



Organizator:
Politechnika Warszawska
Instytut Techniki Wytwarzania

Przewodniczący:
Lucjan Dąbrowski
ld@meil.pw.edu.pl
http://snoe.meil.pw.edu.pl

Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych

SNOE

Artykuły naukowe z 2014 r.

Patronat naukowy: SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII KOMITETU BUDOWY MASZYN POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Wpływ obróbki nagniataniem na właściwości użytkowe elementów po obróbce elektroerozyjnej

Influence of cold work treatment on the properties of the elements after the electro discharge machining

ANNA PODOLAK-LEJTAS*

W artykule zostaną przedstawione wyniki badań dotyczące podstawowych właściwości użytkowych elementów obrabianych kolejno obróbką elektroerozyjną (EDM) a następnie obróbką powierzchniową zgniotem (OPZ). Zastosowanie sekwencji tych obróbek powoduje zniwelowanie niekorzystnych zmian w WW powstałych podczas procesu drążenia oraz poprawę własności użytkowych.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka powierzchniowa zgniotem, obróbka elektroerozyjna, wytrzymałość zmęczeniowa, odporność na ścieranie.

The paper presents results of research on the basic functional properties of parts machined by electro-discharge machining (EDM) and then machined cold work treatments. Application of a sequence of these treatments will level the adverse changes in surface layer produced during drilling process and will improve the functional properties.

KEYWORDS: cold work treatment, EDM, fatigue strength, wear/abrasion resistance.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wytrzymałość zmęczeniowa elementów obrabianych elektroerozyjnie w porównaniu z innymi metodami charakteryzuje się najniższą wytrzymałością zmęczeniową (tab. 1). Jest to wynikiem zmian zachodzących w warstwach wierzchnich pod wpływem gwałtownych procesów termicznych. Do najważniejszych defektów WW należy zaliczyć mikropęknięcia, gdyż to one powodują w znacznym stopniu zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej i odporności na korozję [2] oraz naprężenia rozciągające. Zastosowanie obróbki nagniataniem po EDM pozwala nie tylko przywrócić elementom obrabianym

elektroerozyjnie wytrzymałość zmęczeniową porównywalną do otrzymywanych innymi technologiami, ale nawet otrzymać wyższą jej wartość [1,6]. W tym celu jako obróbkę powierzchniową zgniotem wykorzystano nagniatanie za pomocą głowicy do roto peenu, umożliwiła ona lokalną obróbkę materiałów. Polega na cyklicznym uderzaniu powierzchni obrabianej elementami roboczymi w postaci kulek wykonanych z węgla wolframu o promieniu $r = 0,5$ mm. Głowica wykonuje ruch obrotowy w granicach od 3000 do 8000 obr/min.

Tab. 1. Wpływ sposobu obróbki na wytrzymałość zmęczeniową

Sposób obróbki	Ograniczona wytrzymałość zmęczeniowa na zginanie	Trwałość względna w stosunku do szlifowania
Szlifowanie delikatne	60	100
Toczenie	60	100
EDM	22	37
EDM wykończające + shoot peening	66	110
EDM zgrubne + shoot peening	75	125

Badania wytrzymałości zmęczeniowej wykonano na próbkach płaskich wykonanych ze stali NC10 obrabianej

* dr inż. Anna Podolak-Lejtas (apodolak@meil.pw.edu.pl)

cieplnie do HRC 30. Badania zmęczeniowe płaskich próbek prowadzono na maszynie zmęczeniowej Schenk PWQ-flato, wymuszającej dwustronne zginanie przy naprężeniach zginających $\sigma = 300 \div 450$ MPa.

Klasyczne badania wytrzymałości zmęczeniowej polegają na sporządzeniu wykresu zmęczeniowego (Wöhlera) tj. zależności wytrzymałości na zmęczenie w funkcji liczby cykli obciążeń. Badania przeprowadzone były wariantowo z ograniczoną liczbą prób dla każdego wariantu technologicznego. Stanem odniesienia były próbki obrabione elektroerozyjnie. Badania przeprowadzone były wg następujących wariantów technologicznych:

Wariant I: wiersze 1 – 4: obróbka EDM ($U = 160$ V, $I = 16$ A, $T_i = 800$ μ s.).

Wariant II: wiersze 5 – 7: obróbka EDM ($U = 160$ V, $I = 16$ A, $T_i = 800$ μ s) oraz obróbka roto peen ($n = 5000$ obr/min, $t = 2,5$ min).

Wariant III: wiersze 8 – 11: obróbka EDM ($U = 160$ V, $I = 16$ A, $T_i = 800$ μ s) oraz obróbka roto peen ($n = 7000$ obr/min, $t = 2,5$ min).

