

Anna RUDAWSKA, Izabela MITURSKA

Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

tel. (81) 5384232

e-mail: a.rudawska@pollub.pl

Wpływ operacji odtłuszczenia i obróbki mechanicznej na wytrzymałość połączeń klejowych

Streszczenie: Celem pracy było określenie wpływu wybranych sposobów przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejowych blach stalowych ocynkowanych metodą zanurzeniową, wykonanych za pomocą kleju epoksydowego Epidian 53/Z-1/100:10. Przygotowanie powierzchni łączonych elementów zostało zrealizowane, w następujących wariantach: wariant A, obejmujący obróbkę mechaniczną papierami ściernymi o różnej gradacji bez odtłuszczenia oraz wariant B składający się z obróbki mechanicznej i odtłuszczenia rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym powierzchni próbek blach przeznaczonych do klejenia. Ocenę wpływu przygotowania powierzchni dokonano na podstawie badań wytrzymałościowych jednozakładowych połączeń klejowych na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell 150, zgodnie z normą DIN EN 1465. W badaniach przeprowadzono także pomiary wybranych parametrów chropowatości powierzchni w celu oceny struktury geometrycznej po obróbce mechanicznej papierami ściernymi o różnej gradacji. Na podstawie wyników badań zauważono, że zastosowanie podczas przygotowywania powierzchni do klejenia odtłuszczacza, jakim był rozcieńczalnik ekstrakcyjny, wpłynęło korzystnie na wzrost wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych, w porównaniu do wytrzymałości połączeń, w których zastosowano jedynie obróbkę mechaniczną.

Słowa kluczowe: obróbka mechaniczna, odtłuszczenie, przygotowanie powierzchni, połączenie klejowe, klej epoksydowy, wytrzymałość

THE INFLUENCE OF DEGREASING AND MACHINING TREATMENT ON THE ADHESIVE JOINTS STRENGTH

Abstract: The purpose of the article was to determine the influence of selected surface preparation methods on the adhesive joints strength of hot-dip zinc coated steel sheets, prepared by Epidian 53/Z-1/100:10 epoxy adhesive. The surface treatment of the adherends has been carried out in the following variants: Variant A, comprising mechanical treatment with abrasive papers of various gradation without degreasing, and Variant B consisting of mechanical treatment and degreasing with extractor diluent of the surface of the adherends samples. The assessment of the impact of surface preparation was made on the basis of strength tests of single-lap adhesive joints on the Zwick/Roell 150 testing machine, according to DIN EN 1465 standard. The tests also included measurements of selected surface roughness parameters to evaluate the geometrical structure after machining with abrasive papers of various gradations. Based on the results of the research, it was noticed that the use of a degreaser during the preparation of the degreaser surface, which was an extractor diluent, had a positive effect on the shear strength of the adhesive joints compared to the joints strength in which only mechanical treatment was applied.

Keywords: mechanical treatment, degreasing, surface treatment, adhesive joint, epoxy adhesive, strength

1. WPROWADZENIE

Analizując proces technologiczny klejenia należy zwrócić szczególną uwagę na przygotowanie powierzchni [1-4]. Proces przygotowa-

nia powierzchni polega na usunięciu warstewki powierzchniowej tlenków oraz innych zanieczyszczeń występujących w formie smarów, pyłów, osadów, olejów, mikroorganizmów, wilgoci itp. [5]. Rozróżnia się przede wszystkim

oczyszczanie mechaniczne i oczyszczanie chemiczne, a także obróbki specjalne dedykowane np. tworzyw polimerowych [6-8]. Oczyszczanie mechaniczne jest to m.in. obróbka papierem ściernym, piaskowanie, obróbka szczotką drucianą, opalenie płomieniem, obróbka skrawaniem [9-11]. Natomiast oczyszczanie chemiczne odbywa się za pomocą rozpuszczalników, takich jak: benzyna, aceton, benzen, różne rodzaje detergentów, trichloroetylen. Proces przygotowania powierzchni znacząco wpływa na wytrzymałość połączeń klejowych oraz na właściwości adhezyjne [1,12]. Należy pamiętać, że proces ten nie może naruszać ciągłości powłoki blach należy, więc dobrze dostosować obróbkę przygotowawczą.

