

BADANIA CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI METODĄ IMMERSYJNĄ INTERFEROMETRII HOLOGRAFICZNEJ

MAREK L E C H

Politechnika Warszawska

IRENA M R U K

Politechnika Warszawska

JACEK Ś T U P N I C K I

Politechnika Warszawska

1. Wstęp

Praca prezentuje wyniki uzyskane w efekcie przystosowania metody immersyjnej interferometrii holograficznej (IMHI) do badania mikronierówności powierzchni technicznych. Stanowi kontynuację wcześniejszych prac autorów w tej dziedzinie [1], [2], [3].

Rozwój techniki budowy maszyn i postęp technologiczny wymaga nowych, coraz dokładniejszych metod badania topografii powierzchni. Podstawowe znaczenie dla procesów zużycia, smarowania granicznego, wytrzymałości zmęczeniowej, przewodnictwa elektrycznego i cieplnego kontaktu ciał ma tekstura powierzchni będąca końcowym efektem obróbki oraz docierania i zużycia.

Niezbędny postęp w metodyce badań topografii powierzchni powinien jak się wydaje, iść w kierunku nieniszczących, bezdotykowych metod badań, łatwych do automatyzacji, o zakresie pomiarowym zmiennym w szerokich granicach, dających się łatwo zastosować do obiektów będących w eksploatacji dla umożliwienia obserwacji procesów zużycia.

Do oceny własności trybologicznych powierzchni najczęściej dotychczas stosuje się metody oparte o badania profilometryczne. Na podstawie profilogramów wyznaczane są rozkłady wierzchołków, dolin, promieni zaokrąglenia, pochyłości stoków mikronierówności. Według zgodnej opinii badaczy najbardziej przydatne do jednoznacznego opisu złożonej konfiguracji powierzchni są dwuwymiarowe mapy warstwiczne [4], [5]. Mapy takie są tworzone dotychczas na podstawie danych z wielu przekrojów uzyskiwanych najczęściej metodą profilografometryczną.

Udoskonalona metoda immersyjna interferometrii holograficznej wykorzystująca przezroczyste repliki badanych powierzchni, specjalnie skonstruowaną kuwetę immersyjną oraz układ mikroskopu holograficznego umożliwia otrzymywanie w sposób bezpośredni dwuwymiarowych map warstwicznych nierówności powierzchni.

Mapy warstwiczne odwzorowujące mikrotopografię badanych powierzchni w kilkusetkrotnym powiększeniu umożliwiają opis geometrii oraz wznaczenie nowych para-

metrów trybologicznych, charakteryzujących anizotropię powierzchni, opory przepływu smaru lub nośność powierzchni jak np. powierzchniowa krzywa nośności.

W pracy zawarte jest też porównanie wyników uzyskanych metodą immersyjną z wynikami pomiarów mikrogeometrii tych powierzchni metodą profilografometryczną przy użyciu Talysurf 5.

W przypadku stosowania replik do badania chropowatości podstawowym zagadnieniem jest określenie wierności odtwarzania szczegółów powierzchni przez materiał repliki [6].

Wierność odtwarzania mikronierówności przez użyte do badań przezroczyste repliki z gumy silikonowej została sprawdzona przez porównanie map warstwicznych na powierzchniach przełomów szklanych i zdjętych z nich replikach oraz przez porównanie określonych na tej podstawie parametrów geometrii powierzchni i jej repliki. Opisywana bezdotykowa metoda immersyjna interferometrii holograficznej (IMHI) do badania mikronierówności powierzchni posiada szereg zalet w stosunku do rozpowszechnionych metod profilografometrycznych. Możliwość znacznego zwiększenia dokładności warstwiczowania i skomputeryzowania procesu opracowania map warstwicznych podnosi konkurencyjność tej metody.

Wykaz oznaczeń:

- λ — długość fali światła użytego w badaniach;
- n_1, n_2 — współczynniki załamania światła płynów immersyjnych;
- ΔZ — różnica głębokości między kolejnymi warstwicami;
- $R_{\max}/(R_{\max})_p/$ — największa wysokość chropowatości spośród wszystkich pododcinków lub fragmentów pól pomiarowych;
- $R_{TM}/(R_{TM})_p/$ — średnia wartość R_{\max} pięciu kolejnych pododcinków lub fragmentów pól pomiarowych;
- $R_T/(R_T)_p/$ — największa wysokość chropowatości na całym odcinku lub polu pomiarowym.

2. Technika eksperymentalna

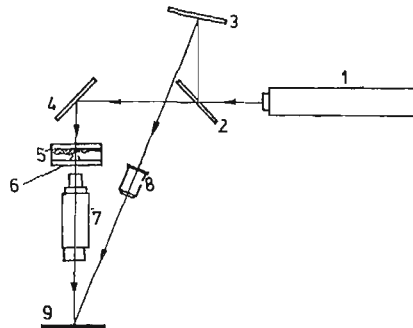
Metoda holograficznego warstwiczowania powierzchni (IMHI) wykorzystuje zjawisko interferencji frontów falowych, które zachodzi podczas rekonstrukcji hologramu zarejestrowanego metodą podwójnej ekspozycji [2]. W tym przypadku każda z dwu ekspozycji jest dokonywana po napełnieniu kuwety płynem immersyjnym o innym współczynniku załamania światła.

Zrekonstruowany obraz holograficzny powierzchni pokryty jest siecią interferencyjnych prążków warstwicznych o względnej różnicy głębokości między nimi:

$$\Delta Z = Z_{N+1} - Z_N = \frac{\lambda}{n_1 - n_2}$$

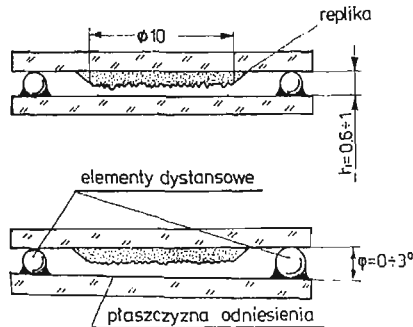
ΔZ zależy od długości fali λ użytego światła laserowego oraz od różnicy współczynników załamania światła n_1 i n_2 płynów immersyjnych. W celu uzyskania map warstwicznych badanych powierzchni zastosowano udoskonaloną przez autorów metodę immersyjną.

interferometrii holograficznej (IMHI). Zaprojektowano w tym celu nowy układ optyczny i kuwetę immersyjną nowej konstrukcji [1].



