

Andrzej Sobański, Eugeniusz Hadasik
Politechnika Śląska
Instytut Inżynierii Materiałowej

PRÓBA OCENY NIEKTÓRYCH METOD OKREŚLANIA NIERÓWNOMIERNOSCI ODKSZTAŁCEN PLASTYCZNYCH

Streszczenie: Wykonano próby porównawcze określenia nierównomierności odkształceń metodami wkręcanych sworzni, próbek składanych, rozkładu twardości, wyjawienia przebiegu włókien i rekrytalizowane go ziarna przy plastycznym ściskaniu próbek walcowanych ze stali 1H18N9T, żelaza Armco i miedzi. W wyniku analizy jako optymalną uznano metodę wkręcanych sworzni.

1. Wprowadzenie

W procesach przeróbki plastycznej w kształtowanym materiale występuje na ogół zjawisko nierównomiernego rozkładu odkształceń plastycznych. Do badania wielkości odkształceń na powierzchni stosuje się metody nanoszenia siatek sposobami mechanicznymi, typograficznymi lub chemicznymi [1] oraz metody oparte o zmianę postaci i orientacji ziarn metalu [2]. Odkształcenia wewnątrz rozpatrywanej objętości mogą być badane metodami osadzonych sworzni lub gniotów [3] zatapiających siatek [4], prób warstwowych [5], rozkładu twardości [6], wytrawienia dla wyjawienia przebiegu włókien [7] oraz rekrytalizowanego ziarna [8].

Autorzy podjęli próbę oceny przydatności praktycznego zastosowania wymienionych metod badania odkształceń na przykładzie ściskania próbek walcowych wykonanych ze stali 1H18N9T, żelaza Armco E04 oraz miedzi MD1, w stanie nieumocnionym zgniotem. Do oceny nierównomierności odkształceń wybrano następujące metody:

- 1) wkręcanych sworzni (rys. 1b), w której lokalne odkształcenie wyraża się wartością zmiany skoku gwintu przed i po odkształceniu:

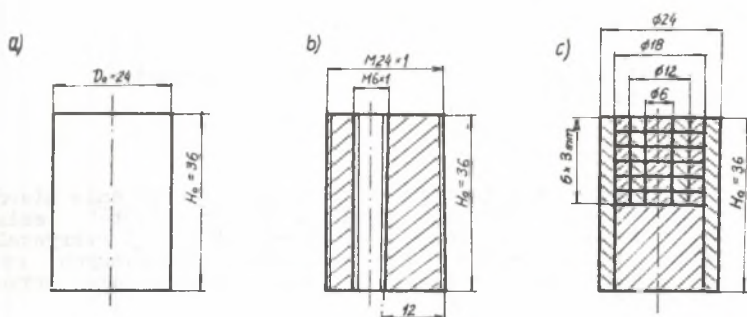
$$\varepsilon_{\text{lok}} = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100\%,$$

gdzie:

h_0 i h_1 - skok gwintu przed i po odkształceniu.

Stopień nierównomierności odkształcenia w objętości ściskanego walca może być w tym przypadku wyrażony różnicą największego i najmniejszego odkształcenia lokalnego:

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon_{\text{lok max}} - \varepsilon_{\text{lok min}} \quad ;$$



Rys. 1. Kształt i wymiary stosowanych próbek:
a) pełne, b) z wkręcany m sworzniem, c) składane

- 2) Składanych próbek (rys. 1b), w której odkształcenie wewnątrz rozpatrywanej objętości określa się zmianą wymiarów siatki współrzędnych utworzonej przez składane pierścienie na osiowym przekroju próbki;
- 3) rozkładu twardości - opiera się na znanym zjawisku umocnienia metalu ze wzrostem odkształcenia plastycznego. Jeśli w przekroju poprzecznym wykona się pomiary twardości to ich wyniki, jako odzwierciedlenie stopnia umocnienia, świadczą o rozkładzie odkształceń, a w oparciu o krzywą wzorcową $\xi = f(H)$ mogą być określone liczbowo;
- 4) wyjawienia przebiegu włókien - polega na głębokim trawieniu powierzchni przekroju poprzecznego próbki odkształconej plastycznie. Uzyskany przebieg włókien pozwala na określenie kierunku płynięcia metalu;
5. rekrytalizowanego ziarna - polega na wykorzystaniu zjawiska nierównomiernego wzrostu ziarna po wyżarzeniu metalu poddanego uprzednio odkształceniom plastycznym o zróżnicowanych wartościach.