Sposoby przygotowania powierzchni materiałów do klejenia należy dobrać tak, aby trwałość i wytrzymałość tych połączeń była jak największa [1,10]. Dzięki właściwemu przygotowaniu powierzchni otrzymuje się prawidłowo wykonane połączenia klejowe i uzyskuje się odpowiednią wytrzymałość połączenia, oczywiście przy spełnieniu także pozostałych warunków konstrukcyjnych i technologicznych. Właściwe przygotowanie powierzchni zwiększa odporność połączenia na działanie czynników eksploatacyjnych oraz warunkuje również prawidłową eksploatację połączenia.

W niniejszej pracy rozpatrywanym zagadnieniem jest analiza wpływu przygotowania powierzchni na wytrzymałość połączeń klejo-

wych blach stalowych ocynkowanych metodą zanurzeniową wykonanych za pomocą kleju epoksydowego Epidian 53/Z-1/100:10.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. POŁĄCZENIE KLEJOWE

Wymiar i kształt próbek połączeń klejowych blach stalowych ocynkowanych zanurzeniowo DX51+Z275 (DIN EN 10142), o grubości powłoki cynkowej około 20 μm , wykorzystanych do badań eksperymentalnych przedstawiono na rys. 1.

Do badań doświadczalnych wykonano połączenia klejowe blach stalowych ocynkowanych zanurzeniowo jako jednozakładkowe o grubości kleju wynoszącej $0,1 \pm 0,2$ mm i długości zakładki wynoszącej $l_z = 15 \pm 1,1$ mm.

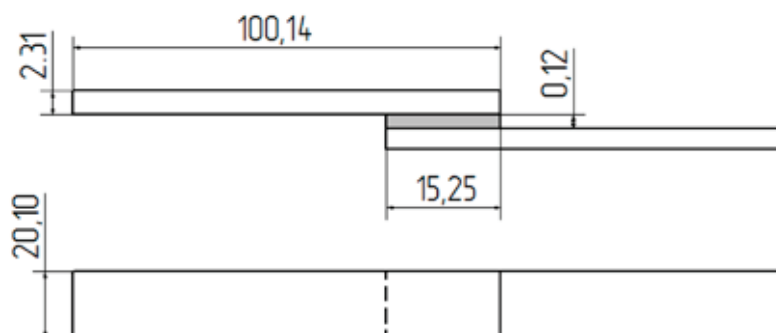
2.2. SPOSOBY PRZYGOTOWANIA POWIERZCHNI

Przygotowanie powierzchni elementów przeznaczonych do klejenia, wykonano w dwóch wariantach:

- **Wariant A** – obróbka mechaniczna papierem ściernym bez odtłuszczenia powierzchni,
- **Wariant B** – obróbka mechaniczna papierem ściernym oraz odtłuszczenie powierzchni.

Obróbka mechaniczna powierzchni

Pierwszym etapem przygotowania powierzchni do klejenia było odpowiednie roz-



Rys. 1. Wymiary i kształt połączenia klejowego zakładkowego

Fig. 1. Dimension and shape of lap adhesive joint

winięcie powierzchni geometrycznej klejonych elementów i do tej czynności został wykorzystany papier ścierny o różnych stopniach gradacji: P120, P180, P220, P400 oraz P600. Pole powierzchni obrobionej mechanicznie wynosiło około 300 mm². Rozwinięcie powierzchni łączonych materiałów polegało na obróbce papierem ściernym, wykonując około 40 ruchów okrężnych. Całkowita ilość próbek blachy stalowej ocynkowanej przygotowanych do klejenia wynosiła 120 (tabela 1). Połowa próbek wykorzystanych do wykonania połączeń klejowych została przygotowana w wariantcie A, natomiast pozostała ilość próbek poddano obróbce z wykorzystaniem wariantu B.

Odftuszczenie

Etap odftuszczenia powierzchni został wykonany na połowie przygotowywanych próbek (wariant B), bezpośrednio po obróbce mechanicznej przy użyciu ręcznika papierowego, który został nasączony rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym firmy PIKKO. Rozcieńczalnik ekstrakcyjny jest to uniwersalny preparat przeznaczony do mycia i odftuszczenia powierzchni przed malowaniem, lakierowaniem lub klejeniem. Zastosowany odftuszczeniowy miał za zadanie całkowicie usunąć z klejonych powierzchni różne zanieczyszczenia, głównie w postaci pyłu i luźno związanych cząsteczek materiału, jako pozostałości po obróbce mechanicznej. Rozcieńczalnik ekstrakcyjny po upływie paru sekund po zakończeniu etapu odftuszczenia całkowicie odparował i nie pozostawił na powierzchni żadnego osadu.

