

Wstępne badania odporności na zarysowanie powierzchni osłon twarzy hełmów strażackich

JEL: L97 DOI: 10.24136/atest.2019.059

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

Obecnie w działania ratowniczych funkcjonariusze Państwowej Straży Pożarnej wykorzystują hełmy strażackie chroniące głowę ratownika. W większości przypadków wykorzystywane są tzw. hełmy typu B wg normy technicznej PN EN 433. Osłony twarzy hełmów strażackich wykonywane są zazwyczaj z przezroczystego poliwęglanu. Na powierzchnię osłony często nanoszone są jednowarstwowe powłoki metalizowane, najczęściej wykonywane w technologii PVD. Niekiedy stosowane są powłoki wielowarstwowe także gradientowe. Powierzchnia wizjera może ulegać uszkodzeniom. Uszkodzenia powierzchni ograniczają pole widzenia ratownika wpływają również niekorzystnie na właściwości barierowe powłoki. Jednym z kryteriów użytkowych osłon twarzy i okularów hełmów strażackich jest odporność na zarysowanie. Wykonano badania porównawcze odporności na zarysowanie powierzchni. Próbę przeprowadzono za pomocą diamentowego stożka Rockwella. Wykazano niewielkie różnice w odporności na zarysowanie. Mechanizm niszczenia powierzchni przez zarysowanie badanych osłon był odmienny. Najwyższy opór przeciwko węglonikowi uzyskano w przypadku powierzchni osłony hełmu Kontekst. Najmniejsze uszkodzenie powierzchni wykazano dla hełmu z osłoną twarzy pokrytą powłoką metaliczną – Gallet. Osłony twarzy hełmów bez powłoki cechowały się większymi uszkodzeniami. Największe uszkodzenie uzyskano dla osłony hełmu Kontekst.

Słowa kluczowe: hełmy strażackie, powłoki refleksyjne, odporność na zarysowanie

Wstęp

Hełmy stosowane podczas walki z ogniem w budynkach i innych obiektach to nakrycie głowy stanowiące zabezpieczenie, ochronę głowy przed zagrożeniami, jakie mogą pojawić się podczas walki z pożarem w budynkach i innych obiektach. Wyróżnione są dwa typy hełmów, A i B, różniące się strefą ochrony głowy. W jednostkach ratowniczo-gaśniczych Państwowej Straży Pożarnej (PSP) dopuszczane są hełmy typu B spełniające wymagania m.in. normy PN-EN 433:2008 [1]. W [1] hełm strażacki zdefiniowano jako nakrycie głowy przeznaczone do zapewnienia ochrony głowy przed zagrożeniami mogącymi wystąpić podczas działań gaśniczych w budynkach i innych obiektach [2]. Norma określa wymagania dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych hełmu oraz wskazuje zagrożenia na jakie narażony jest hełmu podczas działań gaśniczych w budynkach i innych obiektach [2]. W normie zawarto tylko podstawowe wymagania jakie musi spełniać hełm w dolnej części twarzy i szyi, gdyż wymagania dla tej strefy ochrony głowy opisane są w odrębnych normach, m.in. PN-EN 14458:2006 [3] dot. osłony twarzy i wizjerów, PN-EN 166:2005 [4] dot. wymagań ochrony indywidualnej oczu, PN-EN 171:2005 [5] dot. filtrów chroniących przed podczerwienią.

Ochrona oczu hełmów strażackich nazywana także wizjerem, niekiedy przyłbicą, wykonywana jest najczęściej z poliwęglanu przezroczystego o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej i termicznej, odpornego na chemikalia oraz na zarysowanie. Wizjer może być

półprzezroczysty, na powierzchni może być również naniesiona metaliczna powłoka zwierciadlana [6], niekiedy stosuje się powłoki wielowarstwowe także o właściwościach gradientowych [7,8,9]. W niektórych hełmach stosowana jest również druga ochrona tzw. okular, który chroni oczy ale nie chroni całej twarzy.

