ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: HUTNICTWO z. 15 Nr kol. 546

Eugeniusz HADASIK, Jacek MAZURKIEWICZ
Antoni PIELA

Instytut Inżynierii Materiałowej

DOKŁADNOŚĆ OPISU ODKSZTAŁCENIA PRZY ZRÓŻNICOWANYM GNIOCIE NA SZEROKOŚĆ PASMA

Streszczenie. W pracy porównano dokładność stosowanych metod obliczeń odkształcenia dla zróżnicowanego rozkładu gniotu na szerokości. Porównaniem objęto próbki o kształcie krzyżowym i dwuteowym o walcowanych jedynie częściach bocznych lub części środkowej oraz obu części jednocześnie dla próbek dwuteowych. Stosowane metody zapewniają dokładniejsze wyniki w przypadku odkształcania części środkowej niż części bocznych.

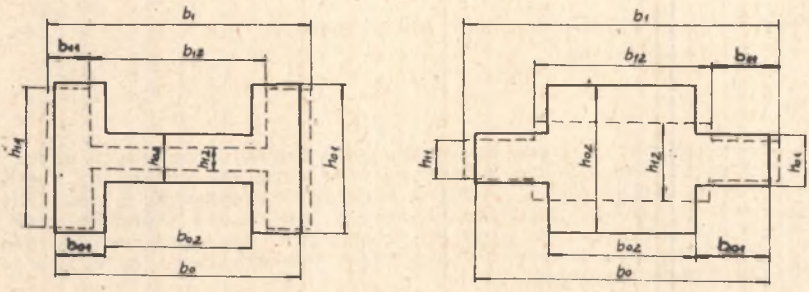
Wprowadzenie

W większości procesów walcowania gniot nie jest stały na szerokości pasma. Występuje albo brak gniotu w pewnych częściach szerokości pasma, jego zaniżenie lub zawyżenie w stosunku do innych części. Powoduje to w ogólnym przypadku powstanie zróżnicowanego stanu naprężenia na szerokości pasma. Części o podwyższonym gniocie, większym od średniego są skracane kosztem wzrostu ich poszerzenia i wypływie z nich materiału do części mniej zgniatanych. W częściach o gniocie mniejszym od średniego otrzymamy większe wydłużenia niż wynikałoby to z ich samodzielnego odkształcenia. Powoduje to zmniejszenie poszerzenia tych części, a nawet prowadzi do ich przewężenia oraz wykorzystanie na wydłużenie wypływającego materiału z części o gniocie większym od średniego. W wyniku otrzymuje się jednakową długość wszystkich części.

Modele odkształcenia tworzone są na bazie porównań pracy odkształcenia wydzielonych części [1], oporów odkształcenia [2] lub naprężeń naciągu powodującego jednakowe ich wydłużenie [3]. W wyniku budowy tych modeli otrzymuje się zależności stosowane do obliczeń. Równocześnie otrzymanie tego typu zależności dokonuje się na drodze empirycznej [4, 5]. Ponieważ w chwili obecnej nie istnieje realna możliwość sprawdzenia poprawności opisu badanych zjawisk poprzez ocenę założeń, dlatego sprawdzenia dokonano poprzez porównanie z wynikami doświadczeń.

Badania

Do badań przyjęto próbki o przekroju dwuteowym i krzyżowym (rys. 1), wykonane ze stali St2 i 45 oraz z ołowiu, który w stosowanych warunkach walcowania dobrze modeluje odkształcenie stali. W większości przypadków porównywano w tych samych grupach doświadczeń wyniki walcowań próbek z ołowiu i stali. Całość doświadczeń wykonano w pięciu wariantach.



Rys. 1. Kształt próbek stosowany do badań (linia przerywana oznacza próbkę przed walcowaniem, linia ciągła po walcowaniu)

1. Próbki krzyżowe z bezpośrednio zgniatanym jedynie środnikiem

Do badań użyto:

a) 23 próbki stalowe o kształcie: $\frac{S_{o2}}{S_o} = 0,4 \div 0,8$, $\frac{ho_2}{ho_2} = 0,67 \div 1,5$

Zakres gniotów na części środkowej wynosił $\gamma_2 = 0,37 \div 0,8$.

Walcowanie wykonano w walcach o średnicy 360 i 310 mm;

b) 39 próbek z ołowiu:

Zakres gniotów na części środkowej wynosił $\gamma_2 = 0,7-0,9$, średnica walców $D_2 = 120$ mm.