Największe ziarno powstaje w strefach, w których wartości odkształceń odpowiada wartości gniotu krytycznego. Jeśli więc plastycznemu odkształceniom poddaje się materiał nie noszący skutków uprzedniego zgniotu, to po wyżarzeniu rekrytalizującym uzyskany obraz struktury powinien świadczyć o rozkładzie odkształceń plastycznych, wynikających z odkształcenia plastycznego. Metoda ta nie pozwala jednak na ścisłe ilościowo określenie rozkładu odkształceń.

Przybliżona ocena nierównomierności odkształceń może być również oparta o pomiar wielkości beczkowatości w postaci zależności:

$$\lambda = \frac{V_0 - V_W}{V_0} \cdot 100,$$

gdzie:

λ - wskaźnik beczkowatości,

V_0 - objętość całkowita,

V_W - objętość walca o średnicy równej średnicy w podstawie spęczonej próbki.

2. Przebieg badań

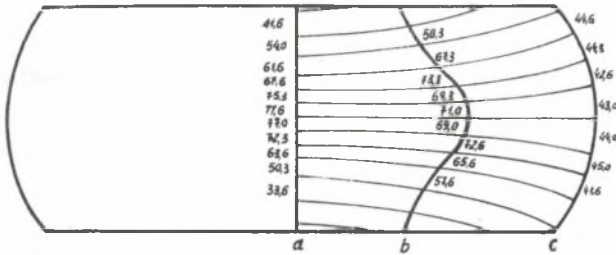
Ocenę nierównomierności odkształceń omówionymi metodami prowadzono na próbkach walcowych o wymiarach $H_0 \times D_0 = 36 \times 24$ mm, co odpowiada smukłości $H_0/D_0 = 1,5$. Stosowano trzy rodzaje próbek: pełne (rys. 1a), z wkręcanym sworzniem M6 x 1 wykonanym z materiału próbki, na której powierzchni zewnętrznej nacięto również gwint o skoku 1 mm (rys. 1b), oraz składane w postaci pierścieni umieszczonych wewnątrz tulei (rys. 1c). Przed ścisaniem próbek składanych dokonano pomiaru wysokości pierścieni znacząc kolejność ich ułożenia w tulei. Ściskanie próbek prowadzono w specjalnym przyrządzie zamontowanym w prasie hydraulicznej o nacisku 1500 kN, zapewniającym osiowe ściskanie i zabezpieczającym próbki przed wyboczeniem. Próby prowadzono bez smarowania, stosując gnioty równe 20,40 i 60%. Po ścisaniu próbki rozcięto w płaszczyźnie przechodzącej przez oś próbki i oś sworznia (dla próbek rys. 1b). Powierzchnie przeciętych próbek szlifowano, polerowano i trawiono 2% roztworem HNO_3 , aby ujawnić zarys gwintu oraz siatkę utworzoną przez przecięte pierścienie. Na tak wykonanych przekrojach wykonano pomiary skoku gwintu w próbkach z wkręcanym sworzniem, biorąc jako podstawę odległość pomiędzy trzema zwojami, a na próbkach składanych pomiary pierścieni. Pomiary twardości wykonano na przekrojach próbek pełnych metodą Rockwella HRC. Przed wykonaniem pomiaru na przekrój naniesiono siatkę współrzędnych prostokątnych, a odciski umiejscowiono w jej węzłach.

Metodę wyjawienia przebiegu włókien zastosowano do próbek ze stali 1H18N9T. Wypolerowane powierzchnie przeciętych próbek poddano trawieniu odczynnikiem Jacewicza (150 cm³ wody destylowanej, 38 cm³ stężonego HCl, 12 cm³ stężonego H₂SO₄) w temperaturze 90°C. Po trawieniu wykonano zdjęcia powierzchni próbek.