Rys. 1. Układ badawczy do warstwicowania replik w świetle przechodzącym. 1 — laser He-Ne, 2 — polaryzacyjny dzielnik wiązki, 3, 4 — zwierciadła 100%, 5 — przezroczysta replika, 6 — kuweta immersyjna, 7 — mikroskop holograficzny, 8 — obiektyw, 9 — płyta holograficzna

Schemat układu badawczego przedstawionego na rys.1. Wiązka światła lasera helowo-neonowego (1) o długości fali $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ zostaje podzielona w polaryzacyjnym dzielniku wiązki (2) na wiązkę przedmiotową i wiązkę odniesienia. Wiązka przedmiotowa po odbiciu od zwierciadła 100% (4) przechodzi przez kuwetę immersyjną (6) i umieszczoną w niej przezroczystą replikę (5). Następnie jest rzutowana przy pomocy układu optycznego (7) na płytę holograficzną (9). Wiązka odniesienia po odbiciu od zwierciadła 100% (3) zostaje przekształcona przez obiektyw (8) w wiązkę kulistą i pada bezpośrednio na płytę holograficzną (9). Rejestracja hologramu i rekonstrukcja obrazu holograficznego odbywa się w tym przypadku w wiązkach kulistych tworzonych z wiązki światła wychodzącej z lasera za pomocą obiektywów mikroskopowych. Zastosowana do tych badań



Rys. 2. Kuweta immersyjna

nowa kuweta immersyjna (rys. 2) umożliwiła szybką zmianę replik i łatwą identyfikację punktów pomiarowych. Średnica przestrzeni pomiarowej kuwety wynosi $\varnothing 26 \text{ mm}$, a odległość między płaskorównoległymi szklanymi ścianami kuwety jest regulowana za pomocą kulek dystansowych o średnicy od dziesiątych części milimetra do kilku milimetrów.

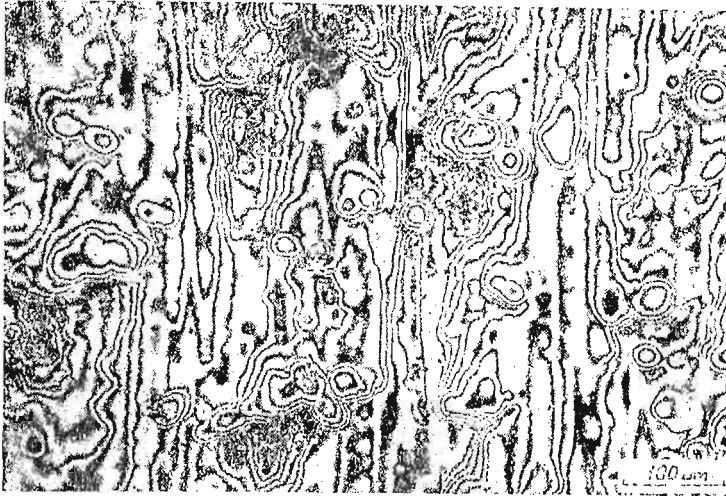
Odległość ta jest uzależniona od grubości repliki i wymaganych pochyłeń jej powierzchni względem płaszczyzny odniesienia, którą stanowi przednia ściana kuwety. Kuweta jest przystosowana do mocowania w typowych uchwytach z zestawów holograficznych produkcji P.Z.O.

Repliki badanych powierzchni wykonano z przezroczystej gumy silikonowej Polastosil M2000 metodą odlewania mieszaniny gumy z utwardzaczem na interesującym fragmencie oczyszczonej powierzchni. Do uformowania repliki o odpowiednich wymiarach używa się pierścienia metalowego o dokładnie wykonanych, płaskorównoległych powierzchniach podstawy, wewnętrznej średnicy \varnothing 10 mm i grubości 0,5 mm. Tak wykonany pierścień jest nałożony na dokładnie oczyszczoną badaną powierzchnię. Objętość wewnątrz pierścienia wypełnia się płynną gumą silikonową a następnie dociska się płaskorównoległą płytką szklaną stanowiącą tylną ścianę kuwety. Po utwardzeniu gumy silikonowej oddziela się płytkę ze znajdującą się na niej repliką od badanej powierzchni i umieszcza w kuwecie. W badaniach używano jako płynów immersyjnych: powietrza o współczynniku załamania światła $n = 1,00029$, alkoholu etylowego o współczynniku załamania światła $n = 1,36140$ co przy użyciu światła lasera He—Ne daje różnicę głębokości między kolejnymi warstwicami $\Delta Z = 1,75 \mu\text{m}$. Dla powierzchni o małych chropowatościach zastosowano inny zestaw płynów immersyjnych; powietrze ($n = 1,00029$) oraz wzorcową ciecz immersyjną IMF o współczynniku załamania światła $n = 1,618$, co przy tej samej długości fali świetlnej daje różnicę głębokości między warstwicami $\Delta Z = 1,024 \mu\text{m}$. Powietrze jako płyn immersyjny nie zanieczyszcza powierzchni repliki, a cienka warstwa wzorcowego płynu immersyjnego IMF lub alkoholu zawarta między powierzchnią repliki a płaszczyzną odniesienia utrzymuje się dzięki napięciu powierzchniowemu. Zastosowany w układzie optycznym mikroskop holograficzny pozwala na otrzymanie w płaszczyźnie płyty holograficznej kilkusetkrotnie powiększonego obrazu holograficznego powierzchni repliki. Zrekonstruowany wiązką odniesienia obraz holograficzny pojawiający się w płaszczyźnie płyty holograficznej, charakteryzuje się dużą jasnością i bardzo dobrą czytelnością pokrywających go prążków interferencyjnych. Obraz taki może być zarejestrowany aparatem fotograficznym lub może być obserwowany za pomocą mikroskopu optycznego, o ile wymagane są jeszcze większe powiększenia.