2. Próbki krzyżowe z bezpośrednio zgniatanymi częściami bocznymi o kształcie: $\frac{2S_{o1}}{S_o} = 0,1 \div 0,8$; $\frac{b_{o2}}{h_{o2}} = 0,25 \div 1,25$, $\frac{b_{o1}}{h_{o1}} = 0,17 \div 2,5$.

Do badań użyto 34 próbki walcowane gniotem $\gamma_1 = 0,6-0,9$ walcami o średnicy czynnej $D_1 = 120$ mm.

3. Próbki dwuteowe z bezpośrednio odkształconym jedynie środnikiem

Do badań użyto:

a) 22 próbki z ołowiu o kształcie: $\frac{S_{o2}}{S_o} = 0,13 \div 0,6$, $\frac{b_{o2}}{h_{o2}} = 0,25 \div 4,0$ odkształcane walcami bruzdowymi o średnicy $D_2 = 120$ mm gniotem $\gamma_2 = 0,7 \div 0,9$;

b) 17 próbek ze stali o kształcie $\frac{S_{o2}}{S_o} = 0,17 \div 0,66$, $\frac{b_{o2}}{h_{o2}} = 0,67 \div 2,5$, odkształconych walcami bruzdowymi o średnicy 375 i 310 mm gniotem $\gamma_2 = 0,38-0,79$.

4. Próbki dwuteowe z bezpośrednio odkształconymi jedynie stopkami

Do badań użyto 45 próbek z ołowiu o kształcie: $\frac{2S_{o1}}{S_o} = 0,4 \div 0,95$, $\frac{b_{o1}}{h_{o1}} = 0,25 \div 0,67$ odkształconych walcami gładkimi o średnicy 100 mm gniotem $\gamma_1 = 0,75-0,9$.

5. Próbki dwuteowe o równocześnie odkształconych stopkach i środniku

Do badań użyto:

a) 26 próbek z ołowiu o kształcie: $\frac{S_{o2}}{S_o} = 0,13 \div 0,6$, $\frac{b_{o2}}{h_{o2}} = 0,25 \div 0,4$, $\frac{b_{o1}}{h_{o1}} = 0,23-0,63$ odkształconych walcami bruzdowymi o średnicy $D_1 = 105$ mm, $D_2 = 117-120$ mm gniotem na stopki $\gamma_1 = 0,9 \div 0,98$ i gniotem na środnik $\gamma_2 = 0,61 \div 0,84$;

b) 13 próbek stalowych o wymiarach $\frac{S_{o2}}{S_o} = 0,39 \div 0,41$, $\frac{b_{o2}}{h_{o2}} = 0,72 \div 1,4$ i $\frac{b_{o1}}{h_{o1}} = 0,16 \div 0,3$ odkształcanych walcami bruzdowymi o średnicy $D_1 = 280$ i 290 mm, $D_2 = 290$ i 310 mm gniotem na stopki $\gamma_1 = 0,71 \div 0,84$ z gniotem na środnik $\gamma_2 = 0,36-0,76$.

Na podstawie wcześniejszych porównań [4, 5] wybrano jedynie zależności dające najlepsze wyniki:

- Sokołowa

$$\ln \lambda = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_o}{S_{oi}} - 1\right)^2} \cdot \ln \lambda_{Si}; \tag{1}$$

- Zarujewa

$$\ln \lambda = \frac{S_{oi}}{S_o} \cdot \ln \lambda_{si}; \tag{2}$$

- Autorów

$$\ln \lambda = \left[-2\left(\frac{S_{oi}}{S_o}\right)^3 + 3\left(\frac{S_{oi}}{S_o}\right)^2\right] \cdot \ln \lambda_{si}; \tag{3}$$

$$\ln \lambda = -0,99\left(\frac{b_{oi}}{h_{oi}}\right)^{0,61} \cdot \left(\frac{h_{oi}}{D_i}\right)^{0,26} \cdot \left(\frac{S_{oi}}{S_o}\right)^{0,92} \cdot \ln \gamma_i; \tag{4}$$

