

Impact strength of composite coatings with aramid on steel substrate

PAULINA MAYER, JOANNA PACH

Wroclaw University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Foundry, Plastics and Automatics

Abstract: The article presents the results of impact composite coatings on the thermoplastic matrix with varying amounts of aramid fabrics. To prepare composite coatings applied thermoplastic copolymer of SBS (styrene-butadiene-styrene) with a linear chain, trade name Kraton. To reinforcement selected aramid fabric (Twaron 1210 fiber), a plain weave and a weight of 175 g / m². As the base polymer coatings used steel sheet with a thickness of 1.0 mm marked with DC01 according to EN 10027-1: 2007. It is a quality steel alloy designed for cold-rolled products. Steel substrate were washed in a solution of water and detergent, and then degreased with acetone. First step was compressed at 180 ° C for 3 minutes without load, and then three minutes with a load of 2 MPa. SBS copolymer film having a thickness of 800 μm. The films again were compressed with fabrics on steel substrate, using the same compression parameters as in the case of a single film. Obtained four reinforced with fabric layers differing in number of layers of fabric and two SBS copolymer coating with different thickness. Impact resistance test consisted of placing the sample of 100 x 100 mm in the base device, and then leaving from the height of 1 meter, a weight of 2 kg terminated spherical indenter having a diameter of 20 mm. All samples from a single impact energy of 19.62 J were subjected to microscopic analysis. The first step was to determine the number of impact, after which the steel substrate coating has been without a break. Then carried out research on coatings by measuring the amount of impact, which was interrupted after the structure of the coating and the steel substrate. As a result of the study, there was no linear relationship between the thickness of coatings and their impact resistance. A significant influence on the resulting damage after an impact is the amount of fabric coating.

Keywords: composite coatings, polymer coatings on steel, impact resistant of coatings, multilayer coatings

Udarność kompozytowych powłok z tkaniną aramidową na podłożu stalowym

Streszczenie: W artykule zaprezentowano wyniki udarności powłok kompozytowych na osnowie termoplastycznej z różną liczbą warstw z tkanin aramidowych. Wzmocnione tkaniną aramidową o gramaturze 175 g/m² powłoki z kopolimeru styren-butadien-styren na podłożu stalowym były otrzymane metodą prasowania. Otrzymano również powłoki bez wzmocnienia o różnej grubości. Wynikiem odporności na uderzenia była ilość uderzeń potrzebnych do mechanicznego uszkodzenia powłoki oraz pęknięcia podłoża. Analizie mikroskopowej poddano również powierzchnie powłok po jednokrotnym uderzeniu. W wyniku przeprowadzonych badań nie zaobserwowano liniowej zależności pomiędzy grubością powłok, a ich odpornością na uderzenia. Znaczący wpływ na powstałe uszkodzenia po udarze ma ilość tkanin w powłoce.

Słowa kluczowe: powłoki kompozytowe, powłoki polimerowe na podłożu stalowym, odporność na uderzenia powłok, powłoki wielowarstwowe

1. Wstęp

Powłoki polimerowe stosowane są przede wszystkim jako zabezpieczenia przed działaniem

korozji. O ich powszechnym zastosowaniu decydują liczne zalety, do których zaliczamy:

- łatwość nanoszenia i renowacji,
- dobrą przyczepność do większości podłoży,

- wysoką odporność na działanie czynników atmosferycznych,
- stosunkowo niski koszt wytwarzania,
- możliwość stosowania na powierzchniach o relatywnie rozwiniętych powierzchniach [1,2].

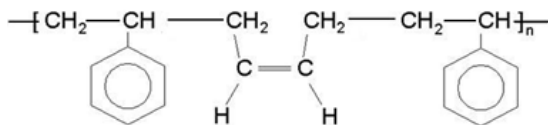
Wraz z rozwojem przemysłu i zaawansowanych technologii oczekuje się, by polimery powłokotwórcze spełniały coraz wyższe wymagania. Oprócz pełnienia funkcji ochronnej i estetycznej powinny charakteryzować się dobrymi właściwościami mechanicznymi czy termicznymi. Znane są również materiały w postaci powłok, wielowarstwowych kompozytów, których zadaniem jest absorbowanie energii fal elektromagnetycznych w szerokim zakresie częstotliwości [3-5].

W niniejszej pracy skupiono się na właściwościach mechanicznych, a konkretnie na odporności na uderzenia wielowarstwowych powłok polimerowych wzmocnionych tkaniną aramidową. Ze względu na ograniczenia grubości powłoki do 2 mm, maksymalna ilość tkanin do wzmocnienia wynosiła 4.

W wyniku pochłonięcia energii uderzenia przez warstwowe kompozyty włókniste może dojść do: odkształcenia, zerwania, ścinania włókien, delaminacji, pęknięcia matrycy czy wydzielania ciepła. Oczywistym jest fakt, iż rodzaj wzmocnienia znacząco wpływa na właściwości udarowe kompozytu. Energia pochłonięta przez materiał jest proporcjonalna do iloczynu naprężenia i wydłużenia, stąd włókna o wysokiej wytrzymałości i dużym wydłużeniu najczęściej stosowane są w kompozytach o zwiększonej udarności [6-10].

2. Materiały i metody

Do wytworzenia powłok kompozytowych zastosowano termoplastyczny kopolimer SBS (styren-butadien-styren) o budowie liniowej, o nazwie handlowej Kraton. Wzór chemiczny kopolimeru został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Wzór chemiczny kopolimeru SBS

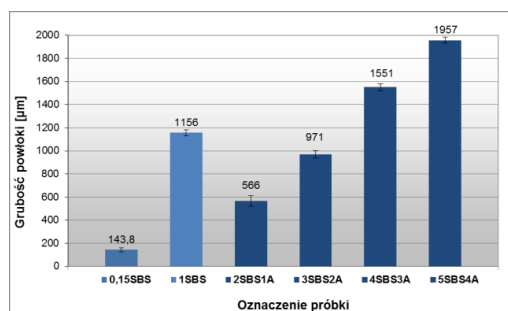
Do wzmocnienia wybrano tkaninę aramidową (włókna Twaron 1210), o splocie płóciennym i gramaturze 175 g/m². Natomiast jako podłoże powłok polimerowych zastosowano blachę stalową o grubości 1,0 mm oznaczoną symbolem DC01 wg PN-EN 10027-1:2007. Jest to stal jakościowa niestopowa przeznaczona do wyrobów walcowanych na zimno. Podłoże stalowe umyto w roztworze wody z detergentem, a następnie odfuszczone acetonem. W pierwszej kolejności wyprasowano (na prasie typu-H firmy Paren) w

temperaturze 180°C przez 3 minuty bez obciążenia, a następnie 3 minuty z obciążeniem 2MPa folie z kopolimeru SBS o grubości 800 µm. Następnie folie z tkaninami doprasowano, stosując te same parametry prasowania jak w przypadku pojedynczych foli, na podłożu stalowym. Uzyskano cztery powłoki wzmocnione tkaniną różniące się liczbą warstw tkaniny oraz dwie powłoki z kopolimeru SBS bez wzmocnienia o różnej grubości. Badaniom poddano 5 próbek z każdej serii. Oznaczenie próbek zostało zestawione w tabeli 1.

Tab. 1. Oznaczenie otrzymanych powłok

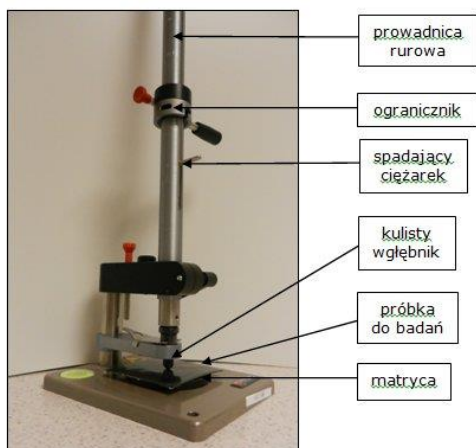
Oznaczenie próbki	Ilość tkanin	Ilość folii z kopolimeru SBS	Grubość powłok [µm]
0,15SBS	0	1	143,8 ± 16,3
1SBS	0	1	1156 ± 26
2SBS1A	1	2	566 ± 45,5
3SBS2A	2	3	971 ± 31,2
4SBS3A	3	4	1551 ± 31,6
5SBS4A	4	5	1957 ± 25,6

Pomiary grubości powłok dokonano zgodnie z normą PN-EN ISO 2808:2008 stosując metodę magnetyczną, przyrządem Mini Test 730 FH5 firmy ElectroPhysik wykorzystującym indukcję magnetyczną i prądy wirowe. Wyniki pomiaru grubości otrzymanych powłok zostały zestawione na rysunku 2.



Rys. 2. Średnia grubość otrzymanych powłok

Badania udarowe zostały przeprowadzone przy użyciu przyrządu TQC SP1880-134 (Rys.3). Badanie polegało na umieszczeniu próbki o wymiarach 100 x 100 mm w podstawie urządzenia, a następnie opuszczeniu z wysokości 1 metra obciążnika o masie 2 kg zakończonego kulistym wgłębniakiem o średnicy 20 mm.



Rys. 3. Urządzenie do badania odporności na uderzenia powłok TQC SP1880-134

Wszystkie próbki po jednokrotnym uderzeniu z energią 19,62 J zostały poddane analizie mikroskopowej pod mikroskopem stereoskopowym firmy Opta-Tech w powiększeniu 7-krotnym. Pierwszym krokiem było wyznaczenie ilości uderzeń, po których podłoże stalowe bez powłok uległo pęknięciu. Następnie przeprowadzano badania na powłokach mierząc ilość uderzeń, po których nastąpiło przerwanie struktury powłoki oraz podłoża stalowego.

3. Wyniki

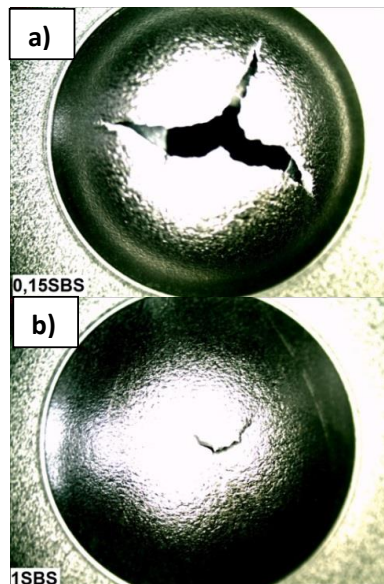
Badaniom odporności na uderzenia w pierwszej kolejności poddano podłoże stalowe bez powłok. Po pięciokrotnym uderzeniu nastąpiło rozerwanie podłoża (Rys.3).



Rys. 5. Podłoże stalowe po pięciokrotnym uderzeniu

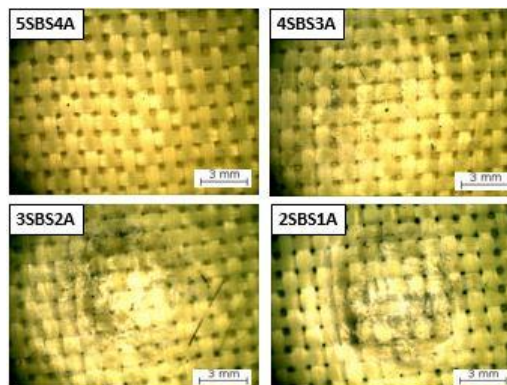
Następnie zbadano odporność powłok polimerowych bez wzmocnienia, również uderzając do momentu przerwania struktury podłoża oraz powłoki. Podłoże stalowe z powłoką o grubości $143,8 \pm 16,3 \mu\text{m}$ (oznaczenie 0,15SBS) również pękło po pięciokrotnym uderzeniu (Rys.4a), doprowadzającym tym samym do przerwania struktury powłoki. Natomiast na podłożu stalowym z powłoką o grubości $1156 \pm 26 \mu\text{m}$ (oznaczenie

1SBS) zaobserwowano delikatne pęknięcie blachy po szóstym uderzeniu (Rys.4b), a do przerwania powłoki doszło po jedenastym uderzeniu.