2.3. KLEJ

Do etapu klejenia przygotowanych próbek wykorzystano żywicę epoksydową Epidian 53 oraz utwardzacz Z-1 firmy Ciech Sarzyna. Przygotowanie odpowiedniej kompozycji klejowej odbywało się przy wykorzystaniu wagi technicznej laboratoryjnej. Do specjalnego naczynia za pomocą szpatułki odmierzone składniki masy klejowej w odpowiedniej proporcji:

1. Epidian 53 – 100 części wagowych,
2. utwardzacz Z-1 – 10 części wagowych.

Po zmieszaniu otrzymano klej epoksydowy Epidian 53/Z-1/100:10.

Epidian 53

Żywica epoksydowa Epidian 53 firmy Ciech Sarzyna [13] jest to podstawowa żywica epoksydowa Epidian 5 modyfikowana styrenem. Cechą żywicy epoksydowej Epidian 53 jest możliwość jej utwardzania w temperaturze pokojowej, bardzo dobra adhezja do większości materiałów (metale, szkło, ceramika, drewno itp.), dobre właściwości mechaniczne i odporność na działanie czynników chemicznych, takich jak: smary, oleje, rozcieńczone ługi oraz kwasy.

Utwardzenie żywicy następuje po dodaniu do niej odpowiedniej ilości utwardzacza. W przypadku zastosowanej żywicy epoksydowej Epidian 53 w niniejszych badaniach do przygotowania kompozycji klejowej zastosowano utwardzacz Z-1. Czas żelowania w temperaturze 20°C wynosi 180 minut (próbka 100 g), a całkowite utwardzenie utworzonej masy klejowej wynosi 7 - 14 dni [14]. Podsta-

Tabela 1. Ilość próbek wykorzystanych do badań eksperymentalnych

Table 1. The amount of samples used in experimental tests

Rodzaj papieru ściernego	Wariant A	Wariant B
P120	15	15
P180	15	15
P220	15	15
P400	15	15
P600	15	15

Tabela 2. Podstawowe właściwości żywicy epoksydowej Epidian 53 [15]

Table 2. The basic properties of Epidian 53 epoxy resin [15]

Właściwości	Jednostka	Wartość/cecha
Lepkość w 25°C	[mPa·s]	900 - 1500
Gęstość w 20°C	[g/cm ³]	1,11 – 1,15
Liczba epoksydowa	[mol/100 g]	min. 0,41
Temperatura wrzenia	[°C]	141
Temperatura topnienia	[°C]	nie dotyczy
Temperatura zapłonu	[°C]	58
Temperatura samozapłonu	[°C]	460
Wartość pH	[-]	około 7
Postać	wysokolepka jasnożółta ciecz	
Zapach	charakterystyczny dla styrenu	
Palność	mieszanina palna	
Właściwości wybuchowe	nie ustalone	
Właściwości utleniające	nie ustalone	
Prężność par	nie ustalone	
Rozpuszczalność w wodzie	nierozpuszczalny	
Rozpuszczalność w innych rozpuszczalnikach	rozpuszcza się w ketonach, estrach, alkoholach i węglowodorach aromatycznych	

wowe cechy charakterystyczne żywicy epoksydowej Epidian 53 zamieszczono w tabeli 2.

Utwardzacz Z-1

Utwardzacz Z-1 (trietylenotetraamina) stosuje się do utwardzania żywic epoksydowych. Powoduje on wzrost udurości i elastyczności mieszaniny, a dzięki tym cechom wykorzystuje się ten utwardzacz w połączeniach narażonych na odkształcenia mechaniczne. Utwardzacz Z-1 znajduje zastosowanie przemysłowe, specjalistyczne oraz konsumenckie m.in., jako spoiwo i środek antykorozyjny, w klejach, w środkach czyszczących, w smarach, w powłokach, w przetwórstwie polimerów, w laboratoriach, w produkcji papieru i tkanin, w klejach szczeliwach, w wypełniaczach i tynkach. Czas żelowania utwardzacza Z-1 w temperaturze 20°C wynosi 35 minut (próbka 100 g) [14,16]. Podstawowe właściwości utwardzacza Z-1 przedstawiono w tabeli 3.

