

Monika GIERZYŃSKA-DOLNA, Zbigniew SMARZYŃSKI,
Tadeusz WRONA

Instytut Przeróbki Plastycznej
i Spawalnictwa
Politechnika Częstochowska

WPLYW CYKLICZNIE ZMIENNYCH OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH I MECHANICZNYCH
NA DEKOHEZJĘ STALI WNL

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań zmęczenia ciepłno-mechanicznego, które przeprowadzono na specjalnym stanowisku skonstruowanym w Instytucie Przeróbki Plastycznej i Spawalnictwa Politechniki Częstochowskiej. Badania zmęczeniowe stali WNL przeprowadzono przy zmiennych polach temperatur i zmiennych obciążeniach o charakterze udarowym. Jako kryterium odporności badanego materiału na zmęczenie ciepłno-mechaniczne przyjęto liczbę cykli do złamania próbki.

Zmęczenie ciepłno-mechaniczne o charakterze udarowym jest to proces, który w dużym stopniu decyduje o trwałości narzędzi kuźniczych, walców hutniczych itp.

Proces ten jest wywołany cyklicznie zmiennymi w czasie obciążeniami cieplnymi i mechanicznymi (udarowymi), wywołującymi w materiale postępującą zmianę własności, doprowadzając do jego zniszczenia.

Badania zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym skonstruowanym w Instytucie Obróbki Plastycznej i Spawalnictwa Politechniki Częstochowskiej, modelującym obciążenia cieplne i udarowe narzędzi do pracy w podwyższonych temperaturach, które zostało szczegółowo omówione w pracach [1, 2, 3].

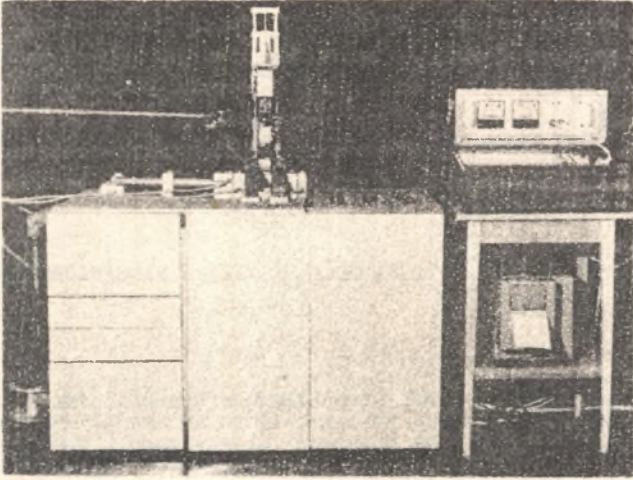
Widok stanowiska przedstawiono na rys. 1.

Kształt i wymiary próbki użytej do badań pokazano na rys. 2 i w tabelicy 1.

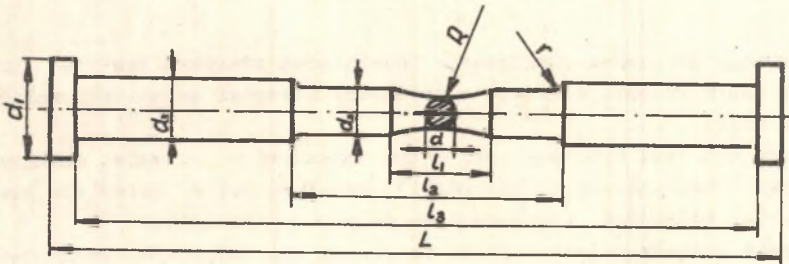
Tablica 1

Wymiary (mm) próbki do badania zmęczenia ciepłno-mechanicznego

d_1	d_2	d_3	d_4	l_1	l_2	l_3	L	R	r_1
$\phi 8 \pm 0,02$	$\phi 10$	$\phi 18$	$\phi 25$	18	60	212	230	35	4



Rys. 1. Widok stanowiska do badania zmęczenia cieplno-mechanicznego



Rys. 2. Kształt i wymiary próbki użytej do badań

W badaniach zastosowano próbki ze stali WNL, która jest najczęściej stosowanym materiałem na narzędzia kuźnicze. Skład stali WNL przedstawiono w tablicy 2.

