ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Hutnictwo z. 6 Nr kol. 440

Andrzej Sobański, Eugeniusz Hadasik
Jan Łukowski

Politechnika Śląska
Instytut Inżynierii Materiałowej

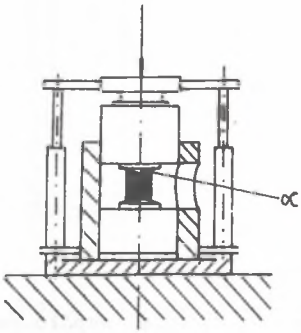
OCENA NIEKTÓRYCH METOD WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA

Streszczenie: Wykonano próby porównawcze wyznaczenia współczynnika tarcia przy plastycznym odkształcaniu metodami spęczania płytami stożkowymi, spęczania pierścieni, maksymalnego kąta chwytu i granicznego kąta walcowania próbek ze stali 1H18N9T, żelaza Armco i miedzi MD1 w różnych warunkach smarowania. W wyniku analizy wyników jako optymalną uznano metodę spęczania pierścieni.

W procesach przeróbki plastycznej przy obliczaniu podstawowych parametrów walcowania, kucia, ciągnienia itp. zachodzi potrzeba określenia wartości współczynnika tarcia. Dla jego wyznaczenia przy plastycznym odkształcaniu w literaturze można znaleźć szereg metod pomiaru i wzorów. Brak ich porównawczej oceny często jest powodem trudności w właściwym wyborze. W przedstawionej pracy postanowiono przeprowadzić porównanie kilku podstawowych metod wyznaczania współczynnika tarcia: spęczanie płytami stożkowymi [1], spęczanie pierścieni [2], maksymalnego kąta chwytu oraz granicznego kąta walcowania [3, 4]. Badania wykonano na próbkach ze stali 1H18N9T, żelaza Armco E04 i miedzi MD1 prowadząc próby bez smarowania oraz ze smarowaniem olejem silnikowym Ekstra 7U i olejem palmowym. Płyty naciskowe w metodzie stożków i spęczania pierścieni wykonano ze stali NC10 o powierzchni dokładnie szlifowanej.

1. Metoda spęczania płytami stożkowymi

Metoda ta polega na ściskaniu między dwiema stożkowymi płytami walcowanej próbki z stożkowymi wgłębnieniami na powierzchniach czołowych odpowiadających kształtowi płyt naciskowych. Miarą współczynnika tarcia jest tangens nachylenia tworzącej stożka w kierunku prostopadłym do obciążenia, przy którym zachodzi równomierne ściskanie (tworzące walca pozostają równoległe). Próbki o wymiarach $d_o \times h_o = 20 \times 30$ mm z powierzchniami czołowymi dokładnie szlifowanymi, dla zapewnienia współosiowości, ściskano w specjalnym przyrządzie zamontowanym w prasie hydraulicznej (rys. 1). Sto-



Rys. 1. Przyrząd do wyznaczania współczynnika tarcia metodą spęczania płytami stożkowymi

sowano płyty naciskowe o kątach stożków $\alpha = 2^0, 3^0, 4^0 20', 5^0 40', 6^0 30', 8^0, 9^0 30'$. Gniot przy ściskaniu każdorazowo był równy 20%. Dla dokładnego określenia współczynnika tarcia wyniki pomiaru zmiany średnicy

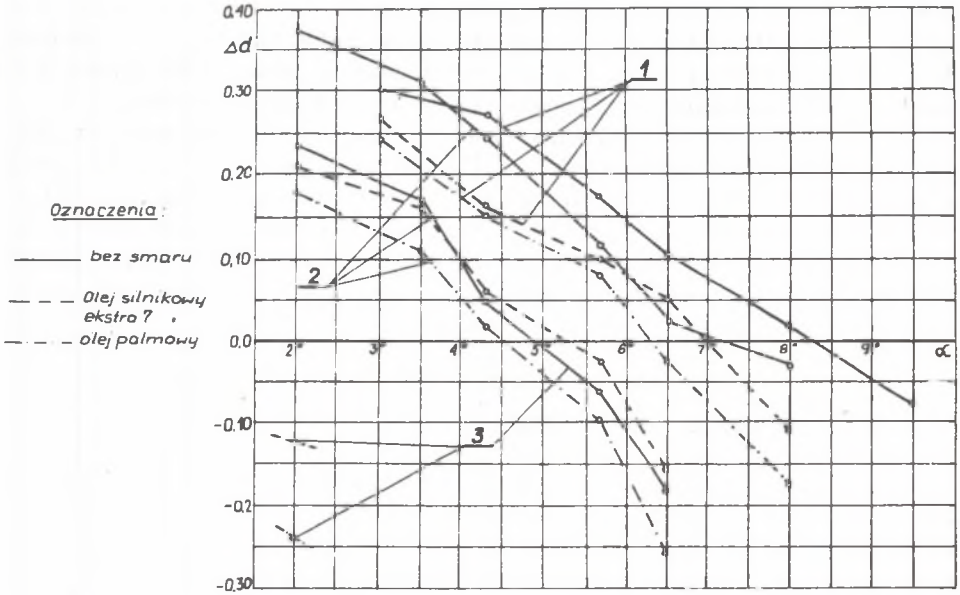
$$\Delta d = \frac{d_g - d_d}{2} - d_ś,$$

