

Badania cech powierzchni z wykorzystaniem optycznych metod skaningowych – wymagania i pomiary zgodnie z wytycznymi serii PN-EN ISO 25178

The investigations of the surface characteristics by methods of the optical scanning – requirements and measurements according with the guidelines of the PN-EN ISO 25178

Streszczenie

Zużycie części maszyn zaczyna się od powierzchni. Niekontrolowane zużycie prowadzi do utraty użyteczności technologicznej wyrobów, a nawet ich całkowitego zniszczenia. Zatem bardzo ważne okazuje się nadanie odpowiednich właściwości powierzchniom wytwarzanych wyrobów. Równie ważne jak technologia powierzchni staje się jej badanie. W przeciągu ostatnich lat pojawiają się normy z rodziny ISO 25178 dotyczące specyfikacji geometrii wyrobów i Struktury Geometrycznej Powierzchni (SGP). Najpierw pojawiały się normy związane z metodyką pomiarów oraz sposobem wyznaczania parametrów określających właściwości technologiczne i eksploatacyjne SGP. Dopiero na samym końcu pojawiła się zasadnicza – pierwsza część normy (ISO 25178-1:2016en), która standaryzuje sposób definiowania i nanoszenia symboliki w dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej. W artykule przybliżono możliwości analizy wybranych grup parametrów SGP z wykorzystaniem optycznych metod skaningu, symbolikę stosowaną w zapisie konstrukcji dotyczącą warunków pomiaru cech funkcjonalnych i technologicznych powierzchni.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące; mikroskopia konfokalna; mikroskopia interferencyjna; struktura geometryczna powierzchni; izotropia powierzchni; chropowatość

Abstract

The wear of machine parts starts from the surface. Uncontrolled consumption leads to loss of technological products properties or even their total destruction. Therefore, it is extremely important to give the appropriate properties of surfaces manufactured. As important as the surface technology becomes is its research. Over the last six years, are develop standards of the ISO 25178 on the specifications of geometry and Geometric Surface Specification (GPS). Interestingly, first appeared norms related to the way of defining the parameters defining the technological and operational properties of the GPS. Only at the end there was a fundamental - the first part of the standard (ISO 25178-1: 2016en), which standardizes the way of defining and marking in the construction and technological. The article show the possibilities of analysis of selected groups of parameters GPS using optical scanning methods, the symbolics used in the documentation and the conditions for measuring the technological surface requirements.

Keywords: non destructive testing; confocal microscopy; interference microscopy; surface geometric structure; surface isotropy; roughness

Wstęp

W badaniach właściwości technologicznych i eksploatacyjnych powierzchni wyrobów najpowszechniej wykorzystuje się metody pomiaru profilometryczne (2D) – rysunek 1 przyrządami stykowymi (z głowicami ślizgaczowymi lub bezślizgaczowymi). Ilość informacji dostępna w sygnale rejestrowanym na powierzchni zależy od metody pomiarów, możliwości softwarowych przyrządu pomiarowego oraz wiedzy i doświadczenia operatora

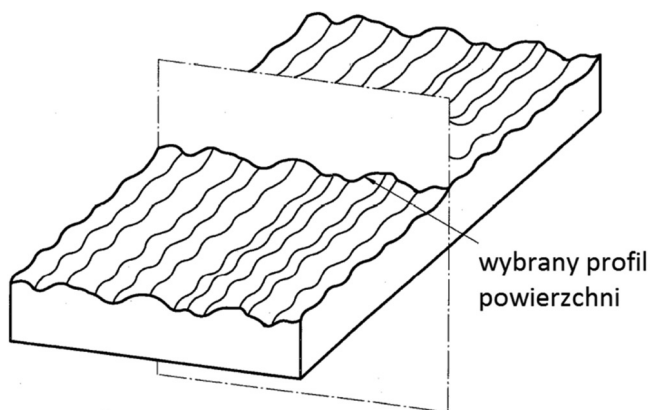
prowadzącego pomiary. W ostatnich latach w analizie stanu struktury geometrycznej powierzchni coraz częściej stosowany jest trzeci wymiar. Połączenie w badaniu 3D informacji zbieranych w szeregu równoległych profili pozwala na określenie bardzo wielu niedostępnych wcześniej właściwości powierzchni. Bada się jej reprezentatywny fragment o określonej długości, szerokości i wysokości. Dzięki temu obiektywnie można oceniać powierzchnię