Powłoki metaliczne wykonuje się metodami fizycznego osadzania powłoki z fazy gazowej – PVD (Physical Vapour Deposition). Powłoki PVD są wytwarzane jako cienkie filmy o mikronowej lub submikronowej grubości, których właściwości są odpowiednie dla materiału podłoża i są możliwe do wykonania w warunkach przemysłowych [10,11]. Istotne właściwości użytkowe powłoki zależą od jej twardości i przyczepności do podłoża [12]. Dotychczas prowadzono szereg badań w zakresie odporności mechanicznej i procesu niszczenia podobnych powłok. Wyniki opublikowano m.in. w [13,14,15,16,17]. Niestety prace te nie obejmowały badań powierzchni wizjerów hełmów strażackich.

Jedną z głównych funkcji powłok wizjerów hełmów strażackich jest ochrona przed promieniowaniem cieplnym podczerwonym [6], ale nie tylko. Najważniejszą cechą osłon z powłokami i bez powłok jest ochrona przed narażeniami mechanicznymi. Ponadto osłona musi zapewniać odpowiednią widoczność. Uszkodzenia powierzchni osłony wpływają niekorzystnie na tę funkcjonalność. Niestety uszkodzenia osłony twarzy, powstające podczas eksploatacji hełmu, są powszechne. W pracy [2] zaprezentowano wyniki badań 133 hełmów strażackich, których średni czas użytkowania wynosił 4,35 lat. Stwierdzono, że uszkodzenia osłony twarzy w formie wyraźnego zarysowania występowały w 42 hełmach a zmatowienia w 25. A więc jest to znacząca liczba.

W związku z powyższym celem badań wstępnych jest ocena porównawcza odporności na zarysowanie oraz poznanie mikromechanizmów powstawania rys na powierzchni osłon twarzy wybranych hełmów strażackich stosowanych w PSP.

1. Materiał i metoda

1.1. Obiekty badań

Badania zostały przeprowadzone na wizjerach pozyskanych z 4 hełmów strażackich: Calisia Vulcan CV 102 (CV102), Calisia AK-06 (KZPT_2012), Gallet F1E12 (Gallet), BHS (Kontekst). Hełmy Calisia oraz BHS produkowane są przez polskie firmy, odpowiednio: Kaliskie Zakłady Przemysłu Terenowego (KZPT) w Kaliszu, Kontekst. Natomiast ochrona głowy o nazwie handlowej Gallet produkowana jest przez zagraniczną firmę Mine Safety Appliances (MSA). Badania zrealizowano na 3 wizjerach każdego typu hełmu (łącznie 12 osłon).

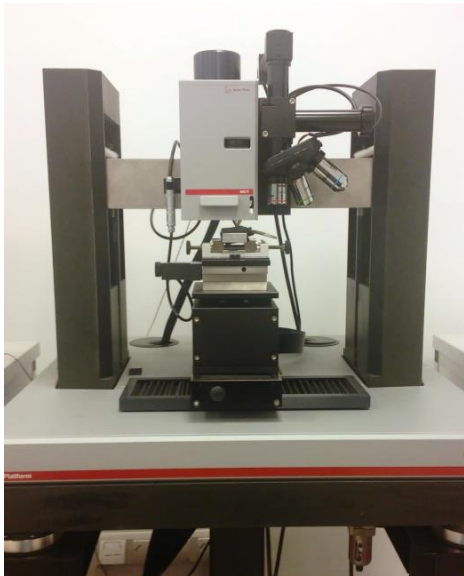
1.2. Badanie odporności na zarysowanie

Badania odporności na zarysowanie (ang. scratchtest) wykonano na platformie MCT firmy Anton Paar (rys. 2). Metoda ta jest stosowana w celu wyznaczenia odporności na zarysowanie powierzchni, które są narażone na takie uszkodzenia w warunkach eksploatacji [18]. Umożliwia również określenie obciążeń odpowiadających charakterystycznym uszkodzeniom powłoki, które są ściśle skorelowane z adhezją powłoki do podłoża.

