

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Dominik Senczyk

Politechnika Poznańska

TEORIA I PRAKTYKA POMIARU RENTGENOWSKICH STAŁYCH SPRĘŻYSTYCH FAZ
W MATERIAŁACH POLIKRYSTALICZNYCH

Streszczenie. Rozważono problem anizotropii sprężystej faz w materiałach polikrystalicznych. Stwierdzono, że w pomiarach naprężeń metodami rentgenograficznymi należy stosować wartości stałych sprężystych zmierzonych również tymi metodami. Przedstawiono metodykę i wyniki pomiaru rentgenowskich stałych sprężystych faz występujących w badanych materiałach.

1. Anizotropia własności sprężystych

Anizotropowość kryształów objawia się m.in. w zależności własności sprężystych od kierunku. Na przykład dla żelaza wartości modułu Younga dla kierunku [100] i [111] wynoszą odpowiednio 132 GPa i 284 GPa. W rentgeno- graficznych pomiarach naprężeń korzysta się z wartości stałych sprężystych [1]: $s_1 = -\nu/E$, $s_2 = \frac{2(1+\nu)}{E}$,

gdzie: E - moduł Younga, ν - współczynnik Poissona. Stosowanie w tych pomiarach wartości E i ν uzyskanych metodą mechaniczną prowadzi do różnic rzędu 40 % [2] w zmierzonych wartościach naprężeń. Szczególnie jaskrawo widać to na przykładzie badań naprężeń w żeliwie szarym. W tym przypadku rentgenograficzne pomiary naprężeń z zastosowaniem mechanicznych wartości stałych sprężystych prowadzi do wartości dwukrotnie mniejszych niż w przypadku stosowania

rentgenograficznych wartości stałych sprężystych. Jest to zrozumiałe, bowiem rentgenograficzne stałe sprężyste dotyczą tylko ferrytu, natomiast mechaniczne wartości tych stałych dotyczą już nie jednej fazy, lecz całego żeliwa, a więc uwidaczniają się w nich własności sprężyste grafitu, potrójnej eutektyki fosforowej i siarczku manganu. Istniejące metody obliczania stałych sprężystych substancji polikrystalicznych na podstawie własności sprężystych monokryształów nie rozwiązują tego problemu w sposób dokładny. Główną trudnością są nie dające się w pełni uwzględnić zjawiska występujące na granicy kryształitów, w obszarze której sieć jest szczególnie zniekształcona. Uśrednianie metodą Reussa [3] własności sprężystych tych kryształitów prowadzi do zależności stałych sprężystych od kierunku. Wskazuje to na ważność omawianego zagadnienia dla rentgenograficznej metody pomiaru naprężeń, z pomocą której mierzy się przecieź naprężenia w kierunku prostopadłym do określonej płaszczyzny sieciowej.

Porównanie wartości stałych sprężystych obliczonych dla kilku stopów oraz zmierzonych metodą rentgenograficzną i mechaniczną wskazuje wyraźnie, że obliczenia nie prowadzą dotychczas do poprawnych wartości tych stałych oraz że wartości mechaniczne tych stałych różnią się istotnie od ich wartości rentgenowskich. Z tego względu dokonano metodą rentgenograficzną pomiaru tych stałych dla szeregu różnych materiałów polikrystalicznych.

2. Pomiar stałych sprężystych materiałów polikrystalicznych metodą rentgenograficzną

W celu pomiaru stałych sprężystych materiałów polikrystalicznych należy w nich wytworzyć liniowy stan naprężeń, dla którego podstawowe równanie tzw. metody $\sin^2\psi$ ma postać :

$$\varepsilon_{\phi, \psi} = \frac{1}{2} s_2 \sigma_1 \sin^2 \psi + s_1 \sigma_1, \quad (1)$$

gdzie : $\varepsilon_{\phi, \psi}$ - odkształcenie sieci zmierzone w kierunku wyznaczonym przez kąty ϕ i ψ ,

σ_1 - naprężenie.

Z równania tego mamy :

$$s_1 = \frac{\partial \varepsilon_{\phi, \psi}}{\partial \sigma_1}, \quad (2)$$

$$\frac{1}{2} s_2 = \frac{\partial^2 \varepsilon_{\phi, \psi}}{\partial \sigma_1 \partial \sin^2 \psi}. \quad (3)$$

Wyrażenia te zawierają zasadę pomiaru stałych sprężystych metodą rentgenograficzną.

3. Metodyka i wyniki pomiarów stałych sprężystych materiałów polikrystalicznych metodą rentgenograficzną

Pomiar stałych sprężystych materiałów polikrystalicznych wymaga wytworzenia w badanych próbkach zadanego stanu naprężeń, przy czym próbki winny być odkształcane bezpośrednio w goniometrze licznikowym. Wobec braku takich urządzeń w wyposażeniu dyfraktometrów rentgenowskich wykonano [4] dwa urządzenia do odkształcania płaskich próbek materiałów polikrystalicznych bezpośrednio w goniometrze licznikowym dyfraktometru rentgenowskiego. Jedno z nich umożliwia czyste zginanie, natomiast drugie - proste rozciąganie tych próbek. Stan odkształceń w badanych próbkach kontrolowano metodą elektrycznej tensometrii oporowej. Szczegółowa metodyka pomiaru jest przedstawiona w pracy [5].