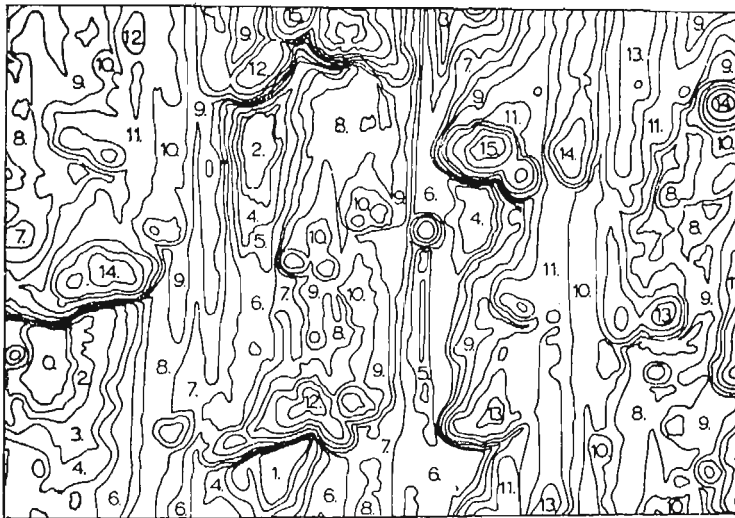
3. Zastosowanie holograficznych map warstwicowych do określania parametrów trybologicznych powierzchni

Dla wykazania przydatności metody warstwicowania holograficznego do określania parametrów trybologicznych powierzchni technicznych poddano badaniom szereg powierzchni metalowych o różnych sposobach i różnej dokładności obróbki. Dla powierzchni tych wykonano repliki, a następnie w opisanym powyżej układzie optycznym uzyskano mapy warstwicowe mikronierówności powierzchni.

Między innymi badano mikrogeometrię powierzchni tytanu po obróbce struganiem. Urozmaicony charakter mikronierówności tej powierzchni pozwolił wyeksponować zalety holograficznego warstwicowania powierzchni. Na rys. 3 przedstawiono mapę warstwicową na fragmencie repliki tej powierzchni przy różnicy głębokości między warstwicami

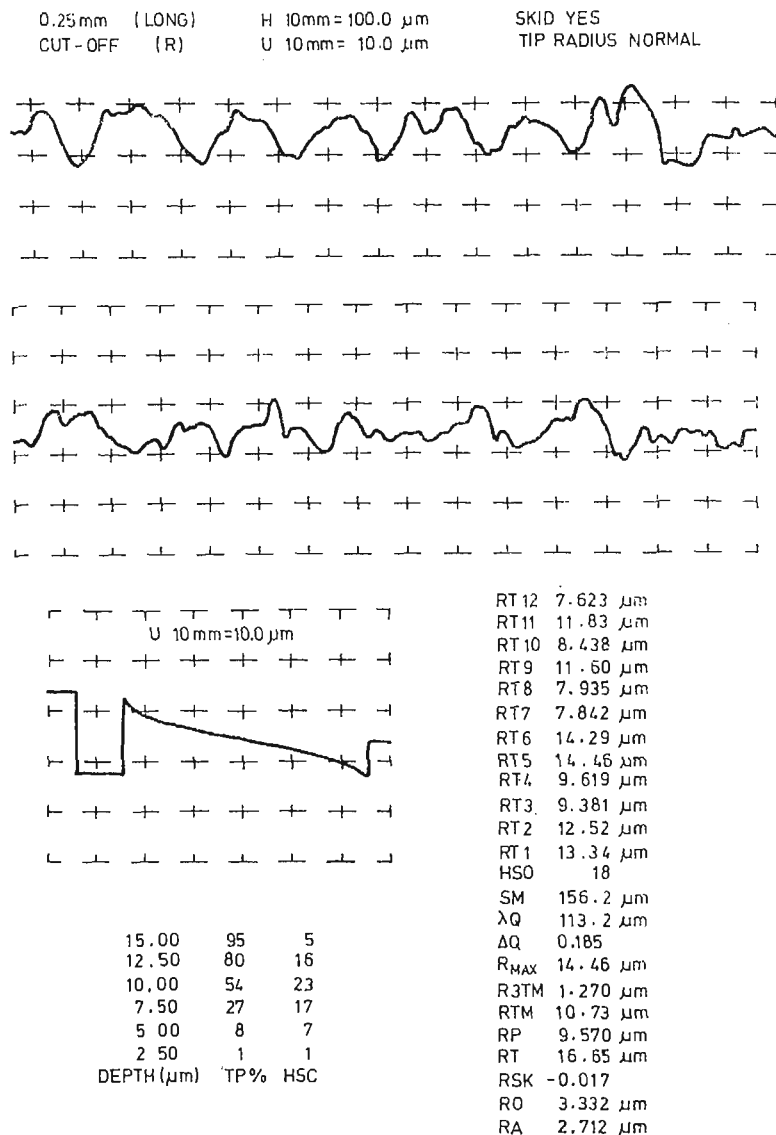


Rys. 3. Układ warstwic powierzchni struganej próbki tytanowej. Różnica głębokości między warstwicami $\Delta z \cong 1,75 \mu\text{m}$



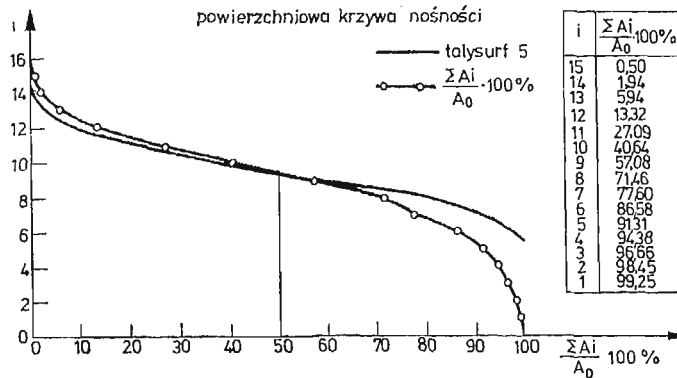
Rys. 4. Mapa warstwicowa opracowana na podstawie obrazu prążków interferencyjnych (rys. 3)

$\Delta Z = 1,75 \mu\text{m}$. Na podstawie obrazu linii interferencyjnych z rys. 3 wykreślono mapę warstwicową i oznaczono rzędy warstwic (rys. 4). Jednocześnie przy użyciu przyrządu Talysurf 5 otrzymano profilogram powierzchni wraz z wydrukiem parametrów chropowatości powierzchni (rys. 5). Mapa warstwicowa (rys. 4) posłużyła do wyznaczenia wartości niektórych parametrów chropowatości oraz powierzchniowej krzywej nośności, które porównano następnie z wartościami parametrów zmierzonymi profilografometrem Talysurf 5. Na rys. 6 pokazano przebieg powierzchniowej krzywej nośności uzyskanej na podstawie mapy warstwicowej oraz liniowej krzywej nośności tej powierzchni wykreślonej za pomocą profilografometru Talysurf 5.