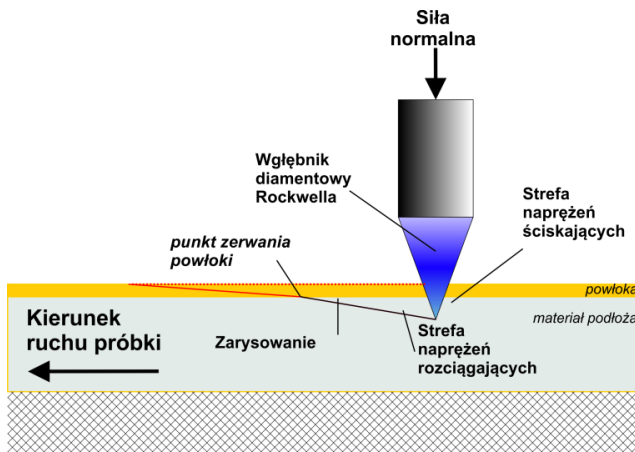
Test zarysowania prowadzono wg schematu zaprezentowanego na rysunku 3. Próbę zarysowania wykonano węglonikiem Rockwella.

W pierwszym etapie przyjęto narastającą wartość siły normalnej w zakresie od 0,1 do 2 N. Długość zarysowania wynosiła 5 mm. W drugim etapie wykonano badania ze stałą siłą normalną (1 N) na odcinku 0,5 mm. Wykonano "prescan" i "postsan", które miały na celu identyfikację profilu powierzchni. Uzyskano również dane dot. przebiegu siły tarcia i współczynnika tarcia, w funkcji drogi tarcia wgłębnika i siły normalnej.

Dokonano obserwacji mikroskopowych uszkodzeń powierzchni osłon. W jednym przypadku powłoki metalicznej (helm Gallet) i podłoża polimerowego w trzech innych przypadkach wyłącznie powierzchni polimerowej. Analizowano uszkodzenia kohezyjne związane ze znacznym uszkodzeniem powierzchni. Co wg [10,19] oznacza m.in. mikropęknięcia i delaminację powłoki.



Rys. 2. Platforma MCT (micro combi tester) firmy Anton Paar wykorzystana w badaniach odporności na zarysowanie



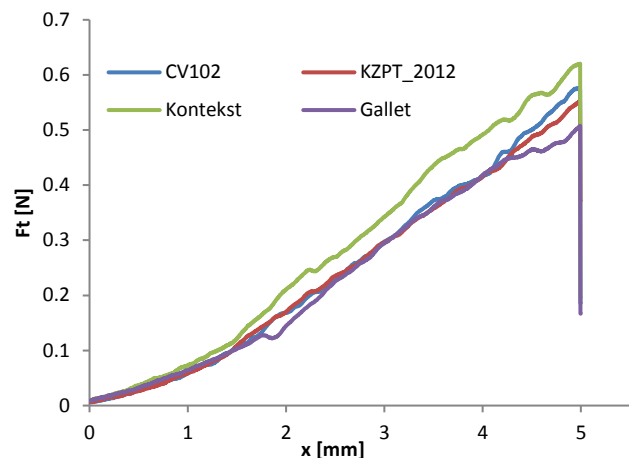
Rys. 3. Schemat próby odporności na zarysowanie (scratchtest)

