

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI PRÓBEK
ZE STALI X38CrMoV5-1 POD POWŁOKI OCHRONNE
METODĄ SZLIFOWANIA ELEKTROEROZYJNEGO
AEDG I POLEROWANIA

Marcin GOŁABCZAK¹, Robert ŚWIĘCIK², Witold SZYMAŃSKI³

Streszczenie: W artykule przedstawiono technologię przygotowania powierzchni próbek ze stali narzędziowej X38CrMoV5-1 z zastosowaniem szlifowania elektroerozyjnego AEDG i polerowania mechanicznego. Zakres badań obejmuje porównanie struktury geometrycznej powierzchni SGP ukształtowanej w procesach szlifowania AEDG, polerowania oraz po wytworzeniu warstw ochronnych PVD typu: TiC+a-C:H oraz MoS₂TiW. Do pomiarów geometrii powierzchni w poszczególnych etapach zastosowano mikroskop konfokalny (CLSM) oraz profilometr mechaniczny i optyczny.

Słowa kluczowe: szlifowanie, szlifowanie elektroerozyjne (AEDG), stal X38CrMoV5-1, mikroskop konfokalny (CLSM), profilometry

Summary: In the paper the technology of surface layer preparation of samples made of X38CrMoV5-1 tool steel with using abrasive electrodischarge grinding (AEDG) and mechanical polishing. The range of investigations include comparison of surface texture formed in processes of AEDG grinding, polishing and after manufacturing of PVD protective coatings type TiC+a-C:H and MoS₂TiW. For measurements of surface geometry after separate stages the confocal laser scanning microscopy (CLSM), mechanical and optical profiler have been used.

Key words: Grinding, electrodischarge grinding (AEDG), X38CrMoV5-1 steel, CLSM microscope, profilers

1. WSTĘP

Stal X38CrMoV5-1 jest stopową stalą stopową, narzędziową, stosowaną w produkcji narzędzi do obróbki plastycznej na gorąco (stemple, tłoczniaki, matryce, wypychacze) i do budowy form odlewniczych narażonych na wysokie temperatury w czasie pracy. Jest również wykorzystywana w obciążonych częściach pras do wyciskania rur i prętów. Wymaga się, by stal ta zachowała swoje właściwości do temperatury 600°C. Osiąga się to poprzez zastosowanie wolframu i molibdenu jako dodatków stopowych. Stal ta charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi, takimi jak: duża wytrzymałość na rozciąganie i twardość (54 HRC w 100°C), wysoka granica plastyczności (do 2200 MPa), duża odporność na ścieranie oraz wysoka gęstość (7.85 g/cm³). Jej skład chemiczny to: 0.42% C, 0.5% Mn, 1.2% Si, 5.5% Cr, 1.4% Mo, 0.5% V. Z uwagi na pracę w wysokich temperaturach pojawiają się różnego typu problemy tribologiczne związane z adhezją, zużyciem, korozją itp. [1-7]. W celu wyeliminowania tych problemów aktualnie

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, marcin.golabczak@p.lodz.pl

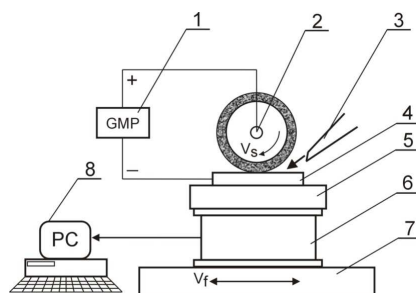
² Politechnika Łódzka, Katedra Technologii Maszyn, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, robert.swiecik@p.lodz.pl

³ Politechnika Łódzka, Instytut Inżynierii Materiałowej, ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, witold.szymanski@p.lodz.pl

stosuje się różnego typu warstwy ochronne, takie jak węglowe i azotkowe, wytwarzane różnego typu technologiami CVD i PVD [12-14]. Adhezja tych warstw, a więc i ich użytkowość, bezpośrednio zależy od właściwego przygotowania warstwy wierzchniej stali poprzez jej szlifowanie i polerowanie. W artykule przedstawiono nową, hybrydową technologię przygotowania warstwy wierzchniej stali X38CrMoV5-1 do wytwarzania na jej powierzchni warstw ochronnych PVD poprzez szlifowanie elektroerozyjne AEDG i polerowanie mechaniczne.

