

Zygmunt Rafalski
Antoni Stylok

Instytut Inżynierii Materiałowej

BADANIE OPORU KSZTAŁTOWANIA PRZY SPĘCZANIU STALI NISKOWĘGLOWYCH
W FUNKCJI ODKSZTAŁCEN PIERWOTNYCH

Streszczenie. W artykule zamieszczono wyniki badań nad wielkością oporu kształtowania w procesie spęczania materiałów uprzednio ciągniętych. Znalezione optymalne wielkości gniotów przy ciągnięciu dla których opór kształtowania przyjmuje wartość minimalną. Badania przeprowadzono dla stosunkowo dużych wartości odkształceń trwałych (przy ciągnięciu $\epsilon_1 = 1,4$; przy spęczaniu $\epsilon_h = 1,2$).

1. Wprowadzenie

Ciągnięcie prętów oraz spęczanie materiału są operacjami, w których odkształcenia zachodzą w przeciwnych kierunkach. Przy ciągnięciu materiał zmniejsza, a przy spęczaniu zwiększa przekrój prostopadły do kierunku działania siły zewnętrznej. W przeróbce plastycznej na zimno procesy te dość często występują po sobie. Jeśli pomiędzy ciągnięciem i spęczaniem stali nie zastosujemy obróbki cieplnej, to efekt ciągnięcia będzie miał wpływ na przebieg procesu spęczania.

Badania nad różnokierunkowym odkształceniem przeprowadzone przez wielu autorów wykazały, że wielkość oporu kształtowania, występującego przy odkształceniach wtórnych o przeciwnym kierunku, uzależniona jest od wielkości odkształceń pierwotnych, przy czym dla pewnych stopni odkształceń pierwotnych opór ten przyjmuje wartość minimalną.

Pod pojęciem odkształceń pierwotnych autorzy rozumieją odkształcenia, jakim uległ materiał w procesie ciągnięcia, a pod pojęciem odkształceń wtórnych odkształcenia, jakim poddano materiał w procesie spęczania.

Przeprowadzono więc badania w celu określenia wielkości odkształceń pierwotnych uzyskanych w procesie ciągnięcia walcówki ze stali niskowęglowej z mikrodotądkiem boru, przy których to odkształceniach jednostkowy nacisk odkształcający przy ściskaniu byłby minimalny.

2. Badania własne

2.1. Badane stale

Badania przeprowadzono na grupie stali niskowęglowych z mikrodotadkiem boru oraz stali St 2A wg Bn-64/0644-03.

W tablicy 1 zestawiono oznaczenia i składy chemiczne badanych stali, a na rynku 1 wykresy zmian własności mechanicznych w funkcji gniotu przy oiągnieniu. Szersze omówienie ww. stali oraz parametry procesu ciągnienia zamieszczono w artykule pt. "Zmiana własności mechanicznych stali niskowęglowych z mikrodotadkiem boru w procesie ciągnienia. Wyznaczanie krzywych umocnienia", drukowanym w bieżącym numerze.

Tablica 1

Oznaczenia i skład chemiczny badanych stali

Ozna- czenie	C	Mn	Si	P	S	Cr	B	Al
IB 18	0,19	1,16	0,34	0,017	0,027	0,26	0,0027	-
IB 20	0,21	1,02	0,28	0,012	0,020	0,24	0,0037	-
3234	0,21	0,70	0,25	0,012	0,010	-	0,0024	0,034
3240	0,20	0,85	0,20	0,014	0,020	-	0,0011	0,031
3246	0,19	0,61	0,23	0,017	0,024	0,57	0,0016	0,040
3251	0,21	1,24	0,10	0,018	0,023	-	0,0020	0,040
St 2A	0,11	0,35	-	0,040	0,045	-	-	-