2. Wyniki badań i dyskusja

2.1. Analiza wyników badań z próby z narastającą siłą normalną (0,1 - 2N)

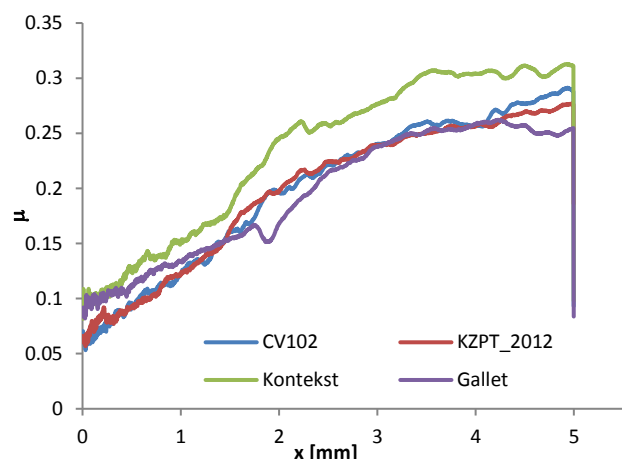
Na wykresie (rys. 4) zaprezentowano siłę tarcia (F_t) w funkcji drogi tarcia (x). N kolejnym wykresie (rys. 5) zestawiono współczynnik tarcia (μ) w funkcji drogi tarcia (x). Średnie przebiegi zmienności siły tarcia uzyskane dla osłon helmów Gallet, CV102 i KZPT_2012 są zbliżone. W osłonie helmu Gallet zastosowano metaliczną powłokę refleksyjną. Nie wykazano bardzo wyraźnej skokowej zmiany siły tarcia świadczącej o uszkodzeniu adhezyjnym powłoki. Sygnał aku-

styczny, jako wielkość bardziej przydatna w wykrywaniu takich uszkodzeń, również nie wykazuje zmienności na poziomie odpowiadającym uszkodzeniom adhezyjnym. Proces niszczenia powierzchni z powłoką jest tak samo stabilny. Prawdopodobnie wynika to z tego, że podłoże uległo plastycznej deformacji wraz z powłoką. A proces niszczenia powłoki był głównie kohezyjny.



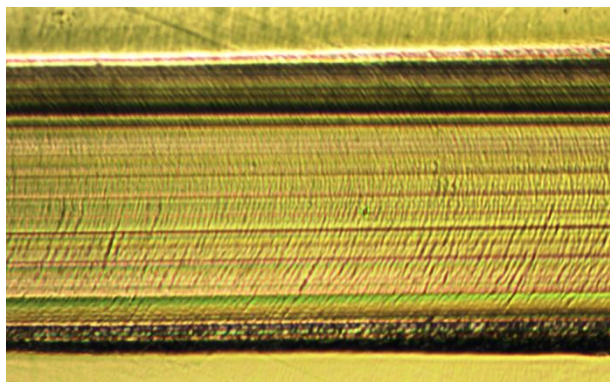
Rys. 4. Średni przebieg siły tarcia (F_t) w funkcji drogi tarcia (x)

Uszkodzenia kohezyjne potwierdzono w badaniach mikroskopowych. Obserwowano tzw. pęknięcia konformalne (conformal cracking) (rys. 6). Pęknięcia tego typu są wynikiem naprężeń rozciągających w powłoce powstałych w wyniku zginania powłoki pod indenterem i wyboczenia w kierunku przesuwania indentera. W pracy [20] opisano ten mechanizm. Stwierdzono, że powłoka pęka przed i po bokach indentera. Duże niedopasowanie właściwości sprężystych powłoki i podłoża sprzyja propagacji takich pęknięć [21,22]. Takie uszkodzenia powstawały na odcinku drogi tarcia ~ 2 mm. Możliwe, że inicjacja tych uszkodzeń przyczyniła się do nieznacznego ale zauważalnego spadku współczynnika tarcia na tym etapie niszczenia (rys. 5, linia fioletowa).

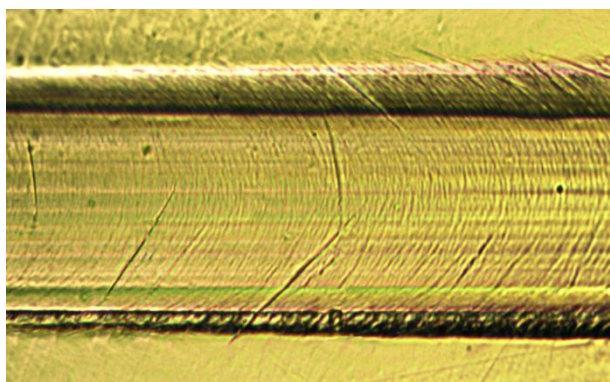


Rys. 5. Średni przebieg współczynnika tarcia (μ) w funkcji drogi tarcia (x)

W kolejnym etapie niszczenia, na odcinku drogi tarcia $x = 2,77$ mm, obserwowano nieliczne pęknięcia kohezyjne typu „chevron cracking” (rys. 7). Nie obserwowano uszkodzeń adhezyjnych powłoki w formie odprysków płatków materiału powłoki od podłoża (spalling).



