

WYBRANE ASPEKTY WYTRZYMAŁOŚCI POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH BLACHY STALOWEJ KWASOODPORNEJ 1.4310

Selected aspects of bonded joint strength of 1.4310 acid resistant steel sheet

Anna RUDAWSKA, Norbert OLESZEK

Streszczenie: Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie wytrzymałości jednozakładkowych połączeń klejowych, wykonanych z blachy stalowej kwasoodpornej 1.4310 o grubości 1 mm. Powierzchnie próbek wykonanych z blach przed procesem klejenia poddano przygotowaniu poprzez obróbkę mechaniczną z użyciem papierów ściernych P320 oraz P800 w celu uzyskania różnych chropowatości powierzchni. Po obróbce mechanicznej powierzchnie zostały odtłuszczone środkiem odtłuszczającym Loctite 7063. W celach porównawczych przygotowano referencyjne połączenia klejowe, w których powierzchnie łączących elementów nie poddano obróbce mechanicznej, ale zastosowano odtłuszczenie. Przed procesem klejenia dokonano pomiarów wybranych parametrów chropowatości powierzchni. Do wykonania połączeń zastosowano dwa rodzaje klejów epoksydowych dwuskładnikowych – Epidian 62/IDA/100:40 oraz Epidian 62/TFF/100:27. Proces utwardzania został przeprowadzony jednostopniowo na zimno w temperaturze od 20°C do 23°C, przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej od 30% do 33%, w czasie 7 dni. Badania wytrzymałościowe połączeń klejowych na ścinanie przeprowadzono zgodnie z normą EN DIN 1465. Na podstawie analizy porównawczej otrzymanych rezultatów stwierdzono, że do łączenia blach ze stali kwasoodpornej korzystne jest zastosowanie kleju Epidian 62/IDA/100:40 oraz obróbki ścierniej powierzchni papierem ściernym o gradacji P800 wraz z odtłuszczeniem.

Słowa kluczowe: wytrzymałość, połączenie klejowe, wytrzymałość, blacha stalowa kwasoodporna

Summary: The aim of the study was to determine the strength single-lap adhesive joints made of 1.4310 acid resistant steel sheets with a thickness of 1 mm. The surface samples before the bonding process has been prepared by machining using sandpaper P320 and P800 to obtain different surface roughness. After machining, the surfaces were degreased Loctite 7063 degreasing agent. The reference adhesive joints were prepared and the adherends surfaces were only degreasing. Before the bonding process, the measurements of selected parameters of surface roughness were performed. Two kinds of two-component epoxy adhesives: Epidian 62/IDA/100:40 and Epidian 62/TFF/100:27 were used to prepare bonded joints. The curing process in one stage in the cold at a temperature of 23°C to 20°C, and relative humidity of from 30% to 33% for 7 days was carried out. Shear strength tests of bonded joints were performed in accordance with standard DIN EN 1465 standard. On the basis of a comparative analysis of the results, it was found that Epidian 62/IDA/100:40 adhesive and mechanical treatment with P800 sandpaper and degreasing is recommended to prepare adhesive joints of 1.4310 acid resistant steel sheets.

Keywords: strength, adhesive bonding, strength, steel sheet steel

Wprowadzenie

Proces łączenia elementów przez klejenie zaliczany jest do techniki łączenia nierozłącznego i w wielu zastosowaniach stał się konkurencyjnym sposobem wykonywania połączeń różnorodnych materiałów konstrukcyjnych [2, 4, 9]. Obecnie bardzo istotne jest stosowanie metod zapewniających uzyskanie połączenia o właściwościach dostosowanych do warunków eksploatacji. Popularne metody łączenia, takie jak zgrzewanie czy spawanie bardzo często są powodem występowania wad, np. częściowego niszczenia i deformowania się materiału w pobliżu miejsca łączenia [1, 5, 10]. Z tego powodu klejenie jest ważną i w wielu przypadkach konkurencyjną metodą łączenia różnych materiałów konstrukcyjnych.

Stale kwasoodporne wykorzystywane są w wielu konstrukcjach przemysłu maszynowego, budowlanego, spożywczego, również w medycynie (m.in. na narzędzia chirurgiczne) i w wielu innych zastosowaniach. Elementy wykonane ze stali kwasoodpornych można łączyć zarówno przez spawanie, lutowanie (choć należą do stali trudno lutujących się), zgrzewanie [10], jak i klejenie

[4]. Niektóre z tych metod zalecane są do łączenia stali kwasoodpornych bardziej, inne mniej, ze względu na występujące trudności podczas łączenia tego rodzaju materiału, a dotyczy to ich właściwości, struktury oraz składu chemicznego. Jedną z metod łączenia jest klejenie niepowodujące m.in. zmian strukturalnych materiałów oraz pozwalające na uzyskanie szczelności połączenia [2, 4].