2. SZLIFOWANIE ELEKTROEROZYJNE AEDG PRÓBEK ZE STALI X38CrMoV5-1

W procesie szlifowania elektroerozyjnego (AEDG) mechanizm usuwania nadmiaru obróbkowego jest wynikiem synergii iskrowych wyładowań elektrycznych zachodzących pomiędzy ściernicą, a powierzchnią obrabianego przedmiotu oraz skrawania ziarnami ściernymi czynnej powierzchni ściernicy (CPS). Występująca w tym procesie synergia energii mechanicznej i wyładowań iskrowych istotnie wpływa na efektywność i wydajność szlifowania trudno obrabialnych materiałów konstrukcyjnych, takich jak stal X38CrMoV5-1 [8,9]. Próby szlifowania AEDG realizowano na stanowisku badawczym, wyposażonym w szlifierkę do płaszczyzn typu ECBT8 oraz generator impulsów wyładowań iskrowych typu GMP75. Stanowisko wyposażone jest również w układy kontrolno-pomiarowe parametrów szlifowania, trzyosiowy siłomierz piezoelektryczny firmy KISTLER typu 9257B oraz komputerowy system rejestracji wyników. Schemat stanowiska badawczego do realizacji procesu szlifowania AEDG przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – generator impulsów, 2 – ściernica, 3 – dysza doprowadzająca dielektryk, 4 – imadło ze szlifowaną próbką, 5 – płyta izolująca rezoteksowa, 6 – siłomierz piezoelektryczny, 7 – stół szlifierki, 8 – komputer PC

Zakres badań obejmował próby wglębnego szlifowania płaszczyzn metodą AEDG płaskich próbek ze stali X38CrMoV5-1 (o wymiarach 10x10x4) ściernicą z regularnego azotku boru ze spoiwem metalowym (CBN 125/100 M75). Proces

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

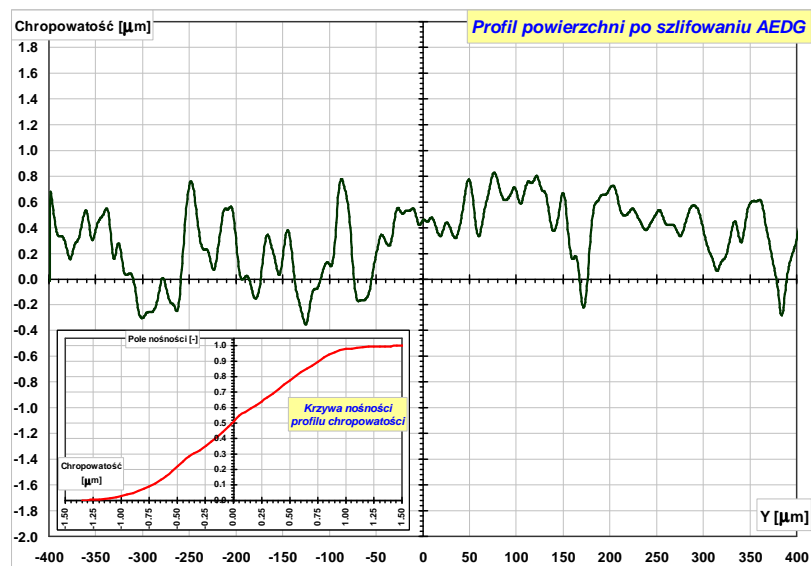
szlifowania realizowano w obecności dielektryka, jakim była woda destylowana. Parametry elektryczne dobrano na podstawie wcześniejszych badań [10]. Warunki badań procesu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki badań procesu szlifowania AEDG

