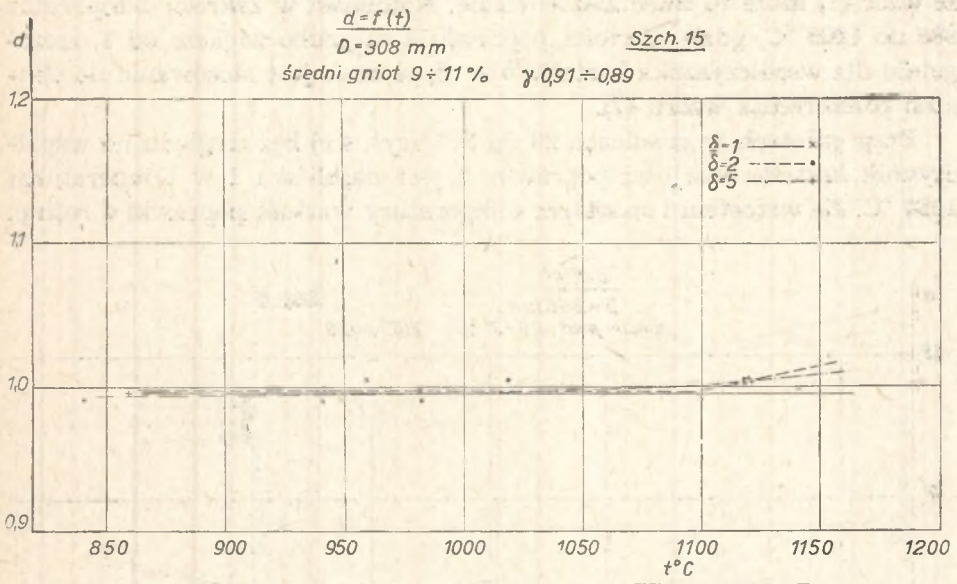
Dla tych samych zależności gniotów na rysunku 4 a w zakresie temperatur od 1100 do 1200 °C wartość poprawki d znacznie się różni od 1, wobec czego przy przeliczaniu współczynnika rozszerzenia należy ją uwzględniać i liczyć wzorem Z. Wusatowskiego (7) poprawionym. Uwzględniając, że dla $\delta = 2$ i $\delta = 5$ — $d > 1$, a dla $\delta = 1$ — $d < 1$, dla gniotów % w granicach 19 do 21% (rys. 4 b) w zakresie temperatur 900 — 980 °C



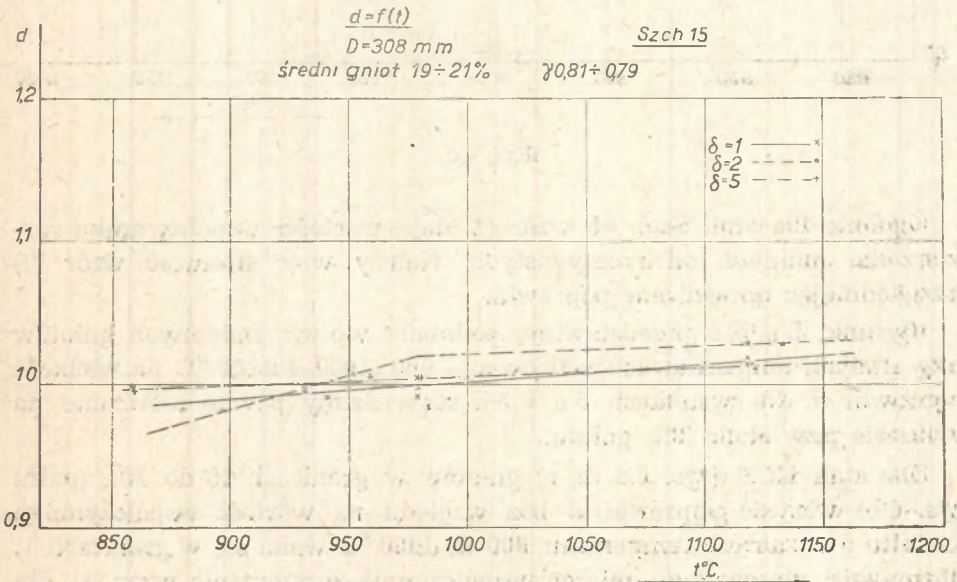
Rys. 3 b



Rys. 3 c



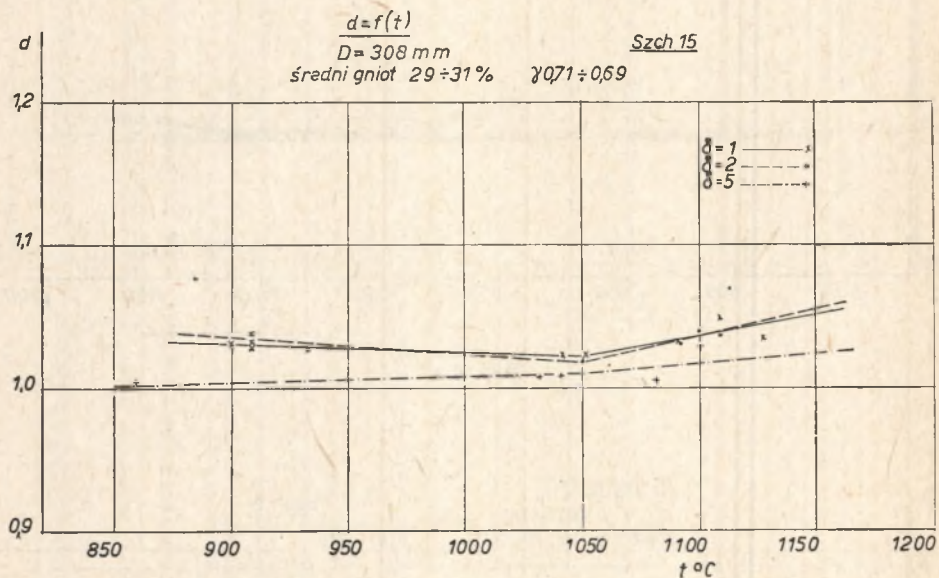
Rys. 4 a



Rys. 4 b

wartość poprawki d waha się w granicach 1 (0,98 — 1,12). Stąd wniosek, że wzór (1) może tu mieć zastosowanie. Natomiast w zakresie temperatur 980 do 1200 °C, gdzie wartości poprawki d są grubo większe od 1, szczególnie dla współczynnika kształtu $\delta = 5$, słuszne jest stosowanie do obliczeń rozszerzenia wzoru (7).

Przy gniotach w granicach 29 do 31% (rys. 4 c) bez względu na współczynnik kształtu wartości poprawki d jest najbliższa 1 w temperaturze 1050 °C. Ze wzrostem i spadkiem temperatury wartość poprawki d rośnie.

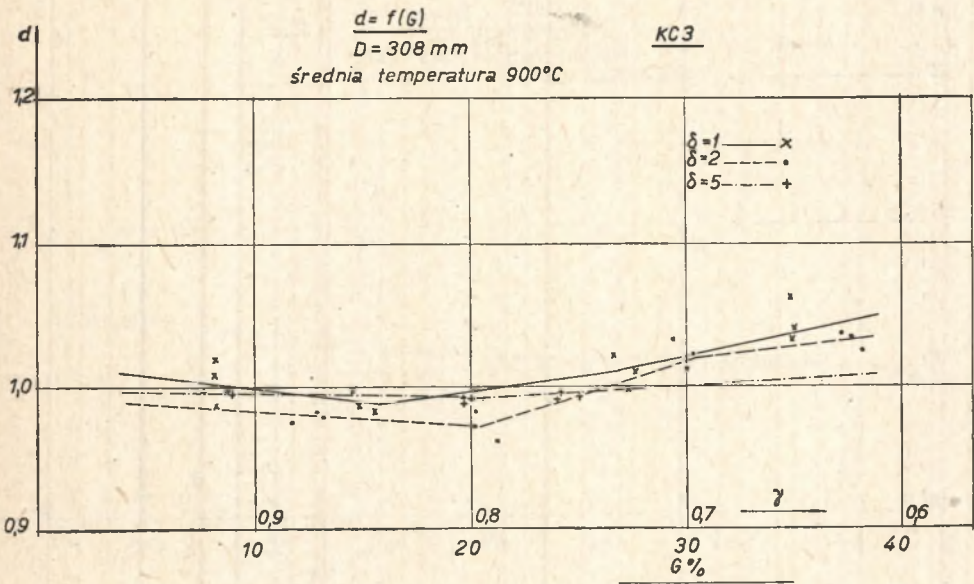


Rys. 4 c

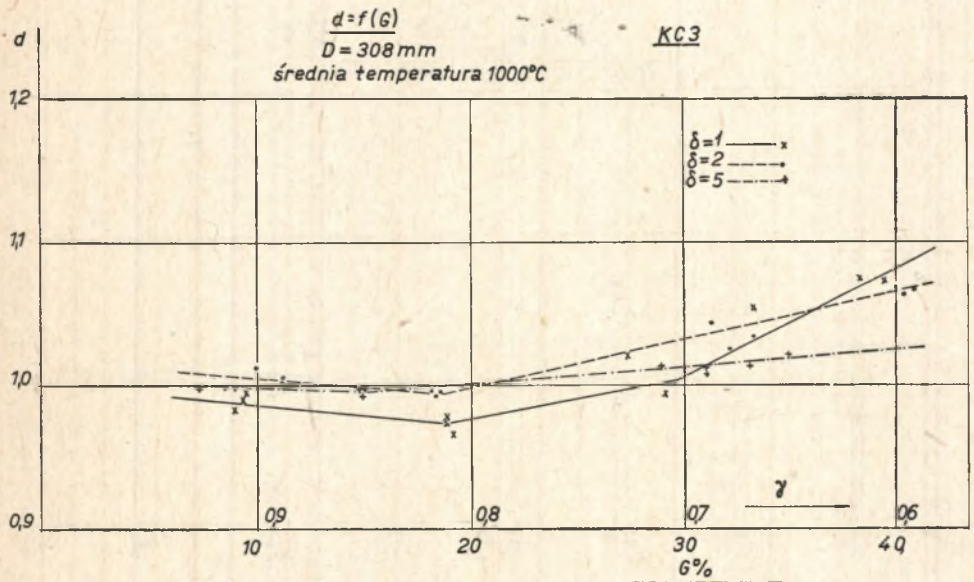
Ogólnie dla stali Szch 15 wzór (1) daje wartości współczynnika rozszerzenia mniejsze od rzeczywistych. Należy więc stosować wzór (7) uwzględniając opracowane poprawki.