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie wytrzymałości połączeń klejowych elementów wykonanych z blachy stalowej kwasoodpornej 1.4310, których powierzchnie poddano obróbce mechanicznej w celu uzyskania różnych chropowatości powierzchni. Do wykonania połączeń zastosowano dwa rodzaje klejów epoksydowych, będących dodatkowym zmiennym czynnikiem technologicznym.

Badania doświadczalne

Charakterystyka materiału i połączeń klejowych

Do wykonania połączeń klejowych wykorzystano próbki wykonane z blachy stalowej kwasoodpornej

Tabela 1. Wybrane właściwości mechaniczne blachy stalowej kwasoodpornej [7]

Table 1. Selected mechanical properties of acid resistant steel sheet [7]

Gatunek materiału	Granica plastyczności Re (Rp _{0,2}) min	Wytrzymałość na rozciąganie Rm	Wydłużenie przy zerwaniu A ₅ min	Twardość max.
	MPa	MPa	%	HB
1.4310	250	600-950	40	215

Tabela 2. Warianty wykonania połączeń klejowych

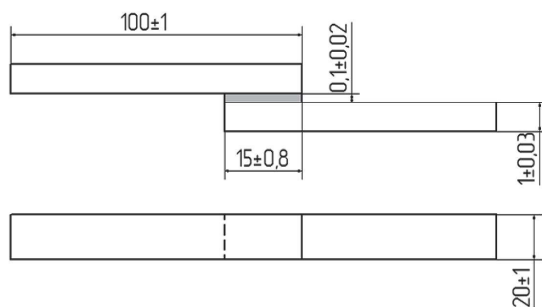
Table 2. Execution variants of bonded joints

Oznaczenie próbek	A1-A12	B1-B12	C1-C12	D1-D12	E1-E12	F1-F12
Rodzaj obróbki mechanicznej	Papier ścierny P800		Papier ścierny P320		Bez obróbki	
Odtłuszczenie	Loctite 7063					
Rodzaj kleju	Epidian 62/ TFF/ 100:27	Epidian 62/ IDA/ 100:40	Epidian 62/ TFF/ 100:27	Epidian 62/ IDA/ 100:40	Epidian 62/ TFF/ 100:27	Epidian 62/ IDA/ 100:40

(wysokostopowej, austenitycznej) 1.4310 (1H18N9), wg PN-EN 10088-1 [6], o grubości 1,00mm ± 0,01 mm, której wybrane właściwości zaprezentowano w tab. 1.

Badaniom wytrzymałościowym poddano połączenia klejowe blach ze stali kwasoodpornej wykonane jednozakładkowo, których kształt i wymiary przedstawiono na rys. 1.

Wymiary połączeń klejowych, przedstawione na rys. 1, zostały określone po procesie ich wykonania (utwardzania), podczas operacji kontroli kształtowo-wymiarowej połączeń, z wykorzystaniem suwmiarki elektronicznej o dokładności 0,02 mm. Grubość spoiny klejowej określono metodą pośrednią.



Rys. 1. Jednozакładkowe połączenie klejowe blach stalowych kwasoodpornych

Fig. 1. Single-lap joint of acid resistant steel sheets

Proces wykonania połączeń klejowych

Powierzchnie łączonych elementów zostały przygotowane z użyciem obróbki mechanicznej za pomocą ściernych narzędzi nasypowych P320 oraz P800, po której nastąpiło odtłuszczenie. Część próbek poddano tylko odtłuszczeniu środkiem odtłuszczającym Loctite 7063, które po połączeniu stanowiły próbki referencyjne. Sposób odtłuszczenia opisano w pracy [8].

Połączenia klejowe blach ze stali kwasoodpornej zostały wykonane z użyciem dwóch klejów epoksydowych

dwuskładnikowych Epidian 62/IDA/100:40 oraz Epidian 62/TFF/100:27, zgodnie ze stosowną procedurą przygotowawczą przedstawioną w pracy [8]. Przygotowano 6 wariantów połączeń klejowych analizowanych blach, które zamieszczono w tab. 2. W każdym wariantcie wykonano po 12 połączeń klejowych.