Parametry kinematyczne		Parametry elektryczne	
Prędkość szlifowania - v_s [m/s]	30	Napięcie robocze- [V]	150,
Dosuw ściernicy - a [μm]	10	Prąd zapłonowy- [A]	1,5
Prędkość posuwu stołu- v_f [m/min]	0,50	Prąd roboczy- [A]	12
Liczba przejść wygładzających	4	Czas impulsu- [μs]	32
		Czas przerw- [μs]	63

2.1. POMIARY MIKROSTRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI PRÓBEK ZE STALI
X38CrMoV5-1 PO SZLIFOWANIU AEDG

Prezentowane wyniki badań dotyczą pomiarów geometrycznej mikrostruktury powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 po szlifowaniu elektroerozyjnym AEDG w ustalonych warunkach (tabela 1). Pomiary profilografowania powierzchni próbek wykonano w Katedrze Technologii Maszyn PŁ na profilografometrze typu PGM-1C IOS. Przykładowe wyniki profilografowania powierzchni próbek w układzie dwuwymiarowym (2D) przedstawiono na rysunku 2, natomiast charakterystyczne parametry profilu chropowatości powierzchni zamieszczono w tabeli 2.



Rys. 2. Przykładowy profil powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 po szlifowaniu AEDG

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

Tabela 2. Parametry wybranej linii profilu chropowatości powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 po szlifowaniu AEDG

Parametry profilu		
R _a	0.330	μm
R _q	0.556	μm
R _v	-1.348	μm
R _p	1.432	μm
R _T	2.780	μm

Wyniki pomiaru chropowatości powierzchni po szlifowaniu elektroerozyjnym AEDG potwierdziły bardzo korzystną poprawę stereometrii powierzchni. Uzyskano bowiem kilkakrotne zmniejszenie charakterystycznych parametrów chropowatości (tabela 2), w porównaniu do stanu wyjściowego próbek po obróbce skrawaniem (R_a=2,54 μm). Na powierzchni szlifowanych próbek widoczne były charakterystyczne ślady wgłębień, pochodzących od wyładowań elektroerozyjnych.

3. POLEROWANIE PRÓBEK ZE STALI X38CrMoV5-1

Proces polerowania próbek ze stali X38CrMoV5-1 realizowano na dwutarczowej szlifierko-polerce Phoenix Beta 2 produkcji firmy Wirtz Buehler, będącej na wyposażeniu laboratorium Katedry Technologii Maszyn Politechniki Łódzkiej [12]. Polerka wyposażona jest w półautomatyczną głowicę szlifierską Vector Power Head. Głowica ta posiada regulację siły nacisku w zakresie 5-200 N oraz uchwyt o sześciu gniazdach o średnicy \varnothing 25 mm.

Podstawowym wymaganiem procesu polerowania było przygotowanie próbek o możliwie najmniejszej chropowatości powierzchni oraz usunięcie z ich warstwy wierzchniej produktów zanieczyszczających. W tym celu opracowano proces technologiczny gładkościowej obróbki ściernej, obejmujący następujące operacje polerowania:

- polerowanie wstępne próbek na polerce uzbrojonej w sukno ścierne (Nylon) przy użyciu polikrystalicznej zawiesiny diamentowej MetaDi Supreme o wymiarze ziarna 9 μm oraz 3 μm;
- polerowanie wykańczające na suknie ściernym TriDent w obecności zawiesiny ścierniej MiroMet z tlenku ceru o wymiarze ziarna 1 μm;
- trawienie ultradźwiękowe próbek w roztworze trawiącym będącym mieszniną kwasu siarkowego, kwasu szczawiowego i wody w myjce Sonic 1 firmy Polsonic [11].

Warunki technologiczne realizowanego polerowania wstępnego i wykańczającego próbek ze stali X38CrMoV5-1 przedstawiono w tabeli 3.

