

Damian ŚMIERZCHAŁSKI¹
Michał WIECZOROWSKI¹

SZYBKI POMIAR ODPORNOŚCI NA ZARYSOWANIE POWIERZCHNI PRODUKTÓW DO CELÓW PRZEMYSŁOWYCH I EDUKACYJNYCH

Można by mnożyć produkty, od których oczekuje się przyjemnych wrażeń estetycznych. To odczucie nie może być oczywiście trwałe, ale ponieważ wygląd powierzchni jest jego dużą częścią, producenci stosują powłoki ochronne, które zwiększają odporność na zarysowanie. Omówiono nową metodę do badania odporności, jako odpowiedź na potrzebę przemysłu – technikę szybką, powtarzalną i akceptowalną ekonomicznie. Nowe stanowisko badawcze zostało zaprojektowane w celu poprawy istniejących metod, w szczególności pod kątem kosztu badania i prac przygotowawczych. Opisano budowę tego urządzenia oraz jego mocne i zidentyfikowane słabe punkty, wymagające dalszych prac. Wskazano również czynniki, których wpływ uznano za pomijalnie mały. W dalszej części omówiono eksperyment, w którym porównano wynik uzyskany na własnym stanowisku z pomiarami przy pomocy aparatu do badania chropowatości i błędów kształtu. W ostatniej części zamieszczono informację o planowanych pracach i modyfikacjach sklerometru, z uwzględnieniem jego dostosowania do potrzeb przemysłu i elastyczności użytkowania, niezbędnej w działalności dydaktycznej w szkołach technicznych i na uniwersytetach.

1. WPROWADZENIE

Pierwszą historycznie udokumentowaną próbę odporności na zarysowanie przeprowadził Reaumur w 1722 roku [1]. Jest to zatem metoda bardzo stara, bo opisano ją w wieku poprzedzającym uszeregowanie minerałów pod względem twardości, dające podstawę popularnej, 10-stopniowej skali Mohsa [2]. Od tamtego czasu zaproponowano szereg technik stanowiących modyfikację pierwotnej metody. Wśród nich można znaleźć wersje bardzo proste, jak ta, którą opisano w normie ISO 19252 [3], ale opracowano również odmiany wyjątkowo wyrafinowane, w tym takie, w których stosuje się zaawansowaną aparaturę. Przykładem jest metoda instrumentalnego wciskania wgłębnika opisana w normie PN-EN ISO 14577:1 [4], w której właściwości mechaniczne powłoki mierzy się bez prostopadłego ruchu powierzchni próbki względem pozycji wgłębnika (typowy pomiar twardości). W badaniu odporności na zarysowanie (ang. *scratch-test*) właściwości te mierzy się na podstawie innych parametrów np. poprzez zmianę

¹ Zakład Metrologii i Systemów Pomiarowych, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej,
E-mail: michal.wieczorowski@put.poznan.pl

współczynnika tarcia lub przez wzrokową ocenę dostrzegalności rysy. Stosuje się również rylce dobrane do specyfiki aplikacji np. ostrosłup diamentowy o kącie wierzchołkowym 136 zwany wgłębnikiem Vickersa, stożek diamentowy o kącie 120 zwany wgłębnikiem Rockwella, wierzchołek sześciianu a nawet kulki o różnej średnicy. Podobnie jednak, jak w pomiarze twardości, właściwe obciążenie oblicza się na podstawie grubości i twardości powłoki lub wyznacza empirycznie w oparciu o krzywą twardości względem głębokości wejścia rylca w materiał.

W odniesieniu do najbardziej powszechnych metod pomiaru odporności na zarysowanie, która wiąże się z twardością materiału, definiuje się jako zdolność jednego materiału do pozostawienia trwałego śladu na powierzchni innego materiału, na skutek względnego ruchu równoległego do powierzchni materiału drugiego. Uszkodzenie na skutek wciskania wgłębnika jest rezultatem złożonego procesu. Jednakże zrozumienie tego mechanizmu prowadzi do wniosku, że istotne są dwa czynniki obecne we wszystkich metodach pomiaru – obciążenie normalne i powierzchnia kontaktu, zależna od kształtu stosowanego wgłębnika [6]:

$$F_I = H_I \cdot A^I_{LB} \quad (1)$$

gdzie F_I oznacza siłę normalną przyłożoną do powierzchni próbki poprzez tzw. przeciwpróbkę (np. wgłębnik Rockwella), H_I oznacza twardość materiału próbki a A^I_{LB} stanowi pole powierzchni rzutu obszaru przeciwpróbki przenoszącego siłę normalną.