2.2. Krzywa oporu kształtowania przy spęczaniu

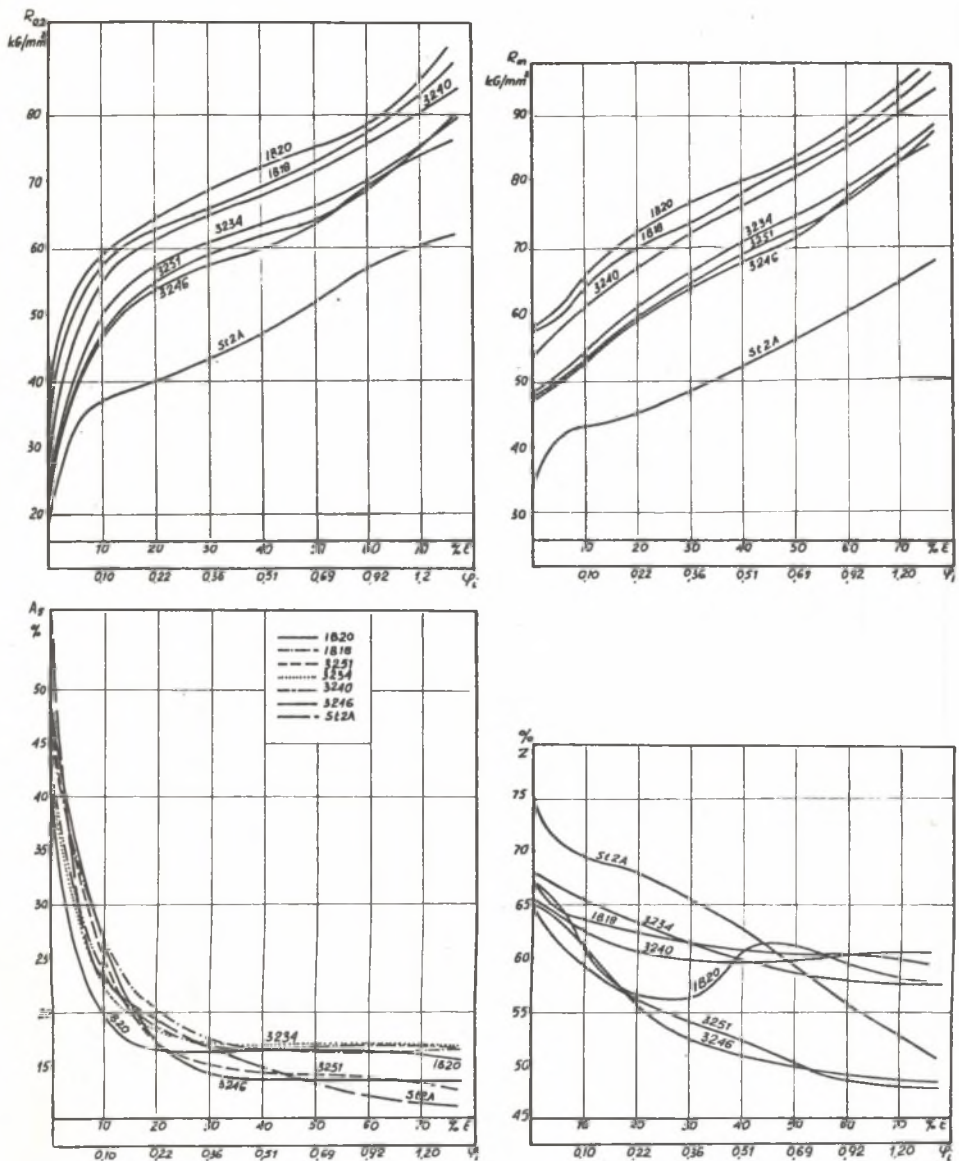
Wielkość oporu kształtowania obliczono z zależności

