

Anna Rudawska ¹⁾, Monika Czarnota ²⁾

WPLYW OPERACJI ODTŁUSZCZANIA NA WŁAŚCIWOŚCI ADHEZYJNE WARSTWY WIERZCHNIEJ ORAZ WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLACH MIEDZIANYCH

Streszczenie: Właściwości adhezyjne odrywają istotną rolę w procesie wykonywania połączeń adhezyjnych. Dobre właściwości adhezyjne przyczyniają się m.in. do uzyskania odpowiedniej wytrzymałości połączenia adhezyjnego. Jedną z metod konstituowania właściwości adhezyjnych jest zastosowanie odpowiedniego sposobu przygotowania powierzchni materiałów przeznaczonych do wykonania połączeń. Właściwości adhezyjne można oceniać poprzez swobodną energię powierzchniową.

W prezentowanej pracy rozpatrywamy przykładem połączeń adhezyjnych są połączenia klejowe, dla których podjęto próbę określenia wpływu operacji odtłuszczenia na wartość swobodnej energii powierzchniowej oraz wytrzymałość połączeń klejowych. W połączeniach adhezyjnych wskazane jest bowiem uzyskanie powierzchni wysokoenergetycznych. Usuwanie organiczne i nieorganiczne zanieczyszczenia z rozpatrywanych powierzchni, następuje wzrost ich zdolności adhezyjnych, a w konsekwencji występuje korzystny wpływ na prawidłowe związanie spoiny klejowej z powierzchnią materiału łączonego.

Słowa kluczowe: połączenia adhezyjne, swobodna energia powierzchniowa, wytrzymałość połączeń klejowych.

WSTĘP

Znajomość wartości swobodnej energii powierzchniowej jest znacząca dla różnych procesów takich jak klejenie, laminowanie, drukowanie, malowanie, flotacja, smarowanie i wiele innych. Swobodna energia powierzchniowa występuje bowiem wszędzie tam, gdzie występuje granica faz dwóch różnych ośrodków i odzwierciedla oddziaływanie międzycząsteczkowe, jakie występują na granicy tych faz [16, 17]. Istnieją zależności pomiędzy zwilżalnością, swobodną energią powierzchniową i właściwościami adhezyjnymi warstwy wierzchniej. Jednym z rodzajów połączeń adhezyjnych jest połączenie klejowe. Łączenie metali przy pomocy kleju jest coraz powszechniejsze, gdyż oferuje wiele zalet, trudnych do uzyskania tradycyjnymi metodami łączenia [2, 6, 9, 15]. Jedną z ważnych zalet jest stosunkowo duża wytrzymałość takiego połączenia. Na wytrzymałość połączeń klejowych wpływa bardzo wiele czynników [6, 9]. Jednym z tych czynni-

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji.

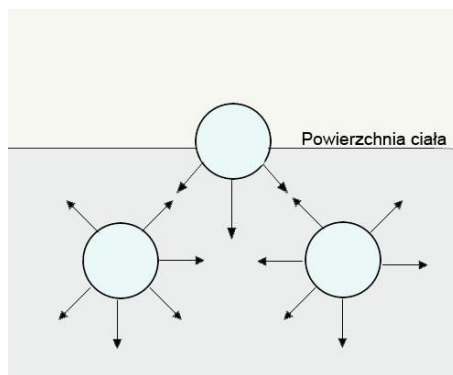
² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Studenckie Koło Naukowe Podstaw Inżynierii Produkcji.

ków jest przygotowanie powierzchni łączonych elementów, poprzez jej oczyszczenie, odtłuszczenie, obróbkę mechaniczną, obróbkę chemiczną oraz nakładanie różnych podkładów. Czynnikiem ten w znacznym stopniu decyduje o odpowiednim złączeniu kleju i powierzchni, a tym samym o prawidłowej pracy połączenia. W przypadku klejenia, przygotowanie powierzchni elementów łączonych odgrywa ważniejszą rolę niż przy lutowaniu lub spawaniu [8].

W pracy starano się określić, w jakim stopniu operacja odtłuszczenia wpływa na wartość swobodnej energii powierzchniowej oraz wytrzymałość połączeń klejowych. W połączeniach adhezyjnych wskazane jest bowiem uzyskanie powierzchni wysokoenergetycznych. Usuwanie organiczne i nieorganiczne zanieczyszczenia z rozpatrywanych powierzchni, następuje wzrost ich zdolności adhezyjnych, a w konsekwencji występuje korzystny wpływ na prawidłowe związanie spoiny klejowej z powierzchnią materiału łączonego. Tak więc można znacząco wpływać na uzyskanie zadowalającej adhezji, poprzez staranne przygotowanie powierzchni do klejenia.