Rysunki 5 a, b, c przedstawiają podobnie wpływ zmiennych gniotów przy stałych temperaturach walcowania 900, 1000, i 1100 °C na wielkość poprawki d . Na rysunkach 5 a i 5 b stwierdzimy pewne załamanie na wykresie przy około 20% gniotu.

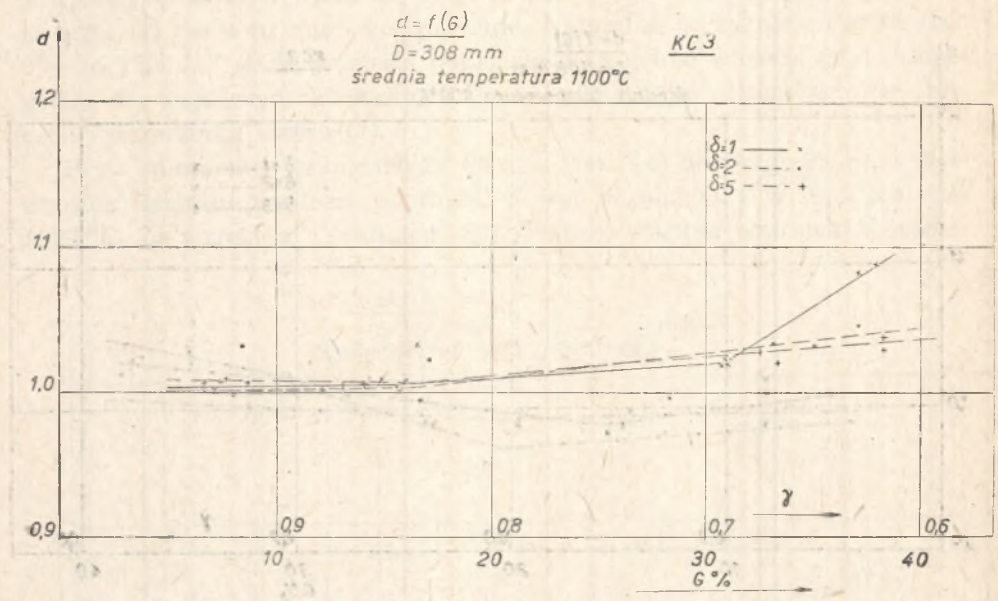
Dla stali KC 3 (rys. 6 a, b, c) gniotów w granicach 18 do 20% (patrz rys. 6 b) wartość poprawki d bez względu na wartość współczynnika kształtu δ w zakresie temperatur 900 do 1200 °C waha się w granicach 1. Można więc stosować do obliczeń współczynnika rozszerzenia wzór (1), dla gniotów w granicach 29 do 31% (rys. 6 c) d przyjmuje wartość większą od 1, szczególnie dla prętów o współczynniku kształtu $\delta = 2$. W tym wy-