$$p = \frac{F}{S_{\text{sr}}}$$

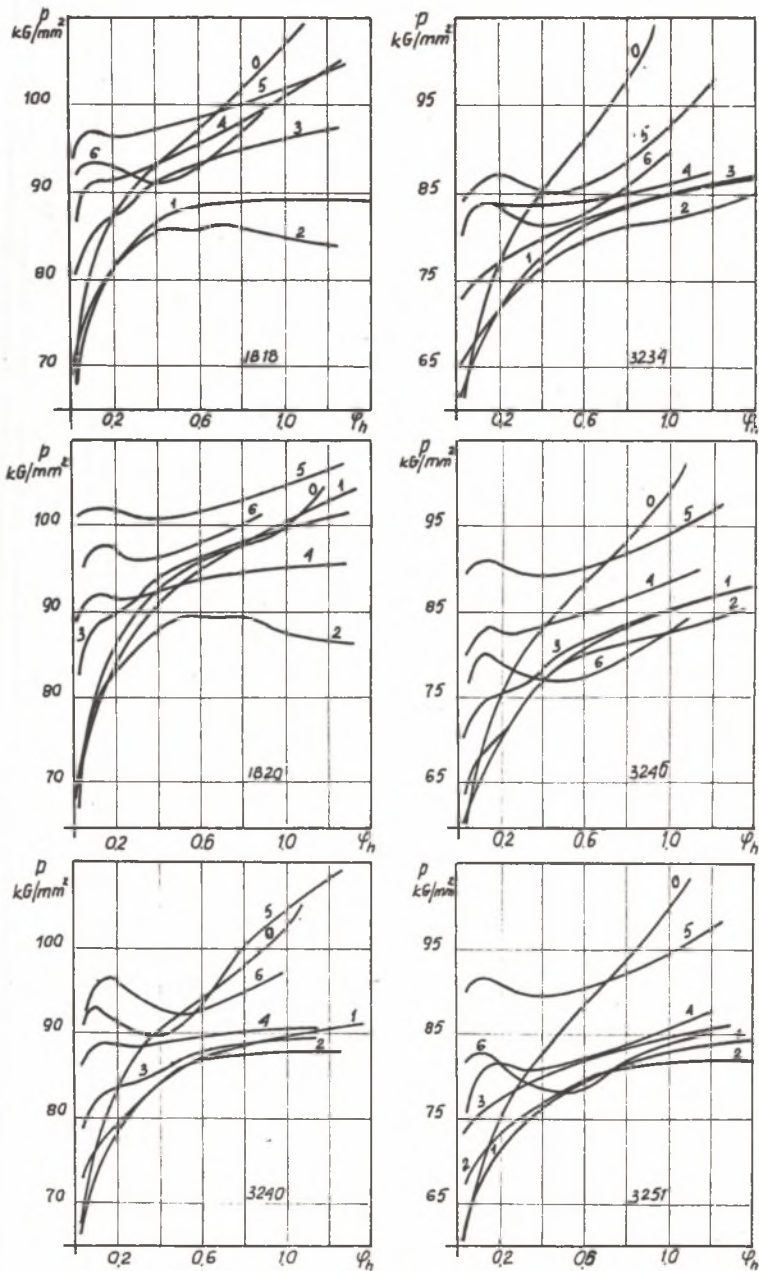
gdzie:

- F - siła spęczająca, odpowiadająca danemu skróceniu Δh ,
- S_{sr} - przekrój średni wyliczony z zasady zachowania stałej objętości.

Wyniki spęczania przedstawiono na krzywych $p(\varphi_h)$ dla różnych stopni gniotu przy ciągnieniu mierzonych jako gniot procentowy ξ i jako intensywność odkształceń φ_1 . Każda krzywa jest średnią wyznaczoną wykreślnie dla 6 próbek. Wykresy sporządzone dla stali z mikrodotadkiem boru przedstawiono na rys. 2, a dla stali St 2A na rys. 3. Cyframi od 0 - 6 ozna-



Rys. 1. Zmiana własności mechanicznych badanych stali w funkcji odkształceń pierwotnych



Rys. 2. Krzywe oporu przy spęczaniu $p = f(\varphi_h)$ dla stałych wartości odkształceń pierwotnych w przypadku stali z borem

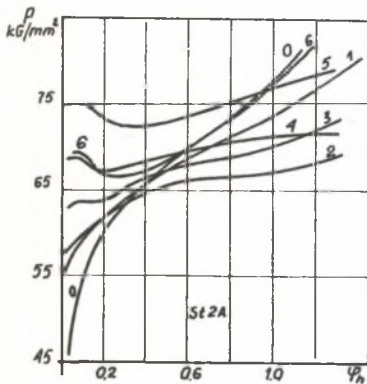
ozono waloówkę i druty po kolejnych ciągach. Wartość rzeczywistego gniotu φ_h przy speżeniu określono z zależności

$$\varphi_h = \ln \frac{H_0}{H}$$

gdzie:

H_0 - początkowa wysokość próbki,

H - wysokość próbki po kolejnym etapie speżania.



Rys. 3. Krzywe oporu przy speżaniu $p = f(\varphi_h)$ dla stałych wartości odkształceń pierwotnych w przypadku stali St 2A

Analiza krzywych speżania $p = f(\varphi_h)$ przy $\varphi_1 = \text{const.}$ pozwala wysnuć następujące wnioski:

- 1) Opór kształtowania p przy speżaniu
 - w zakresie gniotów rzeczywistych $\varphi_h < 0,2$ jest najmniejszy dla drutów po pierwszym ciągu ($\dot{\epsilon} = 5 - 12\%$) w odniesieniu do wszystkich stali z borem. Dla stali St 2A opór ten jest najmniejszy w przypadku walcówki;
 - w zakresie gniotów $\varphi_h > 0,2$ opór jest najmniejszy dla drutów po drugim ciągu ($\dot{\epsilon} = 15 - 21\%$) oraz w niektórych przypadkach po ostatnim ciągu.
- 2) Powyżej średnich wartości φ_h (około $0,5 - 0,7$) ogólnie ujmując opór kształtowania p przy speżaniu jest największy dla waloówki (wyjątek stanowi stal IB 20).