Mechanizm wciskania wgłębnika jest inny niż mechanizm zarysowania, ale ogólna zasada pozostaje niezmienną [6]:

$$F_S = H_S \cdot A^S_{LB} \quad (2)$$

gdzie F_S ponownie oznacza siłę normalną przyłożoną do powierzchni próbki poprzez tzw. przeciwpróbkę (np. wgłębnik Rockwella), H_S oznacza twardość materiału próbki a A^S_{LB} stanowi analogicznie pole powierzchni rzutu obszaru przeciwpróbki przenoszącego siłę normalną.

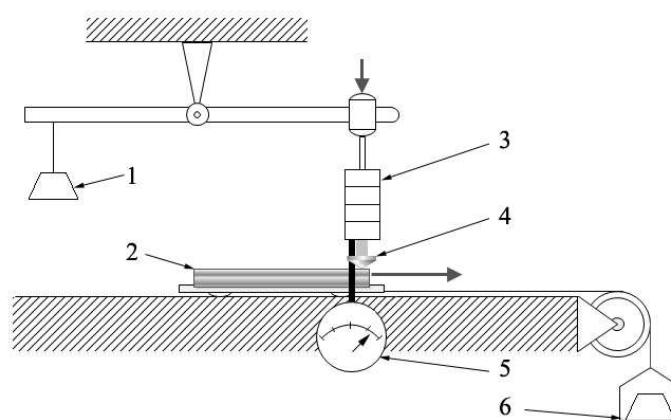
Powyższe wyrażenie (2) stanowi podstawę poszukiwania nowej metody pomiaru odporności na zarysowanie, która umożliwi charakteryzowanie właściwości mechanicznych powłok lakierniczych w skali mikro. Metoda ta jest oparta na aktualnym stanie wiedzy w tej dziedzinie, zapewnia szybki i powtarzalny pomiar, przez co może zostać powszechnie zaakceptowana do oceny właściwości powłok. Skonstruowane stanowisko pomiarowe jest łatwe w obsłudze, przenośne, a do tego wolne od wpływu operatora, który może być przyczyną niesatysfakcjonującego poziomu odtwarzalności wyników. Opisane niżej ograniczenia funkcjonalne sprawiają, że stanowisko służy przede wszystkim do celów porównawczych, jest więc komparatorem. W bardziej zaawansowanej wersji obciążenie normalne rośnie liniowo w czasie, prędkość jest stała lub wzrasta liniowo dla zachowania stałego przyspieszenia. Dodatkowo osadzenie przeciwpróbki zapewnia samoczynną korekcję położenia utrzymującą właściwy kąt natarcia, dane z przetworników pomiarowych

zbierane są w trakcie badania a nawet stosuje się zintegrowane systemy wizyjne z mikroskopem do pomiaru i wzrokowej oceny dostrzegalności rysy.

Proste stanowisko nie zostało opracowane z myślą o badaniach naukowych, a jedynie do porównawczej oceny odporności na zarysowanie, dlatego wiele z tych punktów można pominąć. Pozostawiono możliwość zmiany zakresu obciążenia normalnego, ponieważ jest to jeden z kluczowych parametrów. W przeciwnym razie w zależności od twardości materiału należałoby konstruować specjalne stanowiska, osobne dla powłok miękkich i twardych, nawet przy niewielkich różnicach właściwości. Dla maksymalnego uproszczenia czynności obsługowych i minimalizacji kosztów usunięto również układ pomiaru emisji akustycznej i zrezygnowano z weryfikacji głębokości rysy po wykonaniu badania. Czynność ta tylko nieznacznie poprawia dokładność pomiaru i nie jest niezbędna do szybkiej oceny odporności na zarysowanie.