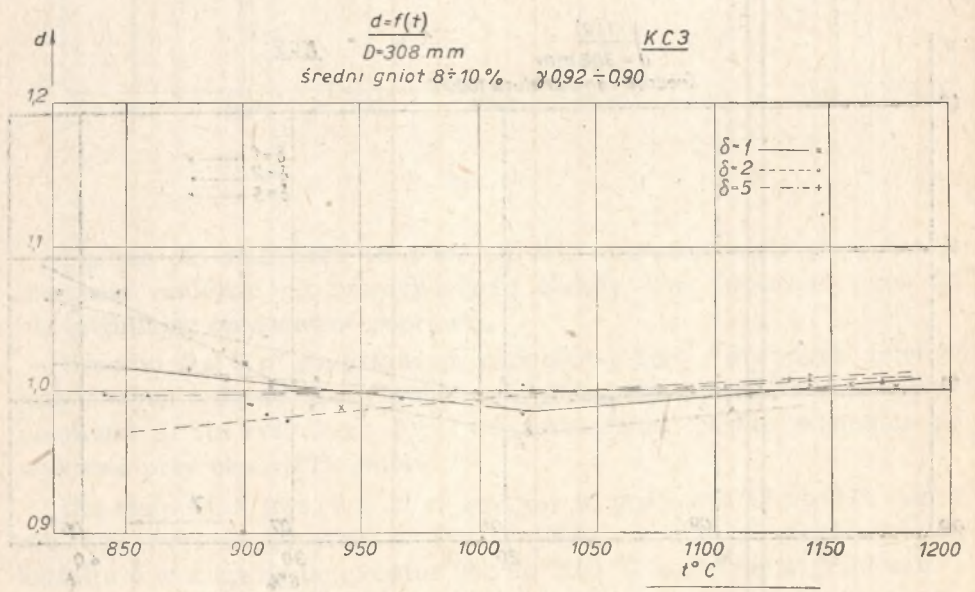
Rys. 5 a



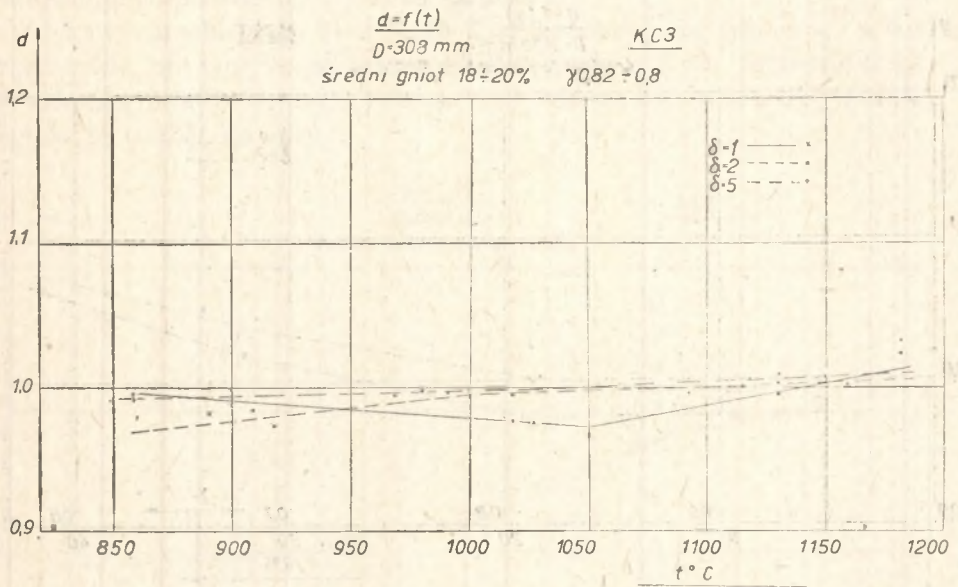
Rys. 5 b



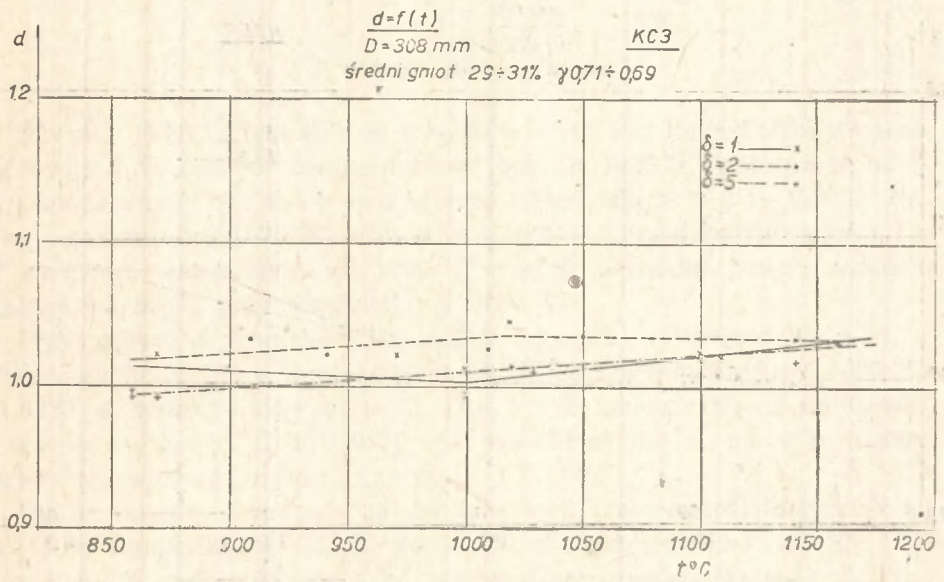
Rys. 5 c



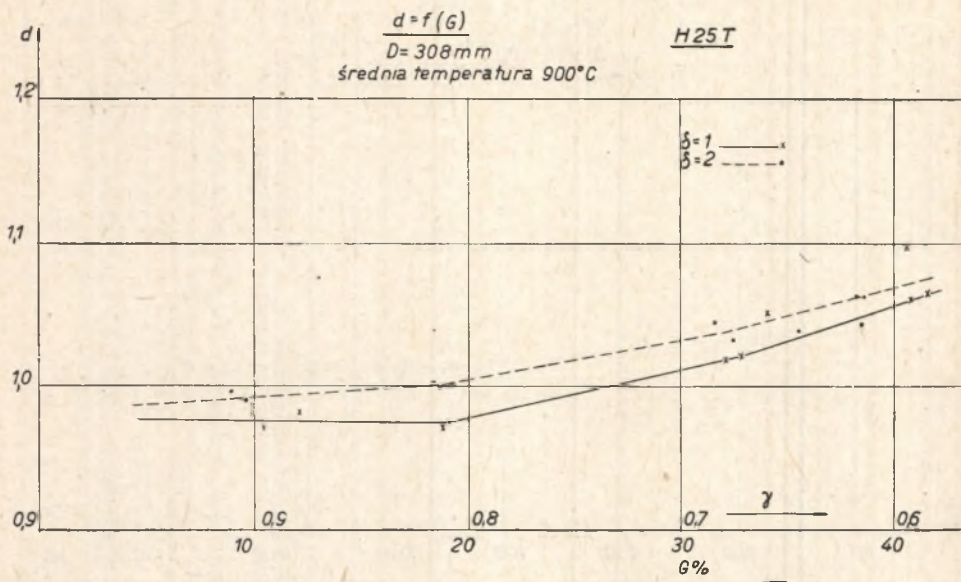
Rys. 6 a



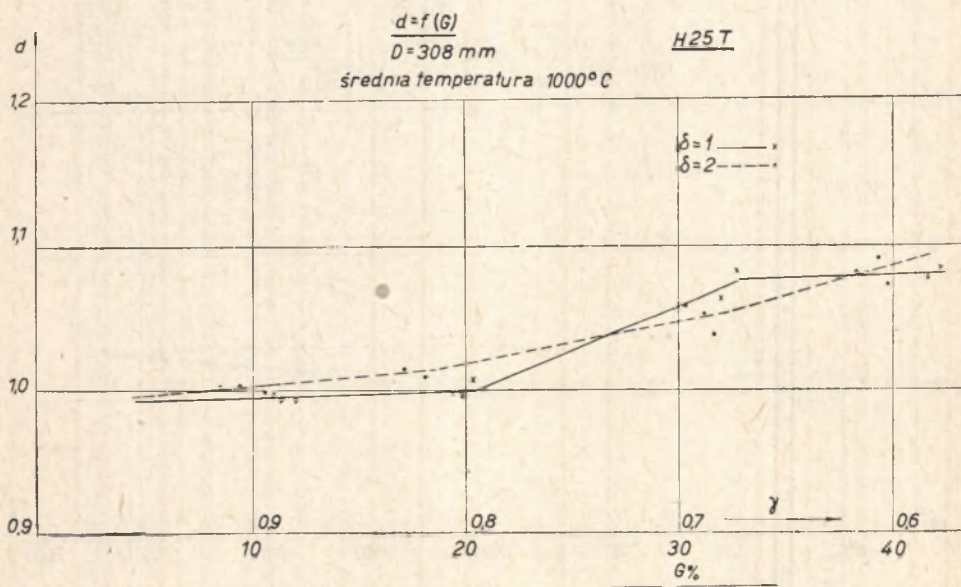
Rys. 6 b



Rys. 6 c



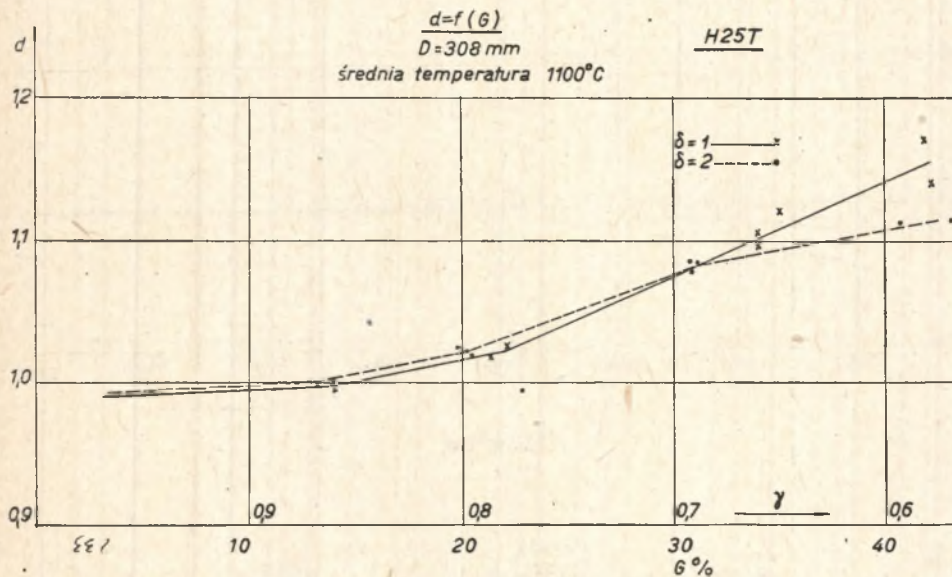
Rys. 7 a



Rys. 7 b

padku należy stosować do obliczeń współczynnika rozszerzenia wzór (7), uwzględniając podane na wykresie poprawki.

Ciekawy przebieg dla stali H 25 T stwierdzamy na rysunku 7 a, b, c, przedstawia on wpływ zmiennego gniotu przy stałych temperaturach. Do zakresu 15 do 20% gniotu wartość d prawie się nie zmienia, by później raptownie wzrósć do góry.

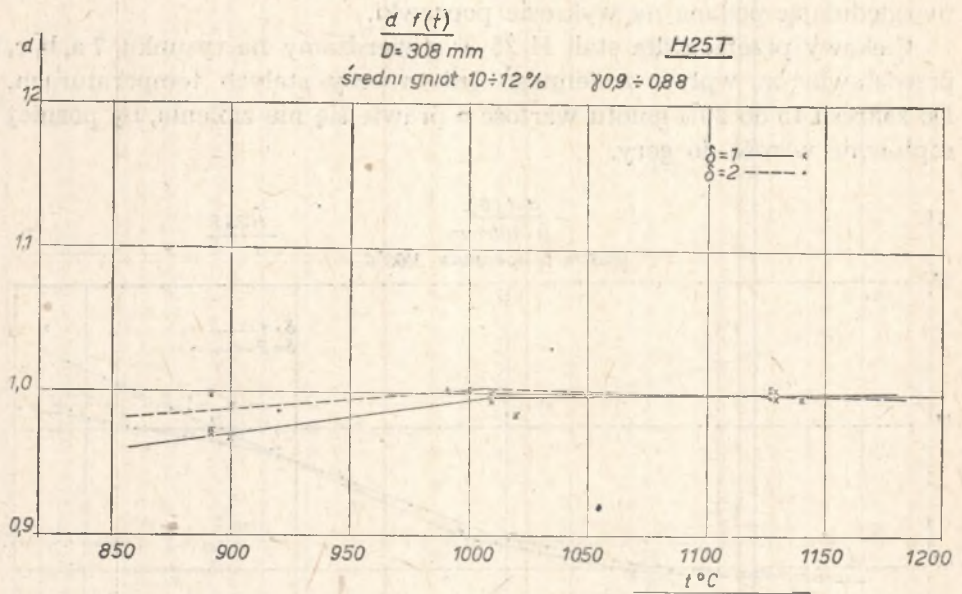


Rys. 7 c

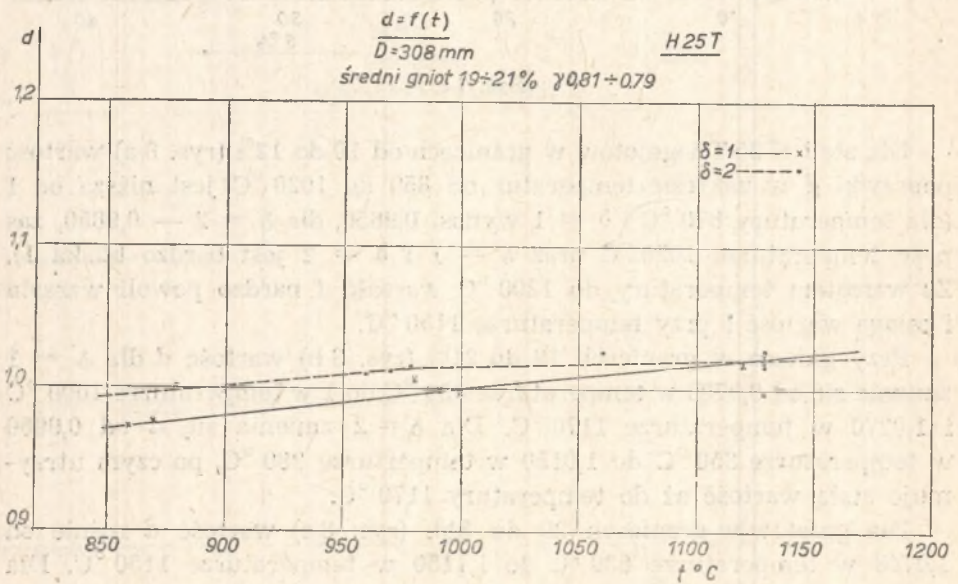
Dla stali H 25 T i gniotów w granicach od 10 do 12% (rys. 8 a) wartość poprawki d w zakresie temperatur od 850 do 1020 °C jest niższa od 1 (dla temperatury 870 °C i $\delta = 1$ wynosi 0,9650, dla $\delta = 2$ — 0,9850, zaś przy temperaturze 1020 °C oraz $\delta = 1$ i $\delta = 2$ jest bardzo bliska 1). Ze wzrostem temperatury do 1200 °C wartość d bardzo powoli wzrasta i osiąga wartość 1 przy temperaturze 1150 °C.

Przy gniocie w granicach 19 do 21% (rys. 8 b) wartość d dla $\delta = 1$ zmienia się od 0,9700 w temperaturze 850 °C do 1 w temperaturze 1000 °C i 1,0270 w temperaturze 1170 °C. Dla $\delta = 2$ zmienia się d od 0,9950 w temperaturze 850 °C do 1,0150 w temperturze 980 °C, po czym utrzymuje stałą wartość aż do temperatury 1170 °C.

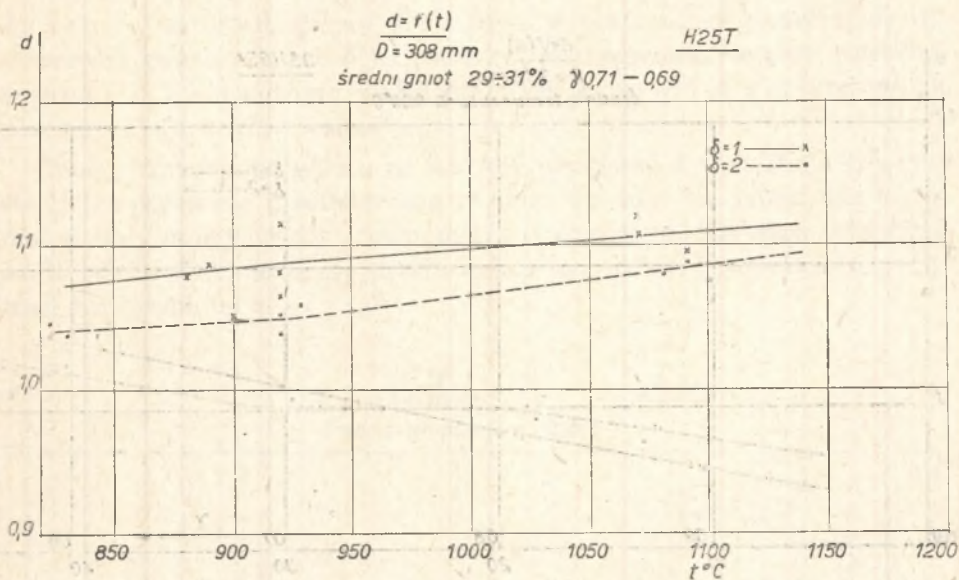
Dla gniotów w granicach 29 do 31% (rys. 8 c) wartość d rośnie od 1,0748 w temperaturze 830 °C do 1,1150 w temperaturze 1150 °C. Dla $\delta = 1$, dla $\delta = 2$ zależność d od temperatury przedstawia się podobnie jak dla $\delta = 1$, z tą tylko różnicą, że w temperaturze 850 °C przyjmuje wartość 1,0400, wzrastając do 1,0950 w temperaturze 1150 °C.



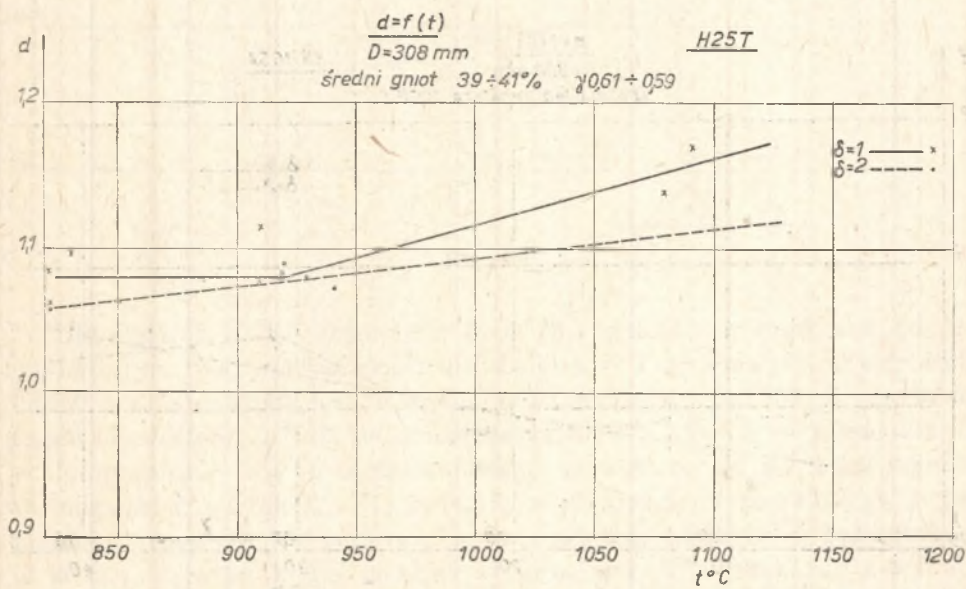
Rys. 8 a



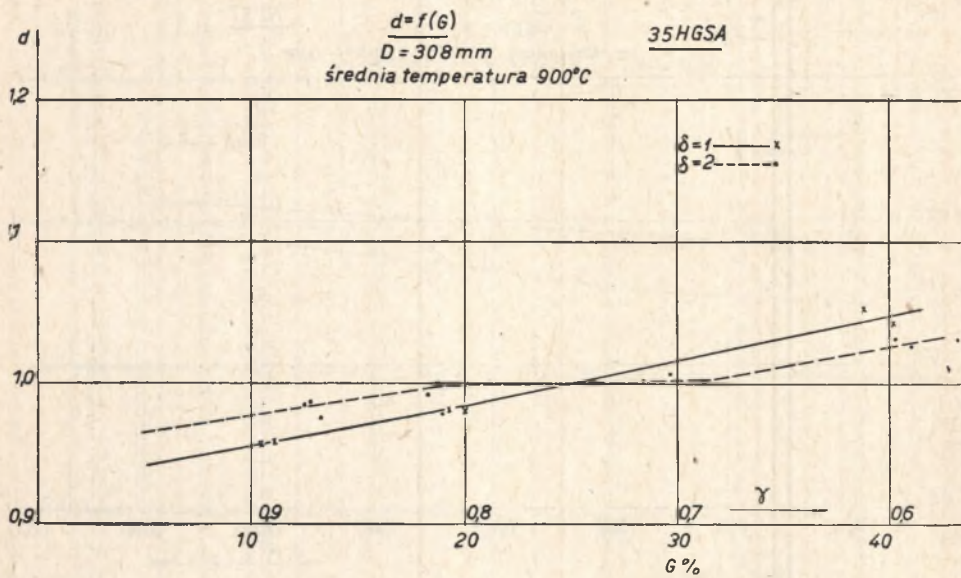
Rys. 8 b



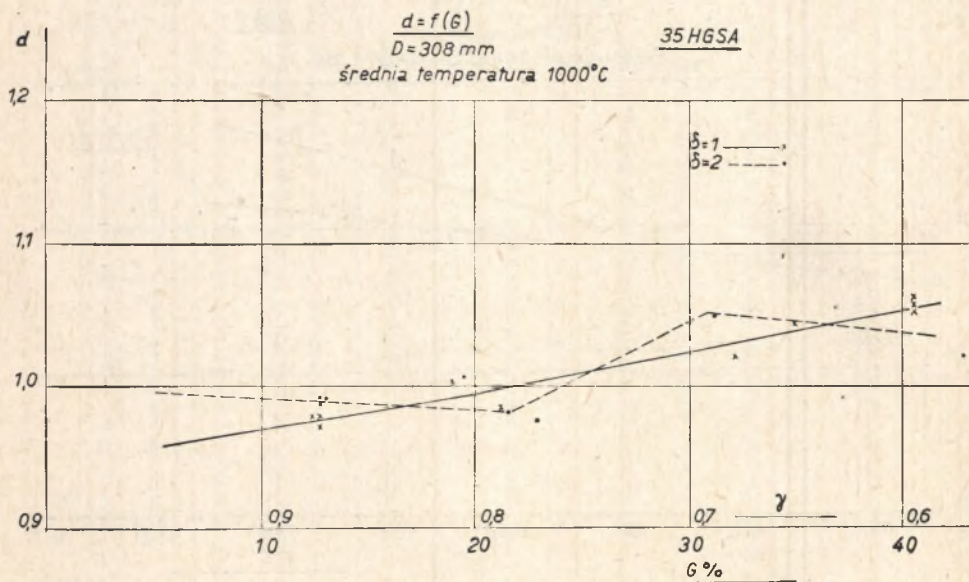
Rys. 8 c



Rys. 8 d



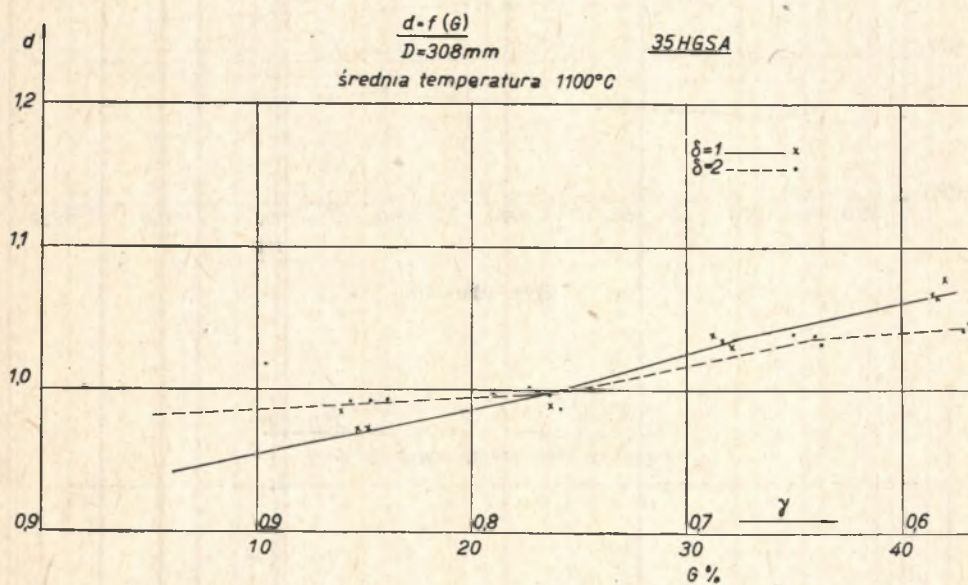
Rys. 9 a



Rys. 9 b

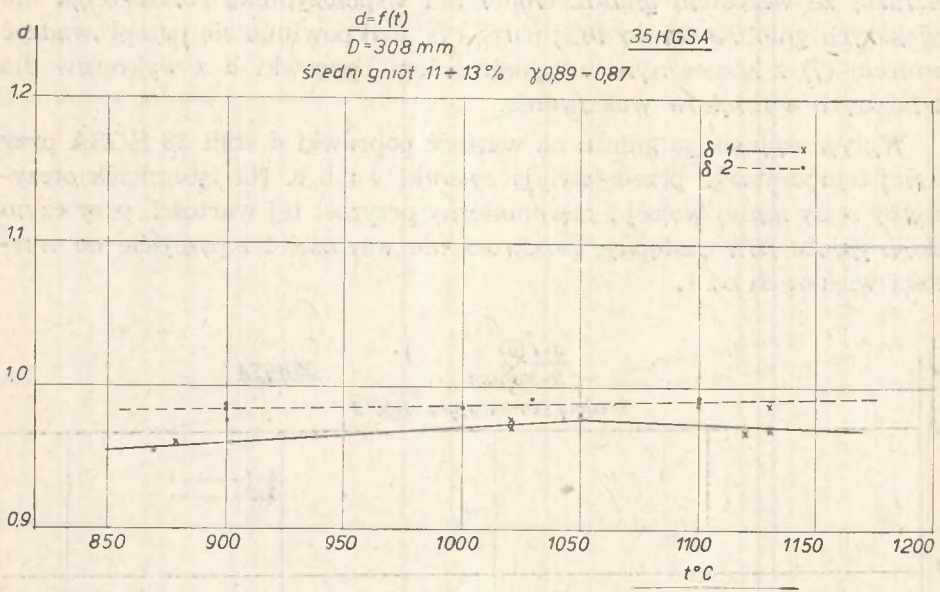
Wynika stąd, że dla tej stali wartość poprawki d bardzo intensywnie wzrasta ze wzrostem gniotu. Obliczenia współczynnika rozszerzenia dla większych gniotów (25 do 40%; patrz rys. 8 d) powinno się przeprowadzać wzorem (7) z koniecznym uwzględnieniem poprawki d z wykresów dla ustalonych warunków walcowania.

Wpływ zmiennego gniotu na wartość poprawki d stali 35 HGSA przy stałej temperaturze przedstawiają rysunki 9 a, b, c. Na rysunkach otrzymamy stały mniej więcej i równomierny przyrost tej wartości, przy czym około gniotu 20% następuje przekroczenie wartości 1 i przejście do wartości większych od 1.

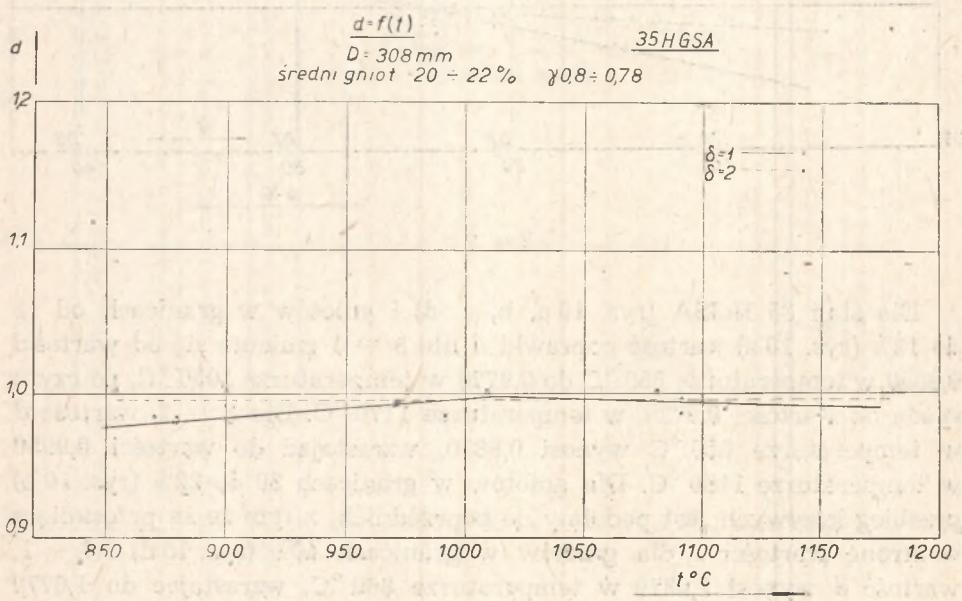


Rys. 9 c

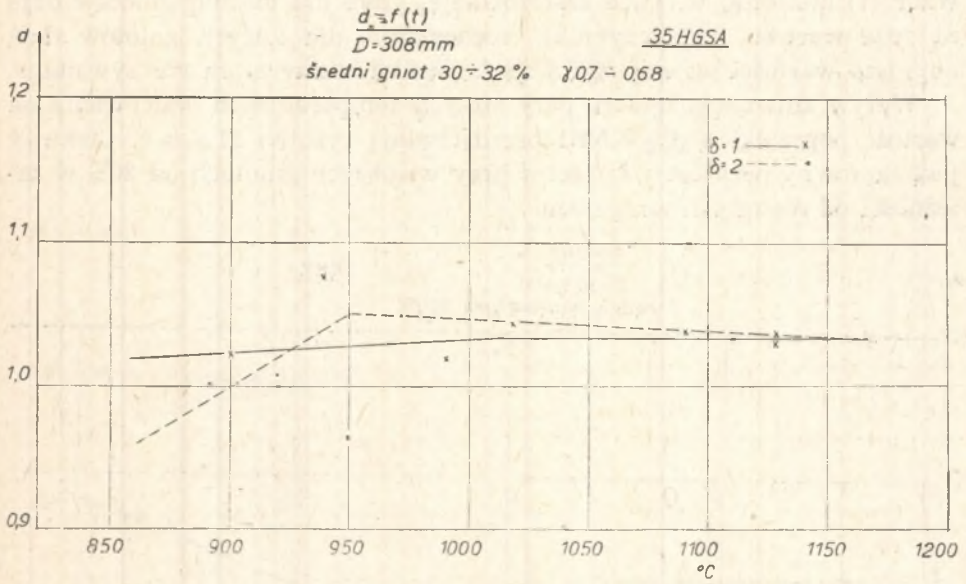
Dla stali 35 HGSA (rys. 10 a, b, c, d) i gniotów w granicach od 11 do 13% (rys. 10 a) wartość poprawki d dla $\delta = 1$ zmienia się od wartości 0,9550 w temperaturze 850 °C do 0,9770 w temperaturze 1050 °C, po czym spada do wartości 0,9720, w temperaturze 1170 °C. Dla $\delta = 2$, wartość d w temperaturze 850 °C wynosi 0,9820, wzrastając do wartości 0,9950 w temperaturze 1180 °C. Dla gniotów w granicach 20 do 22% (rys. 10 b) przebieg krzywych jest podobny do poprzednich, z tym że są przesunięte w stronę wartości 1 dla gniotów w granicach 40% (rys. 10 d) i $\delta = 1$, wartość d wynosi 1,0370 w temperaturze 860 °C, wzrastając do 1,0770 w temperaturze 1180 °C. Dla $\delta = 2$ przebieg jest podobny: w temperaturze 860 °C $d = 1,0200$ wzrastając do 1,0700 w temperaturze 1180 °C.