Zmierzone wartości stałych sprężystych dla szeregu badanych materiałów polikrystalicznych przedstawiono w tabelicy 1. Badano próbki przygotowane ze stali konstrukcyjnych wyższej jakości (15, 25, 35, 45, 55, 65), stali konstrukcyjnych do ulepszenia cieplnego (40H, 35HM), stali łożyskowej Lh15 i stali narzędziowej NC7VL. Próbki te miały rozmiary : długość 110 mm, szerokość 15 mm, maksymalna grubość 0,5 mm. Przygotowano je z pomocą walcowania i następnie odpowiedniej obróbki cieplnej.

Tablica 1.
Wyniki pomiarów stałych sprężystych dla badanych materiałów oraz odchylenia standardowe tych pomiarów

Material	Stała	\bar{s}_x [TPa ⁻¹]	$s(\bar{s}_x)$ [PPa ⁻¹]	$s(s_x)$ [PPa ⁻¹]
żelazo	s_1	1,350	5,65	16,9
	$\frac{1}{2}s_2$	6,060	17,70	53,2
Armco	s_1	1,379	5,66	17,0
	$\frac{1}{2}s_2$	6,311	21,10	63,3
Stal 15	s_1	1,387	5,11	15,3
	$\frac{1}{2}s_2$	6,347	24,40	73,3
Stal 25	s_1	1,382	5,22	15,7
	$\frac{1}{2}s_2$	6,367	24,40	73,0
Stal 35	s_1	1,395	6,55	19,6
	$\frac{1}{2}s_2$	6,373	25,50	76,6
Stal 45	s_1	1,400	6,28	18,8
	$\frac{1}{2}s_2$	6,400	25,30	76,0
Stal 55	s_1	1,424	6,55	19,7
	$\frac{1}{2}s_2$	6,461	26,30	79,0
Stal 65	s_1	1,249	9,65	19,3
	$\frac{1}{2}s_2$	5,845	32,20	96,6
Stal 45H	s_1	1,150	7,89	23,6
	$\frac{1}{2}s_2$	5,620	36,60	110,0
Stal 35HM	s_1	1,350	7,53	22,6
	$\frac{1}{2}s_2$	6,038	28,80	86,6
Stal ŁH15	s_1	1,070	10,33	31,0
	$\frac{1}{2}s_2$	5,302	43,90	131,9

Objaśnienie : $s_x = -s_1$ albo $\frac{1}{2}s_2$.

Należy zaznaczyć, że pomiary stałych sprężystych materiałów polikrystalicznych metodami rentgenograficznymi są pomiarami pośrednimi i wobec tego uzyskane dane doświadczalne (natężenie linii dyfrakcyjnej w ustalonych punktach pomiarowych) należy poddać odpowiedniemu opracowaniu. W literaturze brak ogólnych rozważań w tym zakresie i dlatego też opracowano szczegółowy sposób tego opracowania, opisany w pracy [6]. Tok postępowania przy pomiarze stałych sprężystych przedstawiono przy tym w postaci umożliwiającej napisanie algorytmu i zastosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej. Wobec uciążliwości obliczeń umożliwia to szybkie uzyskanie potrzebnych informacji oraz nanoszenie odpowiednich poprawek.

4. Podsumowanie

W pomiarach naprężeń metodą rentgenograficzną należy stosować wartości stałych sprężystych zmierzone tą metodą. Tylko w tym przypadku uzyskuje się zgodność wartości naprężeń zmierzonych metodą rentgenograficzną z wartościami naprężeń zmierzonymi innymi metodami. W badaniach korzystano z urządzeń własnej konstrukcji do odkształcania próbek bezpośrednio w goniometrze. Kilkuletnie stosowanie wykazało ich pełną przydatność w takich badaniach. W ten sposób wypełniono istniejącą lukę w specjalistycznym oprzyrządowaniu dyfraktometrów rentgenowskich.

[1] Voigt W.: Lehrbuch der Kristallphysik, Leipzig - Berlin 1928,

Teubner

[2] Prümmer R.: Kerntechnik, Isotopentechnik und Chemie, 1971

Bd.13 H.2 № 68 - 77

[3] Reuss A.: ZAMM 1929 Bd 9 H.1 № 49 - 58

- [4] Senczyk D.: VI Krajowa Konferencja Wytrzymałości i Badania Materiałów, Poznań 18 - 19.05.1972, Referaty, s.191 - 210
- [5] Senczyk D.: Rozprawy Politechniki Poznańskiej, 1980 nr 110
- [6] Senczyk D.: Rozprawy Politechniki Poznańskiej, 1988 nr 194

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ИЗМЕРЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ УПРУГИХ КОНСТАНТ ФАЗ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

Резюме

Описали вопрос упругой анизотропии фаз в поликристаллических материалах. Констатировали, что в измерениях напряжений рентгенографическими методами надо использовать упругие константы измеренные тоже этими методами.

THEORY AND PRACTICE OF X-RAY ELASTIC CONSTANTS OF PHASES MEASUREMENT IN POLYCRYSTALLINE MATERIALS

Summary

The problem of elastic anisotropy of phases in polycrystalline materials is described. Methodics and results of measurement of x-ray elastic constants for investigated materials are described. It was obtained that in measurement of stresses, values of elastic constants should be measured also x-ray methods