2.4. WARUNKI WYKONYWANIA POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Jako sposób przygotowania powierzchni blach stalowych ocynkowanych zastosowano obróbkę mechaniczną poprzez obróbkę papierami ściernymi o gradacji P120, P180, P220, P400, P600 (wariant A), a w drugim wariantcie (wariant B) po obróbce mechanicznej zastosowano odtłuszczenie za pomocą rozcieńczalnika ekstrakcyjnego.

Następnie przygotowano masę klejową i naniesiono ją cienką warstwą (około 0,1 mm) na powierzchnie uprzednio przygotowanych próbek, po czym odpowiednio ustalono powierzchnie łączone względem siebie zakładkowo oraz tak utworzone połączenia poddano procesowi utwardzania jednostopniowego w temperaturze otoczenia, stosując nacisk wywarty przez obciążenie 2 kg. Całkowity czas utwardzania wynosił 14 dni. Przygotowywanie powierzchni do kleje-

Tabela 3. Podstawowe parametry utwardzacza Z-1 [16]

Table 3. The basic properties of Z-1 curing agent [16]

Właściwości	Jednostka	Wartość/ cecha
Lepkość w 25°C	[mPa·s]	20-30
Gęstość w 20°C	[g/cm ³]	0,98-0,98
Liczba aminowa	[mg KOH/g]	min. 1100
Wartość pH	[-]	13,2
Temperatura topnienia	[°C]	< -20
Temperatura wrzenia (początkowa)	[°C]	275
Temperatura zapłonu	[°C]	118
Temperatura samozapłonu	[°C]	325
Prężność par (20°C)	[Pa]	0,346
Gęstość (20°C)	[g/cm ³]	0,98
Stan skupienia	ciecz	
Barwa	jasno żółta / przezroczysta	
Zapach	charakterystyczny dla amin	
Szybkość parowania	nie oznaczono	
Palność	nie dotyczy	
Górna/dolna granica wybuchowości	nie oznaczono	
Właściwości wybuchowe	substancja niewybuchowa	
Właściwości utleniające	nie dotyczy	
Rozpuszczalność w wodzie	rozpuszczalna	
Rozpuszczalność w innych rozpuszczalnikach	rozpuszcza się w alkoholach, estrach, węglowodorach aromatycznych, ketonach	

nia oraz wykonanie połączeń klejowych odbywało się w temperaturze 26±1°C i wilgotności powietrza 23±1%.

2.5. OKREŚLENIE PARAMETRÓW CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI I BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Do badań wytrzymałościowych jednozłaskowych połączeń klejowych wykorzystano maszynę wytrzymałościową Zwick/Roell 150, określając wytrzymałość na ścianie połączeń klejowych, zgodnie z normą DIN EN 1465. Prędkość przesuwu trawery wynosiła 5 mm/min. W badaniach zastosowano po 6 połączeń klejowych dla każdego wariantu przygotowania powierzchni i rodzaju papieru ściernego.

Do pomiaru struktury geometrycznej powierzchni próbek łączonych blach po obróbce mechanicznej papierami ściernymi o różnej gradacji, użyto profilometru stykowego Hommel Tester T1000, przyrządu do pomiaru falistości i chropowatości powierzchni. Badaniom chropowatości powierzchni zostały poddane po 3 próbki z każdej partii, w zależności od ziarnistości użytego do przygotowania powierzchni papieru ściernego (P120, P180, P220, P400, P600). Po zastosowaniu obróbki mechanicznej, powierzchnie próbek zostały poddane odłuszczeniu. Zostały zmierzone wybrane parametry chropowatości według PN-EN ISO 4287, takie jak:

- R_z - największa wysokość profilu chropowatości,
- R_a - średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości,

- R_{sm} - średnia szerokość rowków elementów profilu,
- R_t - całkowita wysokość profilu,
- R_q - średnia kwadratowa rzędnych profilu,
- R_{max} - maksymalna wysokość chropowatości.