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ

Tabela 3. Warunki procesu technologicznego przygotowania próbek ze stali X38CrMoV5-1

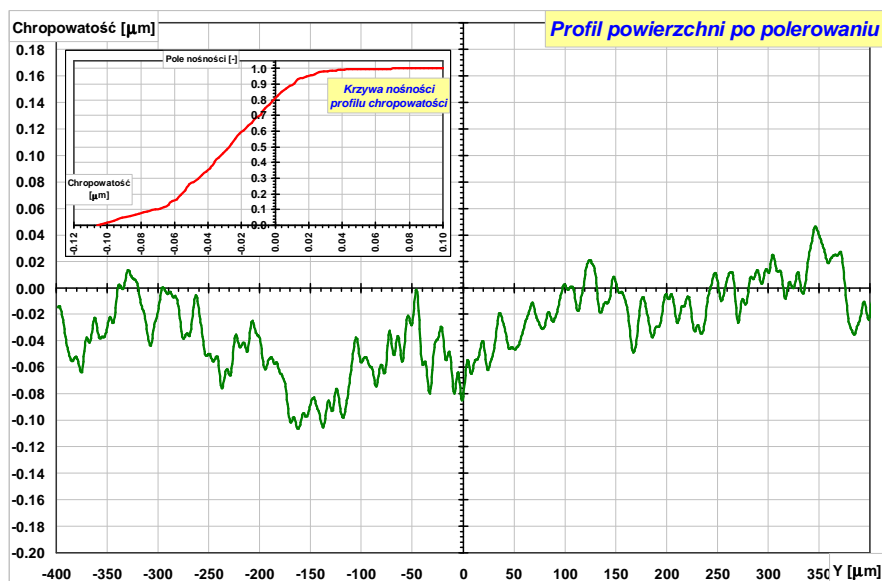
Etapy procesu	Powierzchnia ścierna	Rodzaj materiału ściernego	Środek smarujący	Czas procesu [min]	Siła docisku [N/cm ²]	V tarczy [m/s]
Polerowanie wstępne	Sukno ścierne Buehler Nylon	Diamant polikrystaliczny (ziarna 9 μm)	Roztwór polikrystalicznego diamentu Buehler MetaDi Supreme	5	3	3
	Sukno ścierne Buehler Nylon	Diamant polikrystaliczny (ziarna 3 μm)	Roztwór polikrystalicznego diamentu Buehler MetaDi Supreme	3	3	3
Polerowanie wykańczające	Sukno ścierne Buehler TriDent	Roztwór tlenku ceru Buehler MiroMet (1 μm)	-	3	2	3
Trawienie ultradźwiękowe w roztworze trawiącym (procenty wagowe): H ₂ SO ₄ (96%) – 12,5%, kwas szczawiowy – 14,5%, H ₂ O – 73%						

3.1. POMIARY MIKROSTRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI PRÓBEK ZE STALI X38CrMoV5-1 PO POLEROWANIU

Prezentowane wyniki dotyczą pomiarów geometrycznej mikrostruktury powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 po końcowym etapie przygotowania próbek. Pomiary profilografowania powierzchni wykonano na profilografometrze typu PGM-1C IOS, określając charakterystyczne parametry chropowatości oraz udziału materiałowego.

Przykładowe wyniki profilografowania powierzchni próbek w układzie dwuwymiarowym (2D) przedstawiono na rysunku 3, natomiast charakterystyczne parametry chropowatości powierzchni zamieszczono w tabeli 4.