2. MATERIAŁY I METODA BADANIA ODPORNOŚCI NA ZARYSOWANIE

Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1. Składa się ono z dwóch głównych zespołów: stolika przemieszczającego próbkę (2) oraz układu przenoszącego obciążenie normalne (3). Stolik umożliwia zamocowanie obiektu o długości 110mm, przy czym maksymalna długość rysy jest ograniczona do 100 mm, zapewniając minimalny wybieg i dobieg o długości 5mm. Prędkość przemieszczania stolika jest równa szybkości wykonywania zarysowania i zależy od masy odważnika (6), przymocowanego przez elastyczną linkę stalową o grubości 0,5mm poprzez krążek do stolika. Mobilność stanowiska wyrażona jest zatem nie tylko prostą konstrukcją ułatwiającą szybką instalację, ale również brakiem konieczności zasilania elektrycznego, dzięki zastosowaniu napędu grawitacyjnego. Tarcie toczne rolek stolika o prowadnicę zminimalizowano stosując tzw. łożyska energooszczędne.



Rys. 1. Stanowisko do badania odporności na zarysowanie (1 – masa równoważąca, 2 – obiekt badania, 3 – obciążenie normalne, 4 – rylec, 5 – układ pomiaru głębokości rysy, 6 – odważnik)

Fig. 1. Stand for *scratch* resistance test. Figure caption (1 – counter balance, 2 – testing object, 3 – normal load, 4 – indenter, 5 – scratch-depth gauge, 6 – weight)

Po stronie układu przenoszącego obciążenie na rylce (4) zastosowano uchwyt i zestaw odważników (3), którymi zmienia się zakres penetracji badanego materiału. Regulację ułatwia łożyskowana belka pozioma z przeciwwagą (1). Dodatkowo zastosowano czujnik przemieszczenia ze wskazówką wodzącą, rejestrującą maksymalne wychylenie rylca z położenia początkowego. Końcówkę czujnika połączono sztywno z uchwytem wgłębnika diamentowego a wskazanie czujnika należy zerować po wyrównoważeniu układu, kompensującego masę zespołu obciążającego oraz siłę niezbędną do przemieszczania końcówki czujnika. Certyfikowany błąd pomiaru tego czujnika jest równy +/- 0,5µm a rozdzielczość pomiaru wynosi 0,2µm.

Metodę badania odporności na zarysowanie opracowano z myślą o porównywaniu powłok bez wyznaczania wielu charakterystycznych właściwości mechanicznych i dlatego konieczne były dwa ważne założenia. Pierwsze dotyczy odporności na wciskanie wgłębnika – zakłada się, że odporność na wciskanie nie jest inherentną cechą materiału i nie zależy od kierunku wykonywania rysy. Drugie założenie odnosi się do współczynnika tarcia – przyjęto, że tarcie adhezyjne jest niezależne od energii niezbędnej do zdeformowania materiału. Oba założenia zostały zweryfikowane [6] dla kąta wierzchołkowego wgłębnika równego 120°. Oznacza to, że założenia są spełnione pod warunkiem kontaktu dużej, w stosunku do głębokości penetracji, powierzchni wgłębnika z badanym materiałem lub powłoką.

Siła normalna niezbędna do wykonania zarysowania rośnie wraz ze wzrostem promienia zaokrąglenia rylca [7]. Dodatkowo na wybór wgłębnika wpływa jego kształt i możliwość zapewnienia ustalonej pozycji podczas badania. Z tego powodu najpierw dokonano wyboru powszechni dostępnego wgłębnika, a następnie obliczono siłę nacisku właściwą dla badanej powłoki. Do zarysowania powłoki lakierniczej nie jest konieczny ostry wgłębnik, taki jakim jest ostrosłup Vickersa o promieniu zaokrąglenia wierzchołka około 2µm. Wadą takiej geometrii jest nie tylko trudność ustalenia pozycji względem kierunku ruchu próbki, ale również konieczność stosowania bardzo małego nacisku, co poprzez wymuszenie kosztownej, aktywnej wibroizolacji stanowiska czyniłoby metodę trudną do wprowadzenia w warunkach przemysłowych. Za większym promieniem zaokrąglenia wgłębnika przemawia również łatwiejsze przygotowanie powierzchni próbki do badania – większy promień działając jak mechaniczny filtr czyni cały układ mniej wrażliwym na chropowatość powierzchni badanego obiektu.