Połączenia klejowe wykonano w warunkach laboratoryjnych w temperaturze 20-23°C, przy wilgotności względnej powietrza od 30 do 33%. Zastosowano jednostopniowe utwardzanie na zimno w temperaturze i wilgotności wymienionych powyżej przez 7 dni pod naciskiem 0,018 MPa.

Określenie chropowatości powierzchni i wytrzymałości połączeń klejowych

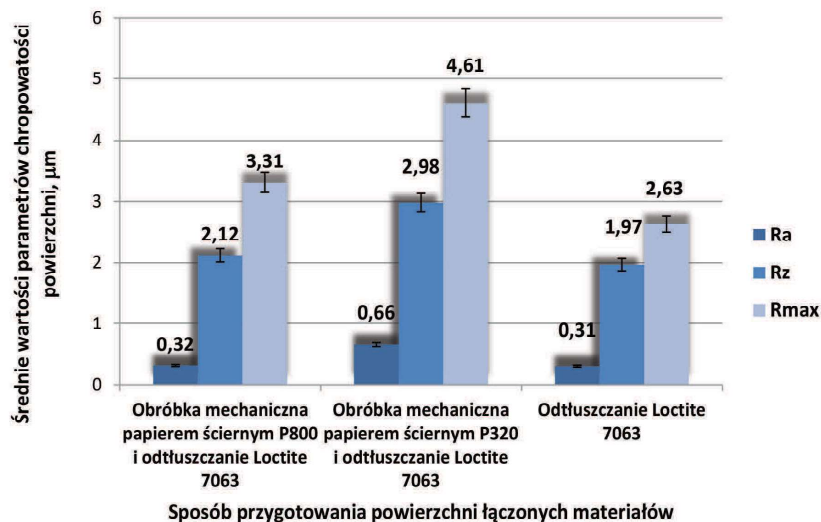
W przeprowadzonych badaniach dokonano pomiarów wybranych parametrów chropowatości powierzchni łączonych elementów po zastosowaniu sposobów przygotowania powierzchni. Pomiary wykonano profilometrem stykowym Hommel Tester T1000. Z trzech rodzajów przygotowanych próbek wybrano losowo po cztery i zmierzono je czterokrotnie. Dla każdej danego typu obróbki wykonano pomiar czterokrotnie następujących parametrów: Ra (średnia arytmetyczna rzędnych profilu), Rz (najwyższa wysokość profilu chropowatości), Rmax (maksymalna wysokość chropowatości) [7].

Do określenia wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stali kwasoodpornej użyto maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150, zgodnie z normą EN DIN 1465 [3].

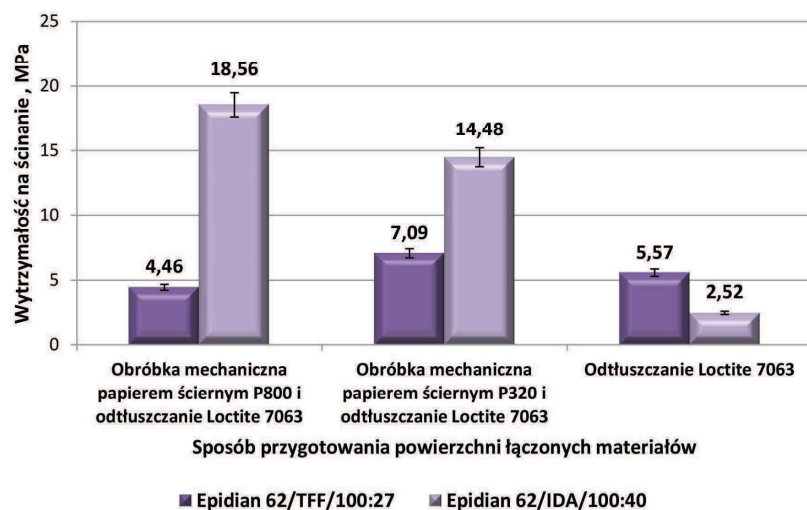
Wyniki badań

Chropowatość powierzchni

Zestawienie średnich wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni po trzech rodzajach obróbki powierzchni łączonych elementów zamieszczono na rys. 2.