Dr inż. Daniel Grochala; mgr inż. Emilia Bachtia-Radka; mgr inż. Sara Dudzińska – Instytut Technologii Mechanicznej i Mechatroniki.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: daniel.grochala@zut.edu.pl

odznaczają się niejednorodnością tekstury (tzw. powierzchnię anizotropową). Dołożenie jednego wymiaru do analizy sygnału z powierzchni 3D wcale nie spowodowało wzrostu stopnia skomplikowania badania o 30%. Uwzględniając dodatkowy wymiar w analizie powierzchni można zaryzykować stwierdzenie, że do trzeciej potęgi wzrósł stopień skomplikowania i ilość kombinacji w opracowaniu pozyskanych danych 3D. Wiąże się to w głównej mierze ze stopniem skomplikowania metodyki związanej z akwizycją zbioru punktów powierzchni 3D (różnymi przyrządami) oraz stopniem i mnogością sposobów związanych z obróbką zebranej chmury punktów, a także z wieloraką formą prezentacji otrzymanych wyników. Autorzy w artykule chcą nieco przybliżyć metodyki pomiarów od nano i mikro chropowatości metodami skaningowej interferometrii przesunięcia fazowego, aż po pomiary mezo chropowatość i błędów kształtu z wykorzystaniem mikroskopii konfokalnej.

Pomiary chropowatości 2D są bardzo często i chętnie stosowane w przemyśle do oceny efektywności realizowanych procesów technologicznych [1÷3]. Są bardzo łatwe do przeprowadzenia, warunki takich badań zostały zdefiniowane w normach [4÷6]. Ponadto przenośnie urządzenia profilometryczne są obecnie stosunkowo tanie i łatwo dostępne. Rolą technika pomiarowego, jest dobór optymalnej metody pomiarowej - ewentualnie zastosowanie metodyki podanej przez technologa zapisanej za pomocą uszczegółowionego symbolu chropowatości zgodnie z normą ISO [6]. Jednakże otrzymane w ten sposób wyniki bywają często obciążone dużym rozrzutem. Dzieje się tak ponieważ wartości parametrów SGP uzyskane z pomiarów stykowych metodami profilometrycznymi zależne są w dużym stopniu od warunków przeprowadzonego pomiaru [7]. Duży wpływ ma wybór miejsca pomiaru, kierunek prowadzenia ostrza odwzorowującego podczas pomiaru, oraz jego geometria i stan. Pomiary chropowatości stają się szczególnie trudne w badaniu powierzchni anizotropowych, na których widać więcej niż jeden kierunek nierówności. Takie powierzchnie najczęściej powstają podczas przetomów zmęczenia, a także w trakcie obróbki przedmiotów o skomplikowanym przestrzennie kształcie (formy wtryskowe, matryce lub tłoczniaki) poprzez frezowanie, piaskowanie lub ręczne polerowanie.



Rys. 1. Pomiar wybranego profilu powierzchni [3]
Fig. 1. The measurement of surface profile [3]

Pomiary struktury geometrycznej powierzchni

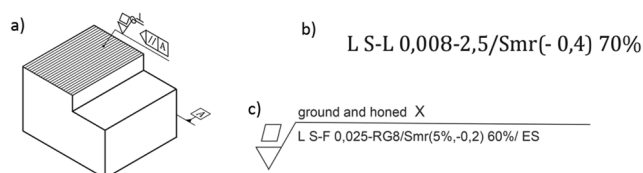
Ze względu na duży rozrzut wyznaczonych wartości parametrów SGP 2D przyjęło się praktykowanie polegające na prowadzeniu pomiarów profilometrami stykowymi

zgodnie z zasadą 16%, co najczęściej oznacza konieczność przeprowadzenia większej ilości pomiarów. Taka metodyka postępowania przy ocenie stanu SGP jest niestety pracochłonna i wymaga szczególnej staranności od operatora. Pod względem całościowej, obiektywnej oceny przestrzennego stanu struktury geometrycznej powierzchni SGP 3D dużo lepsze są optyczne metody skaningowe. W budowie optycznych urządzeń do pomiarów topografii powierzchni korzysta się najczęściej ze zjawisk fizycznych towarzyszących interferencji wybranej długości elektromagnetycznej fali świetlnej (mikroskopia interferencyjna przesunięcia fazowego lub koherentna). Drugim często wykorzystywanym w budowie profilometrów optycznych zjawiskiem jest efekt ogniskowania i odbicia z powierzchni mierzonego przedmiotu fali elektromagnetycznej o określonej długości pochodzącej z szerokiego spektrum światła białego (chromatyczna mikroskopia konfokalna) [8].