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

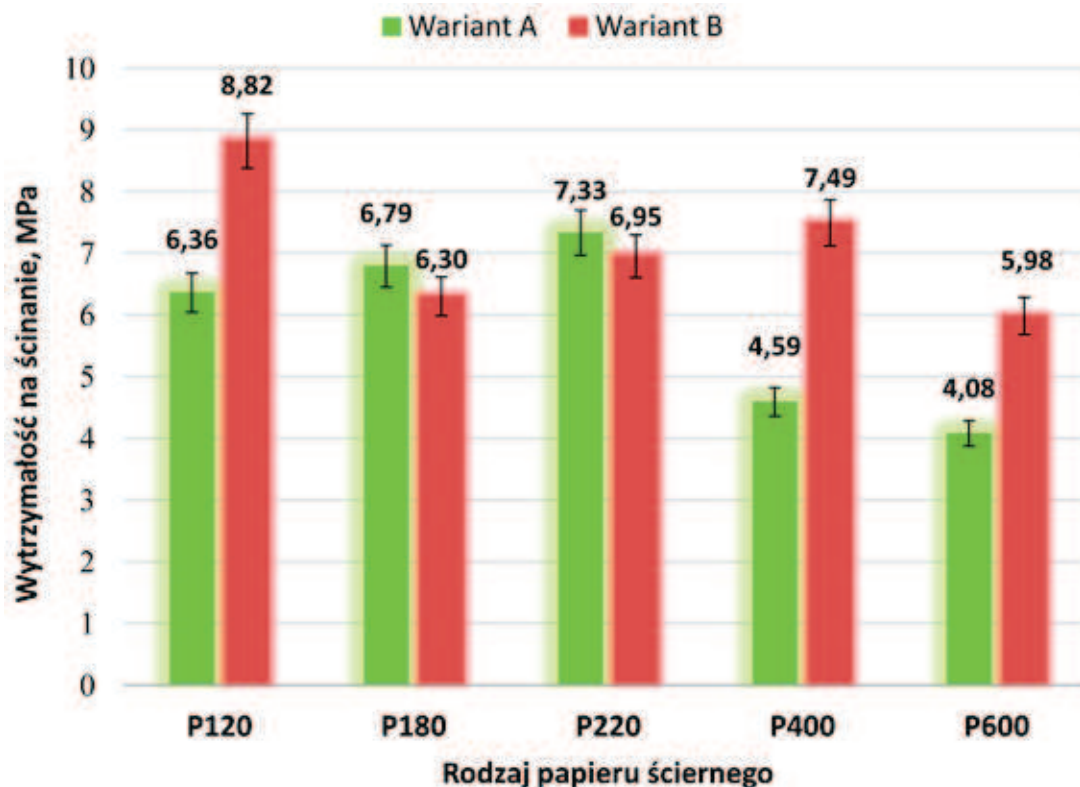
Porównanie uzyskanych wyników badań wytrzymałościowych połączeń klejowych, uwzględniając dwa warianty przygotowania powierzchni zaprezentowano na rys. 2.

Na podstawie analizy porównawczej wyników badań wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych, wykonanych przy zastosowaniu wariantu A i B, zauważono, że:

- najwyższą wartość średniej wytrzymałości na ścinanie (7,33 MPa) w przypadku wariantu

A (rys. 2) osiągnęły połączenia klejowe blachy stalowej ocynkowanej, których powierzchnie łączone zostały obrobione papierem ściernym P220. Natomiast najniższa wartość średniej wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych w przypadku tej metody wyniosła 4,08 MPa, a uzyskano ją przy połączeniach, w których powierzchnie łączonych elementów obrobiono mechanicznie papierem ściernym o ziarnistości P600. Różnica pomiędzy najwyższą a najniższą wartością wytrzymałości na ścinanie wyniosła 44%;

- w przypadku zastosowania odtuszczania powierzchni po obróbce mechanicznej (wariant B - rys. 2) najmniejsza wartość wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych wyniosła 5,98 MPa, a dotyczy to połączeń, w których powierzchnie łączone zostały poddane obróbce mechanicznej papierem ściernym P600. Największą wartość średniej wytrzymałości na ścinanie (8,82 MPa) uzyskano dla połą-



Rys. 2. Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych jednozaktadkowych

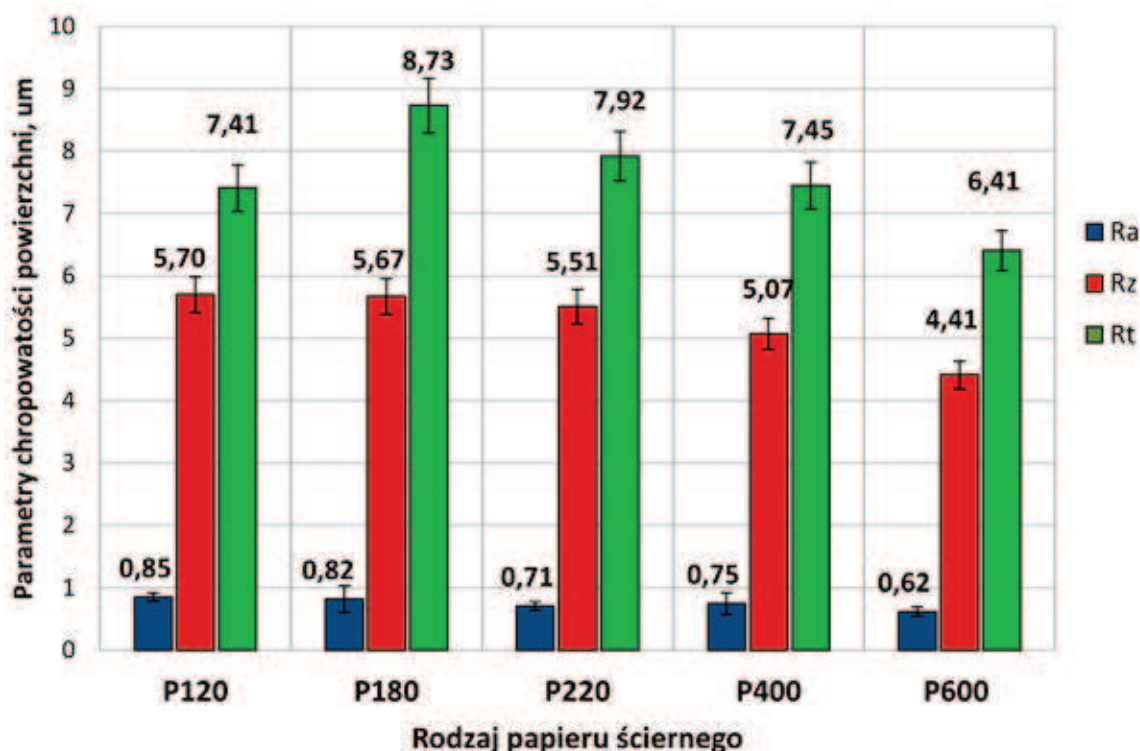
Fig. 2. Shear strength of single-lap adhesive joints

czeń klejowych, w których powierzchnie łączonych materiałów zostały uprzednio obróbrane mechanicznie papierem ściernym P120. Różnica między największą, a najmniejszą wartością wytrzymałości na ścinanie wyniosła około 32%,

- dokonując porównania wyników wytrzymałości połączeń klejowych po zastosowaniu obu wariantów przygotowania powierzchni A i B, największy wynik wytrzymałości na ścinanie (8,82 MPa) uzyskały próbki połączeń klejowych, w których powierzchnie blach zostały przygotowane za pomocą papieru ściernego o gradacji P120 oraz odtłuszczone rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym (wariant B). Ten wynik znacznie wyróżnił się na tle innych wyników. Najmniejszą wartość wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych (4,08 MPa) otrzymano natomiast przy metodzie bez odtłuszczania powierzchni (wariant A), po zastosowaniu obróbki mechanicznej

papierem ściernym P600. Najniższa wartość wytrzymałości na ścinanie jest o około 54% mniejsza od najwyższej wartości,