Próbki były obrobione cieplnie (hartowanie i odpuszczanie) do twardości 40HRC. W części środkowej próbki były szlifowane.

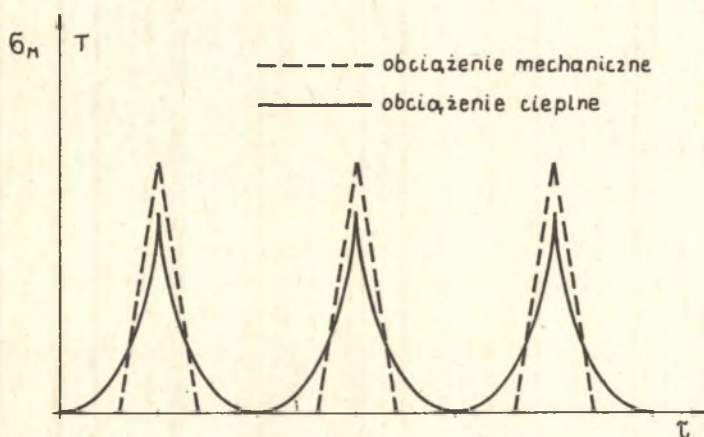
W badaniach z 11 możliwych do stosowania na ww. stanowisku wariantów badań zastosowano połączenie obciążeń cieplnych i mechanicznych przedstawione na rys. 3.

Próbka nagrzewana była cyklicznie oporowo-prądem, uderzana (udarowe zgrzanie) i chłodzona wodą. Za kryterium odporności na zmęczenie cieplno-mechaniczne przyjęto liczbę cykli do złamania próbki - N_z . Badania prowadzono stosując cykle cieplne: $10 \pm 400^\circ\text{C}$, $10 \pm 550^\circ\text{C}$, $10 \pm 700^\circ\text{C}$ oraz energie uderzenia $E = 0,75, 1, 2$ oraz $1,65$ J.