MECHANIK NR 8-9/2013
XXXVI NAUKOWA SZKOŁA OBRÓBKI ŚCIERNEJ



Rys. 3. Przykładowy profil powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 po polerowaniu

Tabela 4. Parametry wybranej linii profilu chropowatości powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 po polerowaniu

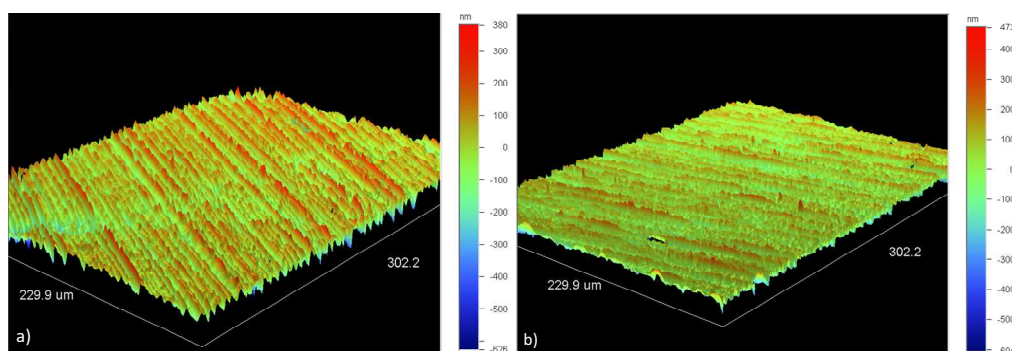
Parametry profilu		
R_a	0.0257	μm
R_q	0.0317	μm
R_v	-0.1061	μm
R_p	0.0708	μm
R_T	0.1770	μm

Wyniki pomiarów SGP wykazały istotną poprawę chropowatości powierzchni. Po polerowaniu wykańczającym próbek ze stali X38CrMoV5-1 uzyskano dalszą, kilkunastokrotną poprawę parametrów chropowatości (tabela 4) oraz korzystny rozkład udziału materiałowego.

Badane próbki nie posiadały żadnych widocznych gołym okiem zarysowań i charakteryzowały się błyszczącą powierzchnią.

4. WYTWARZANIE WARSTW PVD NA PRÓBKACH ZE STALI X38CrMoV5-1

Warstwy ochronne PVD typu TiC oraz TiO₂ wytworzono na hybrydowym urządzeniu przemysłowym typu URM 079, umożliwiającym osadzanie powłok fizycznymi i chemicznymi metodami plazmowymi w Instytucie Inżynierii Materiałowej PŁ [12]. Morfologię powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 z wytworzonymi na ich powierzchni warstwami PVD zbadano przy użyciu profilometru optycznego WYKO NT 1100 firmy Veeco Instruments-USA, który jest na wyposażeniu laboratorium LaBoMaP Arts et Métiers ParisTech-Cluny we Francji. Przykładowe wyniki pomiarów morfologii powierzchni próbek z wytworzonymi warstwami PVD pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Morfologia powierzchni próbek ze stali X38CrMoV5-1 z wytworzoną na ich powierzchni warstwą PVD: a) z warstwą TiC, b) z warstwą TiO

Przeprowadzone badania potwierdziły możliwości wytworzenia na odpowiednio przygotowanej warstwie wierzchniej próbek ze stali X38CrMoV5-1 warstw ochronnych spełniających wymagane funkcje użytkowe [4-7].

Przeprowadzone badania warstw PVD potwierdziły ich bardzo atrakcyjne właściwości użytkowe. Warstwy te charakteryzują się m.in. małym współczynnikiem tarcia, wysoką nanotwardością oraz dużym modułem elastyczności.

Wytworzone warstwy PVD charakteryzują się również pożądanymi walorami dekoracyjnymi ze względu na ich równomierną fakturę powierzchni oraz ich jednolity kolor.