- największą różnicę dotyczącą wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych, których powierzchnie łączonych elementów poddano analizowanym wariantom obróbki zaobserwowano w przypadku rozwinięcia powierzchni geometrycznej papierem ściernym P400 (2,90 MPa), a najmniejszą różnicę, która wynosiła 0,49 MPa otrzymano przy zastosowaniu do obróbki mechanicznej papieru ściernego o gradacji P220,
- w przypadku obróbki mechanicznej papierami ściernymi P120, P400, P600 odtłuszczenie powierzchni łączonych rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym znacznie zwiększyło wartość wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych,
- po obróbce powierzchni papierami ściernymi o gradacji P180 oraz P220, odtłuszczenie powierzchni nie wpłynęło korzystnie na wy-



Rys. 3. Wybrane parametry amplitudowe chropowatości powierzchni po zastosowaniu obróbki mechanicznej papierami ściernymi o różnej gradacji

Fig. 3. Selected amplitude surface roughness parameters after applying mechanical treatment with abrasive papers of various gradation

trzymałość na ścinanie połączeń klejowych, a wręcz przeciwnie, w tym przypadku obróbki połączenia, których powierzchnie nie zostały odtłuszczone (wariant A) uzyskały większe wartości tego parametru.

3.2. CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI

Wartości wybranych parametrów amplitudowych chropowatości powierzchni, zmierzone po zastosowaniu obróbki mechanicznej papierami ściernymi o różnej gradacji zamieszczono na rys. 3. Są to średnie wartości obliczone na podstawie 9-11 pomiarów każdego parametru chropowatości powierzchni.

Rozpatrując zestawione na rys. 3 wyniki stwierdzono, iż największe rozwinięcie powierzchni geometrycznej pod względem parametrów R_a i R_z , otrzymano przy zastosowaniu papieru ściernego P120, średnia wartość parametru R_a wyniosła 0,85 μm , a parametru $R_z = 5,70 \mu\text{m}$, natomiast najniższy wynik uzyskano dla trzech zmierzonych parametrów w przypadku użycia do obróbki mechanicznej papieru ściernego o gradacji P600. Różnica między największą, a najmniejszą wartością parametru R_a wyniosła około 27%, a dla parametru R_z około 3%. Ponadto zauważono, że w przypadku parametrów R_a i R_z , ich wartości maleją wraz ze wzrostem gradacji papieru, czyli wraz ze wzrostem gradacji papieru ściernego zmniejsza się chropowatość obrabianych powierzchni. Podobny trend zaobserwowano w przypadku parametru R_t (oprócz pierwszego rodzaju obróbki papierem ściernym P120), choć największą wartość tego parametru otrzymano po obróbce mechanicznej papierem ściernym P180 (8,73 μm).

3.3. PORÓWNANIE WYTRZYMAŁOŚCI I CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI

Na podstawie analizy porównawczej zależności wpływu średniej arytmetycznej odchylenia profilu chropowatości (parametru R_a) na wytrzymałość na ścinanie przy wariancie A i B można zaobserwować, że najmniejszą wartość wytrzymałości na ścinanie uzyskały połączenia klejowe, charakteryzujące się najniższą wartością średniego arytmetycznego odchylenia

profilu chropowatości ($R_a = 0,62 \mu\text{m}$), zaobserwowano to w przypadku połączeń, których powierzchnie łączonych elementów zostały obrobione mechanicznie papierem ściernym P600. Natomiast największą wartość wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych zaobserwowano w przypadku połączeń, w których łączone powierzchnie charakteryzowały się najwyższą wartością parametru R_a (0,85 μm), a dotyczy to połączeń, w których elementy przygotowywano do procesu klejenia przez obróbkę powierzchni papierem ściernym o gradacji P120. Świadczy to o wzroście adhezji mechanicznej pomiędzy łączonymi elementami, na skutek lepszego rozwinięcia powierzchni po obróbce papierem ściernym P120, przy czym efekt ten znacznie wzrasta, gdy powierzchnie po obróbce poddano procesowi odtłuszczenia. Podobne zależności otrzymano w przypadku pozostałych rozważanych parametrów chropowatości powierzchni, choć występują pewne rozbieżności w przypadku zastosowania papierów ściernych P180 i P200.