W tabeli 2 umieszczone zostały zestawienia wyników badań wytrzymałościowych.

Tab. 2. Zestawienia wyników badań wytrzymałości zmęczeniowej w warunkach zginania obustronnie zmiennego

Ozn. wariantu technologicznego	Naprężenia $\pm \sigma$ [MPa]				Liczba cykli do zniszczenia [N]
	1	2	3	4	
I EDM	550	--	--	--	108 600
	--	400	--	--	60 000
	--	--	300	--	75 600
	--	--	300	--	86 500
II EDM + ROTO PEEN	--	--	300	--	1 020 000
	--	400	--	--	151 800
	--	--	--	350	116 000
III EDM + ROTO PEEN	--	--	300	--	1 000 000
	--	--	--	350	1 000 000
	--	400	--	--	1 000 000
	450	--	--	--	107 600

Analizując wyniki dla kolejnych wariantów można stwierdzić, że [4]:

- ◆ Próbki po obróbce EDM ulegały (wiersze 1 ÷ 4) zniszczeniu przy liczbach cykli mniejszych od 100000 (pomińjąc dane z pierwszego wiersza które należy przyjąć jako niereprezentatywne - obarczone znacznym błędem in plus) wartość ta uznawana jest za graniczną przy badaniach wytrzymałości zmęczeniowej.
- ◆ Próbki obrabione EDM i następnie roto peen według wariantu II (wiersze 5 ÷ 7 tj. $n = 5000$ obr/min, $t = 2,5$ min) przy naprężeniach $\sigma = 300$ MPa wytrzymują 1000000 cykli, przy większych naprężeniach ($\sigma = 350$ MPa) ulegają zniszczeniu przy liczbie 111 000 ÷ 150 000 cykli.

- ◆ Próbki obrabione według wariantu III (tab. wiersze 8 ÷ 11, przy parametrach $n = 7000$ obr/min, $t = 2,5$ min) wytrzymywały powyżej 1 000 000 cykli przy naprężeniach $\sigma = 350$ MPa oraz $\sigma = 400$ MPa, natomiast przy $\sigma = 450$ MPa po około 107 000 cykli obciążenia.
- ◆ Wytrzymałość zmęczeniowa mogła wzrosnąć z około $\sigma = 300$ MPa po obróbce EDM do około $\sigma = 400$ MPa po EDM + roto peen (przy parametrach roto peen $n = 7000$ obr/min, $t = 2,5$ min), a trwałość odpowiednio z około 100000 cykli do 1000000 cykli.

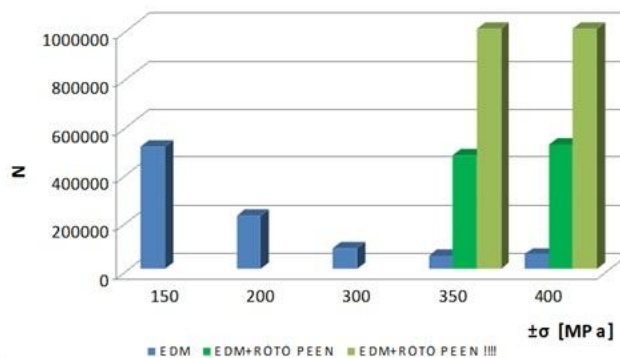
Z powyższych danych wynika, że brak jest wspólnego zakresu naprężeń dla wariantu technologicznego I i II lub I i III w którym liczba cykli przy którym następuje niszczenie próbek dla obu wariantów technologicznych byłaby zawarta w przedziale $100000 < N < 1000000$.

W związku z niejednoznacznymi wynikami badania zostały powtórzone przy:

- ◆ zmniejszonej liczbie wariantów technologicznych,
- ◆ zastosowaniu identycznej procedury badawczej,
- ◆ zwiększeniu liczby próbek poddawanych próbie przy tym samym obciążeniu.

Pierwszy wariant IA obejmował 5 próbek obrabionych elektroerozyjnie przy określonych parametrach EDM ($U = 160$ V, $I = 16$ A, $T_i = 800$ μ s), w drugim wariantcie - IIA badano próbki obrabione EDM i roto peen przy następujących parametrach: obróbka EDM ($U = 160$ V, $I = 16$ A, $T_i = 800$ μ s) oraz obróbka roto peen ($n = 5000$ obr/min, $t = 2,5$ min).

