

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"

POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ

Beskid Śląski, 1990

Władysław Zielecki
Zakład Technologii Maszyn
Politechnika Rzeszowska

STAN NAPRĘŻEN WŁASNYCH W STALI NAPROMIENIOWANEJ WIĄZKĄ ELEKTRONÓW

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań naprężeń własnych w stali 38HMJ, obrobionej wiązką elektronów. Stwierdzono, że efektem obróbki elektronowej jest konstytuowanie powierzchniowych naprężeń rozciągających o wartości od 80 do 370 MPa oraz ściskających naprężeń własnych o wartości od -160 do -240 MPa, zalegających do głębokości 0,8 mm. Przeprowadzone badania zmęczeniowe wykazały, że naprężenia powierzchniowe wywierają decydujący wpływ na wartość trwałej granicy wytrzymałości zmęczeniowej.

1. Wprowadzenie

Strumień elektronów o wysokiej energii stosowany jest od wielu lat w technologii topienia i spawania metali. Może on być również wykorzystywany w operacjach obróbki powierzchniowej, zapewniając uzyskanie powierzchni o chropowatości $R_a = 0,10 - 0,20 \mu\text{m}$ niezależnie od chropowatości wejściowej oraz utwardzenie warstwy wierzchniej do wartości $\mu\text{HV}_{0,01} = 6,0 - 7,0 \text{ GPa}$ [3].

Zmiany właściwości warstwy wierzchniej zachodzące podczas powierzchniowej obróbki elektronowej są rezultatem procesów bardzo szybkiego nagrzewania i stygnięcia materiału, powodujących rozdrobnienie ziarn, rozposzczenie dodatków stopowych i ich segregację oraz przemiany strukturalne i fazowe. Zjawiska fizyczne zachodzące podczas obróbki elektronowej wpływają również na zmianę stanu naprężeń w warstwie wierzchniej.

Celem niniejszej pracy było wyznaczenie rozkładów naprężeń własnych w stali 38HMJ obróbioonej wiązką elektronów oraz określenie ich wpływu na wytrzymałość zmęczeniową.

2. Obróbka próbek i metodyka badań

Powierzchnię zewnętrzną ulepszonych cieplnie, walcowych próbek ze stali 38HMJ, o średnicy ϕ 36 mm i długości 100 mm, toczono, szlifowano i polerowano do chropowatości $R_a = 0,36 - 0,40 \mu\text{m}$, a następnie obróbioo wiązką elektronów. Powierzchniową obróbkę umacniającą przeprowadzono spawarką elektronową K10/G-150 firmy Steigerwald Strahltechnik. Obróbkę wykonano w próżni $6,65 \cdot 10^{-7}$ Pa wiązką elektronów, której moc regulowano prądem wiązki $I = 12-20 \text{ mA}$, nie zmieniając napięcia przyspieszającego $U = 120 \text{ kV}$. Strumień elektronów był ogniskowany pod powierzchnią obrabianą ($I_s = -100 \text{ mA}$) i odchylany poprzecznie z częstotliwością $f = 100 \text{ Hz}$ i amplitudą $a = 25 \text{ mm}$.

Z umocnionych wiązką elektronów próbek wykonano tuleje, z których wycięto pryzmatyczne płytki o grubości 5 mm i szerokości 12 mm, przeznaczone do badań stanu naprężeń oraz próbki o specjalnym kształcie [2], stosowane w badaniach zmęczeniowych.

Naprężenia własne w warstwie wierzchniej stali 38HMJ umocnionej wiązką elektronów wyznaczono metodą Sachsa-Davidenkowa. Próbki trawiono elektrochemicznie w roztworze o składzie chemicznym 60% H_3PO_4 + 20% H_2SO_4 + 20% H_2O i rejestrowano ich odkształcenia w określonych odstępach czasu. Wartości naprężeń własnych w kolejnych punktach pomiarowych obliczono ze wzorów podanych w pracy [1], wykorzystując do tego celu program opracowany na komputer ZX Spectrum. Program umożliwiał przedstawienie wyników w postaci tablicy oraz wykresu rozkładu naprężeń z wartościami naprężeń powierzchniowych σ_p (za które przyjmowano wartość naprężeń na głębokości $h_{\text{min}} = R_z = 2 \mu\text{m}$), maksymalnych naprężeń ściskających σ_{sm} i głębokości zalegania naprężeń ściskających g . Pomiar naprężeń wykonano z trzykrotną powtarzalnością, a zamieszczone wyniki odpowiadają wartościom średnim.