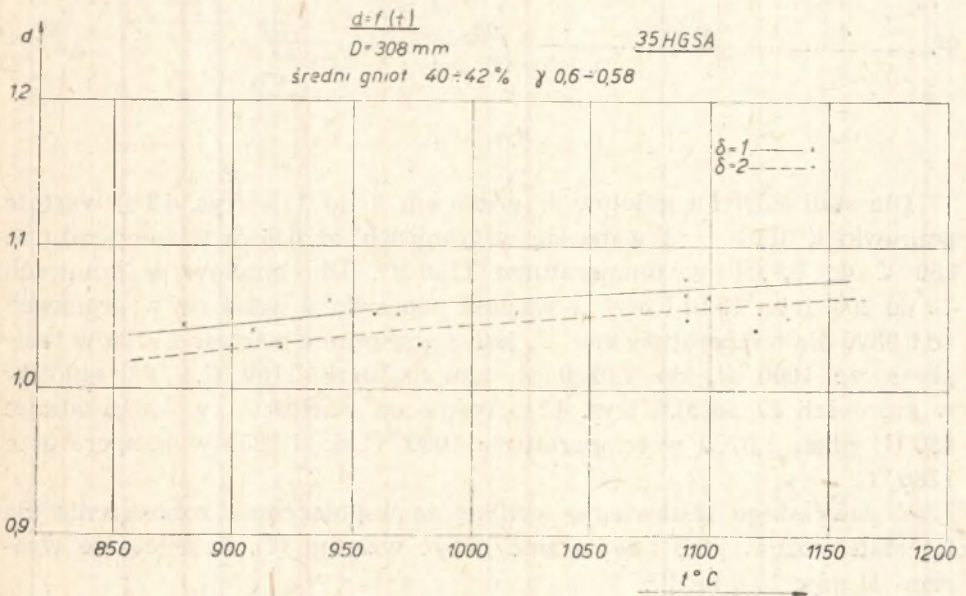
Rys. 10 a



Rys. 10 b



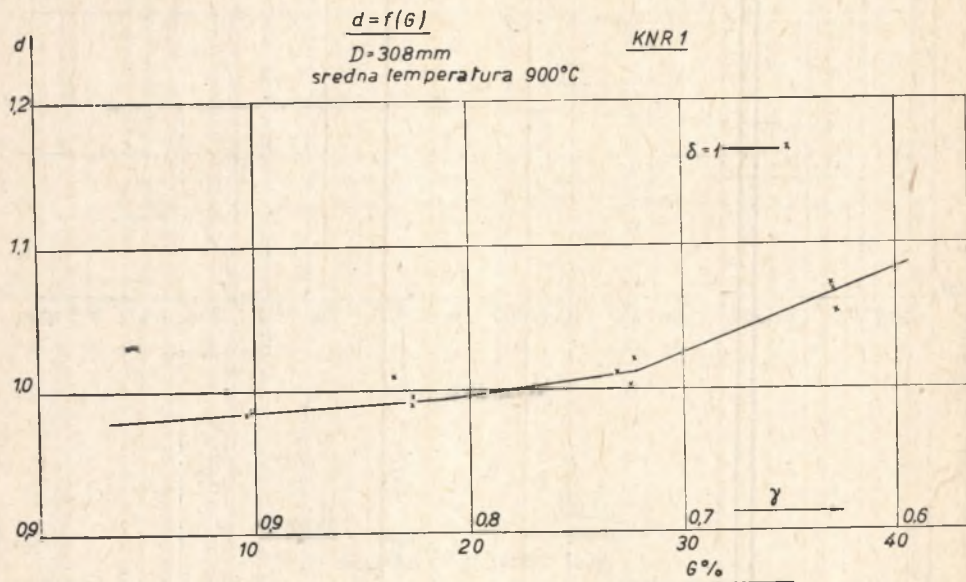
Rys. 10 c



Rys. 10 d

Współczynnik rozszerzenia dla tej stali należy liczyć wzorem (7). Wzór (1) nie może tu mieć zastosowania, gdyż dla niskich gniotów daje za duże wartości współczynnika rozszerzenia, dla dużych gniotów daje mniejsze wartości od wartości współczynnika rozszerzenia rzeczywistego.

Wpływ zmiennego gniotu przy stałych temperaturach walcowania na wartość poprawki d dla KNR1 przedstawiają rysunki 11 a, b, c. Ciekawy jest raptowny przyrost wartości d przy większych gniotach od 20% w zależności od rosnących temperatur.

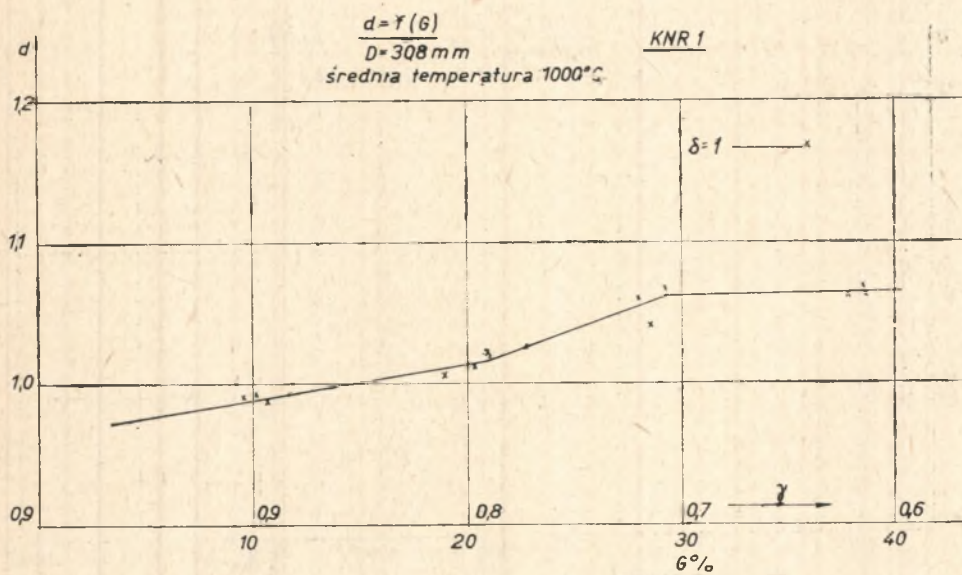


Rys. 11 a

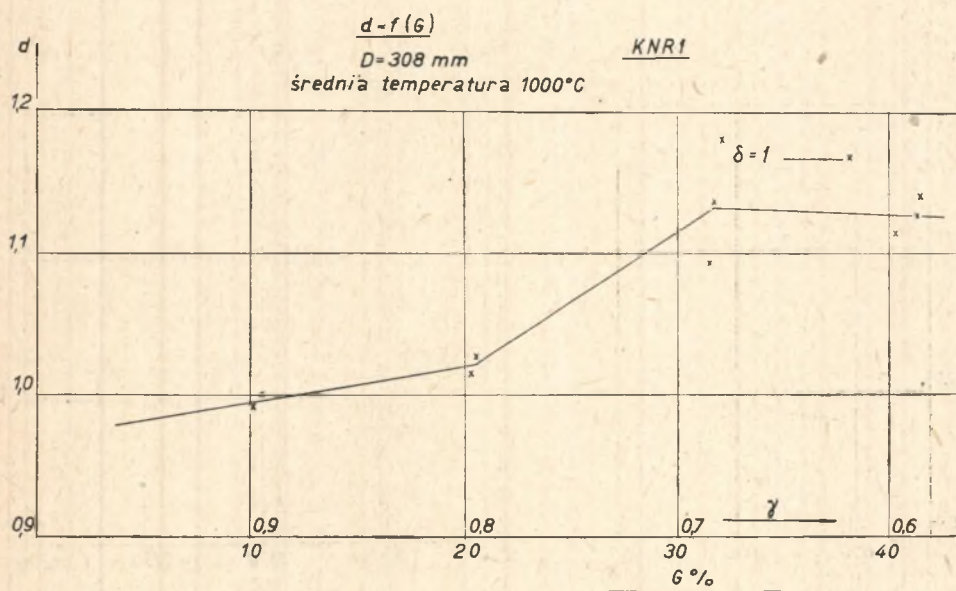
Dla stali KNR1 i gniotów w granicach 9 do 11% (rys. 12 a) wartość poprawki d dla $\delta = 1$ waha się w granicach od 0,9875 w temperaturze 860 °C do 0,9980 w temperaturze 1180 °C. Dla gniotów w granicach 18 do 20% (rys. 12 b) i $\delta = 1$ wartość poprawki d waha się w granicach od 0,9800 dla temperatury 800 °C, jeśli się przyjmie wartość 1,0100 w temperaturze 1000 °C, do 1,0230 w temperaturze 1180 °C. Dla gniotów w granicach 29 do 31% (rys. 12 c) rośnie od wartości 1 w temperaturze 850 °C przez 1,0700 w temperaturze 1060 °C do 1,1350 w temperaturze 1180 °C.

Z powyższego zestawienia wynika, że współczynnik rozszerzenia dla tej stali można tylko i wyłącznie liczyć wzorem (7). Przeliczanie wzorem (1) daje 15% błędu.

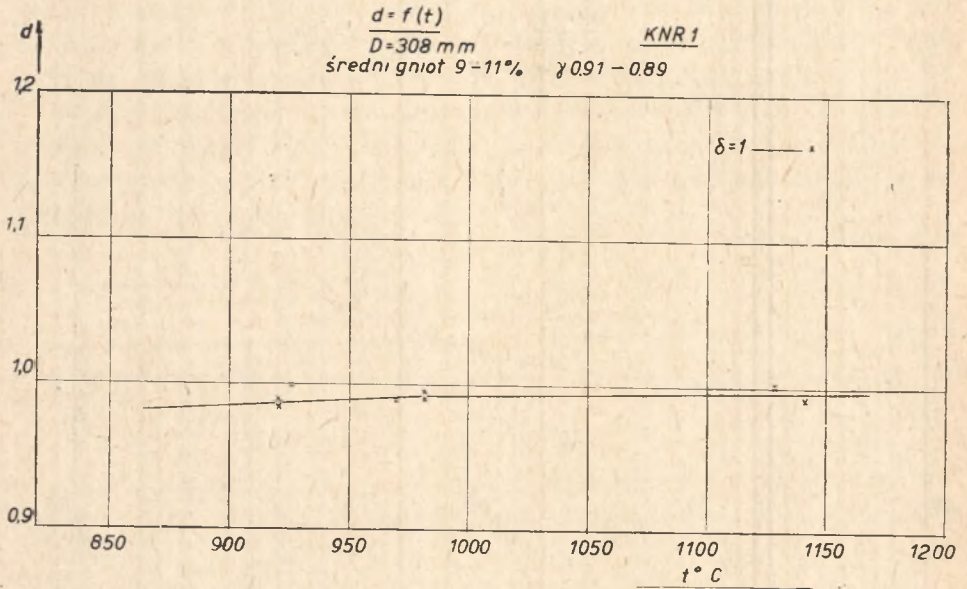
Stal KP2 (patrz rys. 13 a, b, c) wykazuje stosunkowo nieduży przyrost poprawki d do gniotu około 20%, później przyrost ten jest większy.