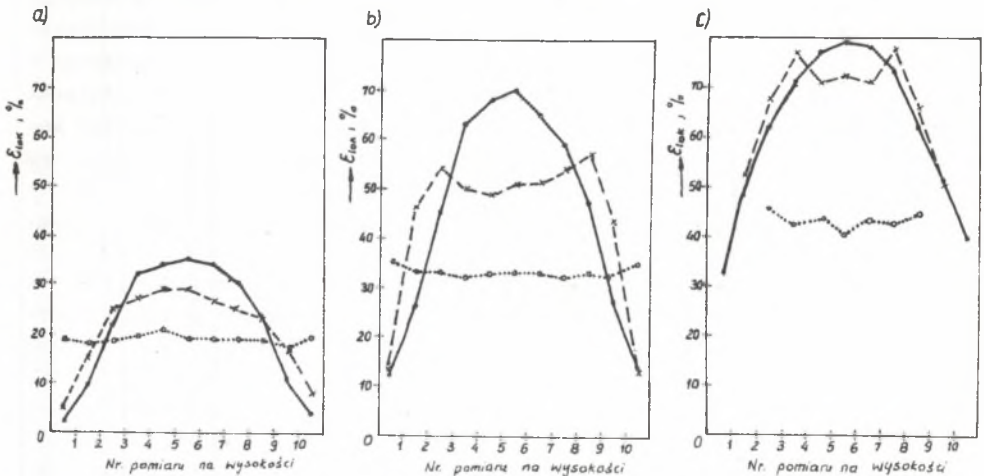
W metodzie rekrytalizowanego ziarna próbki z żelaza Armco poddano wyżarzaniu rekrytalizującemu w temperaturze 720°C przez okres 2 godz. z następnym wolnym studzeniem w powietrzu. Na powierzchniach przeciętych próbek wykonano zglądy metalograficzne i zdjęcia struktur w trzech miejscach u czoła próbki oraz w 1/4 i 1/2 jej wysokości.

3. Omówienie wyników badań

Metoda wkręcanych sworzni. Obraz kształtu próbki, krzywizny tworzących sworznia oraz wartości lokalnych odkształceń pokazano na rys. 2, przykładowo dla próbek ze stali 1H18N9T odkształconych gniotem 60%.



Rys. 2. Rozkład odkształceń lokalnych na przekroju osiowym próbki ze stali 1H18N9T odkształconej gniotem 60%



Rys. 3. Rozkład odkształceń lokalnych na wysokości, w osi (linia ciągła), na powierzchni zewnętrznej sworznia (linia przerywana) oraz na powierzchni bocznej próbek (linia kropkowana)

a) $\varepsilon = 20\%$; b) $\varepsilon = 40\%$; c) $\varepsilon = 60\%$.

Na rys. 3 przedstawiono rozkład odkształceń lokalnych na wysokości próbki w osi, na powierzchni zewnętrznej wkręconego sworznia oraz na powierzchni bocznej próbek z miedzi, dla stosowanych gniotów 20, 40 i 60%. Na podstawie optycznej oceny kształtu próbek oraz pomiaru beczkowatości można stwierdzić, że próbki z wkręcany sworzniem zachowują się w czasie ściskania analogicznie jak próbki pełne. Dla przebadanych materiałów i różnych wartości gniotów względna różnica wskaźnika beczkowatości λ próbek

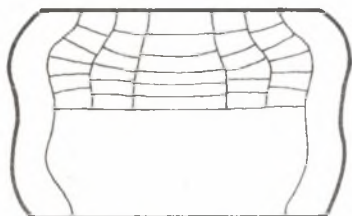
pełnych i ze sworzniami jest średnio równa 2% i nie przekracza 5%. Uzyskane wyniki dla wszystkich materiałów i wartości gniotu wykazują maksymalną niejednorodność odkształcenia w osi próbki, a bardzo nieznaczną na powierzchni. Nierównomierność odkształceń wyrażoną przez $\Delta\varepsilon$ zestawiono w tabelicy 1. Zasadniczo obserwuje się największą niejednorodność odkształcenia dla gniotów 20%. Maksymalna nierównomierność odkształceń osiąga wartość 63,7% dla próbek z Armco, 57,3% dla próbek z miedzi przy gniocie 40% oraz 44% dla próbek ze stali 1H18N9T, przy gniocie 60%. W ogólności próbki ze stali 1H18N9T wykazują znacznie mniejszą nierównomierność odkształceń niż próbki miedziane i z żelaza Armco.