Określenie parametrów wykorzystywanych do opisu stanu przestrzennego struktury geometrycznej powierzchni dopiero od niedawna zostało uregulowane normą ISO [9]. Część prac normalizacyjnych w rodzinie norm ISO 25178 nadal trwa. Oprócz obróbki chmury punktów (w celu wyznaczenia wybranych wartości parametrów SGP 3D) bardzo ważne jest zagwarantowanie dokładnego odwzorowania powierzchni mierzonej. Często w trakcie skanowania powierzchni metodami optycznymi wkrada się szereg błędów m.in. tworzenie się pików na krawędziach rys i zagłębien powierzchni, utrata sygnału w miejscu ogniskowania wiązki świetlnej powodowana obecnością kurzu, śladów korozji lub występowania fazy przejściowej materiału, z którego wykonano mierzony przedmiot. W zależności od zadania metrologicznego każdorazowo, metodyka akwizycji chmury punktów powierzchni winna zostać starannie dobrana i szczegółowo opisana. Częściowo warunki akwizycji chmury punktów powierzchni regulują normy [10÷11]. Jednak ze względu na obecność na rynku wielu różnych systemów pomiarowych od różnych producentów istotnie różniących się w swych specyfikacjach (powiększenia optyczne, wielkości szczelin dyfrakcyjnych i matryc oraz rozdzielczość spektrometrów) może być bardzo ciężko odtworzyć metodykę pomiarów, co z kolei prowadzi do trudności w wyznaczeniu porównywalnych wartości wybranych parametrów SGP 3D. Opis warunków badań przestrzennego stanu struktury geometrycznej powierzchni w dokumentacji konstrukcji został uregulowany stosunkowo niedawno [12] – rysunek 2.

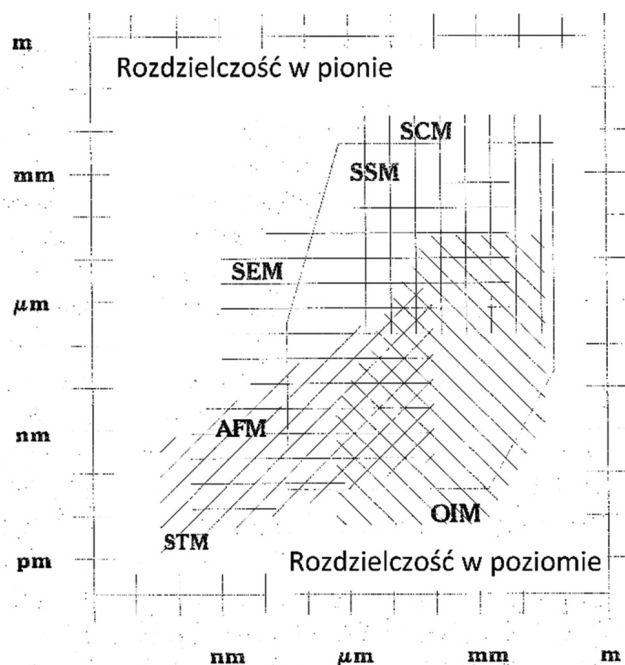
Skaning powierzchni za pomocą metod mikroskopii interferencyjnej OIM [7] umożliwia badania struktur wchodzących w obszar tzw. mikro i nano chropowatości – rysunek 3. Z tak niskimi nierównościami powierzchni na ogół ma się do czynienia przy pomiarach chropowatości szkieł interferencyjnych, powierzchni roboczych wzorców długości i kąta. W elektronice tak niskie chropowatości powierzchni na pograniczu skali mikro i nano występują przy produkcji krzemowych nośników w układach mikroprocesorowych a także na powierzchniach talerzy w dyskach twardych, które pokrywane są warstwą nośnika magnetycznego o grubości kilku mikrometrów.

Metodami mikroskopii interferencyjnej możliwe jest również prowadzenie pomiarów chropowatości powierzchni przykrytych warstwami transparentnymi cieczy lub ciał stałych w postaci szkieł lub przezroczystych lakierów. Tego typu mikroskopia często jest wykorzystywana w badaniach zwilżalności powierzchni ciał stałych do określania ich właściwości hydrofobowych i hydrofilowych.