Rys. 6. Pęknięcia konformalne (Conformal cracking) kohezyjne na powierzchni osłony twarzy stosowanej w helmie Gallet



Rys. 7. Pęknięcia kohezyjne na wzór jodelki (Chevron cracking) na powierzchni osłony twarzy stosowanej w helmie Gallet

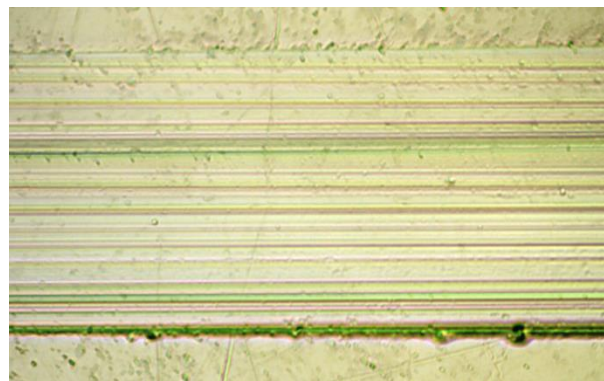
Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono mikrofotografie rys na powierzchni osłon hełmów KZPT_2012 i CV102. W powstałych bruzdach nie obserwowano uszkodzeń w postaci pęknięć. Średnie przebiegi siły tarcia i współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia są bardzo zbliżone, co może wskazywać, że w obydwu hełmach zastosowano taki sam materiał wizjera. Jest to bardzo prawdopodobne ponieważ oba hełmy zostały wytworzone przez tego samego producenta.



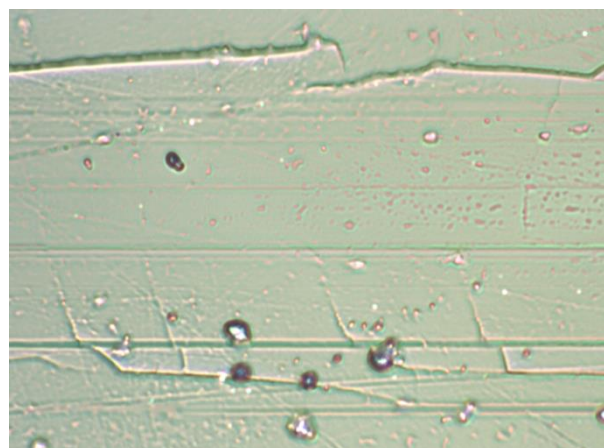
Rys. 8. Bruzda (rysa) na powierzchni osłony twarzy stosowanej w helmie KZPT_2012

Przebiegi współczynnika tarcia i siły tarcia w funkcji drogi tarcia dla powierzchni osłony twarzy hełmu Kontekst przyjmują najwyższe wartości w całym zakresie testu. Warstwa wierzchnia stawał najwyższy opór dla przesuwania wglębniaka. Uszkodzenia powierzchni osłony twarzy hełmu Kontekst są inne od obserwowanych w przypadku innych badanych modeli. Są to pęknięcia kohezyjne. Pęknięcia równoległe (parallel cracks) powstały na początkowym etapie tworzenia się zarysowania (rys. 10), następnie pod działaniem wyższej siły normalnej obserwowano pęknięcia kątowe (angular cracks) (rys.