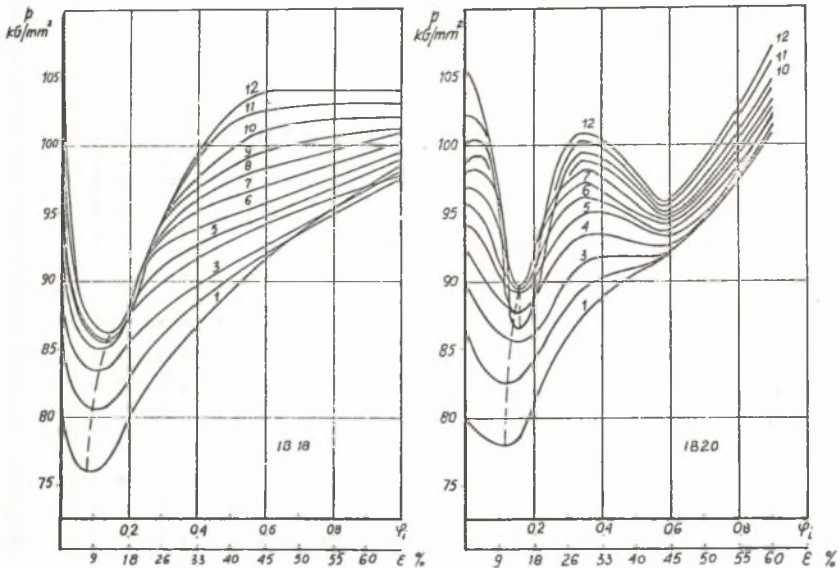
3) Największy opór kształtowania występuje w zakresie od zera do gniotów średnich dla drutów po przedostatnim ciągu ($\dot{\epsilon} = 60\%$) w odniesieniu do wszystkich stali.

2.3. Zależność oporu kształtowania przy speżaniu od stopnia odkształceń pierwotnych

Na podstawie krzywych przedstawionych na rys. 2 i 3 sporządzono wykresy oporu kształtowania przy speżaniu w funkcji odkształceń pierwotnych, jakim uległ materiał podczas ciągnięcia. Wykresy sporządzono dla stosunkowo dużej wartości odkształceń pierwotnych, bo sięgających $\varphi_1 = 1,0$, co odpowiada gniotowi procentowemu $\dot{\epsilon} = 63\%$ (dla stali IB 20 tylko do $\varphi_1 = 0,9$) oraz dla gniotów $\varphi_h = 1,2$ ($\dot{\epsilon}_h = 70\%$).

Rysunek 4 przedstawia powyższe zależności dla stali IB 18 i IB 20, rysunek 5 dla 3234 i 3240, rysunek 6 dla 3246 i 3251, a rysunek 7 dla St 2A.

Krzywe opisane kolejnymi numerami od 1 do 12 odpowiadają stałym wartościom gniotu przy spęczaniu. Oznaczenia poszczególnych krzywych i wartości odpowiadających im gniotów procentowych ϵ_h i rzeczywistych φ_h zestawiono w tabelicy 2.