Rys. 2. Zapis oznaczeń w dokumentacji konstrukcyjnej dotyczący wymagań SGP 3D wg ISO 25178-1:2016en; a) widok przedstawiający przykładowy sposób użycia symbolu graficznego, b) skrócony symbol tekstowy z którego wynika, że parametr chropowatości Smr wyznaczony 0.4 μm pod najwyższymi pikami powierzchni powinien mieć wartość powyżej 70%, parametr wyznaczyć po stosowaniu liniowego filtra dolnoprzepustowego S o długości 0.008 mm i liniowego górnoprzepustowego filtra L o długości 2.5 mm, c) uszczegółowiony symbol graficzny nakazujący obróbkę powierzchni przez szlifowanie i honowanie do uzyskania krzyżowej kierunkowości struktury, gdzie dolna granica parametru chropowatości Smr wyznaczona po filtrowaniu chmury punktów powierzchni filtrami dolnoprzepustowymi o długości 0.025 mm i górnoprzepustowymi kształtu Robust Gauss o długości 8 mm mierzona przy poziomie -0.2 μm pod najwyższym pikem będzie większa od 60%, powierzchnia po obróbce powinna zostać rozmagnesowana [12]

Fig. 2. Recording of the symbolics in construction documentation of the requirements of the GPS 3D by the ISO 25178-1:2016en; a) view showing an example of how to use the graphic symbol, b) notation of the short of text characteristic of surface lower limit tolerance, S-L surface, S-filter nesting index = 0,008 mm, the non-default F-operator is a linear filter with nesting index of 2.5 mm, Smr minimum limit value at c-level 0,4 μm = 70%; c) a detailed graphic symbol of surface with a manufacturing requirement (ground and honed) and a surface lay requirement, lower limit tolerance, S-F surface, S-filter nesting index = 0,025 mm, the non-default F-operator is a Robust Gaussian filter with nesting index of 8 mm, chosen S-parameter is areal material ratio of the scale limited surface, Smr minimum limit value at c-level 0,2 μm = 60% and measured downwards into the surface from the reference plane given by Smr = 5%. The non-default specification of extracted surface is an electro-magnetic surface. [12]



Rys. 3. Zakres i rozdzielczość różnych technik w badaniach SGP [7], AFM – mikroskopia sił atomowych, SCM – mikroskopia konfokalna, SSM – metody skanowania dotykowego, SEM – skaning mikroskopami elektronowymi, STM – skaningowa mikroskopia tunelowa, OIM – optyczne metody interferencyjne

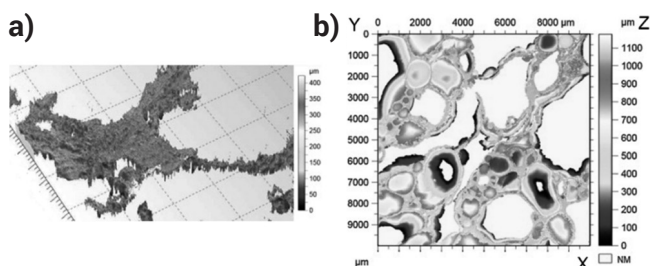
Fig. 3. The range and resolution of different techniques in the study of the GPS [7], AFM – atomic force microscopy, SCM – confocal microscopy, SSM – touch scanning methods, SEM – scanning electron microscopes, STM – scanning tunneling microscopy, OIM – optical interference methods

Analiza właściwości technologicznych i cech funkcjonalnych powierzchni

Badania parametrów wysokościowych SGP 3D

O zużyciu powierzchni, jej adhezji oraz zwilżalności w dużej mierze decydują wysokości nierówności. Pomiar mikrochropowatości dotychczas był utrudniony ze względu na szum przetworników analogowo-cyfrowych (indukcyjne lub piezoelektryczne) używanych w konstrukcji profilometrów stykowych. Szum ten najczęściej odcinano za pomocą filtra dolnoprzepustowego λs . Chropowatość badana była w zakresie pomiędzy dolnoprzepustowym filtrem λs i górnoprzepustowym λc .