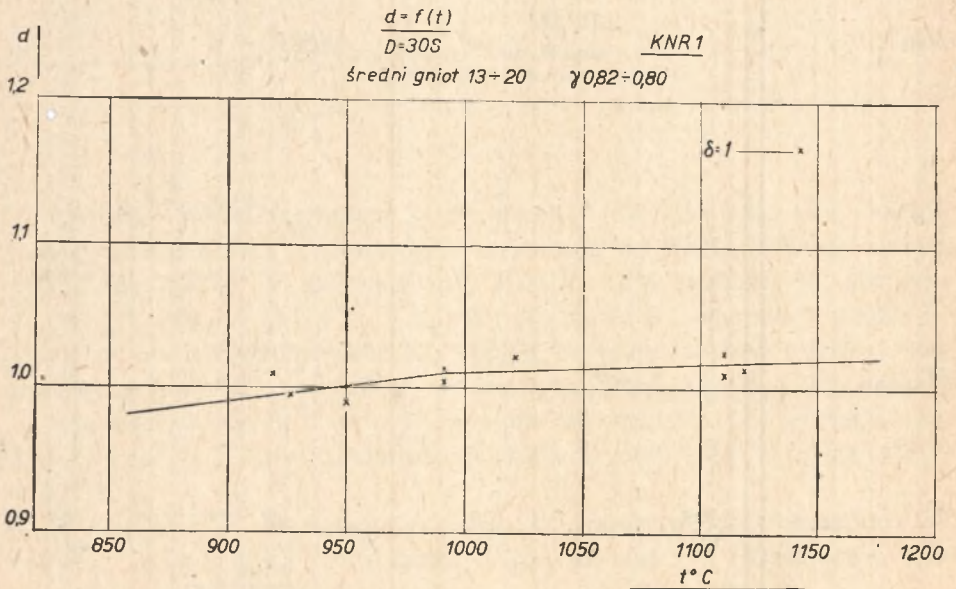
Rys. 11 b



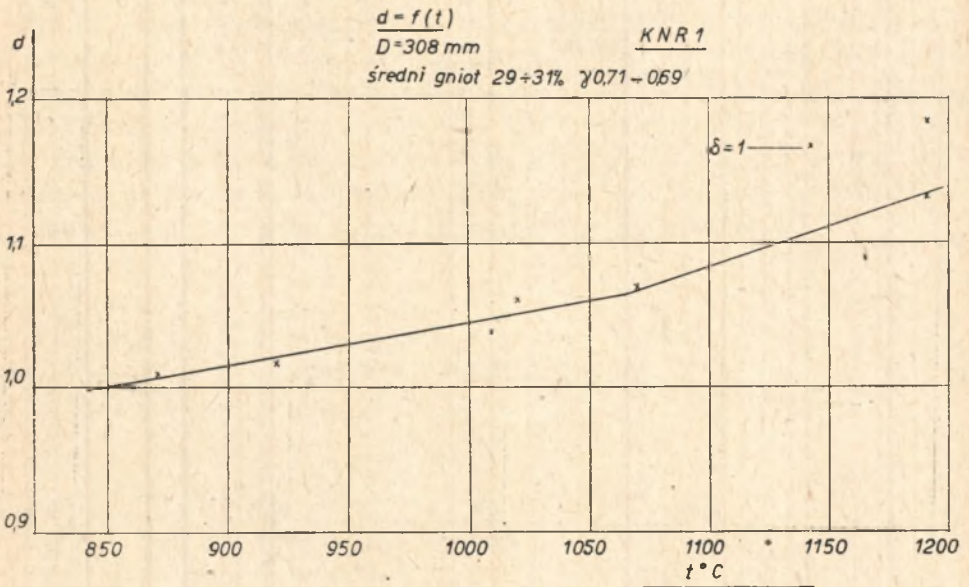
Rys. 11 c



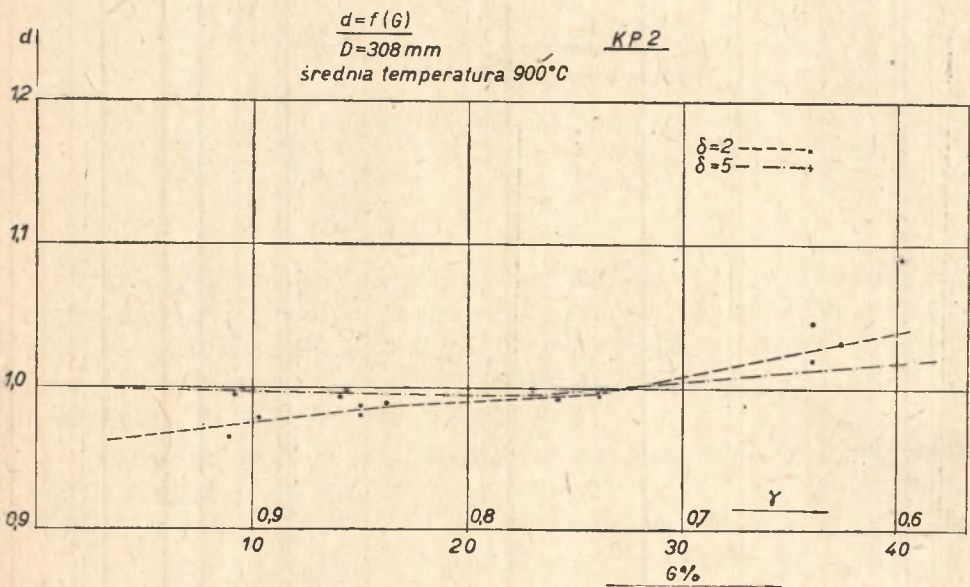
Rys. 12 a



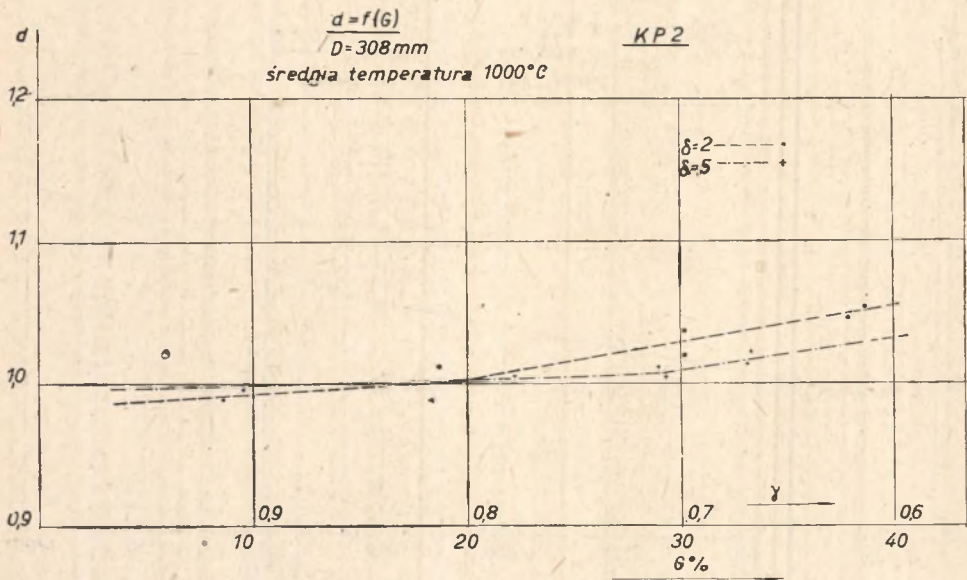
Rys. 12 b



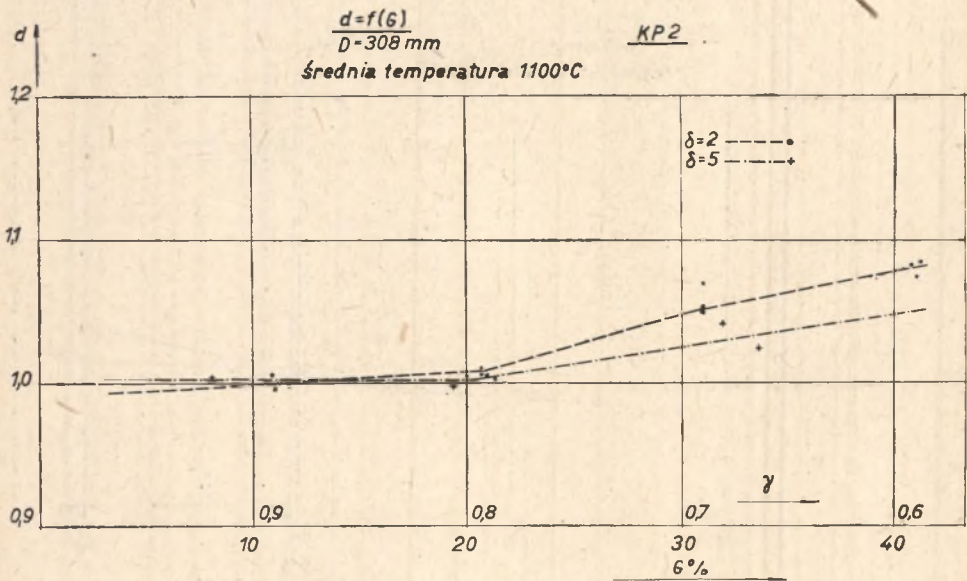
Rys. 12 c



Rys. 13 a

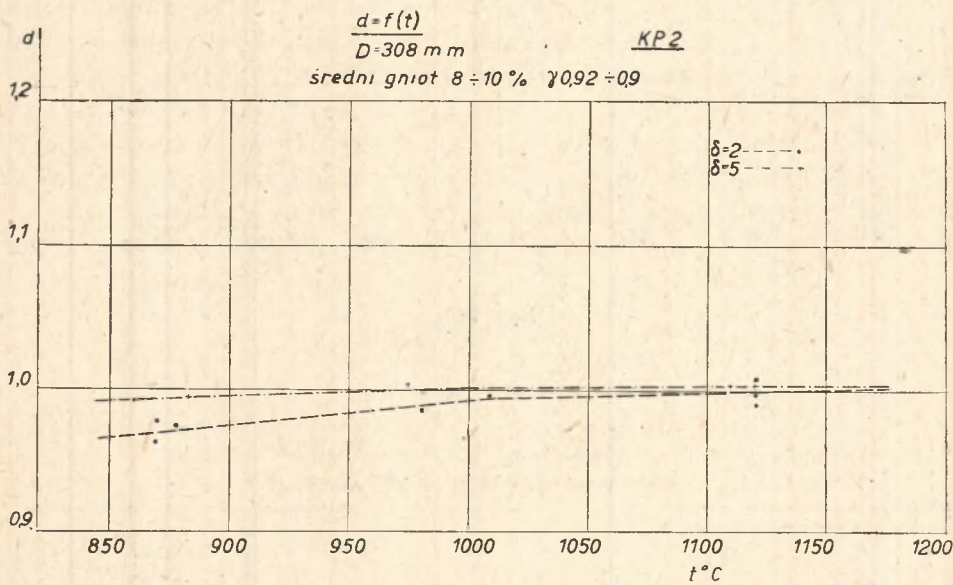


Rys. 13 b



Rys. 13 c

Dla stali KP2 i gniotów w granicach od 8 do 10% (rys. 14 a) wartość poprawki d dla $\delta = 2$ waha się w granicach od 0,9670 dla temperatury 850 °C, przez wartość 0,9900 dla temperatury 1000 °C, do 1,0020 w temperaturze 1190 °C; w tych samych warunkach dla $\delta = 5$, wartość d waha się od 0,9925 w temperaturze 850 °C, przez 1,000 w temperaturze 1000 °C, do 1,0050 w temperaturze 1180 °C. Dla zakresu gniotów (rys. 14 b i c) w granicach 30% charakter krzywych jest podobny do poprzednich z tą różnicą, że poprawka d posiada większą wartość. Śluszne jest tu stosowanie do obliczania współczynnika rozszerzenia wzorem (7).

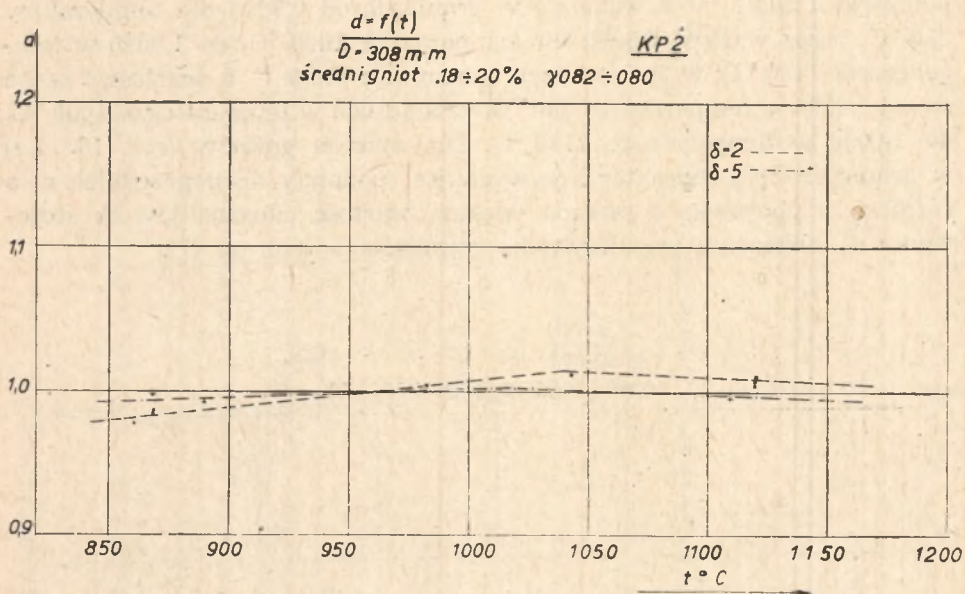


Rys. 14 a

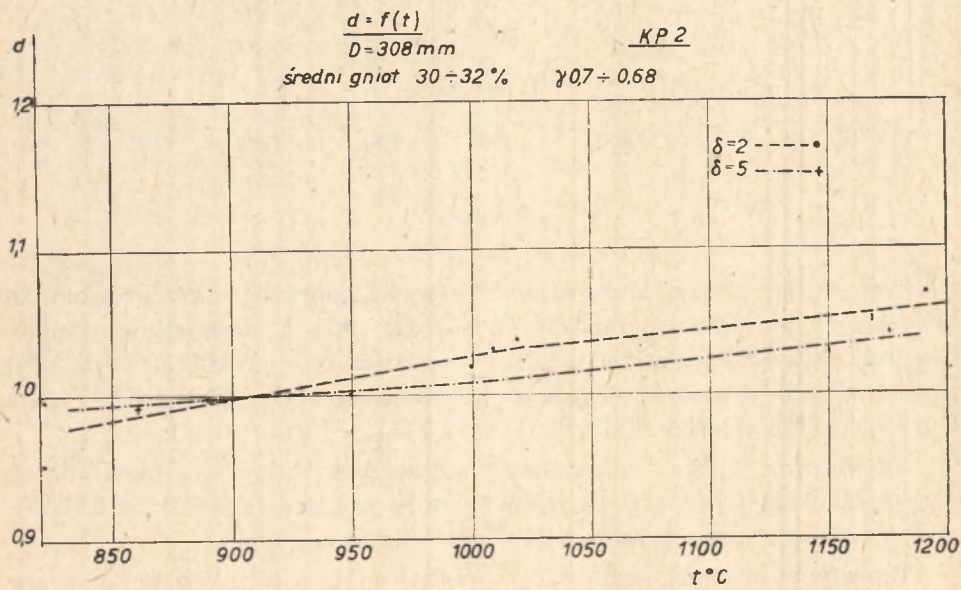
Porównując wyniki otrzymanych wartości poprawki d stwierdzono, że dla dużych gniotów i temperatury powyżej 900 °C szczególnie wielkie, wartości otrzymano dla stali o dużej zawartości chromu H25T (Cr 25,33%) oraz niższych zawartości chromu z dodatkiem niklu KNR1 (Cr 17,01% i Ni 7,01%), 18 HNWA (Cr 1,27% i Ni 3,73%).

Największy wpływ na wielkość rozszerzenia zdaje się mieć nikiel. Przykładem tego jest stal 18 HNWA, która zawiera 1,27% Cr, a 3,73 Ni, przy czym wartość poprawki d jest dość znaczna.

Teoretycznie, chcąc korzystać z poprawek opracowanych w tej pracy dla 7 gatunków stali, należy uwzględnić gatunek stali, wielkość gniotu, średnicę walców, temperaturę walcowania i współczynnik kształtu.