Rys. 5. Profilogram i wydruk parametrów chropowatości uzyskanych przy użyciu Talysurf 5 dla tej samej powierzchni próbki tytanowej, którą opisuje mapa warstwicowa na rys. 3

Można stwierdzić, że liniowa krzywa nośności jest bardziej płaska i zbliżona do powierzchniowej krzywej nośności, jedynie dla średnich wartości udziału nośnego. Natomiast dla wartości udziału nośnego mniejszych od 20% i większych od 60% występują istotne różnice w charakterze obu krzywych. W przedziałach tych powierzchniowa krzywa nośności dokładniej określa rzeczywistą powierzchnię kontaktu przez uwzględnienie najwyższych szczytów i najniższych dolin, które stylus profilografometru zazwyczaj omija (między innymi wskutek ograniczonej sztywności i określonego promienia stylusa). W ten sam sposób można wytłumaczyć fakt, iż wartości parametrów chropowatości wyznaczone na



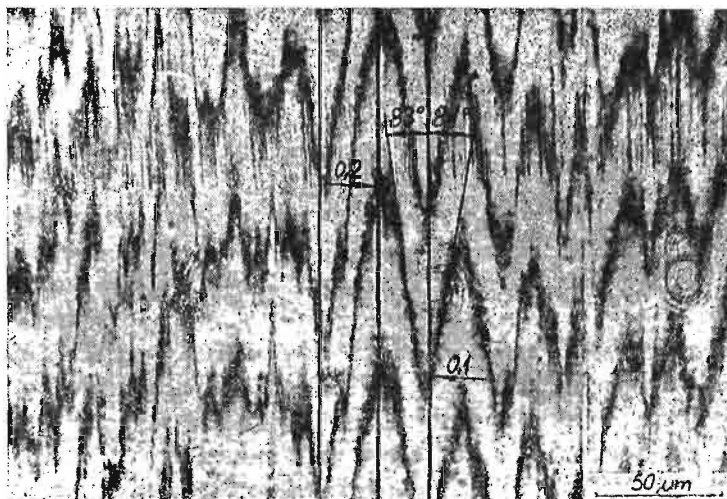
Rys. 6. Wykres powierzchniowej krzywej nośności sporządzonej na podstawie mapy z rys. 5 oraz odpowiadający tej powierzchni wykres liniowej krzywej nośności otrzymanej z Talysurf 5

	IMHI	TALYSURF 5/T-H/	R_{IMHI}/R_{T-H}
$R_{R_{max}}/(R_{max})_p$	24,5 μm	14,46 μm	169 %
$R_{R_{TM}}/(R_{TM})_p$	18,9 μm	10,73 μm	176 %
$R_T/(R_T)_p$	26,2 μm	16,65 μm	158 %

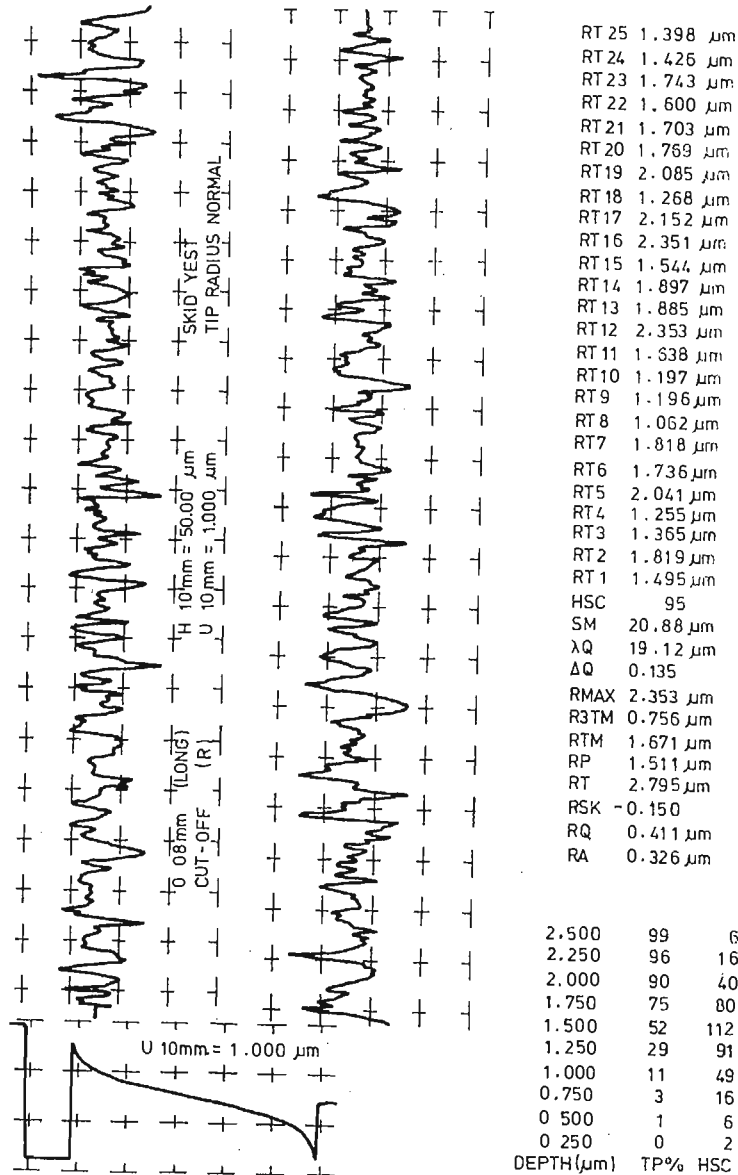
Rys. 7. Porównanie wartości niektórych parametrów chropowatości powierzchni struganej próbki tytanowej wyznaczonych przy użyciu map warstwicowych i zmierzonych profilometrem Talysurf 5

podstawie mapy warstwicowej są większe niż zmierzone profilografometrem, co dla omawianej powierzchni ilustruje tabela na rys. 7.