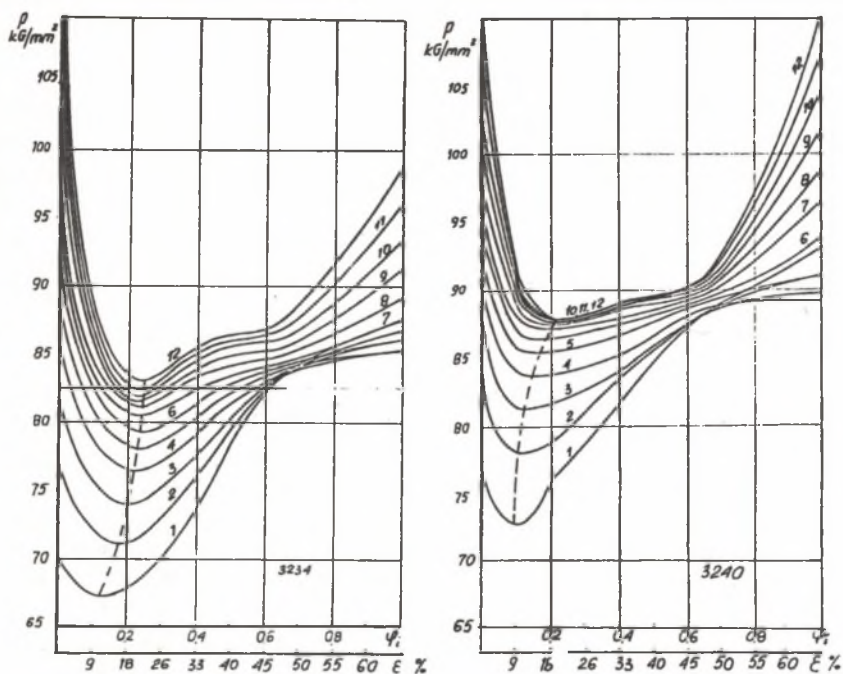


Rys. 4. Wpływ procesu ciągnięcia na opór kształtowania przy spęczaniu w przypadku stali IB18 i IB20

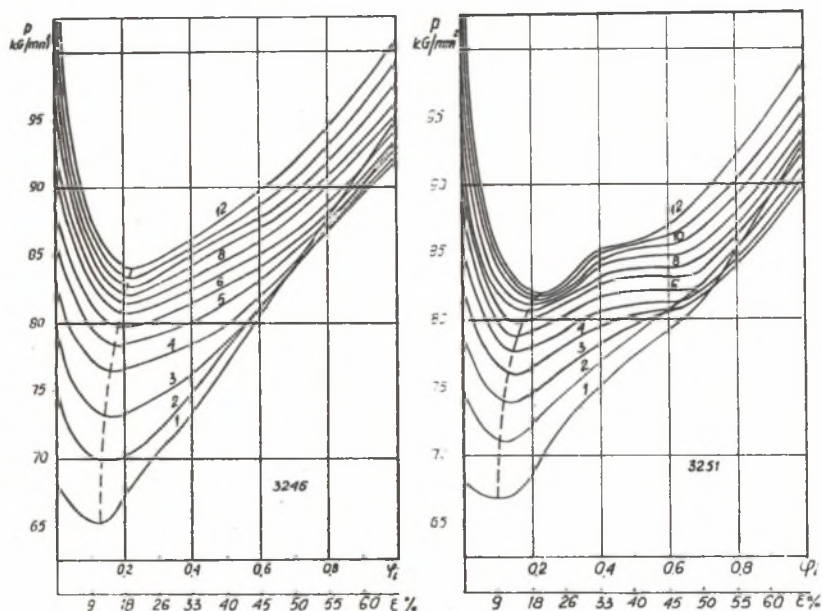
Analizując krzywe na rysunkach 4 - 7 zauważa się, że:

1. W miarę zwiększania odkształceń pierwotnych (gniotu przy ciągnięciu) opór kształtowania przy odkształceniach wtórnych (spęczanie) zmniejsza się dość gwałtownie, przyjmuje minimum lokalne, a następnie rośnie.
2. Położenie minimum lokalnego uzależnione jest, zarówno od wartości odkształceń pierwotnych jak i wartości odkształceń wtórnych. W miarę wzrostu odkształceń wtórnych minimum przesuwa się w stronę większych wartości odkształceń pierwotnych (linia przerywana na rys. 4 - 7).
3. Dla stali IB 18, IB 20 i 3240 minimum występujące przy wartości odciętej $\varphi_1 = 0,11 - 0,12$ ($\epsilon = 10 - 11\%$) dla stopni spęczania $\varphi_h = 0,1$ ($\epsilon_h = 9\%$), w miarę zwiększania φ_h przesuwa się w prawo, by dla stopni spęczania $\varphi_h = 1,2$ ($\epsilon_h = 70\%$) wystąpił przy odkształceniach pierwotnych $\varphi_1 = 0,17 - 0,19$ ($\epsilon = 15 - 17\%$) (patrz rys. 4 i 5).