Obciążenie krytyczne wgłębnika obliczono na podstawie wzoru (3), który opisuje zależność obciążenia od adhezji i twardości w oparciu o deformację sprężysto-plastyczną modelowego materiału podłoża i powłoki pod wpływem narastającego liniowo obciążenia od siły F_0 równej 0 N do największej siły F_N [8]:

$$F_C = 2\pi \cdot R \cdot \gamma \cdot \delta_{CR} \cdot H_{CR} \quad (3)$$

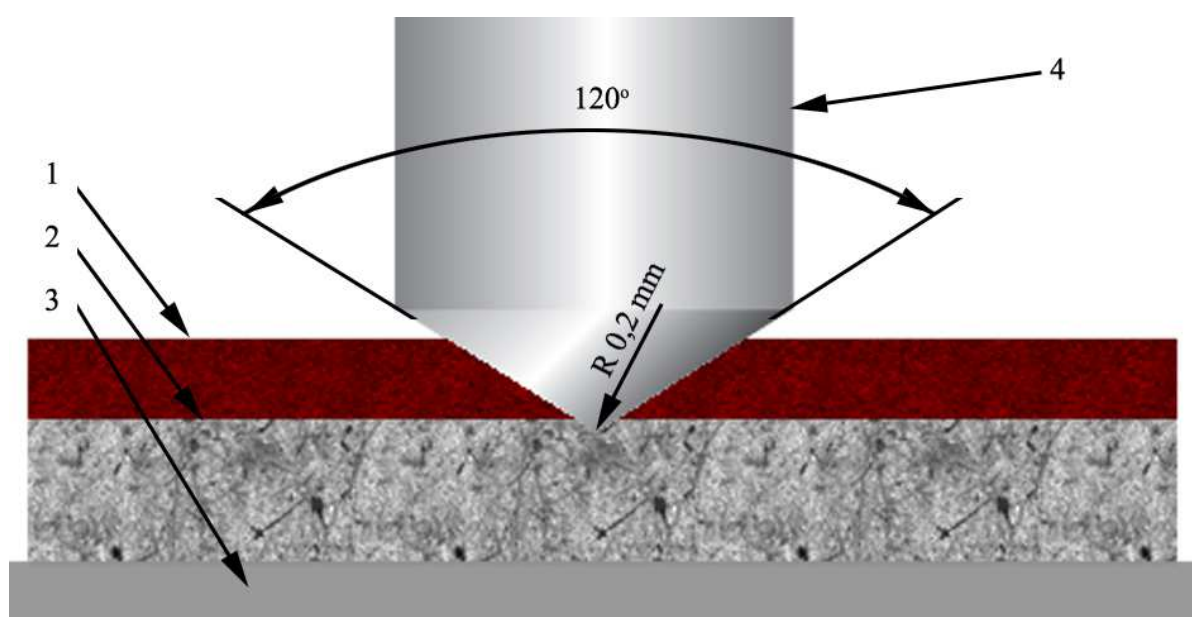
gdzie F_C stanowi krytyczną siłę normalną przyłożoną poprzez wgłębnik na powierzchnię próbki, R jest promieniem zaokrąglenia rylca, δ_{CR} jest twardością powierzchniową przy największym obciążeniu F_N i H_{CR} jest największą głębokością rysy

powstałej przy największym obciążeniu F_N a γ jest wielkością bezwymiarową o empirycznie ustalonej wartości 0,7.

Dla oceny powłok lakierniczych do wyznaczenia obciążenia krytycznego przyjęto twardość lakieru 15N/mm^2 (twardość Martensa) i zastosowano węgłbnik Rockwella o promieniu zaokrąglenia $200\mu\text{m}$. Na tej podstawie obliczono użyteczny zakres obciążeń normalnych stanowiska $0,5 - 2,0\text{ N}$, ustalanych skokowo co $0,1\text{N}$. Wprawdzie do wyznaczania właściwości mechanicznych przy końcówce diamentowej zaleca się rozdzielczość obciążania 50mN [9], ale do celów porównawczych wspomniana wyżej rozdzielczość 100mN jest wystarczająca.