Przyspieszone badania zmęczeniowe przeprowadzono metodą schodkową na wibratorze elektrodynamicznym ST 500/300/1 [2]. Próbę zmęczeniową prowadzono do wystąpienia pęknięcia zmęczeniowego lub granicznej liczby cykli wynoszącej $2 \cdot 10^6$. Procentowy wzrost wytrzymałości zmęczeniowej Δz_{gw} próbek obróbioonych wiązką elektronów określono w stosunku do wytrzymałości zmęczeniowej próbek polerowanych.

3. Wyniki badań

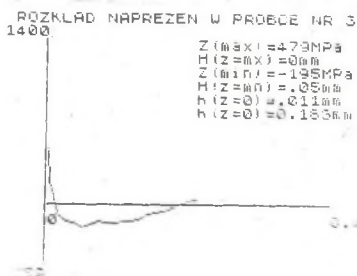
Obróbka wiązki elektronów o mocy do 1800 W nie powodowała istotnej zmiany chropowatości uzyskanej w operacji polerowania. Strumień elektronów o mocy większej od 1800 W powodował przetopienie powierzchniowych warstw metalu, powodując zmniejszenie chropowatości do $R_a = 0,23 - 0,25 \mu m$.

Na rys.1 przedstawiono przykładowy komputerowy wydruk obliczeń naprężeń własnych w próbce obrabianej wiązka elektronów o mocy 1440 W. Kompleksowe wyniki pomiarów naprężeń własnych przedstawiono na rys.2 oraz w tabelicy 1, w której zamieszczono również wyniki badań zmęczeniowych.

W próbkach polerowanych występują naprężenia rozciągające o $\sigma_p = 750 MPa$, zalegające do głębokości 0,09 mm. Efektem obróbki elektronowej jest ukonstytuowanie w warstwie wierzchniej naprężeń ściskających o maksymalnych wartościach σ_{ms} od -160 do -240 MPa, zalegających na głębokości od 0,2 do 0,8 mm. W próbkach obrabianych strumieniem elektronów powodującym przetopienie powierzchniowych warstw metalu konstytuowane są na powierzchni naprężenia rozciągające o maksymalnej wartości 370 MPa, zalegające do głębokości 0,03 mm.

ROZKŁAD NAPRZEŃEN PRÓBKĄ NR 3

h(3,0)	=0	h(3,0)	=436.4
h(3,1)	=-0.0009	h(3,1)	=476.1
h(3,2)	=-0.0019	h(3,2)	=397.7
h(3,3)	=-0.0028	h(3,3)	=248.1
h(3,4)	=-0.0038	h(3,4)	=170.0
h(3,5)	=-0.0057	h(3,5)	=118.0
h(3,6)	=-0.0096	h(3,6)	=60.1
h(3,7)	=-0.0135	h(3,7)	=-18.0
h(3,8)	=-0.0154	h(3,8)	=-53.0
h(3,9)	=-0.027	h(3,9)	=-135.1
h(3,10)	=-0.038	h(3,10)	=-195.4
h(3,11)	=-0.0501	h(3,11)	=-195.0
h(3,12)	=-0.0517	h(3,12)	=-165.0
h(3,13)	=-0.0735	h(3,13)	=-144.4
h(3,14)	=-0.0849	h(3,14)	=-150.0
h(3,15)	=-0.0965	h(3,15)	=-143.7
h(3,16)	=-0.103	h(3,16)	=-133.1
h(3,17)	=-0.1196	h(3,17)	=-133.1
h(3,18)	=-0.1316	h(3,18)	=-133.1
h(3,19)	=-0.1420	h(3,19)	=-90.6
h(3,20)	=-0.1544	h(3,20)	=-90.6
h(3,21)	=-0.1655	h(3,21)	=-90.6
h(3,22)	=-0.1775	h(3,22)	=-90.6
h(3,23)	=-0.1891	h(3,23)	=5
h(3,24)	=-0.2007	h(3,24)	=33.7
h(3,25)	=-0.2123	h(3,25)	=50.0