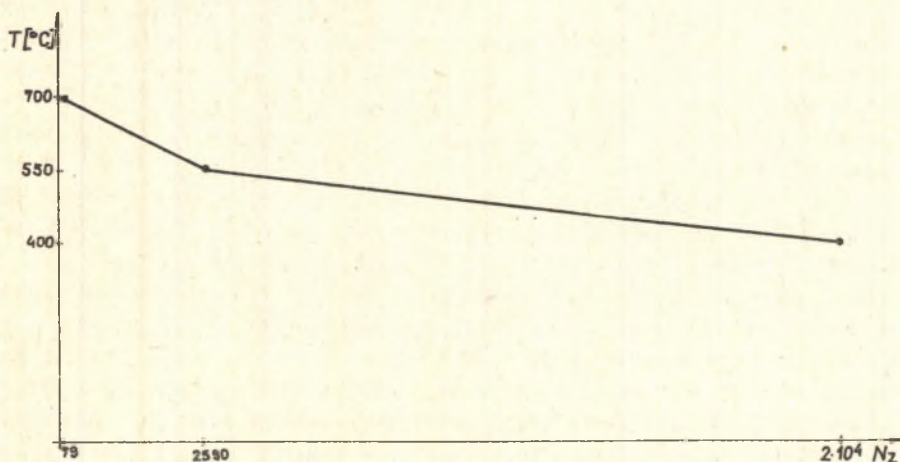
Tablica 2

Skład chemiczny stali WNL

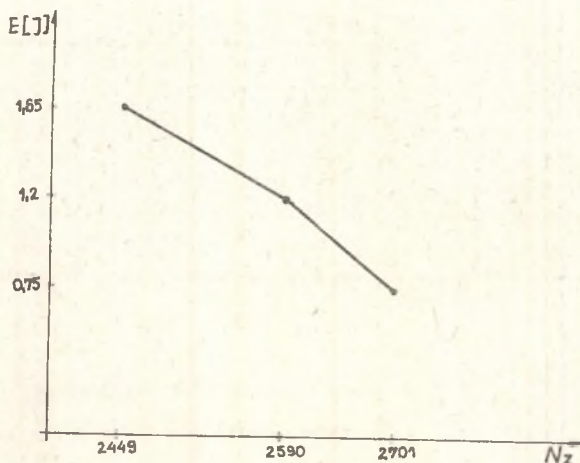
	S k ł a d c h e m i o c z n y w %								
	C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cu	Cr	Ni	Mo
wg. PN-69/H- - 85C21	0,50- 0,60	0,50- 0,80	0,15- 0,35	0,05	0,03	-	0,50- 0,80	1,50- 1,80	0,21
użyto do badań	0,56	0,70	0,25	0,021	0,019	0,115	0,68	1,39	0,21



Rys. 3. Cykl cieplno-mechaniczny stosowany w badaniach



Rys. 4. Zależność odporności stali WNL na zmęczenie cieplno-mechaniczne od maksymalnej temperatury cyklu



Rys. 5. Zależność odporności stali WNL na zmęczenie ciepłno-mechaniczne od energii uderzenia

Wyniki badań ilościowych przedstawiono na rys. 4, 5.

Stwierdzono decydujący wpływ maksymalnej temperatury cyklu - T na odporność na zmęczenie ciepłno-mechaniczne, przy czym przy temperaturze $T = 400^{\circ}\text{C}$ nie doprowadzono do złamania próbki do $2 \cdot 10^4$ cykli, w związku z czym próbę przerwano, uznając tę liczbę za wytrzymałość nieograniczoną stali WNL przy energii uderzenia $E = 1,2 \text{ J}$.

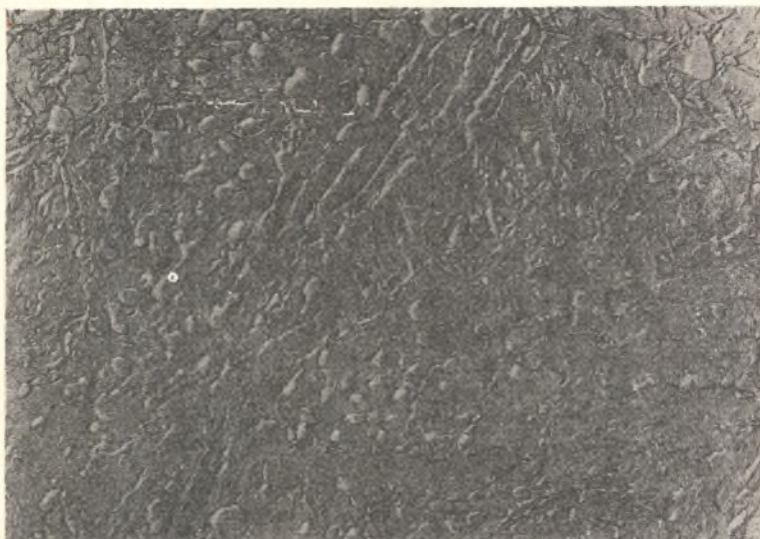
Wzrost energii uderzenia w badanym przedziale powodował podobnie jak w przypadku temperatury spadek odporności na zmęczenie ciepłno-mechaniczne, ale wpływ ten był niewielki.

Celem uzyskania istotnych danych prowadzących do wyjaśnienia złożonych procesów zmęczenia ciepłno-mechanicznego i ciepłego przeprowadzono badania mikrostrukturalne oraz obserwację pęknięć na mikroskopie optycznym i skaningowym.

W związku z bardzo drobną strukturą badanych stali powiększenia możliwe do zastosowania na mikroskopie optycznym (do 1000x) nie dawały istotnych informacji. Wykonano zatem badania na mikroskopie elektronowym EP4, wykonując ze zglądów metalograficznych repliki matrycowo-triafolowe, cieniowane platyną.

Stal WNL po obróbce cieplnej (rys. 6a) posiada strukturę z dużą ilością węglików wraz z iglastym ułożeniem linii martenzytu. Po procesie zmęczenia ciepłego $N = 200$ cykli $10 \approx 700^{\circ}\text{C}$ zanikają linie martenzytu, natomiast następuje wydzielanie i koagulacja węglików kulistych (rys. 6b).

Obserwację pęknięć powierzchniowych prowadzono za pomocą mikroskopu elektronowego skaningowego, typu Stereoscan Cambridge, na próbkach walcowych bez osłabienia geometrycznego w środku badanych w cyklach $10 \approx 700^{\circ}\text{C}$, $E = 0$ i $10 \approx 700^{\circ}\text{C}$, $E = 0,57 \text{ J}$.



Rys. 6. Mikrostruktura stali WNL:
a) po ulepszeniu cieplnym



b) po zmęczeniu cieplnym $N = 200$ cykli, $10 \quad 700^{\circ}\text{C}$
Mikroskop elektronowy, replika tرافیолowa. Powiększenie 5000x



Rys. 7. Powierzchnia próbki po 10 cyklach cieplno-mechanicznych (cykl 10 700°C, $E = 0,57 J$)
Powiększenie 200 x

Porównanie rozwoju pęknięć powierzchniowych przy zmęczeniu cieplnym i cieplno-mechanicznym przedstawiają rys. 7-10.

Po 10 cyklach cieplno-mechanicznych i cieplnych nie zaobserwowano pęknięć powierzchniowych. Widoczna jest jedynie warstwa tlenków miejscami łuszcząca się oraz początek deformacji powierzchni (rys. 7).

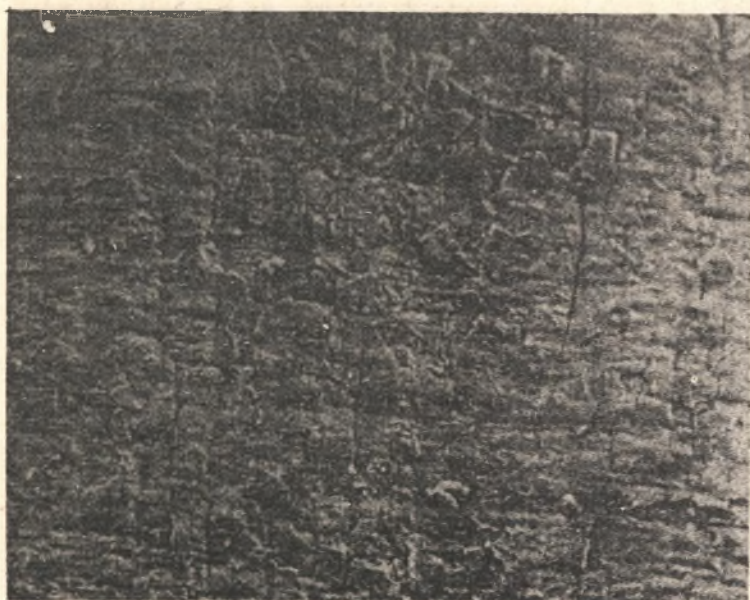
Po 20 cyklach cieplnych nie zaobserwowano pęknięć a tylko pojawienie się linii deformacji (rys. 8a), natomiast po 20 cyklach cieplno-mechanicznych powierzchnia próbki posiada już wyraźne mikropełknięcia wzdłużne, często powstałe na liniach deformacji oraz mikropełknięcia poprzeczne (rys. 8b).

Po 60 cyklach cieplnych na powierzchni pojawiły się pęknięcia, które formują się już w siatkę pęknięć o dość dużych oczkach (rys. 9a).

Powierzchnia próbek po 60 cyklach cieplno-mechanicznych (rys. 9b) charakteryzuje się wyraźną siatką pęknięć o głębszych i szerszych pęknięciach niż przy zmęczeniu cieplnym o mniejszych oczkach, z wyraźną tendencją do podziału.



Rys. 8. Powierzchnia próbek po 20 cyklach:
a) cieplnych 10 700°C



b) cieplno-mechanicznych 10 700°C, E = 0,57 J
Powiększenie 200 x



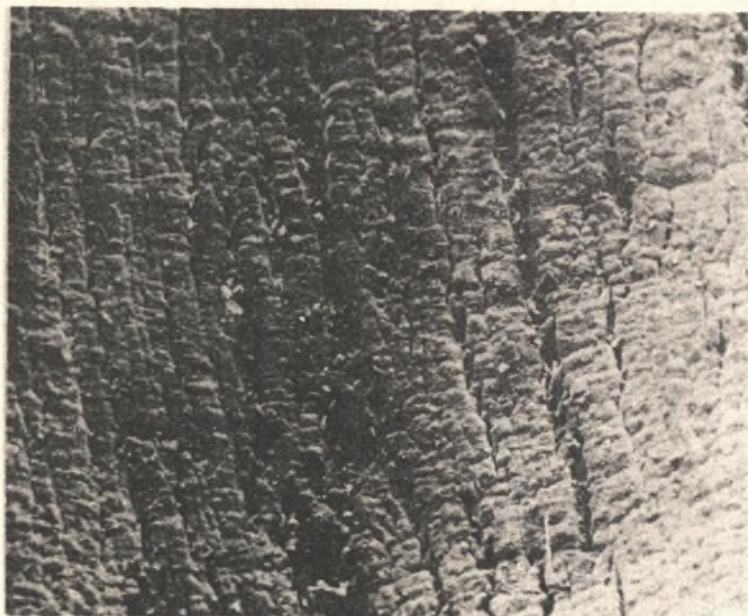
Rys. 9. Powierzchnia próbek po 60 cyklach:
a) cieplnych 10 700°C



b) ciepłno-mechanicznych 10 700°C, $E = 0,57 \text{ J}$
Powiększenie 200 x



Rys. 10. Powierzchnia próbki po 300 cyklach ciepłno-mechanicznych (cykl
10 700°C, $E = 0,57 \text{ J}$)
a) powiększenie 200 x



b) powiększenie 50 x

Pęknięcia główne rozwijają się po liniach deformacji, następnie tworzą się pęknięcia poprzeczne, które łącząc się z pęknięciami głównymi tworzą siatkę i wyodrębniają pewne obszary (oczka), które wraz ze wzrostem liczby cykli ulegają dalszemu podziałowi.

Wraz z dalszym wzrostem liczby cykli cieplno-mechanicznych następuje systematyczne powiększanie się pęknięć głównych oraz poprzecznych.

Postępująca dekohezja materiału prowadzi do bardzo dużego rozdrobnienia oczek siatki pęknięć. Następuje łączenie się (zamykanie) pęknięć, doprowadzające do mikrokruszenia materiału (rys. 10a) a następnie tworzenia się na powierzchni wyrw w skali makro (rys. 10b). Końcowym etapem jest całkowita dekohezja materiału w postaci pęknięcia rozdzielczego.

DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ

W oparciu o analizę uzyskanego materiału badawczego można stwierdzić, że cykliczne obciążenie cieplno-mechaniczne wywołuje w materiale pole temperatur i związane z nim pole naprężeń (cieplnych sumowanych z naprężeniami mechanicznymi) i odkształceń, doprowadzając przy dostatecznie dużej wartości do wystąpienia pęknięć zmęczeniowych.