Na rysunku 1 przedstawiono interpretację graficzną wyników badań wytrzymałości zmęczeniowej w warunkach zginania obustronnie zmiennego. Wyniki prób prowadzonych przy tym samym obciążeniu podzielono na dwie grupy. Do pierwszej zaliczono wyniki prób przy których próbki nie uległy zniszczeniu (jasny zielony) w drugiej grupie zawarte są uśrednione wyniki próbek, które uległy zniszczeniu z przedziału 100 000 do 1 000 000 cykli (zielony).



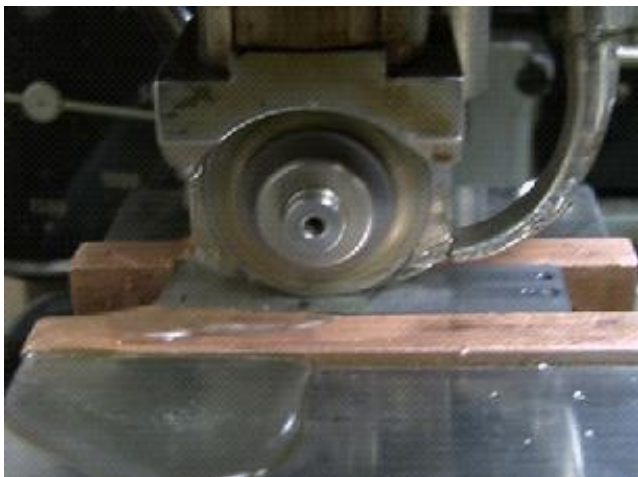
Rys. 1. Interpretacja graficzna wyników badań wytrzymałości zmęczeniowej w warunkach zginania obustronnie zmiennego

Otrzymane wyniki badań wytrzymałości zmęczeniowej próbek po EDM (wariant I A) należy traktować jako wartości odniesieniowe w stosunku do badań próbek obrabionych EDM i roto peen. Porównując trwałość próbek obrabionych EDM przy naprężeniach 350 MPa, która wynosi poniżej 100 000 cykli oraz obrabionych EDM i rotopeen przy tym samym obciążeniu, która wynosi od 470 000 do 1 000 000 cykli można wnioskować, że trwałość próbek po łącznej obróbce poddanych tym samym obciążeniami wzrasta od 5 do 10 razy. Z analizy wytrzymałości zmęczeniowej próbek po EDM oraz EDM i roto peen wynika, że podobną trwałość wykazują próbki obrabione EDM przy obciążeniu 150 MPa oraz próbki obrabione EDM i roto peenem przy obciążeniu 400 MPa.

Wyniki te dają podobny skutek jak prezentowane w literaturze [3,5] wyniki badań wpływu obróbki powierzchniowej zgniotem po EDM.

Kolejnym elementem oceny stanu warstwy wierzchniej są badania odporności na zużycie ścierne próbek po EDM oraz EDM i nagniataniem dynamicznym. Badania te mają określić w jakim stopniu poszczególne procesy obróbkowe wpływają na odporność na zużycie ścierne, elementów pracujących przy dużych naciskach jednostkowych i złych warunkach smarowania.

Badania wykonano przy pomocy maszyny Skoda-Savin. Ocena odporności na zużycie polega na pomiarze objętości rowka utworzonego na powierzchni badanej próbki, która jest wynikiem tarcia przeciw - próbki w postaci krążka z węgla spiekane go z badaną próbką (rys. 2).



Rys. 2. Widok próbki, przeciw-próbki oraz systemu chłodzenia na stanowisku Skoda-Savin

Pomiar dokonywany jest przy pomocy mikroskopu, polega on na pomiarze szerokości wytartego rowka i wyliczeniu jego objętości. Krążek z węgla spiekane go ma średnicę $D = 30$ mm, szerokości $B = 2,5$ mm, jest dokładnie obróbio ny ($R_a < 0,02$ μm , bicie poniżej $b < 0,02$ mm); wykonuje on ruch obrotowy z prędkością $n = 675$ obr/min, i jest dociskany do badanej próbki z siłą 50 ± 200 N. Na rysunku 2 przedstawiono przeciw - próbkę w postaci krążka z węgla spiekane go współpracującą z badaną próbką. Powierzchnia badanej próbki jest płaska.

Na każdej próbce próbę powtórzone trzykrotnie i wyniki pomiarów uśredniono.