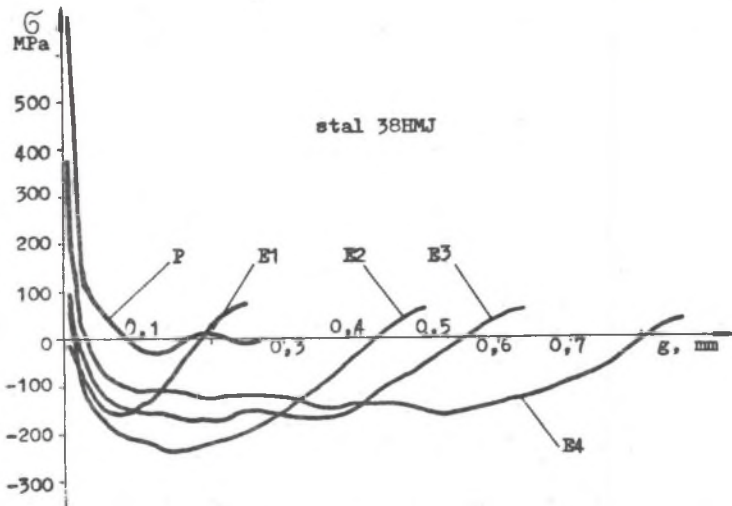


Rys.1. Komputerowy wydruk obliczeń stanu naprężeń w próbce obrabianej wiązka elektronów o mocy 1440 W

Tablica 1.
Wyniki pomiarów naprężeń własnych i badań zmęczenia stali 38HMJ
obrobionej wiązką elektronów

Partia próbek		Wytrzymałość zmęzeniowa		Naprężenia własne		
Oznaczenia	Moc W	Z_{gv} MPa	ΔZ_{gv} %	δ_p MPa	δ_{ms} MPa	g_m mm
P	-	523	-	753	-30	0,15
E1	1440	716	36,9	-11	-176	0,19
E2	1800	700	33,8	74	-238	0,46
E3	2040	732	40,0	78	-188	0,56
E4	2400	652	24,6	367	-161	0,82
Współczynnik korelacji liniowej z Z_{gv}		-	-	0,98	0,91	0,34

Zamieszczone w tablicy 1 wyniki badań zmęzeniowych wskazują, że stosując powierzchniową obróbkę elektronową można zwiększyć wytrzymałość zmęzeniową o 25-40%. Z przeprowadzonej analizy korelacji pomiędzy wytrzymałością zmęzeniową a wielkościami opisującymi stan naprężeń własnych wynika, że największy wpływ na wytrzymałość zmęzeniową wywierają naprężenia powierzchniowe δ_p oraz maksymalne naprężenia ściskające δ_{ms} .



Rys. 2. Rozkłady naprężeń własnych w stali 38HMJ obrobionej wiązką elektronów (oznaczenia jak w tab.1)

4. Wnioski

1. Obróbka wiązką elektronów konstituuje w warstwie wierzchniej naprężenia ściskające o maksymalnej wartości od -160 do -240 MPa, zalegające do głębokości 0,8 mm. W przypadku oddziaływania strumienia elektronów powodującej topienie metalu na powierzchni mogą występować znaczne naprężenia rozciągające.
2. Powierzchniowe naprężenia własne δ_p wywierają największy wpływ na wytrzymałość zmęczeniową części obrabianych wiązką elektronów.

LITERATURA

- [1] Górecka R., Polański Z.: Metrologia warstwy wierzchniej. WNT, Warszawa 1983.
- [2] Łunarski J.: Porównawcza ocena własności zmęczeniowych w badaniach technologicznych. Technika Lotnicza i Astronautyczna nr 3, 1981.
- [3] Łunarski J., Zielecki W.: Ulepszanie własności warstwy wierzchniej obróbką elektronową. Materiały XV Szkoły Trybologicznej, .N. Pol. Rz.nr 36, Mechanika, z.15, Rzeszów 1987.

СОСТОЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛИ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ

Резюме

В работе представлены результаты исследования остаточных напряжений в стали 38ХМЮ после электроннолучевой обработки. В поверхностном слое формируются сжимающие напряжения величиной от 160 до 240 МПа расположено на глубину до 0,8 мм. Обнаружено, что поверхностные остаточные напряжения наиболее влияют на усталостную прочность стали обрабатываемой электронным потоком.

STATE OF RESIDUAL STRESSES IN STEEL AFTER
STRENGTHENING TREATMENT WITH ELECTRON BEAM

Summary

The paper presents results of residual stresses testing, concerning 38HMJ steel, that had been strengthened by electron beam treatment. It has been stated that electron beam treatment resulted in creation of surface tensile stresses (from 80 to 370 MPa), as well as residual compressive stresses (from -160 to -240 MPa), that occurred in subsurface zone down to the depth of 0,8 mm. Fatigue tests have shown that surface stresses have decisive influence on the fatigue limit value.