Tablica 1

Błędy obliczeń współczynników odkształcenia wg wzorów różnych autorów

Lp.	Typ próbki	Materiał	Ilość próbek n	Sokołowa			Zarujewa			Własny [1]			Własny [2]			Własny [3]		
				σ	p%	δ	σ	p%	δ	σ	p%	δ	σ	p%	δ	σ	p%	δ
1	Krzyżowa z odkształconym środnikiem	ołów	39	0,020	1,45	-0,01	0,036	1,86	-0,017	0,021	1,51	-0,014	0,029	1,83	-0,018	0,033	2,81	0,025
		stal	23	0,038	2,42	-0,003	0,040	2,67	-0,025	0,037	2,30	-0,011	0,033	1,78	-0,012	0,035	2,28	0,003
2	Krzyżowa z odkształconymi częściami bocznymi	ołów	34	0,020	1,20	0,005	0,021	1,46	0,007	0,014	0,91	0,005	0,029	1,99	0,016	0,028	1,84	-0,007
		stal							brak danych									
3	Dwuteowa z odkształconym środnikiem	ołów	22	0,024	1,55	0,001	0,023	1,64	0,010	0,021	1,33	0,005	0,029	2,10	0,016	0,029	2,38	-0,016
		stal	17	0,035	2,39	-0,008	0,021	1,55	0,0	0,025	1,75	-0,005	0,029	1,65	0,015	0,024	1,62	-0,011
4	Dwuteowa z odkształconymi stopkami	ołów	45.	0,051	3,9	0,045	0,032	2,45	0,027	0,046	3,48	0,039	0,031	2,44	0,027	0,179	6,93	-0,017
		stal							brak danych									
5	Dwuteowa z odkształconym środnikiem i stopkami	ołów	26	0,020	1,60	-0,011	0,013	0,95	-0,008	0,013	1,00	-0,004	0,025	1,67	0,017	0,038	2,62	0,005
		stal	13	0,068	4,21	-0,048	0,051	3,67	-0,034	0,054	3,90	-0,043	0,036	2,71	0,002	0,108	7,92	0,072

$$\beta = \beta_i \frac{b_{oi}}{b_o} + \beta_{i\pm1} \frac{b_o - b_{oi}}{b_o}; \qquad (5)$$

$$\ln\beta_i = -\left(\frac{b_{oi}}{h_{oi}}\right)^{0,57} \cdot \left(\frac{h_{oi}}{D_i}\right)^{0,24} \cdot \left(\frac{S_{oi}}{S_o}\right)^{0,34} \cdot \ln\gamma_i$$

$$\ln\beta_{i\pm1} = \left(\frac{b_{oi\pm1}}{D_{i\pm1}}\right)^{0,49} \cdot \left(\frac{S_{oi\pm1}}{S_o}\right)^{1,1} \cdot \ln\gamma_{i\pm1}$$

gdzie:

γ, β, λ - współczynnik gniotu, poszerzenia, wydłużenia,

h, b, S - wysokość, szerokość, pole przekroju poprzecznego pasma,

D - średnica walców.

Pierwszy indeks oznacza stan przed walcowaniem 0 lub po walcowaniu 1, indeks drugi część pasma 1 lub 2.

λ_{si} - współczynnik wydłużenia części "i" osobno walcowanej [4, 5].

W przypadku jednoczesnego odkształcania całego pasma gniotem bezpośrednim współczynniki odkształcenia liczono tak, jakby pasmo było odkształcane w dwóch kolejnych przepustach (osobno części boczne i środnik).

Wyniki obliczone podstawowymi zależnościami porównano z pomiarowymi i w efekcie otrzymano wskaźniki oceny błędu zamieszczone w tablicy 1.

Przyjęto trzy podstawowe wskaźniki:

- oszacowane odchylenie standardowe wyników obliczeń (x obl) od pomiaru (x_p)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_p - x_{obl})^2}{n-1}},$$

- średni bezwzględny błąd procentowy

$$p\% = \frac{\sum \frac{|x_p - x_{obl}|}{x_p} \cdot 100}{n},$$

- średnie odchylenie wyników obliczeń od pomiarów

$$\delta = \frac{\sum(x_p - x_{obl})}{n},$$

dające pogląd o średnim zawyżeniu lub zaniżeniu wyników.