Równoległe występują zmiany mikrostruktury materiału wywołane ruchem dyslokacji, wakansów i atomów międzywęzłowych, powodując zmianę własności mechanicznych i fizykochemicznych materiału.

Jeżeli środowisko nie jest obojętne w stosunku do obiektu, którym jest badany materiał, w procesie zmęczenia cieplno-mechanicznego występuje powierzchniowe utlenianie, zjawiska adsorpcji i chemisorpcji, zmieniającego geometrię, strukturę i własności powierzchni elementu.

Zjawisko zmęczenia cieplno-mechanicznego ma zatem bardzo złożony charakter i jest zależne od wielu czynników, przy czym decydujący wpływ na odporność na zmęczenie cieplno-mechaniczne ma maksymalna temperatura cyklu cieplnego.

Z uwagi na to, że proces zmęczenia cieplno-mechanicznego prowadzi w efekcie do powstawania pęknięć, istotną rolę w wyjaśnieniu mechanizmu tego procesu ma analiza powstawania i rozwoju pęknięć zmęczeniowych. Proces zmęczenia cieplno-mechanicznego różni się w sposób istotny od zmęczenia mechanicznego rodzaju zjawisk, ponieważ oprócz cyklicznie zmiennego pola naprężeń i odkształceń występują fluktuacje cieplne, przyspieszające migrację dyslokacji i zmniejszające siły kohezji między atomami.

Niezależnie od naprężeń I rodzaju w procesie zmęczenia cieplno-mechanicznego występują mikronaprężenia strukturalne spowodowane niejednorodnością budowy materiałów. Ponadto cykliczne oddziaływanie fluktuacji cieplnych powoduje w badanym materiale zanik charakterystycznych linii martenzytu, wzrost ilości wydzieleni węglików i ich sferoidyzację.

W wyniku cyklicznych obciążeń cieplnych i udarowych na powierzchni pojawia się charakterystyczna siatka pęknięć, w której wydzielone oczka podlegają dalszemu podziałowi z narastaniem ilości cykli zmęczeniowych.

Zamykanie się pęknięć na powierzchni próbki jak i w płaszczyźnie prostopadłej powoduje wykruszanie się mikroobjętości materiału. Ten mechanizm można uznać jako typowy, towarzyszący niszczeniu narzędzi do pracy na gorąco.

LITERATURA

- [1] Gierzyńska M., Smarzyński Z., Wrona T., Ruszkowski W.: Opracowanie konstrukcji i wykonanie stanowiska do badania zmęczenia cieplno-mechanicznego. Sprawozdanie z etapu badań w problemie I - 22, grudzień 1976.
- [2] Gierzyńska M., Smarzyński Z., Wrona T.: Nowy sposób badania zmęczenia cieplno-mechanicznego. Mat. II Sympozjum Zespołu Zmęczenia Materiałów i Konstrukcji, Lublin 1977.
- [3] Smarzyński Z., Wrona T.: Method of Thermal - Mechanical Fatigue Testing. Proc. of 7 th Congress on Material Testing, Budapest 1978.

ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ДЕКОГЕЗИЮ СТАЛИ WNL

Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований термическо-механической усталости, которые были проведены на специальном стенде, сконструированном в Институте пластической переработки и сварки. Исследования усталости стали WNL велись при переменных полях температур и переменных нагрузках ударного характера. В качестве критерия устойчивости исследуемого материала к термическо-механической усталости было принято число циклов до поломки образца

THE INFLUENCE OF THERMAL AND MECHANICAL LOADS VARYING IN CYCLES ON WNL STEEL DECOHESION

S u m m a r y

The paper presents the results of research on thermal and mechanical fatigue, carried out on a special test stand designed in Instytut Przeróbki Plastycznej i Spawalnictwa Politechniki Częstochowskiej. The WNL steel fatigue tests were carried out at varying temperature fields and at varying loads of surge character. The number of cycles up to the sample fracture was assumed to be a criterion of strength of the examined material.