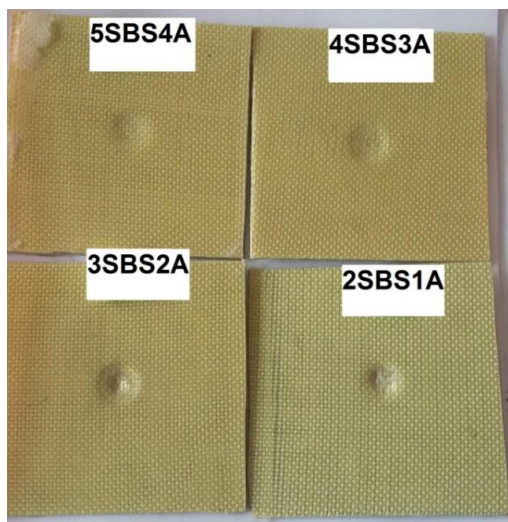


Rys. 4. Podłoża stalowe z powłokami SBS a) po pięciokrotnym uderzeniu (grubość powłoki $143,8 \mu\text{m}$), b) po sześciokrotnym uderzeniu (grubość powłoki $1156 \mu\text{m}$)

Kolejnym etapem było porównanie powierzchni powłok wzmocnionych tkaninami aramidowymi po jednokrotnym uderzeniu z energią 19,62 J. W żadnej z powłok po jednokrotnym uderzeniu nie doszło do przerwania struktury powłoki (Rys.5), natomiast w zależności od liczby warstw z tkaniny aramidowej, można było zaobserwować różną powierzchnię odkształcenia w powłokach (Rys.6) oraz na podłożu stalowym.

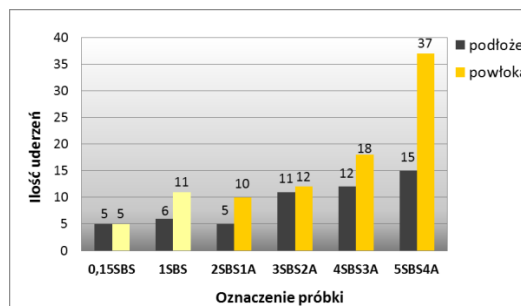


Rys. 5. Zdjęcia mikroskopowe powierzchni próbek po jednokrotnym uderzeniu



Rys. 6. Powierzchnia powłok po jednokrotnym uderzeniu

Następnie uderzano wielokrotnie doprowadzając do zniszczenia podłoża i powłoki. Wynikiem odporności na uderzenia powłok była ilość uderzeń potrzebna do całkowitego przerwania struktury. Na rysunku 7 zestawiono wyniki ilości uderzeń dla wszystkich próbek, w których doszło do pęknięcia podłoża oraz powłok. Analizując uzyskane dane nie można jednoznacznie stwierdzić liniowej zależności pomiędzy grubością kompozytowych powłok, a ich odpornością na uderzenia. Powłoki z czterema warstwami tkanin aramidowych o grubości ok 2 mm charakteryzują się ponad dwukrotnie większą odpornością na uderzenia od powłok z trzema warstwami tkanin o grubości ok 1,5 mm. Porównując natomiast powłoki polimerowe bez wzmocnienia (próbka 1SBS) z powłokami wzmocnionymi (próbka 3SBS2A) o zbliżonych grubościach, dostrzega się znaczącą różnicę w ilości uderzeń, po których następuje rozerwanie podłoża stalowego. Otóż dla powłok wzmocnionych podłoże pękało po jedenastym uderzeniu, a niewzmocnionych już po szóstym razie. Zjawisko to można wytłumaczyć tym, iż część energii uderzenia została zaabsorbowana przez włókna tkaniny, które uległy odkształceniu. Powłoki z kopolimeru SBS bez wzmocnienia (próbka 1SBS) o grubości $1156 \pm 26 \mu\text{m}$ rozerwały się po jedenastym uderzeniu, a podłoże stalowe po piątym uderzeniu, podobne wyniki uzyskano dla powłok wzmocnionych jedną tkaniną aramidową na podłożu stalowym (próbka 2SBS1A), której grubość była dwukrotnie mniejsza ($566 \pm 45,5 \mu\text{m}$). W związku z tym można uzyskać porównywalne właściwości udarowe dla powłok wzmocnionych tkaniną redukując tym samym ich grubość w porównaniu z powłokami bez wzmocnienia.