Mapa warstwicowa pozwala również na łatwe wyznaczenie kątów pochylenia stoków mikronierówności powierzchni, promieni zaokrąglenia wierzchołków i dolin, kierunkowości struktury oraz kształtu i drożności kanałów smarnych pomiędzy mikronierówno-



Rys. 8. Układ warstwic na szlifowanej powierzchni próbki stalowej



Rys. 9. Profilogram i zestawienie parametrów chropowości szlifowanej powierzchni próbki stalowej (rys. 8) uzyskane za pomocą Talysurf 5

ciałami w dowolnym przekroju. W przypadku powierzchni o wyraźnej kierunkowości struktury i ustalonym profilu np. po obróbce szlifowaniem, struganiem lub frezowaniem ustawienie płaszczyzny odniesienia (przednia ściana kuwety) równoległe do środkowej powierzchni zarysu powoduje, że powstające prążki warstwicowe są względem siebie równoległe, co utrudnia analizę obrazu warstwicowego. Celowym w tym przypadku jest pochylenie płaszczyzny odniesienia pod niewielkim kątem. Linie warstwicowe jakże wów-

czas powstają na całym obszarze obserwacji mają charakter profilogramów, ale są wolne od błędów systematycznych profilogramów otrzymanych przy pomocy stylusa.

Profilogramy te pozwalają wyznaczyć pewne cechy geometryczne powierzchni jak np. promienie zaokrąglenia wierzchołków i dolin, pochylenie stoków, anizotropię, zmienności przekroju bruzd oraz uwidaczniają bezpośrednio regularność, bądź nieregularność struktury. Przykład tego rodzaju mapy warstwicznej na replice zdjętej ze stalowej powierzchni szlifowanej przedstawiono na rys. 8. Na rysunku tym zaznaczono promienie zaokrąglenia niektórych wierzchołków i dolin mikronierówności oraz kąty pochylenia stoków odniesione do przekroju normalnego. Odpowiadający tej powierzchni wydruk parametrów chropowatości otrzymany za pomocą Talysurf 5 przedstawia rys. 9. Porównanie parametrów chropowatości określonych metodą warstwiczowania holograficznego i wyznaczonych przy użyciu Talysurf 5 dla powierzchni szlifowanej przedstawiono w tabeli na rys. 10. Również w przypadku tej powierzchni pomimo regularności jej struktury IMHI dała większe wartości parametrów niż z odczytu profilogramu.

	IMHI	TALYSURF 5/T-H/	R_{IMHI}/R_{T-H}
$R_{max}/(R_{max})_p$	2,6 μm	2,353 μm	112 %
$R_{TM}/(R_{TM})_p$	2,0 μm	1,671 μm	118 %
$R_T/(R_T)_p$	3,4 μm	2,795 μm	122 %

Rys. 10. Porównanie wartości niektórych parametrów chropowatości dla powierzchni szlifowanej, wyznaczonych przy użyciu map warstwicznych i zmierzonych profilometrem Talysurf 5

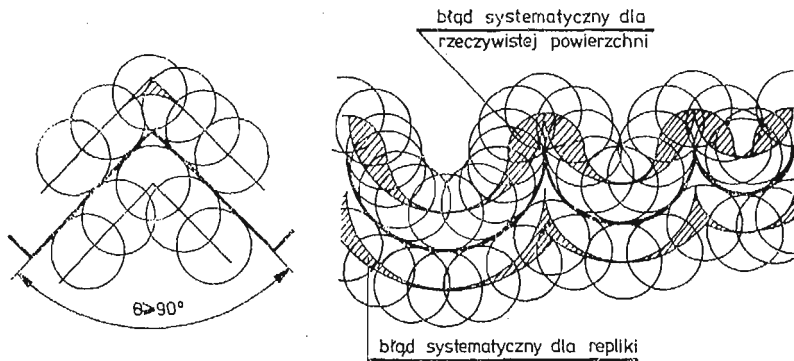
4. Badanie wierności odtwarzania przez repliki

Z uwagi na istotne zalety stosowania przezroczystych replik do badania mikronierówności powierzchni np. dużych obiektów, bez potrzeby ich demontażu i umieszczenia w kuwecie, jak również szczególną przydatność tego rodzaju replik do badań metodami optycznymi, niezbędne jest określenie wierności odwzorowania rzeczywistych mikronierówności przez ich repliki.

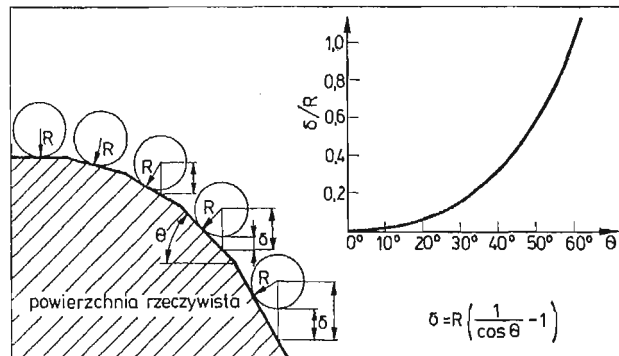
Rozpowszechnione w badaniach chropowatości metody profilografometryczne są stosowane do badania wierności replik [6], pomimo, że nie nadają się do tego celu, gdyż są obarczone błędami systematycznymi. Błędy te wynikają z różnic odwzorowania tych samych szczegółów powierzchni rzeczywistych i replik (rys. 11), zależą od kąta pochylenia profilu (rys. 12) oraz od różnicy podatności materiału repliki i rzeczywistej powierzchni na naciski stylusa profilografometru.

W przypadku stosowania replik wykonanych z bardzo miękkich materiałów np. z gumy silikonowej, nie jest możliwe jakiegokolwiek badanie ich powierzchni metodami dotykowymi.