3. EKSPERYMENTALNA PRÓBA OCENY ODPORNOCI LAKIERU NA ZARYSOWANIE

W eksperymencie zbadano osiem płyt stalowych z powłoką lakierniczą charakterystyczną dla przemysłu motoryzacyjnego. Zachowano w nich ten sam rodzaj powłoki pod względem grubości, składu chemicznego i techniki nakładania, co pozwala uniknąć wpływu powłoki na zdolność pomiarową stanowiska. Na rysunku 2 przedstawiono ogólną zasadę oceny odporności, ze wskazaniem pozycji rylca (4) względem stalowego podłoża (2), umieszczonego na stoliku (3) i powłoki lakierniczej (1). Zdolność rozpoznania rysy ludzkim okiem stanowi oddzielne, złożone zagadnienie i nie jest przedmiotem niniejszej pracy.



Rys. 2. Obszar kontaktu rylca z materiałem (1 – powłoka, 2 – materiał bazowy, 3 – stolik na próbki, 4 – rylce)
Fig. 2. Contact area during scratch-test (1 – coating, 2 – base material, 3 – specimen stage, 4 – indenter)

W pierwszej części zbadano powłokę lakierniczą. Metodą indukcji magnetycznej dokonano pomiaru grubości powłoki. Urządzenie FMP100 skalibrowano na odsłoniętej części polakierowanej płyty stalowej, wskazując tym samym materiał podłoża, a następnie wykonano serię pomiarów na folii wzorcowej o grubości $142,7\mu\text{m}$, porównywalnej z typowymi powłokami lakierniczymi w motoryzacji. Błąd pomiaru wynosił $\pm 0,5\mu\text{m}$. Uśrednione wartości pomiaru grubości zebrano w tabeli 1. Następnie przy pomocy urządzenia do badania błędów kształtu i chropowatości upewniono się, że płaskość próbki mieści się w dopuszczalnych granicach i nie zakłóci pomiaru głębokości rysy w trakcie badania. Pomiar ten przeprowadzono w kierunku równoległym do planowanego kierunku zarysowania, choć w dalszej części prowadzi się również pomiary w kierunku prostopadłym, dla właściwego określenia głębokości zarysowania [10]. Należy zwrócić uwagę, że płaskość może zarówno zmniejszać jak i zwiększać odczyt głębokości penetracji rylcem podczas pomiaru.

Najważniejsza część eksperymentu związana jest z serią zarysowań. Ciekawą technikę badania powłok opisuje Vencl [11], którą wykonuje się na przekroju próbki, ale wgłębnik wykonuje jedynie ruch prostopadły do powierzchni przekroju (jak w klasycznym pomiarze twardości), co nie pozwala na ocenę adhezji. Dlatego też próbkę przemieszcza się w kierunku prostopadłym względem osi wgłębnika. Nie można uniknąć wpływu prędkości na wynik pomiaru, ale wykazano, że w zakresie prędkości od 10mm/s do 50mm/s wyniki są porównywalne [12]. W stanowisku, które jest wyposażone w ręczny napęd stolika, nie można zapewnić stałej prędkości chwilowej, dlatego oblicza się jedynie prędkość średnią z całego odcinka. Aby uzyskać siłę styczną, odpowiadającą sile przy prędkości 30mm/s , przeprowadzono szereg prób z różnym obciążeniem. We właściwych pomiarach nie zmieniano obciążenia stycznego, dlatego można przyjąć, że prędkość pozostawała stała.