4. PODSUMOWANIE

Z otrzymanych podczas badań eksperymentalnych wyników i ich analizy stwierdzono, iż najlepszym sposobem przygotowania powierzchni blach stalowych ocynkowanych do procesu klejenia, jest wykorzystanie papieru ściernego P120, który posiada niską gradację, a następnie zastosowanie odtłuszczenia rozcieńczalnikiem ekstrakcyjnym. W ten sposób przygotowana powierzchnia próbek przyczyniła się do tego, że połączenia tych próbek charakteryzowały się najwyższą wytrzymałością na ścinanie. Powierzchnie łączonych materiałów przygotowane papierem P120 wykazały również wyższą od pozostałych partii próbek wartość średniej arytmetycznej rzędnych profilu oraz największej wysokości profilu chropowatości. Wysokie wartości tych parametrów otrzymano w wyniku dobrego rozwinięcia powierzchni geometrycznej próbek, dzięki dużym ziarnom papieru ściernego P120 oraz

na skutek usunięcia wszelkich zanieczyszczeń z klejonych materiałów przez odłuszczenie.

Z analizy wyników badań zaobserwowano również, iż połączenia klejowe, w których powierzchnie łączonych elementów przygotowane papierami o średniej gradacji, takie jak: P180, P220, P400, wykazują w większości przypadków większą wytrzymałość na ścinanie, niż połączenia, w których do przygotowania powierzchni wykorzystano pozostałe dwa skrajne papiery P120 i P600. Wyjątkiem były wyniki związane z zastosowaniem papieru P120 przy użyciu odłuszczenia (wariant B), które znacząco wyróżniły się na tle papierów o innych gradacjach. Mogło to być spowodowane dokładniejszym przygotowaniem powierzchni próbek do procesu klejenia i użyciem większego nacisku podczas obróbki mechanicznej tej partii próbek papierem ściernym. Ta rozbieżność wynikała prawdopodobnie z wysokiego wpływu czynnika ludzkiego na przygotowanie próbek.

Użycie podczas przygotowywania powierzchni do klejenia odłuszczacza, jakim był rozcieńczalnik ekstrakcyjny, wpłynęło korzystnie na wzrost wytrzymałości na ścinanie w porównaniu do połączeń, w których zastosowano jedynie obróbkę mechaniczną. Połączenia klejowe, których do przygotowania powierzchni zastosowano wariant B, wykazały w większości wyższe wartości wytrzymałości na ścinanie.

LITERATURA

- Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
- Rudawska A.: Przygotowanie powierzchni do klejenia wybranych materiałów konstrukcyjnych. Politechnika Lubelska, Lublin 2017.
- da Silva L.F.M., Carbas R.J.C., Critchlow G.W., Figueiredo M.A.V., Brown K., Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2009, 29, 621–632.
- Kuczmaszewski J.: Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1995.
- Ebnesajjad S, Ebnesajjad C. *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*. 2 nd Edition. Norwich, William Andrew, 2013.
- da Silva L.F.M., Ferreira N.M.A.J., Richter-Trummer V., Marques E.A.S., Effect of grooves on the strength of adhesively bonded joints, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2010, 30, 735–743.
- Gilbert Y., Verchery G., Influence of surface roughness on mechanical properties of joints, in: Mittal KL, editor, *Adhesive joints formation, characteristics, and testing*. New York, Plenum Press, 1982.
- Rudawska, A. Selected aspects of the effect of mechanical treatment on surface roughness and adhesive joint strength of steel sheets, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 2014, 50, 235-243.
- Harris A.F., Beevers A., The effect of grit-blasting on the surface properties for adhesion, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 1999, 19, 445–452.
- Rudawska A., Łukasiewicz M., Wpływ obróbki mechanicznej na wytrzymałość połączeń klejowych wybranych materiałów konstrukcyjnych *Przegląd Spawalniczy*, 2008, 8, 27–30.
- Uehara K., Sakurai M., Bonding strength of adhesives and surfaces roughness of joined parts, *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 127, 178–181.
- Godzimirski J., Wpływ czynników konstrukcyjnych i technologicznych na wytrzymałość połączeń klejowych, *Przegląd Mechaniczny*, 2003, 13, 18–22.
- <http://www.ciechzywice.pl/pl> (kwiecień, 2018).
- www.cedar.com.pl (kwiecień, 2018).
- <http://zywica.eu> (kwiecień, 2018).
- <http://www.farbyjachtowe.pl> (kwiecień, 2018).

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 08-01-2018

Data akceptacji publikacji do druku: 04-05-2018