Rys. 14 b



Rys. 14 c

4. Wnioski

1. Otrzymane poprawki d dla współczynników rozszerzenia lub jako odwrotność w stosunku do współczynników wydłużenia można stosować teoretycznie w przypadku walcowania stali w warunkach ustalonych w próbach.

2. W celach praktycznych można się posługiwać wartościami średnimi poprawek d dla pewnych zakresów temperatur i najczęściej stosowanych gniotów przy pozostałych warunkach ustalonych.

3. Decydujący wpływ na wielkość współczynnika rozszerzenia ma wielkość gniotu, skład chemiczny, współczynnik kształtu i współczynnik wałców; nieznaczny — zmiany temperatury walcowania.

4. Przy określaniu wartości poprawek d uwzględniano tylko wpływ składu chemicznego stali.

Przypuszczalnie w wartości poprawki d może kryć się również wartość poprawki uwzględniająca zmiany strukturalne walcowanej stali.

5. Stwierdzono, że najbardziej na rozszerzenie wpływa dodatek niklu w stali, następnie w większych ilościach chrom.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Z. Wusatowski, *Gniot, wydłużenie i rozciąganie w procesie walcowania na gorąco*. Prace Badawcze GIMO. T. I. 1949, str. 27 — 58.
- [2] Z. Wusatowski, i R. Wusatowski, *Wpływ szybkości, temperatury i rodzaju wałców na rozciąganie i wydłużenie w procesie walcowania na gorąco*. Prace Badawcze GIMO. T. 2. 1950, str. 111 — 122.
- [3] Z. Wusatowski, *Podstawy procesu walcowania*. Katowice 1952.
- [4] Z. Wusatowski i E. Szostak, *Ustalenie poprawek do obliczenia wydłużenia i rozciągania przy walcowaniu kilku stali stopowych na gorąco*. Prace IMH. T. 6. 1954, str. 217 — 221.
- [5] K. Markiewicz, *Budowa Instytutu Metalurgii*. Prace IMH. T. 7. 1955, str. 63 — 79.