Badania wpływu obróbki EDM i EDM + roto peen na odporność na zużycie ścierne wykonano na hartowanych próbkach ze stali NC10:

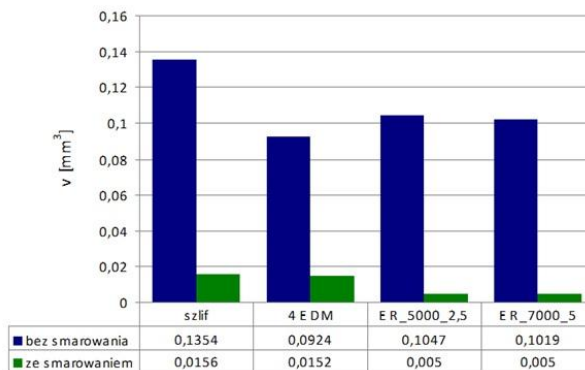
- ◆ powierzchni szlifowanych,
- ◆ powierzchni obrabianych elektroerozyjnie przy różnych parametrach I , T_i (w badaniach wykorzystano powierzchnie po EDM charakteryzujące się różnymi wysokościami chropowatości co odpowiadało obróbce zgrubnej i średnio-dokładnej),
- ◆ powierzchni obrabianych roto peen z różnymi parametrami (czas i prędkość obrotowa) po EDM.

Badania zrealizowano w dwu wariantach (warunków prowadzenia eksperymentu) [4]:

- ◆ bez smarowania w roztworze dwuchromianu potasu przy całkowitej liczbie obrotów $N = 3000$ obr,
- ◆ ze smarowaniem w roztworze nafty z olejem maszynowym w proporcji 1:3 (dobranym na podstawie wstępnych prób) przy całkowitej liczbie obrotów $N = 30000$ obr.

Na rysunku 3 przedstawiono zestawienia wykresów, odporności na zużycie w warunkach tarcia bez smarowania i ze smarowaniem, próbek ze stali NC10 szlifowanych, obrabianych elektroerozyjnie oraz obrabianych elektroerozyjnie i roto peen.

ZUŻYCIE ŚCIERNE



Rys. 3. Zestawienie wyników odporności na ścieranie w warunkach ze smarowaniem i bez smarowania

Porównując wyniki na zużycie w warunkach ze smarowaniem i bez smarowania można zaobserwować znaczny wzrost odporności na ścieranie dla tarcia w warunkach smarowania (nie zależnie od rodzaju obróbki), np. dla obróbki łączonej EDM $U = 80$ V, $I = 48$ A, $T_i = 400$ μs i roto peen: $n = 5000$ obr/min, $t = 5$ min w warunkach tarcia suchego objętość wytartego rowka wynosi $0,1\text{mm}^3$ gdzie dla tarcia ze smarowaniem uzyskujemy $0,005\text{mm}^3$. Niezależnie od rodzaju obróbki zauważalny jest wzrost odporności na zużycie w porównaniu z próbką szlifowaną, może być to spowodowane innym kształtem nierówności jak i większą twardością np. w przypadku próbek po nagniataniu.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania własności użytkowych pozwalają stwierdzić, że:

- ◆ przy właściwie dobranych parametrach zastosowanie po EDM, obróbki roto peen powoduje istotny wzrost wytrzymałości zmęczeniowej i związanej z nią trwałości przy próbach symetrycznego zginania płaskich próbek,
- ◆ wzrost wytrzymałości zmęczeniowej, w zakresie badanych parametrów, rośnie wraz z intensywnością obróbki roto peen,
- ◆ wzrost wytrzymałości zmęczeniowej wynosi dla przyjętych w badaniach warunków kilkadziesiąt procent, a trwałość wzrasta od kilku do około dziesięciu razy.
- ◆ wpływ obróbki nagniataniem może powodować zarówno zwiększenie jak i obniżenie zużycia ścierne go próbek w zależności od warunków tarcia
- ◆ w przypadku badań w warunkach smarowania, przy którym dominują procesy zużycia ścierne go, wzrost twardości wynikający z obróbki powierzchniowej zgniotem powoduje wzrost odporności na zużycie ścierne.

LITERATURA

1. Griffiths S., Manufacturing Surface Design and Monitoring for Performance. Surface Topography, Vol. 1 N.1. 1988.
2. Lim L.C., Lee L.C., Wong Y.S., Lu H.H., Solidification microstructure of discharge machined surfaces of tool steels. Mater. Sci. Technol. 7 (1991), pp. 239 – 248.
3. Nakonieczny A., Dynamiczna powierzchniowa obróbka plastyczna kulowanie shot peening. Instytut Mechaniki Precyzyjnej, Warszawa 2002
4. Podolak-Lejtas A., Modyfikacja warstwy wierzchniej zgniotem powierzchniowym elementów obrabianych elektroerozyjnie. Rozprawa doktorska. Warszawa, 2010.
5. Przybylski W., Technologia obróbki nagniataniem. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 1987.
6. Yen Y., Altena T., Manufacturing of Dies and Molds. Ann. CIRP. Vol. 52. No 2. 2001