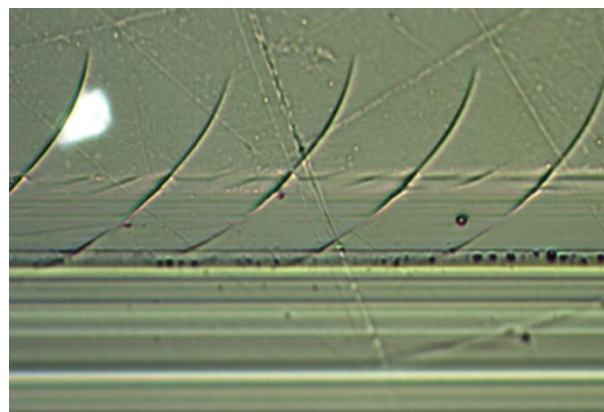
11) na krawędzi rysy, propagujące od rysy na zewnątrz. Takie pęknięcia przebiegają pod kątem ostrym do kierunku rysy, mają tendencję do zmiany kierunku na prostopadły do rysy. Tego typu uszkodzenia powstają w wyniku synergii naprężeń rozciągających zgodnych z kierunkiem rysy, powstających za wglębniakiem oraz naprężeń rozciągających prostopadłych do kierunku rysy powstających wokół poruszającego się wglębniaka. Synergia naprężeń determinuje kątowny przebieg [23].



Rys. 9. Bruzda (rysa) na powierzchni osłony stosowanej w helmie CV102



Rys. 10. Pęknięcia równoległe (Parallel cracks) kohezyjne na powierzchni osłony twarzy stosowanej w helmie Kontekst

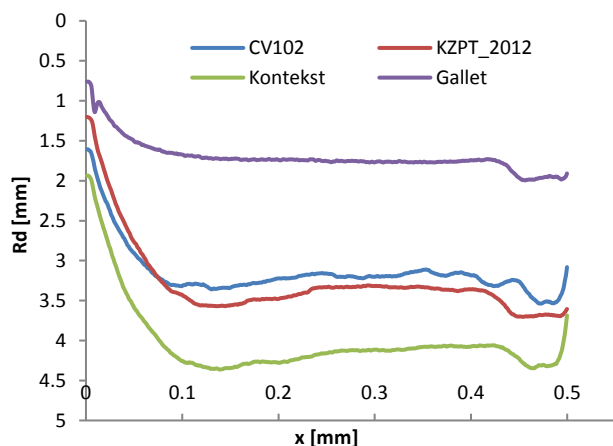


Rys. 11. Pęknięcia kątowe (Angular cracks) kohezyjne na powierzchni osłony twarzy stosowanej w helmie Kontekst

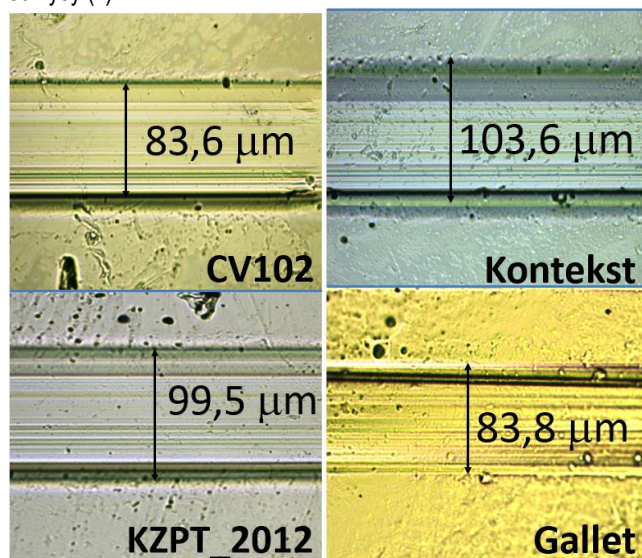
2.2. Analiza wyników badań próby ze stałą siłą normalną (1N)

Głębokość trwałego zarysowania (Residual depth – Rd) wyznaczona w teście pod stałym obciążeniem normalnym jest zróżnicowana (rys. 12). Najniższą średnią głębokość zarysowania otrzymano

w przypadku osłony hełmu Gallet, która pokryta jest powłoką metaliczną (rys. 13). Największe uszkodzenie trwale uzyskano w przypadku osłony hełmu Kontekst. Głębokość zarysowania na powierzchni osłon hełmów CV102 i KZPT_2012 była zbliżona. Natomiast szerokość uszkodzenia różniła się. Była wyższa dla starszego modelu hełmu producenta KZPT Kalisz – KZPT_2012.