5. PODSUMOWANIE

Opracowano i sprawdzono eksperymentalnie technologię przygotowania WW próbek ze stali X38CrMoV5-1 metodą szlifowania elektroerozyjnego AEDG i polerowania mechanicznego. Porównano wybrane parametry SGP oraz morfologię WW [5-7]. Wyniki badań potwierdziły, że po końcowym etapie polerowania próbek

ich powierzchnia charakteryzowała się bardzo małą chropowatością. Powierzchnie próbek były błyszczące, bez widocznych śladów obróbki mechanicznej. Opracowany proces technologiczny zapewnia jednocześnie właściwe przygotowanie próbek w zakresie wymaganej chropowatości powierzchni oraz odpowiedniej jej czystości. Wyniki badań pokazały również, że szlifowanie AEDG hartowanych próbek ze stali X38CrMoV5-1 jest bardziej efektywne w porównaniu do konwencjonalnego szlifowania i mniej uciążliwe dla środowiska naturalnego. Opracowana technologia szlifowania AEDG i polerowania doskonale nadaje się do precyzyjnego przygotowania warstwy wierzchniej próbek ze stali X38CrMoV5-1, wymaganego do nakładania na ich powierzchnię różnego typu warstw przeciwzużyciowych i niskotarciovych PVD.

LITERATURA

- [1] BIENK E.J., MIKKELSEN N.J., *Application of Advanced Surface Treatment Technologies in the Modern Plastics Moulding Industry*, Wear, Vol. 207, 1997, pp. 6-9.
- [2] DEARNLEY P.A., *Low Friction Surfaces for Plastic Moulding Dies-an Experimental Case Study*, Wear, Vol. 225-229, 1999, pp. 1109-1113.
- [3] MITTERER C., HOLLER F., REITENBERG D., BADISCH E., et al., *Industrial Applications of PACVD Hard Coatings*, Surface and Coating Technology, Vol. 163-164, 2003, pp. 716-722.
- [4] WENDLER B.G., *Functional Coatings by PVD or CVD Methods*, Radom, ITeE-PIB, 2011.
- [5] GOŁABCZAK M., JACQUET P., NOUVEAU C., FLITI R., *Tribological Investigations of TiC+a-C:H Coatings Manufactured on X38CrMoV5-1 Steel Using PVD Technology*, Defect and Diffusion Forum, Vol. 334-335, 2013, pp. 97-104.
- [6] GOŁABCZAK M., JACQUET P., NOUVEAU C., FLITI R., *Low Friction MoS₂TiW Coatings Manufactured on X38CrMoV5-1 Steel Using PVD Method*, Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Vol. 44, No. 5, 2013, pp. 395-402.
- [7] GOŁABCZAK M., PAWLAK W., SZYMAŃSKI W., JACQUET P., FLITI R., *Properties of PVD Coatings Manufactured on X38CrMoV5-1 Steel for Plastic Moulding Applications*, Journal of Machine Engineering, Vol. 12, No. 2, 2012, pp. 37-45.
- [8] KOSHY P., JAIN V., LAL G., *Grinding Cemented Carbide with Electrical Spark Assistance*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 72, 1997, pp. 61-68.
- [9] KOZAK J., RAJURKAR K. P., *Abrasive Electrical Discharge Grinding (AEDG)*, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 110, 2002, pp. 260-266.
- [10] GOŁABCZAK A., ŚWIĘCIK R., *Assessment of Energy Consumption and Internal Stresses in Surface Layer in the Abrasive Electro-discharge Grinding (AEDG) Process*, Defect and Diffusion Forum, Vols. 334-335, 2013, pp. 89-96.
- [11] NIEMCZEWSKI B., *Ultradźwiękowe oczyszczanie powierzchni*, Warszawa, WNT, 1982.
- [12] GOŁABCZAK M., PAWLAK W., SZYMAŃSKI W., JACQUET P., FLITI R., *Properties of PVD Coatings Manufactured on X38CrMoV5-1 Steel for Plastic Moulding Applications*, Journal of Machine Engineering, Vol. 12, 2012, pp. 37-45.
- [13] JACQUET P., GOŁABCZAK M., LOURDIN P., *Experimental Characterization of Non-Seizing Solutions for Plastic Moulding Tools*, Applied Surface Science, Vol. 261, 2012, pp. 824-829.
- [14] GOŁABCZAK M., *Characteristics of TiN and NCD Layers Deposited on Magnesium Alloys*, Journal of Nano Research, Vol. 16, 2011, pp. 29-35.