Metoda immersyjna interferometrii holograficznej (IMHI) eliminująca wymienione błędy i ograniczenia może być bezpośrednio zastosowana do badania wierności odtwarzania użytych replik. Jako rzeczywistych powierzchni do badań wierności odtwarzania użyto przełomy przezroczystej płyty szklanej, dla których opisaną poprzednio techniką



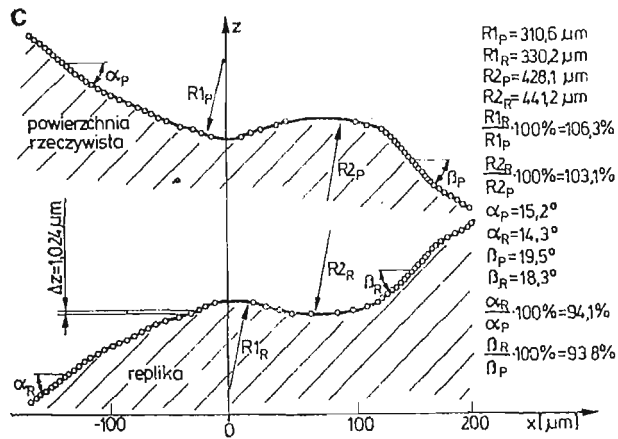
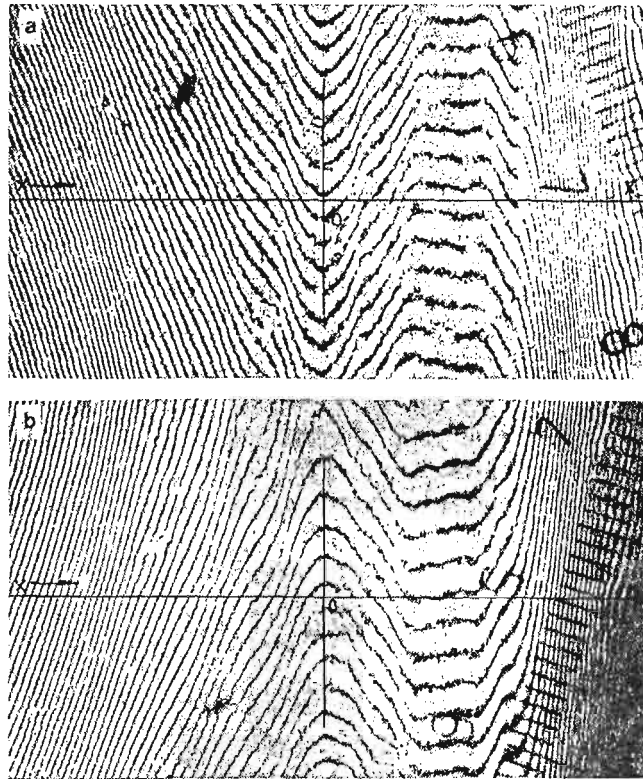
Rys. 11. Błędy systematyczne przy odwzorowywaniu metodami profilografometrycznymi rzeczywistych powierzchni i ich replik



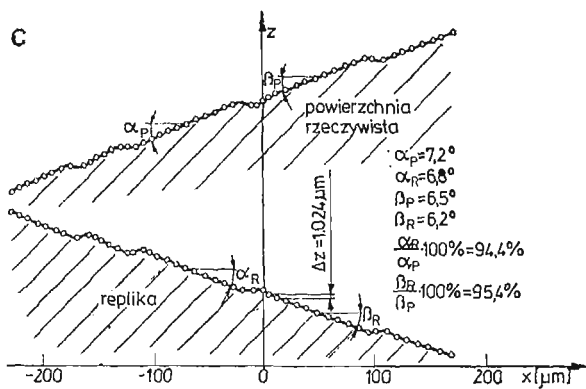
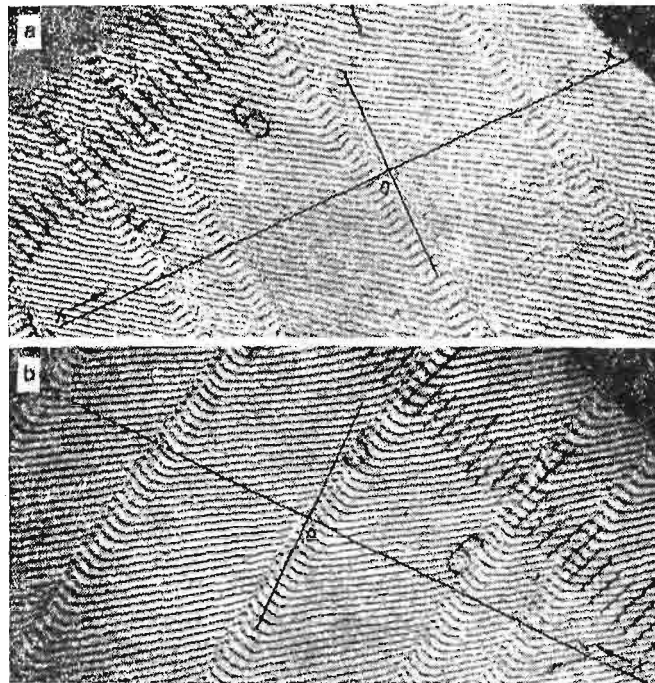
Rys. 12. Zależność błędów odwzorowania metodami profilografometrycznymi od kąta pochylenia profilu

wykonano repliki. Następnie w tym samym układzie optycznym uzyskano odpowiadające sobie mapy warstwiczne przełomów szklanych i ich replik. Na rys. 13a przedstawiono układ warstwic na powierzchni pierwszego z czterech badanych przełomów szklanych, a na rys. 13b układ warstwic na powierzchni jego repliki w tym samym miejscu. Dla uzyskania informacji o stopniu odwzorowania powierzchni przez replikę wykonano na podstawie map warstwicznych wykresy zarysu powierzchni przełomu i jego repliki wzdłuż tej samej osi $x-x$ (rys. 13c). W niektórych punktach profilu obliczono rzeczywiste wartości promieni zaokrąglenia wierzchołków i dolin oraz kątów pochylenia stoków mikro nierówności. Jako kryterium wierności odtwarzania rzeczywistej powierzchni przez jej replikę przyjęto stosunki wartości odpowiednich promieni zaokrąglenia i kątów pochylenia zarysu przełomu i jego repliki.