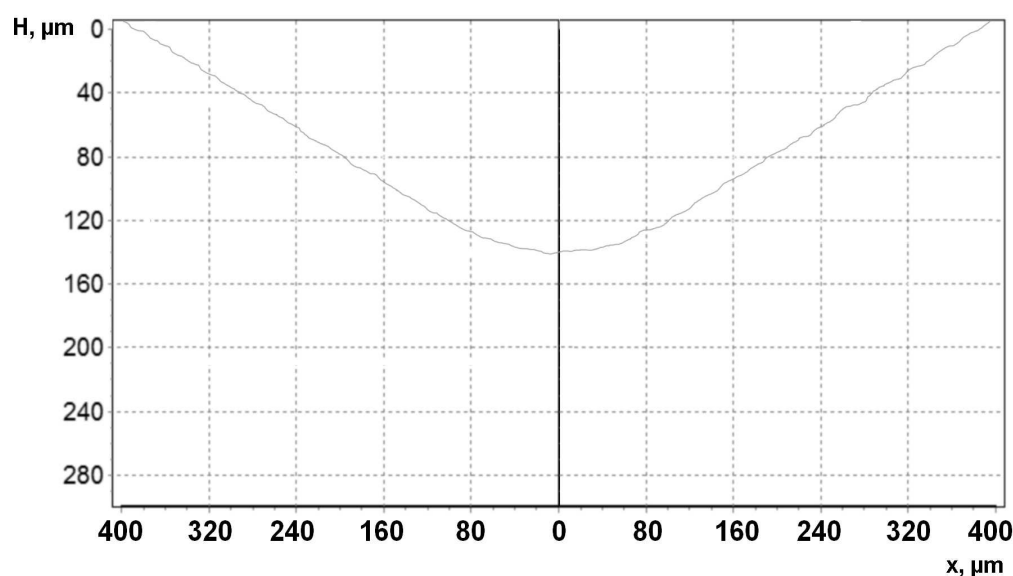
W kolejnej części badań zmierzono, przy pomocy aparatu T8000, profile przekroju próbek po zarysowaniu. W trakcie każdego badania rejestrowano maksymalną głębokość rysy H_{CR} , a pomiar profilometrem po próbie służył weryfikacji poprawności pomiaru czujnikiem przemieszczenia. W przypadku miękkich materiałów podłoże nie jest w stanie przenieść nacisku wgłębnika i uginając się prowadzi do zwiększenia odczytu głębokości wejścia rylca w materiał. Czynnikiem ten jest zawsze uwzględniany w pomiarach twardości – zgodnie z regułą Buckle'a - głębokość penetracji nie może przekraczać dziesiątej części grubości badanego materiału, a w tym przypadku powłoki [13]. Niestety w próbie zarysowania nie można stosować się do tej zasady, a określenie rzeczywistej głębokości penetracji jest niezbędne. Dlatego wstępnie przyjęto, że czujnik przemieszczenia wskazuje jedynie wychylenie wgłębnika z położenia początkowego, a rzeczywistą głębokość zarysowania mierzone profilometrem.

Ostatni etap eksperymentu przeprowadzono na profesjonalnym urządzeniu UMT-2 tzw. sklerometrze. Serwonapęd z uchwytem wgłębnika, sterujący przebiegiem obciążania wgłębnika zapewnia błąd pomiaru $\pm 1\%$ wartości mierzonej siły. Próbę przeprowadzono w zakresie od $0,1$ do $5,0\text{N}$. Rozdzielczość pomiaru siły normalnej wynosiła 50mN , była zatem dwukrotnie wyższa niż rozdzielczość ustawienia obciążenia w zaprojektowanym stanowisku. Zastosowano również profil przebiegu siły normalnej, symulującej oddziaływanie odważnika o znanej masie, ze stałą prędkością ruchu poprzecznego 10mm/s ,

w trakcie całego badania i najwyższą możliwą przy dostępnej konfiguracji urządzenia. Nie stosowano zaawansowanego trybu ze złożonymi profilami obciążania jak np. sinusoidalny lub trapezoidalny. Liniowy przyrost obciążenia umożliwia dokładne określenie siły krytycznej F_{CR} , a tym samym zweryfikowanie poprawności założenia obciążenia normalnego na stanowisku. Niestety nie jest możliwe odtworzenie tego samego sposobu obciążania na tym etapie prac nad stanowiskiem.