Tabela 1

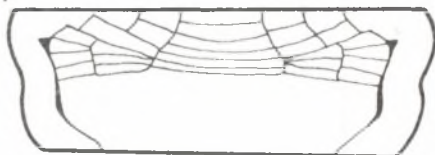
Nierównomierność odkształceń w przekroju osiowym ściskanych próbek. Metoda wkręcanych sworzni

Materiał	Wartość gniotu %	Nierównomierność odkształceń $\Delta\varepsilon$ [%] w przekroju		
		w osi	na powierzchni zewn. sworznia	na powierzchni zewn. próbki
stal 1H18N9T	20	7,6	8,3	2,0
	40	38,0	22,6	2,6
	60	44,0	15,7	3,4
żelazo Armco EO4	20	19,0	18,7	9
	40	63,7	46,0	8,7
	60	47,4	20,3	11,3
miedź MD1	20	33,0	24,0	3,4
	40	57,3	44,4	3,3
	60	46,7	27,0	5,3

a)

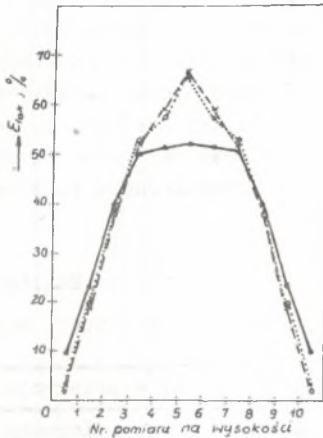


b)



Rys. 4. Kształt próbki i wewnętrznych pierścieni na przekroju osiowym próbek ze stali 1H18N9T

a) $\varepsilon = 40\%$; b) $\varepsilon = 60\%$



Rys. 5. Rozkład odkształceń lokalnych na wysokości próbki, w osi dla stali 1H18N9T (linia ciągła), żelaza Armco (linia przerywana) i miedzi (linia kropkowana); $\varepsilon = 40\%$

teriałów przy gnioście 40% pokazano na rys. 5. Nierównomierność odkształceń $\Delta\varepsilon$ w osi próbki jest największa dla żelaza Armco i miedzi przy gnioście 40% ($\Delta\varepsilon$ odpowiednio 63,4% i 64%), natomiast dla stali 1H18N9T przy gnioście 60% ($\Delta\varepsilon = 51,8\%$). Zestawienie wszystkich wyników ujęto w tabelicy 2.

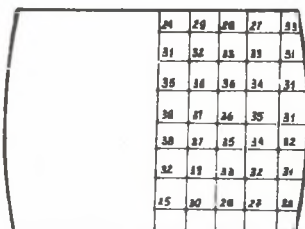
Tablica 2

Nierównomierność odkształceń w osi ściskanych próbek. Metoda próbek składanych

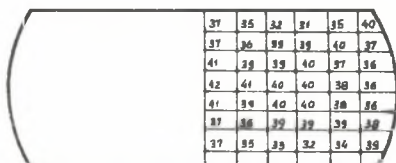
Materiał	Nierównomierność odkształceń $\Delta\varepsilon$ [%] w osi, przy gnioście		
	20%	40%	60%
stal 1H18N9T	41,7	63,4	51,4
Armco EO4	39,3	64,6	52,4
Miedź MD1	19,4	42,3	51,8

Metoda twardości dała rezultat w pełni pozytywny dla próbek ze stali 1H18N9T. Dla żelaza Armco i miedzi małe zróżnicowanie twardości uniemożliwiło dokładną interpretację, a tym samym określenie nierównomierności od-

a)



b)



Rys. 6. Rozkład twardości HRC na przekroju osiowym próbki ze stali 1H18N9T spęczanej gniotem:

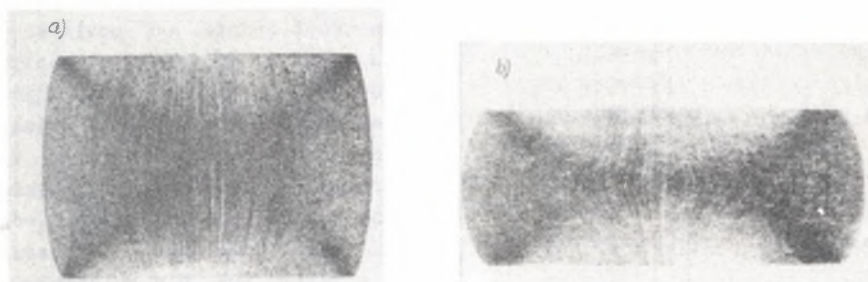
a) 40%, b) 60%

kształceń w przekroju próbki. Rozkład twardości w przekrojach próbek ze stali 1H18N9T odkształconych gniotami 40 i 60% przedstawiono na rys. 6. W osi próbki twardość rośnie od powierzchni czołowej ku środkowi, w pobliżu powierzchni bocznej obserwujemy zależność odwrotną, choć zróżnicowanie twardości jest w tym przypadku nieznaczne. Największa różnica na przekroju próbki równa 14 jednostek HRC występuje dla gniotu 40%. Dla gniotów 20 i 60% jest ona odpowiednio równa 7 i 11 jednostek HRC. Wykonana na podstawie próby spęczania beztarciowego (zapewniającej równomierne odkształcenie) krzywa wzorcowa zależności $\varepsilon = f(\text{HRC})$ pozwoliła określić rozkład odkształceń i ich nierównomierność na przekroju badanych próbek. Obraz nierównomierności odkształceń jest w zasadzie zgodny z uzyskanymi

w metodzie wkręcanych sworzni, choć wartości odkształceń w odpowiednich punktach są zazwyczaj większe. Określoną tą drogą nierównomierność odkształceń jest równa 9% dla gniotu 20%, około 41% dla gniotu 40% i około 49% dla gniotu 60%.

Metoda wyjawienia przebiegu włókien pozwoliła na określenie linii płynięcia materiału i stref o zróżnicowanych odkształceniach. Kształt linii płynięcia jest odmienny w zależności od stosowanego gniotu.

Dla gniotu 20% linie płynięcia mają kształt łagodnych łuków o równomiernej krzywiznie. Dla gniotu 60% (rys. 7b) linie płynięcia wykazują zmienną krzywiznę z punktami przegięcia, w części przebiegu odchylają się znacznie od pionu, przyjmując nawet w pewnych obszarach położenie równoległe do powierzchni czołowej. Obraz uzyskany dla próbek odkształconych gniotem 40% (rys. 7a) stanowi stadium pośrednie pomiędzy gniotami 20 i 60%. Przekroje próbek wykazują nierównomierne zaciemnienie. Można stwierdzić, że obszary najciemniejsze przyjmują formę przecinających się pod kątem pasów i odpowiadają najbardziej odchylonym odcinkom linii płynięcia, a zatem obszarom o największym lokalnym odkształceniu. Znajduje to potwierdzenie w wynikach metody pomiaru twardości, której wartości maksymalne układają się na przekroju w podobny sposób. Ciemniejsze zabarwienie



Rys. 7. Obraz linii pęknięcia na przekroju próbki z żelaza Armco spęczanej gniotem
a) 40%, b) 60%

tych obszarów może być oczywiście wytłumaczone większą podatnością na działanie czynnika trawiącego materiału bardziej odkształconego plastycznie. Metoda rekrytalizowanego ziarna nie dała pozytywnego rezultatu. Praktycznie nie uzyskano zróżnicowanej wielkości ziarna, a tym bardziej stref ich krytycznego rozrostu. Wynika stąd, że przy zastosowanych wartościach gniotów 20% i większych lokalne odkształcenia w każdym punkcie przekroju przekraczają jednak wielkość gniotu krytycznego.

Znajduje to potwierdzenie w wynikach innych metod.

4. Podsumowanie

Spośród przebadanych metod określania nierównomierności odkształceń negatywnie należy ocenić metodę próbek składanych. Wynika to z nieadekwatności sposobu odkształcania się tego rodzaju próbek w porównaniu do próbek pełnych. Próbki tego rodzaju są również niedogodne jako bardzo trudne i pracochłonne w wykonaniu. Metoda rekrytalizowanego ziarna, którą autorzy uprzednio z powodzeniem stosowali do analizy procesu cięcia [9], w tym przypadku nie dała pozytywnych wyników. Stosowanie tej metody należy uznać więc za ograniczone wyłącznie do przypadków małych odkształceń nominalnych. Metody wkręcanych sworzni, rozkładu twardości i wyjawienia przebiegu włókien należy ocenić pozytywnie. Uzyskane tymi metodami wyniki pozostają zgodne ze sobą i równocześnie wzajemnie się uzupełniają. Żadna jednak z metod nie daje wyników będących podstawą do pełnej oceny nierówności odkształceń. Metoda wkręcanych sworzni pozwala na określenie tylko jednej składowej stanu odkształcenia gniotu lokalnego w analizowanym ob-

szarze, przy czym stosując gwint o małym skoku można uzyskać w tym względzie szczegółową informację. Wykonanie próbek jest stosunkowo proste.