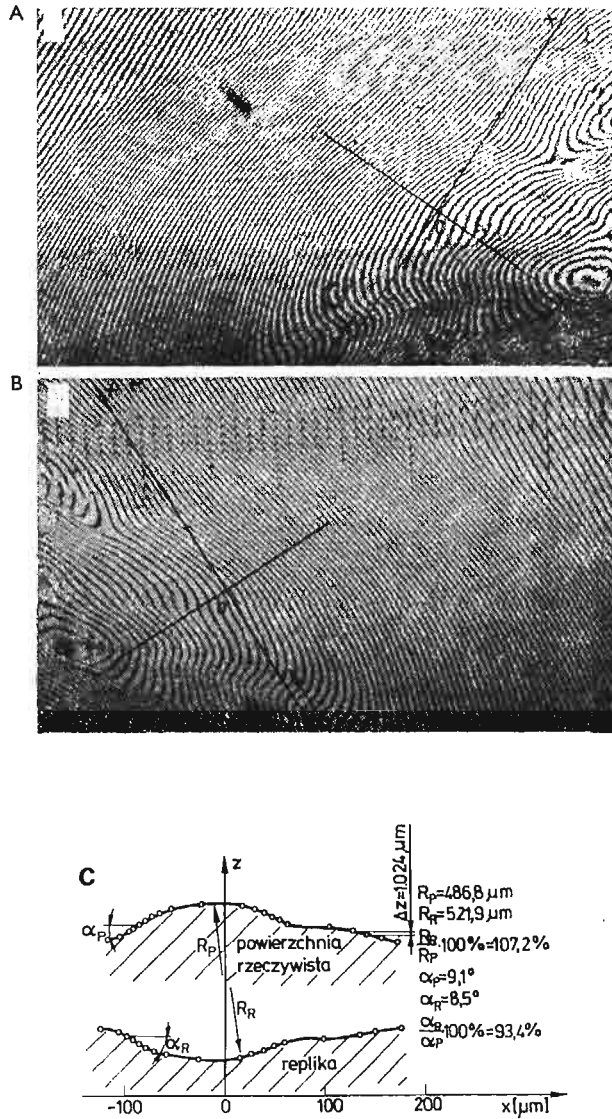
Analogicznie opracowano wyniki badań pozostałych trzech przełomów (rys. 14, 15, 16). Już tylko jakościowe porównanie charakteru warstwic na rzeczywistych powierzchniach i odpowiadających im replikach wskazuje na dobrą zgodność szczegółów obu powierzchni. Porównanie wykresów zarysu oraz obliczonych parametrów potwierdza zadowalającą wierność odtwarzania przez użyte do badań repliki z gumy silikonowej Polastosil M2000.



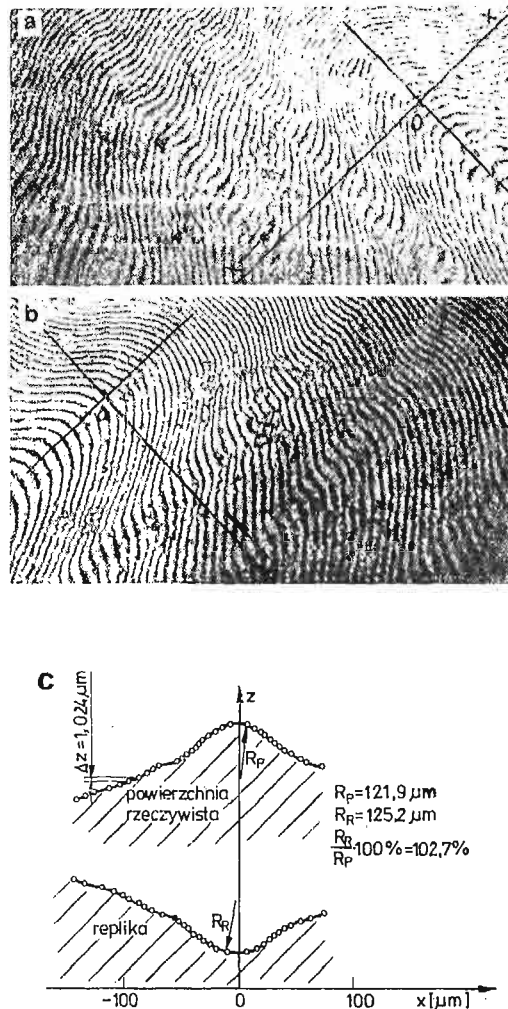
Rys. 13. a) Mapa warstwicowa na powierzchni przelomu nr I, b) Mapa warstwicowa na powierzchni repliki przelomu nr I, c) Porównanie zarysu powierzchni przelomu nr I i jego repliki w przekroju $x-z$



Rys. 14. a) Mapa warstwiczna na powierzchni przelomu nr II, b) Mapa warstwiczna na powierzchni repliki przelomu nr II, c) Porównanie zarysu powierzchni przelomu nr II i jego repliki w przekroju $x-x$



Rys. 15. a) Mapa warstwiczna na powierzchni przelomu nr III, b) Mapa warstwiczna na powierzchni repliki przelomu nr III, c) Porównanie zarysu powierzchni przelomu nr III i jego repliki w przekroju $x-x$



Rys. 16. a) Mapa warstwicowa na powierzchni przełomu nr IV, b) Mapa warstwicowa na powierzchni repliki przełomu nr IV, c) Porównanie zarysu powierzchni przełomu nr IV i jego repliki w przekroju $x-z$