Analiza wyników

Z tablicy 1 opracowanej na podstawie 219 prób wynika, że średni błąd obliczeń jest w zakresie kilku procent. Najdokładniejsze wyniki dla ołowiu jak i stali zapewniają zależności (3) i (4), nieco gorsza pod tym względem jest zależność (1), a następnie (2). Błąd w badanych przypadkach sięga zakresu błędu doświadczeń i wydaje się, że dokładność tych wyników jest wystarczająca nie tylko dla praktyki ale i do badań odkształcenia tego typu próbek. Największe odchylenie wyników obliczeń od pomiarów stwierdzono w przypadku odkształcania stopek dwuteownika. Spowodowane jest to odmiennymi warunkami odkształcenia środnika, który jest unieruchomiony na szerokości przez siły tarcia występujące na powierzchni stopek. Tak więc zmiany szerokości środnika są bardzo ograniczone i mogą się dokonywać jedynie po pokonaniu sił tarcia występujących na powierzchni środnika oraz na powierzchni styku walców ze stopkami. Zostało to potwierdzone także przez charakter odkształcenia stopek. Otrzymano wygięcie stopek na zewnątrz w przypadku zwiększonego poszerzenia środnika i powstania wklęsłości przy zwiększonym wydłużeniu (przewężeniu środnika). Zjawisko to jest zależne od stosunku gniotów środnika i stopek oraz ich udziału w całkowitej masie kształtownika. Z tego powodu autorzy uważają, że dokładność wzorów na wydłużenie w przypadku walcowania części bocznych jest istotnie mniejsza niż przy walcowaniu części środkowych pasma. Różnica ta jest szczególnie widoczna przy porównaniu średniego odchylenia wyników obliczeń od pomiarów dla próbek dwuteowych z walcowanym środnikiem lub osadzonymi stopkami. Dla próbek dwuteowych z osadzonymi stopkami otrzymano zdecydowanie zawyżone wydłużenia. W miarę udziału zgniatanych części bocznych w całkowitej masie kształtownika zwiększa się ich oddziaływanie na środnik, a w efekcie niedokładności wzorów także i błąd wyników. Powoduje to większe błędy dla wariantu 4 niż dla wariantu 2 co potwierdza porównanie odchyleń standardowych na podstawie testu F dla wzorów (1),(2), (3) i (5). Podobnie przedstawia się i daje podobne rezultaty analiza błędów wariantu 3 i 5. Występuje istotne zwiększenie błędów dla wariantu 5, co tłumaczy się gniotem na boczne części pasma oraz ich dużym udziałem w masie całego kształtownika. Porównanie wariantu 1 i 2 sugeruje większe błędy dla przypadku zgniatania części bocznych, jednakże ich mały udział nie powoduje istotnego wzrostu błędu, tzn. tak dużego, by można to wykazać przy pomocy testu F i poziomu istotności $\alpha = 0,05$ dla wszystkich wzorów.

Wzory na współczynnik poszerzenia dają na ogół większy błąd niż dla analogicznych przypadków wzory na λ. Spowodowane jest to mniejszą dokładnością wyników pomiaru, a w efekcie większym odchyleniem od wyników obliczeń (wzory na β są empiryczne). W zależnościach tych spotyka się także poprzednio opisane zjawisko odmiennego odkształcenia pasma przy zgniataniu części bocznych. Uwidocznia się to w postaci występienia ma-

ksymalnych błędów dla wariantu 4 i 5, tj. dla przypadku walcowania bocznych części pasma.

Porównanie wyników dla ołowiu jak i dla stali prowadzi do stwierdzenia, że dla poprawnie opisanego modelu odkształcenia odchylenia wyników dla obu materiałów nie różnią się istotnie.

Wnioski

1. Wzory (3) i (4) zapewniają największą dokładność wyników obliczeń współczynników odkształcenia przy walcowaniu z nierównomiernym gniotem na szerokości pasma.
2. Dokładność wszystkich wzorów jest większa przy walcowaniu części środkowych niż bocznych, co jest szczególnie widoczne w przypadku walcowania dwuteownika.
3. Dla porównywanych wariantów ołów z zadowalającą dokładnością modeluje odkształcenie stali.

LITERATURA

[1] Zarujew W.: Stal 1947, nr 9, s. 272.
[2] Sokołow Ł.D.: Stal 1946, nr 6, s. 375.
[3] Mazurkiewicz J.: Archiwum Hutnictwa, 1976 (w druku).
[4] Mazurkiewicz J., Hadasik E., Piela A.: Hutnik 1975, nr 12, s. 495.
[5] Mazurkiewicz J., Hadasik E., Piela A.: Hutnik, nr 5, s. 201.

ТОЧНОСТЬ ОПИСАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ОБЖАТИИ НА ШИРИНЕ ПОЛОСЫ

Р е з ю м е

В работе даны сравнения точности применяемых методов расчета деформации при неравномерном обжатии на ширине полосы. Сравнением охвачены образцы крестовой и двутаврогой формы с прокатанными боковыми и центральными частями. В двутавровых образцах все части тоже прокатаны одновременно. Применяемые методы дают блее точные результаты в случае деформации центральной части, чем боковые части.

THE PRECISION OF THE DESCRIPTION OF DEFORMATION WITH THE DIFFERENT DRAFT FOR THE WIDTH OF A ROLLED SECTION

S u m m a r y

The precision of the appllied calculation methods of deformation for the different draft on its width have been tested in the paper. The testing has been based on the comparison of the calculation results with the experimental results. The error of the most exact method has been the smallest in the case of maximum draft in the middle of the width of rolled section.