gdzie:

d_g, d_d - średnica próbki mierzona odpowiednio w górnej i dolnej jej podstawie,

$d_ś$ - średnica próbki mierzona w środku jej wysokości,

przedstawiono w postaci zależności $\Delta d = f(\alpha)$ (rys. 2). Kąt α, przy którym $\Delta d = 0$ jest równy kątowi tarcia ϱ, a współczynnik tarcia $\mu = tg\varrho$. Wyznaczone tą metodą współczynniki tarcia zestawiono w tablicy 1. Dla próbek z miedzi ściskanych ze smarowaniem płyt naciskowych



Rys. 2. Wpływ kąta nachylenia tworzącej stożka na zmianę średnicy próbki przy zmiennych warunkach smarowania;
1 - stal 1H18N9T, 2 - żelazo Armco E04, 3 - Miedź MD1

przy najmniejszym kącie stożka $\alpha = 2^{o}$ uzyskano $\Delta d < 0$, a dla większych wartości kątów próbki wyślizgiwały się z pomiędzy płyt naciskowych. Kąt tarcia musi być zatem mniejszy od 2°, co odpowiada wartości współczynnika tarcia $\mu < 0{,}035$.

Tablica 1

Wartości współczynnika tarcia wyznaczonego metodą spęczania płytami stożkowymi

Materiał	Współczynnik tarcia		
	bez smaru	smar. olej silnikowy	smar. olej palmowy
stal 1H18N9T	0,145	0,122	0,114
żelazo Armco E04	0,124	0,091	0,079
miedź MD1	0,086	<0,035	<0,035

2. Metoda spęczania pierścieni

Praktyczne określenie współczynnika tarcia tą metodą polega na ściskaniu między płaskimi płytami pierścienia o odpowiednio dobranych wymiarach średnicy zewnętrznej d_z, średnicy wewnętrznej d_w i wysokości pierścienia h tak, aby $d_z : d_w : h = 6 : 3 : 2$. Współczynnik tarcia wg tej metody wyrażony jest funkcją zmiany gniotu i średnicy wewnętrznej pierścienia:

$$\mu = f\left(\varepsilon, \frac{d_{w1} - d_{wo}}{d_{wo}}\right),$$

gdzie:

d_{wo}, d_{w1} - średnica wewnętrzna pierścienia przed i po spęczaniu,

ε - gniot względny.

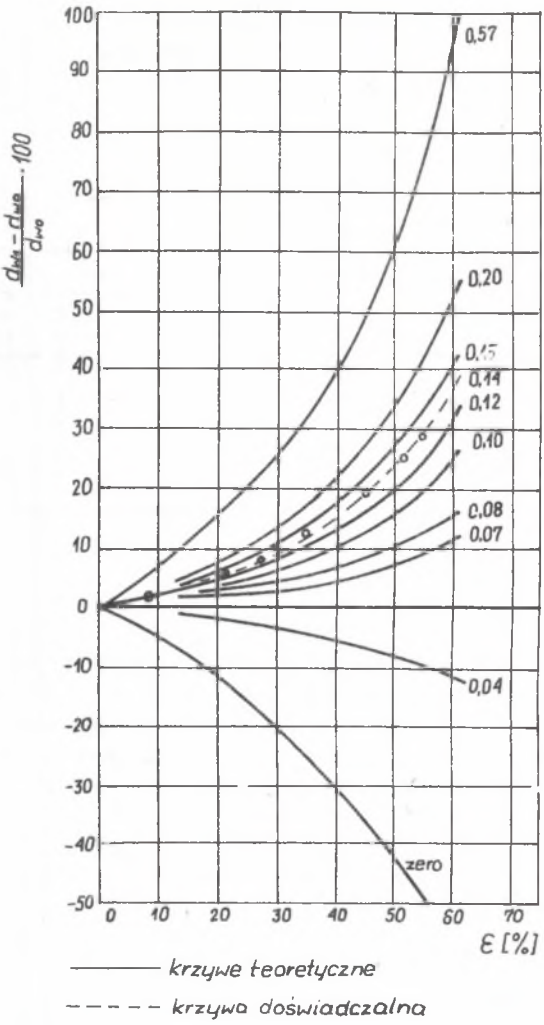
Funkcja ta przedstawiona została przez Male i Cockcrofta [2] w postaci wykresu, a także wyrażona empirycznymi zależnościami:

$$\mu = 0{,}055 \exp \frac{\Delta d_w}{m},$$

$$\ln m = 4{,}4 \frac{h_o - h_1}{h_o} + 10{,}6,$$

słusznymi dla $0{,}055 < \mu < 0{,}57$ i $20\% < \varepsilon < 60\%$. W polskim piśmiennictwie wykres wspomnianej funkcji przytoczono również w [5, 6].

Do wyznaczenia współczynnika tarcia tą metodą stosowano pierścienie o wymiarach $d_z \times d_w \times h = 21 \times 10{,}5 \times 7$ mm z powierzchniami dokładnie szlifo-



Rys. 3. Wykreślne wyznaczenia współczynnika tarcia w zależności od gniotu i zmian średnicy wewnętrznej spęczonego pierścienia dla stali 1H18N9T, bez smarowania

wanymi, odkształcając je gniotami w zakresie 10 do 60%. Wyniki z prób spęczania pierścieni ze stali 1H18N9T bez smarowania przedstawiono na wykresie, rys. 3. Całość uzyskanych wyników zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Wartości współczynnika tarcia wyznaczonego metodą spęczania pierścieni

Materiał	Współczynnik tarcia		
	bez smaru	smar. olej silnikowy	smar. olej palmowy
stal 1H18N9T	0,140	0,110	0,100
żelazo Armco E04	0,130	0,110	0,150
miedź MD1	0,100	0,045	0,036

3. Metoda maksymalnego kąta chwytu

Współczynnik tarcia w tej metodzie określa się z równości kąta tarcia ϱ i maksymalnego kąta chwytu $\alpha_{ch\ max}$ przy walcowaniu, obliczonego ze wzoru:

$$\mu_{ch} = t\,\varrho = tg\,\alpha_{ch\ max},$$

$$\alpha_{ch\ max} = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h_{max}}{D}\right),$$

gdzie:

Δh_{max} - maksymalny gniot bezwzględny,

D - średnica walców.

Stosowano próbki o wymiarach $h_o \times b_o \times l_o = 6 \times 20 \times 170$ mm, które walcowano z prędkością 1m/sek w walcarce kwarto o średnicy walców roboczych dokładnie szlifowanych D = 130 mm. Otrzymane wyniki zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Wartości współczynnika tarcia wyznaczonego metodą maksymalnego kąta chwytu i granicznego kąta walcowania

Materiał	Współczynnik tarcia wg metody			
	granicznego kąta walcowania			max kąta chwytu
	bez smaru	smar. olej silnikowy	smar. olej palmowy	bez smaru
stal 1H18N9T	0,148	0,129	0,110	0,216
żelazo Armco E04	0,131	0,112	0,105	0,196
miedź MD1	0,114	0,098	0,076	0,161

4. Metoda granicznego kąta walcowania

W metodzie tej współczynnik tarcia określa się z równości kąta tarcia i połowy granicznego kąta walcowania α_{gr} odpowiadającego gniotowi uzyskanemu przy walcowaniu próbki klinowej.

$$\mu = tg\frac{\alpha_{gr}}{2}, \quad \cos\alpha_{gr} = 1 - \frac{\Delta h_{max}}{D}.$$

Współczynnik tarcia wyznaczono poddając walcowaniu w walcarce kwarto o średnicy walców roboczych 130 mm, próbki w kształcie klina o wymiarach $h_{min} \times h_{max} \times b \times l = 6 \times 14 \times 14 \times 170$ mm. Wyniki zamieszczono w tablicy 3.