4. WYNIKI EKSPERYMENTU I DYSKUSJA

W tabeli 1 zebrano uśrednione wyniki pomiarów na 8 próbkach. Na rysunku 3 przedstawiono graficznie wyniki pomiaru przekroju poprzecznego rysy profilometrem stykowym. Różnice grubości powłok są pomijalnie małe, wskazując tym samym na stabilność procesu lakierowania. Błąd płaskości próbki na odcinku 5mm nie przekraczał $5\mu\text{m}$, co nie wpływa istotnie na wynik próby zarysowania. Pomiary wstępne wykazują prawidłowe przygotowanie próbki do badania.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przykładowego zarysowania
Fig. 3. Example of scratch profile

W próbach zarysowania z obciążeniem normalnym powyżej $0,9\text{N}$ zarejestrowano największe wychylenie wgłębnika na poziomie $150\mu\text{m}$. Wartość ta jest bardzo zbliżona do grubości powłoki lakierniczej, co oznacza, że końcówka rylca ślizgała się po twardszej powierzchni materiału podłoża. W przypadku twardszych powłok konieczne będzie zastosowanie obciążenia $\geq 1\text{N}$, ponieważ mniejsza siła normalna nie umożliwi uzyskania zarysowania o wystarczającej głębokości. Rozdzielczość układu obciążającego nie pozwala

wnioskować, czy siła krytyczna F_{CR} wynosi w tym przypadku 0,9N, czy jest mniejsza i mieści się w zakresie od 0,8N do 0,9N.

Rzeczywista głębokość zarysowania jest nieco mniejsza niż wielkość przemieszczenia wgłębnika odczytana z czujnika w trakcie pomiaru. Różnica mieści się w zakresie od 4 μ m do 5 μ m i jest powtarzalna dla każdej ze zbadanych próbek. Stanowiska nie projektowano z myślą o badaniu właściwości materiałów, nie ma potrzeby pomiaru przekroju zarysowania wystającego powyżej powierzchni początkowej próbki, ani zależności między głębokością rysy poniżej profilu początkowego i wierzchołków wypchniętych wgłębnikiem powyżej tego profilu. Dodatkowo pomiar profilometrem wskazuje na prawidłowe działania układu pozycjonującego wgłębnik oraz wystarczającą sztywność konstrukcji - wyniki uzyskane wgłębnikiem ustawionym pod kątem innym niż 90°, w stosunku do powierzchni próbki, byłyby mniejsze.

Tabela 1. Wyniki pomiaru odporności na zarysowanie
Table 1. Experimental results of scratch-resistance evaluation

Obciążenie normalne F_s mN	Grubość powłoki μm	Głębokość zmierzona <i>is situ</i> H_{CR} μm	Głębokość zmierzona profilometrem μm
500	151,2	103	97,4
600	153,1	118	111,3
700	150,7	130	124,6
800	150,9	140	133,8
900	152,9	148	142,5
1000	153,0	149	144,4
1100	150,9	150	146,6
1200	152,4	149	148,1

5. WNIOSKI

Na podstawie powyższych badań i uzyskanych w nich wyników można sformułować następujące wnioski:

- dokładność pomiaru głębokości penetracji jest wystarczająca do badań porównawczych powłok lakierniczych na podłożu stalowym, ale opisanej metody badania odporności na zarysowanie nie powinno się stosować do określania właściwości mechanicznych,

- omówione proste stanowisko w porównaniu z zaawansowanym, sterowanym komputerowo przyrządem do badania odporności na zarysowanie zapewnia porównywalne wyniki, a różnice są pomijalnie małe w kontekście przemysłowego stosowania,

- dobra powtarzalność uzyskiwanych wyników wskazuje na właściwe przygotowanie próbek do testu oraz na poprawność konstrukcji stanowiska,
- zwiększenie rozdzielczości układu obciążającego, łatwe do osiągnięcia, umożliwi skuteczniejsze porównywanie powłok lakierniczych,
- w dalszych badaniach oceniony będzie wpływ większych prędkości stolika na dokładność pomiaru,
- pewną niedoskonałością stanowiska jest potrzeba przygotowania próbek o dużej płaskości,
- stanowisko jest w pełni funkcjonalne i umożliwia badanie odporności na zarysowanie w warunkach przemysłowych oraz laboratoriach dydaktycznych.