Rys.7 Ilość uderzeń potrzebnych do przerwania struktury powłoki (żółte słupki) i podłoża stalowego (szare słupki)

4. Wnioski

Otrzymano powłoki termoplastyczne bez wzmocnienia oraz powłoki kompozytowe wzmocnione tkaniną aramidową na podłożu stalowym o grubości 1mm. Odporność na uderzenia tych powłok zależy od ich grubości oraz liczby warstw tkaniny. W powłokach kompozytowych po dołożeniu kolejnej warstwy tkaniny ich grubość zwiększała się średnio ok 500 μm , natomiast ilość uderzeń potrzebna do przebicia powłoki nie zwiększała się proporcjonalnie do grubości. Powłoki z czterema warstwami tkanin aramidowych o grubości ok 2mm charakteryzują się ponad dwukrotnie większą odpornością na uderzenia od powłok z trzema warstwami tkanin o grubości ok 1,5 mm. W wyniku przeprowadzonych badań odporności na uderzenia powłok polimerowych wzmocnionych tkaniną aramidową nie zaobserwowano uszkodzeń powstałych na powierzchni powłoki po jednokrotnym uderzeniu z energią 19,62 J.

Literatura / References

- [1] Kotnarowska D., Wojtyniak, Methods for testing the quality of protective coatings, Publishing House of the Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, 2010.
- [2] Kowalski Z., Plastic coatings, WNT, Warsaw, 1973.
- [3] Bien D. C., Le-Thu N., Bao Quoc N., Ha Tran N., Thang V.L., Nieu Huu N., Effects of Carbon Nanotube Dispersion Methods on the Radar Absorbing Properties of MWCNT/Epoxy Nanocomposites, Macromolecular Research, 2014,11, 1221-1228.
- [4] Yongju Z., Shaoxu X., Liwei L., Guizhi R., Qiping C., Haiyu Q., Qilin W., Microwave absorption enhancement of rectangular activated carbon fibers screen composites, Composites Part B, 2015, 77, 371-378.

- [5] Jaeho C., Hee-Tae J., A new triple-layered composite for high-performance broadband microwave absorption, *Composite Structures*, 2015, 122, 166–171
- [6] Cantwell W.J., Morton J. The impact resistance of composite materials - a review, *Composites* 1991, 22, 347-362.
- [7] Cheeseman B.A., Bogetti T.A., Ballistic impact into fabric and compliant composite materials, *Composite Structures* 2003, 61, 161-173.
- [8] Mines R.A.W., Roach A.M., Jones N., High velocity perforation behaviour of polymer composite laminates, *International Journal of Impact Engineering* 1999, 22, 561-588.
- [9] Naik N.K., Shirao. P., Delaminated woven fabric composite plates under transverse quasi-static loading: experimental studies *Composite Structures* 2004, 66, 579-590.
- [10] Walter T.R., Subhash G., Sankar B.V., Yen C.F., Damage modes in 3D glass fiber epoxy woven composites under high rate of impact loading, *Composites: Part B* 2009, 40, 584–589.