5. Analiza wyników

Przedstawione wyniki badań współczynnika tarcia wykazują dobrą zgodność wartości uzyskiwanych trzema metodami: spęczania pierścieni, spęczania płytami stożkowymi i granicznego kąta walcowania. W zmiennych warunkach smarowania dla stali 1H18N9T i żelaza Armco różnice pomiędzy wynikami tych trzech metod są mniejsze od 20%, przy czym szczególnie dużą zgodność wykazują metody spęczania pierścieni i granicznego kąta walcowania.

Za pomocą metody spęczania płytami stożkowymi uzyskano wyniki zaniżone w stosunku do pozostałych metod dla miedzi i w mniejszym stopniu dla żelaza Armco w przypadku stosowania smaru. Wartości współczynnika tarcia $\mu < 0{,}035$ należy uważać za nierealne w tych warunkach. Metoda ta w zastosowaniu praktycznym jest niewygodna ze względu na konieczność wykonania specjalnych narzędzi w dużej ilości kompletów i trudności związane z dokładnością wykonania zarówno próbek jak i płyt naciskowych. Z tych względów nie należy jej zalecać.

Metoda maksymalnego kąta chwytu daje wyniki zawyżone w stosunku do pozostałych metod w granicach 40 do 100%. Stosunek współczynnika tarcia wyznaczonego tą metodą do średniej wartości współczynnika tarcia wyznaczonego metodą granicznego kąta walcowania μ_{ch}/μ jest równy 1,46 dla stali 1H18N9T, 1,50 dla żelaza Armco oraz 1,41 dla miedzi, co jest zgodne z danymi przytoczonymi w literaturze [4]. W metodzie spęczania pierścieni uzyskano bardzo zbliżone wyniki niezależne od stosowanego gniotu (rys. 3). Wykonanie próbki jest stosunkowo proste pomimo niezbędnej wysokiej dokładności, szczególnie w stosunku do średnicy wewnętrznej. Jej pomiar przed i po spęczaniu, dla uzyskania wiarygodnych wyników winien być wykonany z dokładnością do 0,01 mm co jest możliwe przy pomocy mikroskopu warsztatowego. W wyniku istniejącej anizotropii materiału otwór wewnętrzny może przyjmować kształt eliptyczny, co przy dużych gniotach staje się powodem

nie układania się punktów na krzywej teoretycznej. Z tego względu stosowane gnioty należy ograniczać do max. 50%.

Metoda granicznego kąta walcowania spośród omawianych czterech metod jest najbardziej zbliżona do warunków istniejących w realnym procesie walcowania. Niedogodnością tej metody jest konieczność doboru określonych wymiarów próbki odpowiednio do średnicy walców dysponowanej walcarki i niemożliwość przeprowadzenia prób dla zmiennych warunków gniotu.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analiza ich wyników wskazują na celowość stosowania próby spęczania pierścieni do wyznaczania współczynnika tarcia przy odkształceniu plastycznym. Metoda ta może służyć zarówno do oceny jakości i przydatności smaru jak i doboru współczynnika tarcia niezbędnego w analitycznych obliczeniach parametrów siłowych procesów przeróbki plastycznej.

LITERATURA

[1] Siebel E., Pomp A.: Mitt. Kaiser - Wilhelm Institut fur Metallforschung, t. 9 (1927), s. 157.

[2] Male A., Cockcroft M.: The Journal of the Institute of Metals, 1964, nr 7, s. 38.

[3] Dahl T.: Stahl und Eisen, 1937 nr 8.

[4] Pawłow J., Fiszgold R.: Obrabotka stali i spławow, t. XXXVI, Metallurgizdat, Moskwa 1957.

[5] Potrawiak H.: Obróbka Plastyczna, t. 7, zeszyt 3-4, s. 493.

[6] Laboratorium z obróbki plastycznej metali, skrypt uczelniany Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1973.

ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦЕНТА ТРЕНИЯ

Р е з ю м е

Сделано сравнительные испытания при пластической деформацим методами сжатия конусообразиыми плитами, сжатия колец, максимального угла захвата и граничного угла прокатки образцов со стали IHI8N9T, железа Армко и мели МДI в различных условиях смазки. В результате анализа оптимальным признан метод сжатия колец.

THE EVALUATION OF SOME METHODS OF DETERMINING A COEFFICIENT OD FRICTIONS

S u m m a r y

Some comparative test have been performed to determine a coefficient of friction during plastic strain using the method of conic plate upsetting, the ring upsetting, the maximum angle of bite and the limitint rolling angle of 1H18N9T steel samples as well as Armco iron and MD1 copper in different lubrication conditions.