Dla stali 3234, 3246 i 3251 minimum występujące przy wartości odciętej $\varphi_1 = 0,12 - 0,16$ ($\epsilon = 11 - 14\%$) dla stopni spęczania $\varphi_h = 0,1$ przesuwa

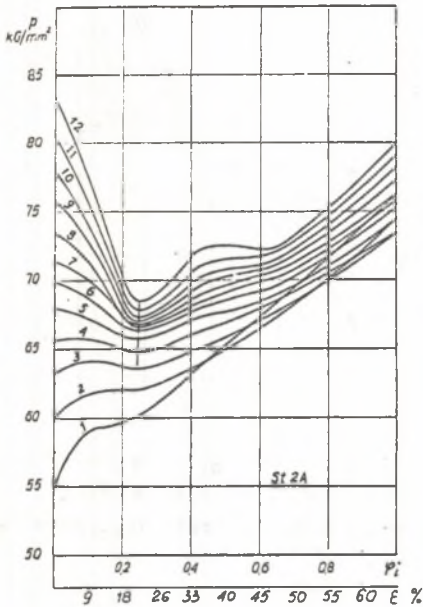


Rys. 5. Wpływ procesu ciągnięcia na opór kształtowania przy spęczaniu w przypadku stali 3234 i 3240



Rys. 6. Wpływ procesu ciągnięcia na opór kształtowania przy spęczaniu w przypadku stali 3246 i 3251

się w prawo i dla stopni spęczania $\varphi_h = 1,2$ występuje przy odkształceniach pierwotnych $\varphi_1 = 0,24$ ($\epsilon = 22\%$) (patrz rys. 5 i 6).



Rys. 7. Wpływ procesu ciągnięcia na opór kształtowania przy spęczaniu w przypadku stali St2A

Dla stali St 2A, w przeciwieństwie do stali z mikrododatkiem boru, minimum występuje dopiero przy wyższych wartościach stopnia spęczania $\varphi_h = 0,4 - 0,5$ ($\epsilon_h = 30-40\%$). Odcięta minimum w tym przypadku prawie nie zależy od wielkości odkształceń pierwotnych ($\varphi_1 = 0,28$; $\epsilon = 24\%$) (patrz rys. 7).

Ponadto stal IB 20 wykazuje drugie minimum lokalne przy $\varphi_1 = 0,58$ ($\epsilon = 44\%$). Warto zwrócić uwagę, że stal ta wykazała nietypowy przebieg zależności $Z = f(\epsilon)$ i to również przy $\epsilon = 45\%$. Przeprowadzone dodatkowe badania dla stali IB 20 potwierdziły ów charakterystyczny przebieg, co świadczy o wiarygodności pomiarów. Trudno znaleźć wytłumaczenie dla takich właśnie przebiegów, bowiem skład chemiczny stali IB 20 nie odbiega zasadniczo od pozostałych stali z borem. Wydaje się, że takiego przebiegu należy doszukiwać się w strukturze stali IB 20.

Tablica 2

Numer krzywej	Gniot ϵ_h %	Gniot φ_h rzeczywisty
1	9	0,1
2	18	0,2
3	26	0,3
4	33	0,4
5	40	0,5
6	45	0,6
7	50	0,7
8	55	0,8
9	60	0,9
10	63	1,0
11	67	1,1
12	70	1,2

3. Wnioski

1. Stale niskowęglowe z mikrodotadkiem boru przeznaczone do produkcji śrub wykazują minimum oporu kształtowania przy spężaniu dla gniotów wstępnych 18-22%, z takim też gniotem stale te winny być w obecnej technologii ciągnięte.

2. Mikrodotadek boru wpływa na wielkość obniżenia oporu kształtowania. Ujęcie ilościowe autorzy opracują w następnej kolejności.

LITERATURA

- [1] Czerniak N.J., Gawryłow D.A.: Soprotiwlenje deformirowanju metalow pri powtorom statiozeskom nagruženii, Naukowa Dumka, Kijew 1971.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПРИ УТОЛЩЕНИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В ФУНКЦИИ ПЕРВИЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Резюме

В статье приведены результаты исследований величины сопротивления профилирования в процессе сжатия материалов прежде волооченых. Найдены оптимальные величины обжатий при волоочении, для которых сопротивление профилирования принимает номинальное значение. Исследование проведено к относительно большим значениям постоянных деформаций (волоочение $\varphi_1 = 1,4$ сжатие $\varphi_2 = 1,2$).

THE INVESTIGATION OF THE FLOWING RESISTANCE IN THE FUNCTION OF ORIGINAL DEFORMATIONS DURING THE SWELLING OF LOW CARBON STEELS

Summary

The article presents results of investigations of deformation resistance in the swelling process of the materials deformed previously by drawing. Best quantities of stress in the drawing process were found for which a deformation resistance is minimal. These investigations were made for relatively big stable deformations.