Metoda pomiaru twardości pozwala określić intensywność odkształceń w badanych punktach, bez możliwości wyznaczenia składowych stanu odkształcenia. Należy sądzić, że zastosowanie czulszej metody pomiaru, np. wg Vickersa pozwoli stosować ją również i do innych materiałów w mniejszym stopniu umacniających się. W każdym jednak razie czułość tej metody będzie zawsze mniejsza dla materiałów o mniejszej zdolności do umocnienia, a w żadnym przypadku nie może ona znaleźć zastosowania do analizy odkształceń na gorąco. Przygotowanie próbek jest w przypadku tej metody łatwe.

Metoda wyjawiania przebiegu włókien może być w chwili obecnej uważana za metodę jedynie jakościowej oceny nierównomierności odkształceń. Jej stosowanie jest szczególnie proste, a jedyną trudność stanowi dobór optymalnego dla danego materiału odczynnika trawiącego. Wydaje się jednak, że korelując tę metodę z metodą pomiaru twardości, poprzez analizę krzywizny linii płynięcia można by uzyskać odpowiedź o stanie odkształcenia w poszczególnych punktach.

Uzyskane wyniki wskazują na największą skłonność do nierównomierności odkształceń próbek z żelaza Armco, z kolei miedzianych, a najmniejszą ze stali 1H18N9T. Ponieważ warunki tarcia na powierzchni styku z narzędziem były w zasadzie zbliżone, zjawisko to można tłumaczyć, podobnie jak w przypadku rozciągania zróżnicowaną zdolnością do umacniania się badanych materiałów. W przypadku dużej zdolności do umacniania występuje w większym stopniu wyrównywanie lokalnych odkształceń, jak to ma miejsce np. dla stali 1H18N9T dla gniotów 20 i 40%. Stąd istotnym problemem do rozwiązania byłoby poszukiwanie związku pomiędzy nierównomiernością odkształceń, a odpowiednią stałą materiałową, charakteryzującą jego zdolność do umacniania się.

LITERATURA

- [1] Fridman J.B., Ziłowa T.K. i Demina N.J.: Izuczenie plasticzeskoj deformacji i rozruszenia metodom nakatnych sietok. Oborongzi. Moskwa, 1962.
- [2] Smirnow-Alajew G.A.: Soprotiwlenie materialow plasticzieskomu dieformirowaniju. Maszgiz, Moskwa 1961.
- [3] Presnjakow A.A.: Fizyka processa prokatki. Ałma-Ata, 1962.
- [4] Makajew S.W.: Deformirowannoje sostojanie mietakła pri prokatkie na blumingie. Teoria prokatki, Metallurgizdat, Moskwa 1962.
- [5] Novotny J.: Strihani materialu. Strojirestwi, 1968, t. 8, nr 6, s. 437-443.
- [6] Starożew M.W., Popow E.A.: Teoria obrabotki mietakłow dawleniem. Maszinostrojienie, Moskwa, 1971.

- [7] Krzekotowski Z.: Technologia kucia swobodnego i półswobodnego, Wyd. Śląsk, Katowice 1964.
- [8] Kałpasznikow A.J.: Prokatka listow iz legkich spławow, Metalluriga, Moskwa 1970.
- [9] Sobański A., Hadasik E.: Wiadomości Hutnicze 1973, nr 4, s. 130-133.

ПОПЫТКА ОЦЕНКИ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИИ

Р е з ю м е

Сделано сравнительные испытания определяющие неравномерность деформации методом ввёртываемых стержней, сложенных образцов, распределения твёрдости выявления пробега волокон и рекристаллизованного зерна при пластическом сжатии прокатываемых образцов со стали 1H18N9T, железа Армко и меди. В результате анализа оптимальным признан метод ввёртываемых стержней.

AN ATTEMPT AT EVALUATION OF THE METHOD TO DETERMINE PLASTIC
STRAINS SHEARINESS

S u m m a r y

Some comparative tests have been carried out to determine plastic strains sheariness using the methods of screw in pins, the folding samples, the hardness distribution, the grain flow presentation and the recrystalline grain during compression of 1H18N9T samples, E04 Armco iron and MD1 copper.

As the result of performed analysis the method of screw in pins has been accepted as the perfect one.