Dopiero optyczne metody pomiarowe, bazujące na wykorzystaniu głowic konfokalnych o niskim poziomie szumu umożliwiają badania topografii powierzchni bez stosowania filtra λs . Zatem do „wglądu” dostępne stały się obszary chropowatości niewidoczne wcześniej. Chromatyczna mikroskopia konfokalna jest bardzo wygodną metodą obrazowania struktur geometrycznych powierzchni. Do detektora poprzez układ soczewek i szczelin dociera światło o długości fali zogniskowanej wyłącznie w mierzonym punkcie powierzchni. Dzięki temu można zachować wysoki kontrast i uniknąć błędów związanych z dyfrakcją i odbiciem światła białego. Metody konfokalne umożliwiają zebranie chmury punktów „dobrej jakości” dla powierzchni przedmiotów wykonanych ze stali i metali nieżelaznych a także tworzyw sztucznych. Precyzyjne ustawienie przedmiotu oraz płaszczyzny ogniskowania chmury punktów powierzchni umożliwiło w Laboratorium Topografii Powierzchni (LTP) Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego (ZUT) w Szczecinie przeprowadzenie pomiarów mikro i mezo chropowatości powierzchni przedmiotów o dużej porowatości – rysunek 4 [13]. Badano strukturę geometryczną powierzchni spienionego aluminium w miejscu cięcia. Wyznaczono parametry SGP 3D po przecinaniu strumieniem wody, po zastosowaniu przecinania mechanicznego piłą, przecinania laserowego – rysunek 4a, a także przecinania metodą elektroiskorową – rysunek 4b. Do badań SGP 3D wykorzystano maszynę Altimet A520 uzbrojoną w czujnik konfokalny CL3 o zakresie pracy do 1.2 mm i rozdzielczości w optycznej osi przyrzędu (Z) 60 nm.



Rys. 4. Powierzchnie pianek aluminiowych mierzone w miejscu przecięcia (płaszczyzna XY) [13]: a) laserem, b) techniką EDM

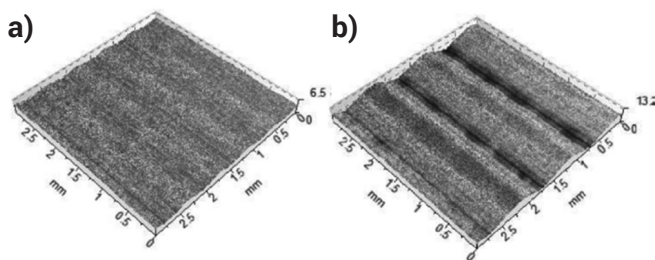
Fig. 4. The surfaces of aluminum foams is measured at the intersection (plane XY) [13]: a) after laser cutting, b) by the cutting of the EDM

Próbki ze spienionego aluminium odznaczały się obecnością pustych przestrzeni zajmujących dużą objętość. Natomiast w przekroju powstałym w miejscu cięcia pojawiały się „mostki” z aluminium, na których widoczne były różne ślady cięcia w zależności od zastosowanej techniki. Mostki te były stosunkowo wąskie i zajmowały niewielki obszar mierzonej powierzchni. W zakresie czujnika często znajdował się materiał aluminiowy stanowiący osnowę pęcherza, którego topografia była odmienna od tej ukształtowanej w płaszczyźnie cięcia XY – rysunek 4. Ze względu na duży

rozmiar porów i małą szerokość mostków łączących należało skanować duże obszary powierzchni próbki 10 x 10 mm z wysoką rozdzielczością zachowując małą prędkość ruchu głowicy. Dobrana metodyka zagwarantowała również minimalny udział niekorzystnych zjawisk optycznych powstających na krawędziach por – mostek (piki, utrata sygnału). Powstała w ten sposób chmura punktów opracowano. Wykonano poziomowanie i odcięto wartości progowe, po to aby w wartościach parametrów SGP 3D znalazły się tylko fragmenty powierzchni, pochodzące z mostków. Zarejestrowane w trakcie badań wartości parametrów SGP 3D wahały się dla Sa od 8.37÷69.5 μm , Sq 13.3÷38.4 μm i Sz 198÷643 μm [13]. Otrzymane wartości parametrów pozwoliły wyłonić najlepszą metodę cięcia, szczególnie przydatną ze względu na warunki technologiczne.