Dalsze prace będą dotyczyły poprawienia dokładności odczytu głębokości zarysowania oraz zmniejszenia wpływu błędu płaskości próbki na wyniki pomiaru. Dokładniejsze przetworniki stosowane w bardziej zaawansowanych urządzeniach sprawiają, że z ekonomicznego punktu widzenia stanowisko traci na atrakcyjności, z uwagi na konieczność elektronicznej akwizycji sygnałów pomiarowych. Obecna wersja stanowiska może być ciekawą propozycją dydaktyczną, wszystkie bowiem parametry zmieniane są ręcznie, co pozwala lepiej zrozumieć przebieg eksperymentu i właściwie powiązać go ze złożoną teorią odkształceń w mechanice.

LITERATURA

- [1] PETTY E.R., 1971, *Hardness testing*, Techniques of Metals Research, Measurement of mechanical properties, V, 158-220.
- [2] TABOR D., 1954, *Mohs's hardness scale - a physical interpretation*, Proceedings of the Physical Society, 67, 249-57.
- [3] ISO 19252, 2008, *Plastics — Determination of scratch properties*.
- [4] ISO 14577-1, 2002, *Metallic materials -- Instrumented indentation test for hardness and materials parameters – Part 1: Test method*.
- [5] WONG M., LIM G.T., MOYSE A., REDDY J.N., SUE H.-J., 2004, *A new test methodology for evaluating scratch resistance of polymers*, Wear, 256, 1214-1227.
- [6] WILLIAMS J.A., 1996, *Analytical models of scratch*, Tribology International, 29/8, 675-694.
- [7] ICHIMURA H., ISHII Y., 2003, *Effects of indenter radius on the critical load in scratch testing*, Surface and Coatings Technology, 165, 1-7.
- [8] LAFAYE S., GAUTHIER C., SCHIRRER R., 2008, *Analyzing friction and scratch tests without in situ observation*, Wear, 265, 664-673
- [9] NEMLI G., 2008, *Factors affecting some quality properties of the decorative surface overlays*, Journal of Materials Processing Technology, 195, 218-223.
- [10] CZIFRA Á., HORVÁTH S., 2011, *Complex microtopography analysis in sliding friction of steel-ferodo material pair*, Meccanica, 46, 609-616.
- [11] VENCL A., AROSTEGUI S., FAVARO G., ZIVIC F., MRDAK M., MITROVIC S., POPOVIC V., 2011, *Evaluation of adhesion/cohesion bond strength of the thick plasma spray coatings by scratch testing on coatings cross-sections*, Tribology International, 44, 1281-1288.
- [12] CHIVATANASOONTORN V., AOKI N., KOTAKI M., 2012, *Effect of scratch velocity on scratch behavior of injection-molded polypropylene*, Journal of Applied Polymer Science, 125/4, 2861-2866.
- [13] MANIKA I., MANIKS J., 2008, *Effect of substrate hardness and film structure on indentation depth criteria for film hardness testing*, Journal of Physics D: Applied Physics, 41, 740101-740106.

SIMPLE SCRATCH METHOD FOR INDUSTRY AND FOR TEACHING

It's requested for many products to make a good aesthetic impression. This feeling cannot be permanent of course, but manufacturer takes care of a scratch-resistance coating, as surface appearance is one big part of this impression. The paper discusses new method for the scratch test, as an answer to the industry need for the technique that is quick, reliable and economically acceptable. Hence, new test stand was designed to improve existing methods for economical aspect especially. Construction of this instrument is described. Discussion of strong points is presented but also a list of weaknesses and all factors that were neglected is given. To prove reliability of this test stand some experiments were carried out. All results were verified using a measurement system to inspect surface roughness and contour. Every scratch was evaluated with this system before the load application on the specimen (pre-scan). Then all scratches were measured at several cross-sections – one cross-section for each load. New method was compared to the one described in ISO 19252 standard for determining the scratch properties of plastics under defined conditions. Also the instrument itself was compared to the advance scratch tester UMT-2. In the last section all planned modifications of this tester are described, considering adjustment to industry needs and flexibility for didactic use at technical schools and universities.