Rys. 12. Średnia trwała głębokość zarysowania (Rd) w funkcji długości rysy (x)



Rys. 13. Szerokość bruzd na powierzchni badanych próbek

Wnioski

1. Uszkodzenia powierzchni osłon twarzy hełmów strażackich są powszechne i powstają w procesie eksploatacji.
2. Istniejące uszkodzenia przyłbic w formie zarysowań stwarzają konieczność wymiany tego elementu hełmu strażackiego. Zatem determinują trwałość osłon twarzy.
3. Mechanizm tworzenia się rys na powierzchni osłon hełmów CV102 i KZPT_2012 jest głównie abrazyjny i związany z odkształceniem plastycznym.
4. Niszczenie powierzchni osłony twarzy hełmu Gallet związane jest z zastosowaną powłoką refleksyjną i podłożem. Występują uszkodzenia kohezyjne powłoki i odkształcenie plastyczne miękkiego podłoża.
5. Pęknięcia powstałe na powierzchni osłony twarzy hełmu Kontekst wskazują, że zastosowano materiał polimerowy najbardziej kruchy spośród badanych. Tworzywo to jest podatne na powstawanie uszkodzeń kohezyjnych.
6. W teście zarysowania ze stałą siłą normalną najmniejsze uszkodzenie powierzchni wykazano dla hełmu z osłoną twarzy pokrytą powłoką metaliczną – Gallet. Osłony twarzy hełmów bez powłoki

cechowaly się większymi uszkodzeniami. Największe uszkodzenie uzyskano dla osłony hełmu Kontekst.

Bibliografia:

1. PN-EN 443:2008 Hełmy stosowane podczas walki z ogniem w budynkach i innych obiektach.
2. Pieniak D., Kamocka-Bronisz R., et al., Ocena uszkadzalności i skuteczności ochronnej hełmów strażackich, *Logistyka* 5/2014, ss. 1260-1267.
3. PN-EN 166:2005 Ochrona indywidualna oczu. Wymagania.
4. PN-EN 171:2005 Ochrona indywidualna oczu. Filtry chroniące przed podczerwienią. Wymagania dotyczące współczynnika przepuszczania i zalecane stosowanie.
5. PN-EN 14458:2006 Sprzęt do indywidualnej ochrony oczu. Osłony twarzy i wizjery do użycia w hełmach strażackich o wysokiej skuteczności w zakresie bezpieczeństwa przemysłowego, używane przez strażaków, załogi karetek i służby ratownicze.
6. Jachowicz M.: Metody badań odporności hełmów ochronnych na działanie promieniowania podczerwonego. „BITP” vol. 41, 1, 2016, ss. 55–65.
7. Kula P., *Inżynieria warstwy wierzchniej*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2000.
8. Ledermann N., Baborowski J., Muralt P., Xantopoulos N., Tellenbach J.M., Sputtered silicon carbide thin films as protective coating for MEMS applications, „Surface and Coatings Technology”, vol. 125, 2000, ss. 246-250.
9. Wendler B., Jachowicz M., Karolus M., Adamczyk L., Rylski A., Powłoki ochronne SiC, SiCN i SiN na stopach metali osadzone reakcyjną metodą magnetronową przy niskich temperaturach, „Inżynieria Materiałowa” vol. 27, 3, 2006, ss. 551-553.
10. Khelifi K., Dhiflaoui H., et al., Study of mechanical behavior, deformation, and fracture of nanomultilayer coatings during microindentation and scratch test. „Journal of Coatings Technology and Research”. 3 vol. 12, 2015 ss. 513-524.
11. Taha M., El-Mahallawy N., et al., PVD Coating of Mg-AZ31 by Thin Layer of Al and Al-Si, „Journal of Coatings Technology and Research”, 7(6), 2010 ss. 793–800.
12. Dobrzański L., Dobrzańska-Danikiewicz A., *Obróbka powierzchni materiałów inżynierskich*, „Open Access Library”, 2011, vol.5
13. Yeo N.E., Cho W.K., et al., Enhanced anti-scratch performance of nanopatterned anti-reflective polymer films, „Applied Surface Science”, Volume 458, 2018, Pages 503-511.
14. Magnoni F., Rannée A., et al., Correlation between the scratch resistance of UV-cured PUA-based coatings and the structure and functionality of reactive diluents, „Progress in Organic Coatings”, vol. 124, 2018, ss. 193-199.
15. Poirié T., Schmitt T., et al., Influence of internal stress in optical thin films on their failure modes assessed by in situ real-time scratch analysis, „Tribology International”, vol. 109, 2017, ss. 355-366.
16. Neubert T., Vergöhl M., Chapter 10 - Organic optical coatings, Editor(s): Angela Piegari, François Flory, In Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Optical Thin Films and Coatings (Second Edition), Woodhead Publishing, 2018, ss. 425-447.
17. Stoessel Ch., Chapter 20 - Optical coatings for automotive and building applications, Editor(s): Angela Piegari, François Flory, In Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials, Optical Thin Films and Coatings (Second Edition), Woodhead Publishing, 2018, ss. 719-739,