Pomiary stopnia izotropii powierzchni

O refleksyjności powierzchni, jej zdolności do odbijania światła, jej nośności, a także o zdolności do utrzymywania środków smarnych mówi szereg parametrów związanych ze stopniem izotropii [9]. Taka „funkcjonalność” powierzchni przedmiotów często bywa nadawana poprzez obróbkę skrawaniem, w której na chropowatość wpływa regularna geometria narzędzia i warunki kinematyczne procesu. Dokładne oscylacyjne obróbki wykończeniowe takie jak gładzenie i polerowanie, a także obróbki strumieniowo ściernie prowadzą do otrzymania powierzchni bezkierunkowych – izotropowych o różnych wartościach wysokościowych parametrów SGP. Często otrzymana powierzchnia gotowego wyrobu jest wynikiem odwzorowania innej powierzchni np. narzędzia. Taka sytuacja ma miejsce podczas formowania odlewów lub podczas kształtowania wyprasek z tworzyw sztucznych w precyzyjnych formach ciśnieniowych. W LTP ZUT poddano badaniom zmiany tekstury powierzchni i stopnia izotropii powodowane hybrydową obróbką łączącą kształtujące frezowanie powierzchni przestrzennych złożonych z wykończeniowym nagniataniem (plastyczną obróbką wcześniej ukształtowanej powierzchni) [15]. Zbadano jaki wpływ na wyniki SGP 3D ma strategia prowadzenia freza podczas obróbki na twardo przedmiotów wykonanych ze stali X160CeMoV121 ulepszanych cieplnie do twardości 52±2 HRC – rysunek 5.



Rys. 5. Powierzchnie po frezowaniu i nagniataniu z siłą 800N, kulą ceramiczną z ZrO_2 o średnicy 10 mm na powierzchni frezowanej z posuwem wierszowania: a) 0.3 mm, b) 0.5 mm [15]

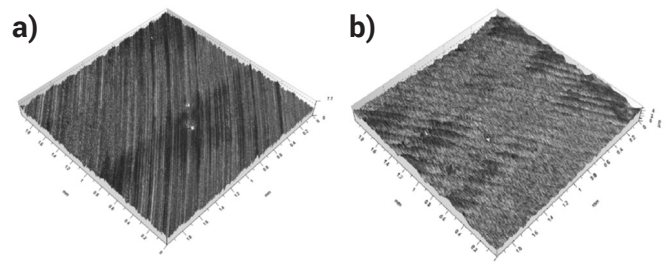
Fig. 5. Surfaces after milling and burnishing with the force 800N, with a ceramic ball from ZrO_2 with a diameter of 10 mm on the milled surface of the cross feed: a) 0.3 mm, b) 0.5 mm [15]

Podczas badań wykorzystano chromatyczny sensor konfokalny CL1. Do badań przyjęto obszar powierzchni o wymiarach 3,0 x 3,0 mm. Eksperymentalnie ustalono rozdzielczość skanowania wzdłuż osi X na 0.47 μm i 5 μm wzdłuż osi Y co dało 6303 punktów w 601 liniach. Pomiar prawie 3.8 mln punktów dla każdej z powierzchni trwał średnio 1.5 h. Okazało się, że wykorzystanie parametrów izotropowości powierzchni do opisu efektywności obróbki – zmiany tekstury powierzchni regularnej, okresowej

– na strukturę bezkierunkową (anizotropowej na izotropową) jest bardzo wygodne dla technologa. W ten sposób unika się subiektywnej oceny wytworzonej powierzchni. Dodatkowo kryterium izotropowości połączone z wartościami wysokościowych parametrów SGP pozwala na bardziej wydajny dobór technologicznych parametrów obróbki często różnych zabiegów obróbkowych łączonych w jednej operacji technologicznej. Okazało się, że podczas badań nie udało się osiągnąć zmiany stanu anizotropowej powierzchni frezowanej na izotropowy efekt po nagniataniu (stopień izotropowości wyższy od 80%). Zbyt niski efekt był spowodowany zbyt małą wartością przyjętej siły nagniatania (FN=800N) i stosunkowo niewielkimi odkształceniami plastycznymi stali X160CrMoV121. Otrzymane wnioski dotyczyły również charakteru funkcjonalnego powierzchni i wywodziły się bezpośrednio z przeprowadzonej analizy stopnia izotropii powierzchni. Istniało duże prawdopodobieństwo, że wytworzona SGP narzędzia (tłoczniaka lub matrycy) w początkowym okresie eksploatacji będzie przenoszona na powierzchnię wytwarzanych wyrobów powodując ich zmatowienie.

Pomiary cech funkcjonalnych powierzchni

Jedną z ciekawszych prac prowadzonych w zakresie określenia cech funkcjonalnych powierzchni były badania identyfikujące parametry odznaczające się „najwyższą czułością” i jednocześnie określające związek między gęstością energii w technologii spiekania proszków metali (Selective Laser Melting SLM) a skrawalnością otrzymanego spieku Co-Cr często używanego w dentystyce i protetyce [14] – rysunek 6.



Rys. 6. Widok powierzchni otrzymanej po frezowaniu przedmiotu ze spieku proszku metalu Co-Cr [14]; a) o najmniejszych wartościach parametrów funkcyjnych ($V_m=0.000048$; $V_v=0.0016$; $V_{mp}=0.000048$; $V_{mc}=0.00116$; $V_{vc}=0.0014$; $V_{vv}=0.000198$); b) o największych wartościach parametrów funkcyjnych ($V_m=0.0000457$; $V_v=0.0013$; $V_{mp}=0.000045$; $V_{mc}=0.00087$; $V_{vc}=0.0011$; $V_{vv}=0.000112$) wg PN EN-ISO 25178-2

Fig. 6. View of the surface obtained after milling workpieces from laser melting of the steel Co-Cr [14]; a) the smallest values of the function parameters ($V_m = 0.000048$; $V_v = 0.0016$; $V_{mp} = 0.000048$; $V_{mc} = 0.00116$; $V_{vc} = 0.0014$; $V_{vv} = 0.000198$); b) with the highest values of the function parameters ($V_m = 0.0000457$; $V_v = 0.0013$; $V_{mp} = 0.000045$; $V_{mc} = 0.00087$; $V_{vc} = 0.0011$; $V_{vv} = 0.000112$) according to PN EN-ISO 25178-2

Na potrzeby prowadzonych badań akwizycję chmury punktów powierzchni prowadzono za pomocą konfokalnego sensora chromatycznego CL2. Pomiary wykonano na polach o wymiarach 2x2 mm. Eksperymentalnie ustalono rozdzielczość skanowania w płaszczyźnie XY na 9128x1801 punktów. Pomiar ponad 16.4 mln punktów dla każdej z próbek trwał średnio 45 min. Opracowanie zarejestrowanej chmury punktów polegało na poziomowaniu powierzchni (płaszczyzną średnią aproksymowaną metodą najmniejszych kwadratów). Wyznaczano wartości progowe w celu usunięcia błędnie zebranych punktów (pików) powierzchni, punkty usuwane

każdorzazowo ustawiono jako wartości niemierzone. Wyznaczano wartości stereometrycznych parametrów chropowatości wg PN EN-ISO 25178-2 (wybranych parametrów wysokości powierzchni, parametrów funkcyjnych, przestrzennych i cech powierzchni) oraz wartości parametrów funkcyjnych wg EUR 15178N. W całym zakresie badań (dla wszystkich próbek) nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy pionowymi i poziomymi wartościami parametrów SGP 3D, co świadczy o stabilności przeprowadzonego procesu skrawania. Dopiero pomiary

parametrów SGP 3D, przeprowadzone z bardzo dużą rozdzielczością poziomą i pionową, ukazały w chmurze punktów sygnał świadczący o obecności istotnych informacji na temat warunków wytwarzania stopów Co-Cr metodami SLM. Udało się wykazać wyraźny związek pomiędzy parametrami funkcyjnymi (objętości) i cech SGP (Sdv, Shv oraz Sda i Sha) a objętościową gęstością energii wiązki lasera dla spieków wykonanych z proszków metalu Co-Cr metodą SLM, które następnie poddano frezowaniu.

Podsumowanie i wnioski

Zebrane doświadczenie i poczynione obserwacje podczas prac realizowanych w LTP ZUT w Szczecinie na potrzeby przemysłu a także w trakcie licznie realizowanych prac badawczych pozwalają sformułować następujące wnioski.

Bardzo rzadko w dokumentacji konstrukcyjnej konstruktorzy i technolodzy korzystają z uszczegółowionych sposobów zapisu wymagań stanu oraz sposobu pomiaru SGP. W dużej mierze bierze się to z wciąż jeszcze dynamicznego rozwoju w tym obszarze metrologii (rodzina norm ISO 25178).

Analiza topografii niesie ze sobą znacznie więcej informacji. Do ich prawidłowego zinterpretowania potrzeba dużego doświadczenia metrologicznego i wiedzy na temat technologii i przeznaczenia powierzchni, obecnie w obiegu jest łącznie ponad 300 parametrów SGP 2D i 3D. Najlepiej aby w tym gąszczu wyboru najlepszego zestawu parametrów dokonał konstruktor wraz z metrologiem i technologiem.

Często o właściwościach technologicznych i eksploatacyjnych świadczą wzajemne relacje różnych parametrów SGP. Na przykład śledząc zużycie nie można się ograniczać wyłącznie do analizy wysokościowych parametrów pomijając grupę parametrów cech powierzchni.

Wybór głowicy pomiarowej i metodyki pomiaru każdorazowo winien być podparty badaniami wstępnymi. Zmiana jednego z parametrów akwizycji chmury punktów lub czujnika pomiarowego może istotnie wpłynąć na wartości zarejestrowanych parametrów SGP 3D.

Obecne normy nie precyzują warunków obróbki zarejestrowanej chmury punktów, metrolog ma dużą swobodę w zakresie kolejności operacji i stosowanych filtracji – co może prowadzić do istotnych zmian wartości zarejestrowanych parametrów SGP 3D (te różnice mogą sięgać od kilku procent do nawet kilkuset procent). Aby wyniki były powtarzalne i odtwarzalne, to postępowanie podczas obróbki chmury punktów każdorazowo powinno zostać dokładnie opisane.

Podczas weryfikacji wyników zarejestrowanych przyrządem optycznym za pomocą przyrządu stykowego należy pamiętać aby zastosować odpowiednią filtrację morfologiczną, której celem będzie symulowanie stanu SGP 3D, tak jak gdyby została zarejestrowana na skutek skaningu ostrzem odwzorowującym o ustalonej geometrii. W przeciwnym wypadku rozbieżności, które się pojawiają mogą sięgać nawet kilkuset procent wartości mierzonych (weryfikowanych) parametrów SGP.

Literatura

- [1] A. Wypych: Mikrostruktura i właściwości eksploatacyjne inconelu 625 w postaci warstw natryskiwanych cieplnie, Przegląd Spawalnictwa, Vol 83, No 12 (2011), s. 56-58.
- [2] W. Żórawski, N. Radek: Mikrostruktura i właściwości natryskiwanych naddźwiękowo powłok WC-12Co po obróbce elektroiskrowej, Przegląd Spawalnictwa, Vol 84, No 9 (2012), s. 46-50.
- [3] J. Górka, R. Skiba: Wpływ procesów cięcia termicznego i strumieniem wody na właściwości i jakość powierzchni ciętych stali niskostopowych o wysokiej granicy plastyczności, Przegląd Spawalnictwa, Vol 85, No 2 (2013), s. 11-18.
- [4] PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010, Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [5] PN-EN ISO 4288:2011, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Metoda profilowa. Zasady i procedury oceny struktury geometrycznej powierzchni.
- [6] PN-EN ISO 1302:2004, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Oznaczenie struktury geometrycznej powierzchni w dokumentacji technicznej wyrobu.
- [7] P. Pawlus, M. Wieczorowski, T. Mathia; The errors of stylus methods in Surface topography measurements; Wydawnictwo ZAPOL Sobczyk Sp.j. Szczecin. ISBN 98-78-83-7518-699-4, 2014.
- [8] M. Wieczorowski; Metrologia nierówności powierzchni metody i systemy; PPH ZAPOL Szczecin, ISBN 978-83-7518-570-6, 2013
- [9] PN-EN ISO 25178-2:2012, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [10] PN-EN ISO 25178-602:2010, Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 602. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (z czujnikiem chromatycznym konfokalnym).
- [11] PN-EN ISO 25178-603:2013-12, Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 603. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (mikroskopów interferometrycznych z korekcją fazy).
- [12] ISO 25178-1:2016(en), Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Areal – Part 1. Indication of surface texture.
- [13] S. Krajewski, J. Nowacki: Structure of AlSi-SiC composite foams Surface formed by mechanical and thermal cutting. Applied Surface Science 327 523-531, 2015 <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.11.122>.
- [14] D. Grzesiak, D. Grochała, E. Bachtia-Radka: Identyfikacja parametrów procesu selektywnego spiekania laserowego stopu Co-Cr na podstawie parametrów topografii powierzchni po frezowaniu, Miesięcznik Naukowo Techniczny MECHANIK, 8-9, s.7 01-714; 2015; DOI 10.17814/mechanik.2015.8-9.483.
- [15] E. Bachtia-Radka, D. Grochała, K. Chmielewski, W. Olszak: Badania izotropii powierzchni frezowanej i nagniatanej na twardo ze stali X160CrMoV121, Monografia pod red. prof. E. Miko, Politechnika Świętokrzyska – Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn – Kielce-Sandomierz, s. 641-653, 2015.