Rys. 2. Porównanie parametrów chropowatości powierzchni blach ze stali nierdzewnej po stosowanych sposobach przygotowania powierzchni
 Fig. 2. Comparison surface roughness parameters of acid resistant steel sheets after used surface treatment



Rys. 3. Wyttrzymałość połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej po stosowanych sposobach przygotowania powierzchni
 Fig. 3. Bonded joints strength of acid resistant steel sheets after used surface treatment

Na podstawie zestawienia parametrów chropowatości powierzchni przedstawionych na rys. 2 zauważono, że największe wartości parametrów chropowatości powierzchni otrzymano po zastosowaniu obróbki ściernym narzędziem nasypowym P320 i odtłuszczeniu, a najmniejsze w przypadku powierzchni blach poddanej tylko odtłuszczeniu (przy czym wartość parametru Ra była porównywalna z wartością uzyskaną po zastosowaniu obróbki ściernym narzędziem nasypowym P800). Różnica między wartością Ra dla obu próbek wynosi 2%. W przypadku zastosowania obróbki powierzchni łączonych próbek z wykorzystaniem papieru ściernego P800 i odtłuszczenia wartość parametru Ra jest ponad dwukrotnie

większa niż w pozostałych przypadkach. Najwyższą wartość parametru chropowatości Rz nadają próbki przygotowane papierem ściernym o gradacji P320 i odtłuszczeniu. Wartości te odbiegają znacznie od wyników próbek, których powierzchnie tylko odtłuszczone i różnica ta wynosi 51%. W przypadku obróbki papierem ściernym P800 i odtłuszczeniu wyniki nieznacznie odbiegają od tych, które uzyskano po zastosowaniu odtłuszczenia i różnica wynosi jedynie 7%.

Także porównując chropowatość powierzchni względem parametru Rmax – czyli największej wartości wysokości profilu można dostrzec, że największą wartość mają próbki przygotowane papierem ściernym o gradacji P320. Mają one o 75% większą wartość Rmax niż próbki po odtłuszczeniu i o 39% większą od próbek przygotowanych papierem ściernym P800 i odtłuszczeniu.

Wyttrzymałość połączeń klejowych

Porównanie wytrzymałości na ścinanie analizowanych wariantów połączeń klejowych blach ze stali nierdzewnej przedstawiono na rys. 3.

Na podstawie porównania (rys. 3) otrzymanych wyników wytrzymałości na ścinanie różnych wariantów połączeń klejowych zauważono istotny wpływ zarówno przygotowania powierzchni, jak i rodzaju kleju.

Rozpatrując klej Epidian 62/TFF/100:27 można przedstawić następujące spostrzeżenia:

- największą wytrzymałość połączeń klejowych otrzymano po zastosowaniu obróbki mechanicznej ściernym narzędziem nasypowym P320 i odtłuszczeniu (7,09 MPa),
- najmniejsza wytrzymałość została osiągnięta po użyciu ściernego narzędzia nasypowego P800 i odtłuszczeniu (4,46 MPa) i jest o 42% mniejsza od największej wytrzymałości,
- wpływ na zwiększoną wytrzymałość po obróbce papierem P320 mogła mieć struktura geometryczna powierzchni, która została ukształtowana podczas obróbki ściernej. Prawdopodobnie wymiary geometryczne (także ilość) powstałych nierówności, sprzyjały ich penetracji przez zastosowany klej, który podczas utwardzania utworzył mechaniczne zakotwienia skutkujące większą wytrzymałością niż w pozostałych przypadkach,

- połączenia klejowe wykonane bez obróbki mechanicznej mają lepsze właściwości wytrzymałościowe niż przygotowane papierem ściernym P800 i odtłuszczeniu, ale mają mniejszą wytrzymałość niż próbki po obróbce papierem ściernym P320 i odtłuszczeniu.

Analizując wyniki wytrzymałości połączeń klejowych wykonanych przy użyciu kleju Epidian 62/IDA/100:40 można zauważyć, że:

- w przypadku próbek, których powierzchnie zostały tylko odtłuszczone, bez wcześniejszej obróbki mechanicznej, wytrzymałość na ścinanie wynosi 2,52 MPa i jest znacznie niższa w stosunku do wytrzymałości połączeń, w których zastosowano obróbkę mechaniczną i odtłuszczenie,
- największą wytrzymałość osiągnęły połączenia klejowe, w których powierzchnia próbek została przygotowana papierem ściernym P800 i odtłuszczone (18,56 MPa) i jest ona o 24% wyższa od wytrzymałości połączeń elementów po obróbce mechanicznej papierem ściernym P320 i odtłuszczeniu oraz o ok. 87% większa od wytrzymałości połączeń, w których jako sposób przygotowania powierzchni zastosowano tylko odtłuszczenie.