CHARAKTERYSTYKA WARSTWY WIERZCHNIEJ

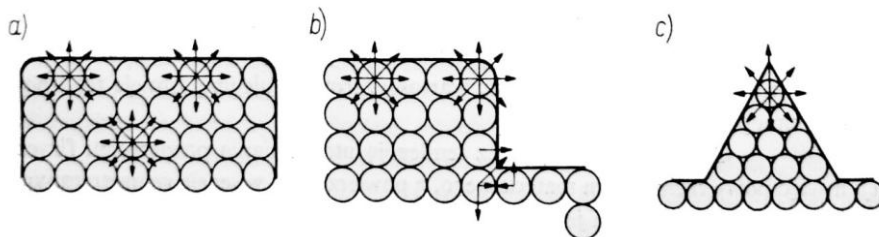
Powierzchnia fizyczna nie jest homogeniczną strefą między dwiema fazami [5, 7, 13, 14]. Ponieważ powierzchnia atomowo czysta jest bardzo aktywna fizycznie i chemicznie to każde zetknięcie ciała stałego z ciałem materialnym powoduje przyłączanie zetkniętych substancji. Nowe przyłączone substancje mogą być zaczątkiem nowej fazy. Z drugiej strony pod warstwą fizycznie czystą znajdują się różnego rodzaju odkształcenia i defekty wynikające ze sposobu kształtowania powierzchni, stąd różni się ona właściwościami od rdzenia przedmiotu [1, 3, 5, 10, 12]. W wyniku tych zjawisk powstają kolejne strefy: przypowierzchniowe, podpowierzchniowe, czy nadpowierzchniowe, które razem tworzą warstwę wierzchnią [3,7].



Rys. 1. Obrazowe przedstawienie sił działających na cząsteczki znajdujące się wewnątrz ciała stałego i na jego powierzchni [7]

Powierzchnię ciała stanowią różnego rodzaju atomy, cząsteczki czy jony, które są w innych warunkach niż te, które znajdują się wewnątrz ciała. Cząsteczki podlegają jednakowym ze wszystkich stron siłom oddziaływania. Cząsteczki na powierzchni stykają się natomiast z własną fazą i inną fazą, co powoduje występowanie asymetrii sił oddziaływania (rys. 1). Cząsteczki znajdujące się na powierzchni są silniej wciągane do wnętrza fazy objętościowej, w wyniku tego powierzchnia ma wyższą energię niż wewnątrz ciała. Powierzchnia taka jest aktywna i ma sposobność do przyłączania różnych innych atomów, czy cząsteczek znajdujących się w pobliżu [3, 5, 7, 12, 13].

Ważne również jest to w jakim stopniu cząsteczki z powierzchni otoczone są innymi cząsteczkami tj. czy powierzchnia jest płaska, czy chropowata (rys. 2). Większy stopień niewysycenia sił ma powierzchnia chropowata niż powierzchnia płaska, a tym samym jest ona bardziej aktywna fizycznie i chemicznie [3, 7, 12].



Rys. 2. Wpływ chropowatości na pole sił różnych powierzchni [7]

Oceną niewysycenia sił oddziaływania między cząsteczkami na powierzchni, a cząsteczkami wewnątrz ciała jest swobodna energia powierzchniowa i cechuje ona głównie ciała stałe.

SWOBODNA ENERGIA POWIERZCHNIOWA

Swobodna energia powierzchniowa jest jedną z funkcji termodynamicznych opisujących stan równowagi między atomami w warstwie wierzchniej materiałów. Jest ona liczbowo równa pracy potrzebnej do utworzenia nowej jednostki powierzchni, podczas rozdziału dwóch faz będących w równowadze w odwracalnym procesie izotermicznym. Wartość swobodnej energii powierzchniowej często wykorzystuje się jako miarę zdolności adhezyjnych danych ciał fizycznych [16].

Podstawowe znaczenie przy wyznaczaniu swobodnej energii powierzchniowej mają metody oparte na pomiarach kąta zwilżania, przede wszystkim ze względu na łatwość przeprowadzania pomiarów oraz dużą dokładność uzyskiwanych wyników.

Istnieje wiele metod, które korzystając ze znajomości kąta zwilżania, pozwalają określić swobodną energię powierzchniową. Podstawę tych metod stanowi,

w większości przypadków, równanie Younga. Najbardziej znane metody to metoda: Fowkesa, Owensa-Wendta, Neumanna oraz van Ossa-Chaunhury'ego-Gooda [16, 17, 18].

Metoda Owensa-Wendta oparta jest na metodzie Fowkesa. Metoda ta jest powszechnie stosowana w badaniach wartości swobodnej energii powierzchniowej m.in. polimerów. Była i jest przedmiotem licznych badań. Metoda ta zakłada, że swobodna energia powierzchniowa ma dwie składowe pochodzące od sił międzycząsteczkowych: dyspersyjną i niedyspersyjną, głównie polarną [16, 17].

PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI DO KLEJENIA

O prawidłowej pracy połączenia w dużym stopniu decyduje m.in. przygotowanie powierzchni materiałów łączonych. Od tego etapu rozpoczyna się właściwy proces technologiczny klejenia. Poprzez usunięcie organicznych i nieorganicznych zanieczyszczeń w postaci osadów, pyłów, tlenków, spolaryzowanych molekuł, zaadsorbowanej wody i gazów oraz warstw reakcyjnych, znacząco bowiem wzrastają zdolności adhezyjne warstwy wierzchniej. Stosuje się różne metody przygotowania powierzchni, w celu jej rozwinięcia oraz zapewnienia spójności i zwilżalności [6, 9, 15].

Prawidłowo przygotowana powierzchnia do procesu klejenia powinna charakteryzować się: brakiem zanieczyszczeń zmniejszających adhezję, zdolnością do wytwarzania wiązań międzyfazowych, dobrą zwilżalnością klejem, stabilnością dla założonych warunków i czasu eksploatacji połączenia, a także powtarzalnością uzyskiwanych właściwości [6].

Zazwyczaj pierwszym i końcowym etapem przygotowania powierzchni do klejenia jest jej odtłuszczenie. Aby uzyskać jak najlepsze połączenie klejowe konieczne jest całkowite usunięcie oleju, tłuszczu, kurzu i innych pozostałości z obu klejonych powierzchni. Najbardziej nadają się do tego rozpuszczalniki organiczne lub roztwory substancji powierzchniowo czynnych, które wyparowują nie pozostawiając osadu.

METODYKA BADAŃ

Badany materiał

Do badań użyto miedzi o symbolu M1Ez4. Jest to miedź rafinowana elektrolitycznie o wysokiej czystości. Rafinacja elektrolityczna jest to proces oczyszczania metali otrzymanych drogą hutniczą, poprzez elektrolityczne osadzanie z użyciem rozpuszczalnych anod.

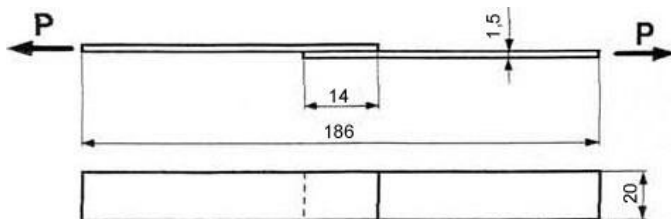
Symbol z4 oznacza półtwardy stan umocnienia zgniotem. Zawartość zanieczyszczeń miedzi M1 przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Zawartość zanieczyszczeń miedzi M1 wg PN/H-82129 [4, 11]

Gatunek		Zawartość Cu min. %	Zawartość zanieczyszczeń, max. %										Ogółem zanieczyszczeń %
znak	cecha		Bi	Sb	As	Fe	Ni	Pb	Sn	S	O	Zn	
Cu99,9	M1	99,9	0,002	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,080	0,005	0,1

Charakterystyka połączenia klejowego

Badania doświadczalne wykonano w oparciu o próbki wykonane z blachy miedzianej gatunku M1Ez4 o grubości 1,5mm. Próbki użyte do klejenia zostały przygotowanej w formie prostokątów o wymiarach: 20x100mm, w ilości 48 sztuk. Próbki te zostały podzielone na dwie partie: z powierzchnią bez odłuszczenia oraz z powierzchnią po odłuszczeniu.



Rys. 3. Kształt i wymiary połączenia klejowego zastosowanego w badaniach

Szerokość zakładki wykonanego połączenia klejowego w przeprowadzonym doświadczeniu wynosiła 14mm, a więc powierzchnia kontaktu wyniosła 280 mm². Wykonane połączenia zostały obciążone na ścinanie, co obrazuje siła P przedstawiona na rys. 3.

Warunki wykonywania połączeń

Podczas wykonywania połączeń klejowych próbki podzielone na dwie grupy, które poddano różnym sposobom przygotowania powierzchni. Pierwsza partia próbek nie została poddana żadnej obróbce przygotowującej powierzchni. Natomiast druga część próbek została poddana odłuszczeniu środkiem firmy Loctite 7061. Loctite 7061 to środek czyszczący i odłuszczący ogólnego zastosowania często używany przed klejeniem wielu materiałów konstrukcyjnych (rys. 4a) [19]. Jest przygotowany na bazie rozpuszczalnika i nie pozostawia osadu [19].

W badaniach wykorzystano klej epoksydowy dwuskładnikowy firmy Loctite 3430 (rys. 4b). Klej ten był utwardzany w temperaturze otoczenia w ciągu 48 godzin. Jest to dwuskładnikowy klej epoksydowy ogólnego zastosowania, szybko się utwardza oraz jest przezroczysty [19].



Rys. 4. Środki używane podczas doświadczenia: a) odtłuszcacz Loctite 7063, b) klej epoksydowy dwuskładnikowy Loctite 3430 A&B

Połączenia klejowe zostały wykonane w temperaturze otoczenia równej $20 \pm 2^\circ\text{C}$ oraz wilgotności powietrza $25 \pm 2\%$. Po nałożeniu kleju oraz odpowiednim ustaleniu łączonych elementów względem siebie próbki zostały poddane naciskowi wynoszącemu $0,02\text{MPa}$, przez czas trwania utwardzania oraz kondycjonowania połączenia klejowego, wynoszący 48 godzin.

Opis metody określania swobodnej energii powierzchniowej

Do wyznaczenia swobodnej energii powierzchniowej (SEP) wybrano metodę Owensa-Wendta, ze względu na jej liczne zalety oraz prostotę wykonania pomiarów i obliczeń. Podstawy teoretyczne tej metody opisano w pracach [16, 17]. Ostatecznie, uwzględniając wszystkie zależności i dokonując odpowiednich przekształceń, składowa polarna energii powierzchniowej badanego ciała ma postać:

$$\gamma_s^p = \left[\frac{\gamma_w * (\cos\theta_w + 1) - 2 * \sqrt{\gamma_w^d * \gamma_s^d}}{2 * \sqrt{\gamma_w^p}} \right]^2 \quad (1)$$

natomiast składowa dyspersyjna:

$$\gamma_s^d = \left[\frac{\gamma_d * (\cos\theta_d + 1) - \sqrt{\frac{\gamma_d}{\gamma_w}} * \gamma_w * (\cos\theta_w + 1)}{2 * \left(\sqrt{\gamma_d^d} - \sqrt{\frac{\gamma_w^p * \gamma_d^d}{\gamma_w^p}} \right)} \right]^2 \quad (2)$$

gdzie: γ – energia powierzchniowa; indeksy górne: p – składowa polarna, d – składowa dyspersyjna; indeksy dolne: d - diiodometan, w - woda, s - ciało stałe; Θ – kąt zwilżania ciała stałego cieczą pomiarową.

Cieczami użytymi do pomiarów była woda destylowana i diiodometan. Swobodną energię powierzchniową i jej składowe, dla obu cieczy pomiarowych zawarto w tabeli 2.

Tabela 2. Swobodna energia powierzchniowa γ_L stosowanych cieczy małowcząsteczkowych i jej składowe [16]

Ciecz	γ_L^d [mJ/m ²]	γ_L^p [mJ/m ²]	γ_L [mJ/m ²]
Woda	21,6	51,0	72,6
Dijodometan	48,5	2,3	50,8

γ_L^d – składowa dyspersyjna swobodnej energii powierzchniowej cieczy,

γ_L^p – składowa polarna swobodnej energii powierzchniowej cieczy.

Dla cieczy tych zmierzono kąty zwilżania wodą Θ_w i diiodometanem Θ_d badanych próbek miedzi, co było podstawą do rozwiązania układu równań (1, 2). Następnie sumując składową dyspersyjną SEP i składową polarną SEP otrzymano wartość swobodnej energii powierzchniowej SEP.

Analizę kropli pomiarowych osadzonych na powierzchni miedzi przeprowadzono za pomocą goniometru z wykorzystaniem komputerowej analizy rozpastrywanego obrazu.

Dla każdej próbki wykonano 30 pomiarów, 15 kropeł dla wody destylowanej oraz 15 kropeł dla diiodometanu. Jako wartości kątów zwilżania Θ przyjęto średnie arytmetyczne z wykonanych pomiarów.

WYNIKI BADAŃ

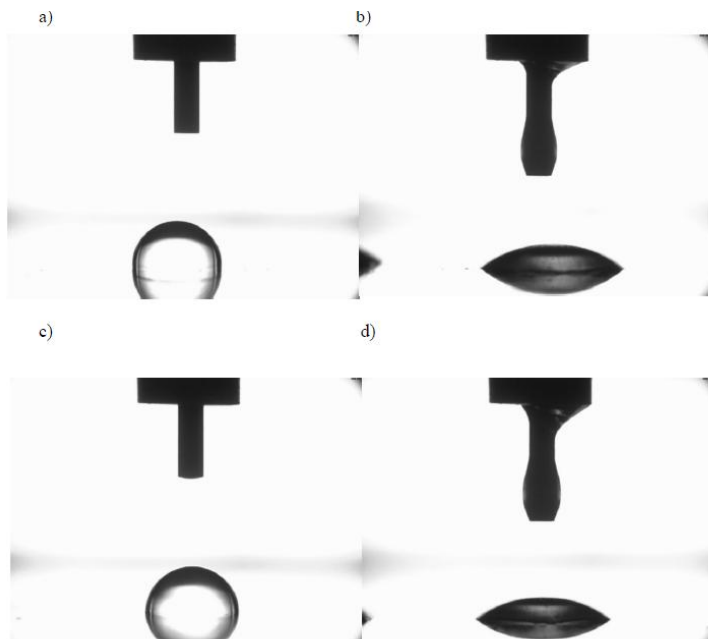
Swobodna energia powierzchniowa

W celu wyznaczenia wartości swobodnej energii powierzchniowej należało zmierzyć kąty zwilżania wodą i diiodometanem nieodtłuszczonej powierzchni miedzi oraz powierzchni miedzi po odtłuszczeniu. Przykładowe obrazy uzyskanych kropli pomiarowych przedstawiono na rys. 5.

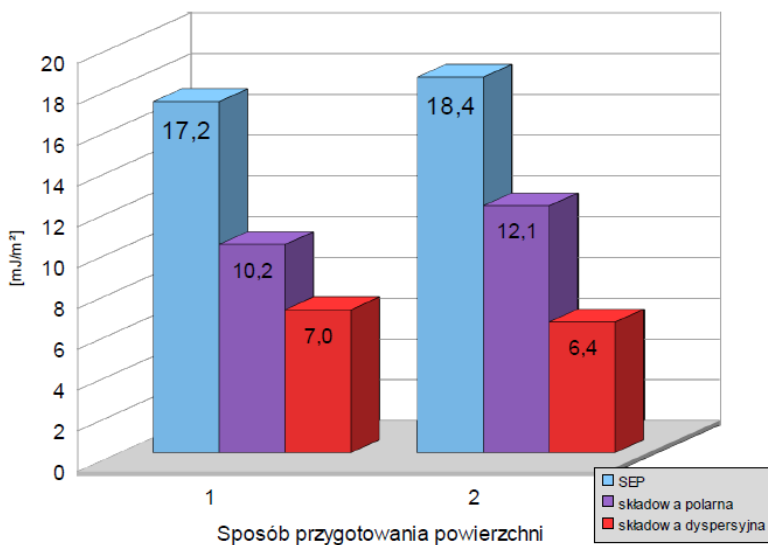
Średnie wartości swobodnej energii powierzchniowej oraz jej składowe dla powierzchni nie poddanej żadnej operacji oraz powierzchni odtłuszczonej przedstawiono na rys. 6.

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej. Do analizy tej wykorzystano testy istotności służące do porównania wartości średniej badanej cechy w dwóch populacjach generalnych: test t-Studenta oraz test F-Snedecora-Fishera. Testy te uwzględniają błąd pierwszego rodzaju, polegający na odrzuceniu testowanej hipotezy w przypadku, gdy jest ona prawdziwa. Poziom istotności przyjęto na poziomie $\alpha=0,05$.

Uzyskane wyniki analizy pozwoliły na wnioskowanie, iż porównywane średnie są różne. W związku z tym można stwierdzić, że wartość swobodnej energii powierzchniowej powierzchni odtłuszczonej jest większa od wartości dla powierzchni nieodtłuszczonej.



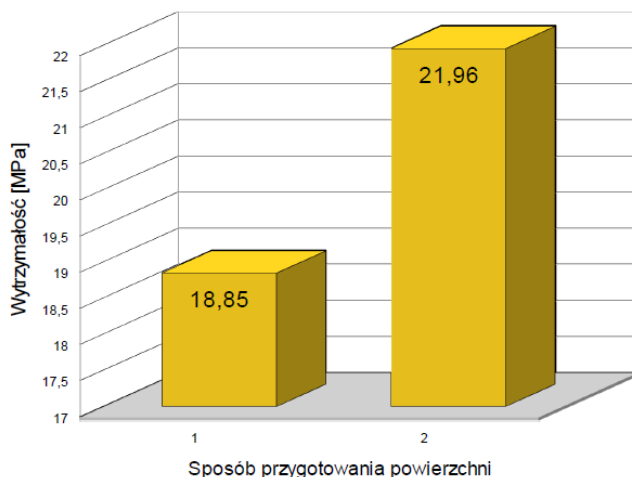
Rys. 5. Obrazy kropli pomiarowych na powierzchni: nieodtłuszczonej a) woda, b) diiodometan; oraz odtłuszczonej c) woda, d) diiodometan



Rys. 6. Wartość swobodnej energii powierzchniowej miedzi: 1 - bez przygotowania powierzchni, 2 - po operacji odtłuszczenia

Wytrzymałość połączeń klejowych

W celach porównawczych przeprowadzono próby wytrzymałościowe klejowych połączeń zakładkowych miedzi M1Ez4, których powierzchnie nie były poddane żadnej obróbce przygotowawczej oraz których powierzchnie były poddane wyłącznie operacji odtłuszczenia. Otrzymane wyniki badań zamieszczono na rys. 7.



Rys. 7. Wytrzymałość połączeń klejowych blach miedzianych: 1- bez przygotowania powierzchni, 2- po operacji odtłuszczenia

Po przeprowadzeniu badań wytrzymałościowych także przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników. Na jej podstawie wykazano, że wartości wytrzymałości połączeń klejowych powierzchni po odtłuszczeniu jest większa niż połączeń klejowych których powierzchnia nie została odtłuszczona.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że operacja odtłuszczenia korzystnie wpływa na poprawę właściwości energetycznych blach miedzianych, a także na zwiększenie wytrzymałości połączeń klejowych tych blach. W analizowanym przypadku zauważono pozytywny wpływ odtłuszczenia na wytrzymałość połączeń klejowych blach miedzianych w porównaniu z połączeniami, w których powierzchnie materiałów nie były poddane jakiegokolwiek obróbce przygotowawczej. Interesującą informacją dotyczącą swobodnej energii powierzchniowej jest wartość jej składowej polarnej, gdyż to ona w dużej mierze decyduje o przydatności powierzchni do klejenia. Wartość tej składowej dla odtłuszczonej powierzchni miedzi jest o $1,83\text{mJ/m}^2$ większa niż dla powierzchni nieodtłuszczonej. Można więc stwierdzić, że przy większej wartości swobodnej energii powierzchniowej miedzi, otrzymujemy bardziej wytrzymałe połączenie, gdyż klej silniej łączy się z powierzchnią łączonych elementów, dzięki lepszym

właściwościom adhezyjnym tych powierzchni. W połączeniach adhezyjnych zasadne jest uzyskanie powierzchni wysokoenergetycznych. Materiał, który ma wysokoenergetyczną powierzchnię, jest lepiej zwilżalny, czyli klej lepiej rozplywa się na jego powierzchni.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone badania dowodzą, że wartość swobodnej energii powierzchniowej miedzi w znacznym stopniu zależy od sposobu przygotowania tej powierzchni, co również ma istotny wpływ na wytrzymałość połączeń klejowych. Operacja odtłuszczenia korzystnie wpływa na poprawę właściwości energetycznych blach miedzianych. Usunięcie zanieczyszczeń powoduje znaczny wzrost zdolności adhezyjnych powierzchni. Można zauważyć, że po tej operacji znacznie wzrasta składowa polarna swobodnej energii powierzchniowej, istotnie decydująca o przydatności powierzchni do klejenia. Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, że przygotowanie powierzchni za pomocą operacji odtłuszczenia korzystnie wpływa na wytrzymałość połączeń klejowych. Próbkę, których powierzchnie nie zostały poddane jakiegokolwiek obróbce przygotowawczej, uzyskały znacznie niższą wytrzymałość. Można więc zauważyć, że przy większej wartości swobodnej energii powierzchniowej miedzi otrzymujemy wytrzymalsze połączenie. Im większa swobodna energia powierzchniowa, tym lepiej zwilżana jest dana powierzchnia. Dlatego też wskazane jest stosowanie zabiegów podwyższających wytrzymałość adhezyjną połączeń, m.in. operacji odtłuszczenia.

PIŚMIENNICTWO

1. Adamson A.W.: *Chemia fizyczna powierzchni*, Warszawa, PWN 1963.
2. Babraj E.G., Starikov D., Evans J., Shafeev G.A., Bensaoula A.: Enhancement of adhesive joint strength by laser surface modification. *Int. J. Adhesion Adhesives* 27 (2007) 268-276.
3. Burakowski T., Wierzchoń T.: *Inżynieria powierzchni metali*, Warszawa, WNT 1995.
4. Domke W.: *Vademecum materiałoznawstwa, Stal, Metale nieżelazne, Tworzywa sztuczne, Badania materiałów*, Warszawa, WNT 1989.
5. Dutkiewicz E.T.: *Fizykochemia powierzchni*, Warszawa, WNT 1998.
6. Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: *Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
7. Hebda M., Wachal A.: *Trybologia*, Warszawa, WNT 1980.
8. Jasiulek P.: *Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania*, Krosno, KaBe 2006.
9. Kuczmazewski J.: *Technologia śmigłowców. Teoria i technika klejenia*. Wyd. Ucz. PL Lublin 1990.
10. Kula P.: *Inżynieria warstwy wierzchniej*, Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej 2000.

11. Kurski K.: Miedź i jej stopy techniczne, Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1967.
12. Łaskawiec J.: Fizykochemia powierzchni ciała stałego, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2000.
13. Missol W.: Energia powierzchni rozdziału faz w metalach, Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1975.
14. Paderewski M.: Adsorpcja i adsorbenty, Szczecin, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej 1982.
15. Sikora R.: Tworzywa wielkocząsteczkowe rodzaje, właściwości i struktura. Wydawnictwo politechniki Lubelskiej, Lublin, 1991.
16. Żenkiewicz M.: Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych. WNT, Warszawa 2000.
17. Żenkiewicz M.: Analiza głównych metod badania swobodnej energii powierzchniowej materiałów polimerowych, POLIMERY 2007, 52, nr 10, 760-767.
18. Żenkiewicz M., Gołębiowski W.E.: Doświadczalna weryfikacja niektórych elementów metody van Ossa-Gooda, POLIMERY 1999, 44, nr 3, 212-217.
19. <http://www.kleje-loctite.pl/>, 08.01.2011.

THE INFLUENCE OF THE REMOVING FAT OPERATION ON ADHESIVE TOP LAYER PROPERTIES AND STRENGTH OF ADHESIVE JOINTS BETWEEN COPPER SHEETS

Summary

Adhesion properties play an essential role in the process of making adhesive joints. Good adhesion properties contribute to such to obtain adequate strength adhesive joints. One method of constituting adhesive properties is to use the appropriate method of surface treatment materials intended to joining. Adhesion properties can be assessed by the surface free energy.

In the present study considered an example of adhesive joints are bonded joints for which an attempt to determine the effect of degreasing on the value of the surface free energy and the strength of the bonded joints. The adhesive joints are desirable for obtaining high-energy surface. Removing organic and inorganic contaminants from the considering surface, followed by an increase in their ability of adhesion. Moreover in such case there is beneficial effect on properly bound of adhesive layer to the surface of the joining material.

Keywords: adhesive joints, surface free energy, bonded joints strength.

Praca realizowana w ramach projektu nr POIG. 01.01.02-00-015/08 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (POIG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