5. Wnioski

Badanie mikronierówności powierzchni metodą immersyjną interferometrii holograficznej stwarza możliwości pełniejszego opisu chropowatości powierzchni i jej cech trybologicznych niż metody dotychczas stosowane. W tym przypadku wszystkie parametry mikronierówności powierzchni istotne ze względów trybologicznych odniesione są do obserwowanej powierzchni, a nie do kolejnych przekrojów i nie zawierają błędów systematycznych integralnie związanych z metodą stylusa. Poza ogólnie znanymi błędami systematycznymi metod profilografometrycznych związanymi z kształtem ostrza stylusa, kalibracją układu, krzywizną ślizgacza typowe metody nie pozwalają na stosowanie rep-

lik ze względu na powstające wtedy błędy systematyczne związane z badaniem negatywu powierzchni. Ponadto w przypadku stosowania replik z miękkich materiałów nie jest możliwe zastosowanie metod dotykowych. Uzyskane wyniki potwierdzają wysoką przydatność metody immersyjnej interferometrii holograficznej do badania mikronierówności powierzchni technicznych oraz wierności odtwarzania użytych replik. Jak wykazano, parametry chropowatości określone na podstawie map warstwicowych mają większą wartość niż wyznaczone profilometrem. Wynika to z zarejestrowania najwyższych szczytów i najniższych dolin występujących w całym badanym obszarze nierejestrowanych zazwyczaj przez profilometr ze względu na jego przypadkową ścieżkę przejścia, skończony promień zaokrąglenia stylusa i jego ograniczoną sztywność boczną. Stosowana zazwyczaj krzywa nośności Abbota-Firestona może być zastąpiona, dzięki uzyskaniu map warstwicowych, powierzchniową krzywą nośności charakteryzującą stosunek powierzchni na określonym poziomie do całkowitej powierzchni obszaru pomiarowego. Powierzchniowa krzywa nośności odwzorowuje dokładniej nośność powierzchni, szczególnie w zakresie wierzchołków i dolin, co jest istotne ze względu na zjawiska kontaktu.

Stosując pochylenie płaszczyzny odniesienia uzyskuje się warstwicę w postaci serii „profilogramów” pokrywających cały badany obszar. Pozwalają one w sposób bezpośredni określić niektóre parametry trybologiczne, jak kąty pochylenia stoków mikronierówności, promienie zaokrąglenia wierzchołków i dolin, drożność kanałów i prostoliniowość grzbietów. Zastosowana metoda warstwicowania powierzchni przy wykorzystaniu ich przezroczystych replik w świetle przechodzącym eliminuje szereg ograniczeń bezpośredniego badania mikronierówności powierzchni obiektów rzeczywistych. Metoda ta jest dotychczas również jedynym obecnie wiarygodnym sposobem sprawdzenia wierności odtwarzania przezroczystych replik. Pojawiający się w trakcie rekonstrukcji w płaszczyźnie płyty holograficznej, kilkusetkrotnie powiększony obraz holograficzny charakteryzuje się dużą jasnością i bardzo dobrą czytelnością prążków warstwicowych. Możliwe jest zatem dalsze zmniejszenie różnicy głębokości między warstwicami do kilku dziesiątych części mikrometra używając światła o mniejszej długości fali i płynu immersyjnego o większym współczynniku załamania światła. W szczególnych przypadkach dokładność map może być wielokrotniona metodą multiplikacji prążków warstwicowych, bądź przy pomocy ekwidensytometrycznej analizy obrazów interferencyjnych.

W chwili obecnej uzyskanie informacji o powierzchni metodą immersyjną interferometrii holograficznej jest bardziej pracochłonne niż uzyskanie podobnych informacji metodą profilografometryczną, szczególnie gdy korzysta się ze standardowych programów na maszyny cyfrowe dla wyznaczenia parametrami powierzchni.

Zdaniem autorów metoda immersyjna nie może w obecnej chwili zastąpić metody profilografometrycznej, szczególnie w badaniach rutynowych, gdy zależy nam na danych porównawczych powierzchni. Jednakże w badaniach, w których konieczne jest uwzględnienie rzeczywistych kształtów chropowatości i rzeczywistych charakterystyk powierzchni, metoda immersyjna może okazać się niezastąpiona. Dla zwiększenia efektywności metody podjęto próbę automatyzacji etapu odczytywania i analizy obrazów interferencyjnych.

Literatura cytowana w tekście

1. M. LECH, I. MRUK, J. STUPNICKI, *Comparison of tribological parameters of surfaces determined by stylus method and immersion method of holographic interferometry*. II International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces, 14 - 16 April 1982, Leicester, England.
2. M. LECH, I. MRUK, J. STUPNICKI, *Holographic measurement of topography of engineering surfaces by use of transparent replicas*, III International Tribology Congress Eurotrib'81, Warsaw 1981.
3. M. LECH, I. MRUK, J. STUPNICKI, *Running — in process of porous bearings observed by use of holographic interferometry*, 8 th Leeds — Lyon Symposium on Tribology, Lyon, 1981.
4. B. NOWICKI, *Badania mikrostruktury geometrycznej powierzchni obrabianych i metod jej oceny*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Mechanika z. 70, 1980, Warszawa.
5. T. TSUKADA, K. SASAJIMA, *A three — dimensional measuring technique for surface asperities*, „Wear” vol. 71, no 1, 1981.
6. K. NARAYANASAMY, V. RADHAKRISHNAN, R. G. NARAYANAMURTHI, *Analysis of surface reproduction characteristics of different replica materials*, „Wear”, no 57, 1979.

Р е з ю м е

ИССЛЕДОВАНИЯ ШЕРЕХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ИММЕРСИОННЫМ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИ

В работе представлен иммерсионный метод голографической интерферометрии примененный для исследования шереховатости технических поверхностей, в котором использованы прозрачные реплики этих поверхностей и новая оптическая система. Получены этим методом микрофотографические карты исследованных поверхностей с расстояниями между изогипсами $\Delta Z \cong 1$ мкм, делают возможным подробнейшее описание их геометрии и определение новых трибологических параметров. В частности исследованы металлические поверхности после строгания и шлифования. Определенные голографическим методом некоторые параметры поверхностей сравнено с параметрами измеренными профилометром Талисурф 5. Предложено новый метод испытания подлинности реплик, сравнивая карты изогипсов на прозрачных стеклянных изломах и их репликах.

S u m m a r y

INVESTIGATIONS OF SURFACE ROUGHNESS BY USE OF IMMERSION METHOD OF HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY

Paper presents the investigations of the surface roughness by use of the immersion method of the holographic interferometry with application of the transparent replicas and new designed optical system. Two — dimensional contour maps of the investigated surfaces with intervals between contour lines $\Delta z \cong 1 \mu\text{m}$ permit detailed description of their geometry and determining new tribological parameters. The measurements were carried out on various metal surfaces machined, for example, by shaping and grinding. Some parameters of the surfaces determined by the immersion method were compared with those measured by Talysurf 5. A new method of inspection of the replica's fidelity by comparison of the contour maps on cracked glass surfaces and their replicas was proposed.