18. Pieniak D., Walczak A.: Wstępne badania odporności na starzenie tworzyw wykorzystywanych w konstrukcji hełmów strażackich. „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe” 11/2016.
19. Beake, BD, Vishnyakov, VM, Harris, AJ, Relationship Between Mechanical Properties of Thin Nitride-Based Films and Their Behavior in Nano-scratch Tests. “Tribology International, 44, 2011, ss. 468–475.
20. Favache A., Sacré Ch.-H., et al., Fracture mechanics based analysis of the scratch resistance of thin brittle coatings on a soft interlayer, *Wear*, vol. 330–331, 2015, ss. 461-468.
21. Beuth J.L., Cracking of thin bonded films in residual tension *Int. J. Solids Struct.*, vol. 29, 1992, ss. 2945-2952.
22. Suo Z. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* Elsevier Science, Amsterdam (2001), ss. 3290-3296.
23. Ghabchi A., Sampath A., et al., Damage mechanisms and cracking behavior of thermal sprayed WC–CoCr coating under scratch testing, *Wear*, vol. 313, 1–2, 2014, ss. 97-105.

Preliminary studies on scratch resistance of the face shields surface of firefighting helmets

Nowadays, in rescue operations firefighters of the State Fire Service use firefighting helmets which protect their head. Type B helmets in accordance with PN EN 433 technical norm are most often used. The face shields of firefighting helmets are usually made of transparent

polycarbonate. One layer of metalized coatings, usually made in PVD technology are often applied on the shield surface. Sometimes multi-layer and gradient coatings are also applied. The surface of a visor may get damaged. Surface damages limit the field of rescuer view, and also adversely influence on barrier properties of the shield. One of the utility criterion for face shields and glasses of firefighting helmets is scratch resistance. Comparative studies on scratch resistance of surface were performed. The test was conducted with the use of Rockwell diamond cone. Small differences in scratch resistance were shown. The mechanism of surface degradation due to scratch of studied shields were varied. The highest resistance against the indenter was obtained in case of the shield surface of the Kontekst helmet. The lowest surface degradation was observed for the helmet with the shield face covered by metalized coating - Gallet. The face shields of helmets without coating were characterized by higher damages. The highest damage was obtained in case of the Kontekst helmet.

Keywords: firefighter helmet, reflective coatings, scratch resistance

Autorzy:

dr inż. **Daniel Pieniak** – Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie, Zakład Mechaniki i Budowy Maszyn

st. kpt. dr inż. **Agata Walczak** – Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie, Zakład Sprzętu Ratowniczo-Gaśniczego