Porównując oba rodzaje klejów zauważono, że w przypadku obróbki mechanicznej i odtłuszczenia wykorzystanie do wykonania połączeń klejowych kleju Epidian 62/IDA/100:40 pozwala na osiągnięcie znacznie większej wytrzymałości niż w przypadku użycia kleju Epidian 62/TFF/100:27. Odmianą zależność zaobserwowano w przypadku zastosowania tylko odtłuszczenia powierzchni przed klejeniem. W przypadku połączeń klejowych przygotowanych z użyciem kleju Epidian 62/TFF/100:27 nie występują tak duże różnice w wartości wytrzymałości, jak w przypadku zastosowania kleju Epidian 62/IDA/100:40. Porównując otrzymane wyniki z rezultatami dotyczącymi analizy wytrzymałości połączeń klejowych blach ze stali odpornej na korozję zamieszczonymi w pracy [9] także stwierdzono, że zastosowanie obróbki mechanicznej z użyciem ściernych narzędzi nasypowych, jako obróbki powierzchni łączonych blach, korzystnie wpływa wytrzymałość tych połączeń w odniesieniu do wytrzymałości połączeń, w których powierzchnie blach poddano tylko procesowi odtłuszczenia.

Wnioski

Na podstawie otrzymanych badań doświadczalnych można zauważyć, że wybór odpowiedniej obróbki ściernej w odniesieniu do danego rodzaju kleju ma istotny wpływ na wytrzymałość połączeń klejowych. Z analizy badań wytrzymałościowych wynika, że w przypadku klejenia blach ze stali kwasoodpornej, najlepszą spośród badanych metod była metoda łączenia blach klejem Epidian 62/IDA/100:40 w połączeniu z obróbką ścierną powierzchni papierem ściernym o gradacji P800 i odtłuszczeniu. Połączenie to wykazało bardzo dużą wytrzymałość na

ścinanie, o wiele większą od pozostałych wariantów połączeń. Zastosowanie tego kleju pozwala na osiągnięcie również wysokiej wytrzymałości połączeń klejowych, przy zastosowaniu obróbki łączonych powierzchni papierem ściernym o gradacji P320 i odtłuszczeniu. Ponadto można zauważyć, że przeprowadzenie tylko procesu odtłuszczenia, jako przygotowania powierzchni w przypadku kleju Epidian 62/IDA/100:40 kilkukrotnie obniża wytrzymałość w porównaniu do obróbki mechanicznej i odtłuszczenia. W przypadku użycia kleju Epidian 62/TFF/100:27 korzystniejsze jest zastosowanie obróbki papierem ściernym o większej ziarnistości.

Podsumowując, można zauważyć, że podczas opracowywania technologii klejenia należy kompleksowo uwzględnić zagadnienia związane zarówno z przygotowaniem powierzchni, jak i doborem określonego rodzaju kleju, gdyż współdziałanie tych czynników pozwala uzyskać założone właściwości mechaniczne połączeń klejowych.

LITERATURA

- [1] Adams R.D. 2010. "Adhesive bonding. Science, technology and applications". Woodhead Publishing Limited, United Kingdom.
- [2] Cagle Ch.V. 1977. „Kleje i klejenie”. Poradnik inżyniera i technika. Warszawa: WNT.
- [3] DIN EN 1465:2009. Adhesives. Determination of tensile lap-shear strength of bonded assemblies.
- [4] Godzimirski J. i in. 1997. „Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn”. Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- [5] Kuczmaszewski J. 2006. "Fundamentals of metal-metal adhesive joint design". Lublin University of Technology, Polish Academy of Sciences.
- [6] PN-EN 10088-1:2014-12. „Stale odporne na korozję. Część 1: Wykaz stali odpornych na korozję”.
- [7] PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010. „Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni”.
- [8] Rudawska A., J. Kuczmaszewski. 2012. „Badania porównawcze efektów modyfikacji żywic epoksydowych napelniaczami o dużym stopniu rozdrobnienia dla wybranych utwardzaczy”. *Przetwórstwo Tworzyw* (5): 500–504.
- [9] Rudawska A. 2010. „Wpływ sposobu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach ze stali odpornej na korozję”. *Technologia i Automatyzacja Montażu* (3): 36–39.
- [10] Sobieszczański J. 2004. „Spajanie”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PL – Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

Norbert Oleszek – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej