

Anna RUDAWSKA<sup>1</sup>, Monika ARAŻNA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> dr hab. inż. Anna Rudawska, prof. PL, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

<sup>2</sup> inż. Monika Arażna, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: monika.arazna@gmail.com

## Wytrzymałość i odkształcalność wybranych kompozycji epoksydowych, w tym w badaniach zakładkowych połączeń blach stalowych

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zagadnienia związane z określeniem wytrzymałości klejów epoksydowych w stanie utwardzonym oraz wytrzymałości połączeń klejowych blach stalowych przygotowanych z użyciem badanych klejów epoksydowych. Do wykonania próbek klejów w stanie utwardzonym wykorzystano trzy rodzaje żywic epoksydowych: Epidian 5, Epidian 53 oraz Epidian 57. Poszczególne żywice mieszane były z utwardzaczem PAC w stosunku 100:100 oraz 100:80, tworząc 6 wariantów kompozycji klejowych. Kleje te zastosowano także do łączenia próbek wykonanych z blachy stalowej C45, tworząc jednozakładkowe połączenia klejowe. Oba rodzaje próbek poddano badaniom wytrzymałościowym: próbki klejów – badaniom wytrzymałości na ściskanie (DIN EN 196-1), a próbki połączeń klejowych – badaniom wytrzymałości na ścinanie (DIN EN 1465). Na podstawie uzyskanych wyników badań wytrzymałościowych stwierdzono, że największym odkształceniem charakteryzowały się próbki kleju Epidian 57/PAC/100:100, a najmniejszym – kleju Epidian 5/PAC/100:100. Najwyższą wytrzymałość uzyskano dla połączeń klejowych, wykonanych z użyciem kleju Epidian 57/PAC/100:80. Najlepsze wyniki uzyskano w przypadku połączeń klejowych wykonanych z użyciem kleju Epidian 5/PAC/100:80.

**Słowa kluczowe:** wytrzymałość, klej epoksydowy, żywica epoksydowa, utwardzacz, połączenie klejowe, wytrzymałość

### THE STRENGTH AND DEFORMABILITY OF SELECTED EPOXY COMPOUNDS, DURING IN THE TEST OF STEEL SHEETS LAP JOINTS

**Abstract:** The article presents the issues related to the determination of the strength of adhesives in cured state and the bonded joints strength of stainless steel sheets which were made using the preparing the epoxy adhesives. Three types of epoxy resin: Epidian 5, Epidian 53 and Epidian 57 were used to preparing the samples of adhesives in cured state. The epoxy resins were mixed with PAC hardener. The quantitative ratio of resin to hardener was: 100:80 and 100:100. The epoxy adhesives were used to making the single-lap bonded joints of C45 stainless steel sheets. Both types of samples were subjected to strength tests: samples of adhesives - the compressive strength tests (DIN EN 196-1) and the samples of the bonded joints - the shear strength tests (DIN EN 1465). On the basis of the results of strength tests can be stated that the greatest deformation occurred for samples of Epidian 57/PAC/100:100 adhesive, and the smallest for the Epidian 5/PAC/100:100 adhesive. The highest strength was obtained for the bonded joints of C45 stainless steel sheets made with Epidian 57/PAC/100:80 and the smallest for adhesive joints made with the adhesive Epidian 5/PAC/100: 80.

**Keywords:** strength, epoxy adhesive, epoxy resin, hardener, bonded joint

## 1. WPROWADZENIE

Połączenia klejowe zaliczane są do grupy połączeń spajanych nierozłącznych. Kleje mają zastosowanie nie tylko w łączeniu elementów, ale często wykorzystanie kleju ma na celu uszczelnienia

różnych elementów np. połączeń gwintowych. Kleje wykorzystuje się również do regeneracji oraz napraw m.in. do usuwania nieszczelności przewodów gazowych lub do usuwania przecieków w różnych zbiornikach. Uzyskanie połączeń klejowych o odpowiedniej wytrzymałości

ści w danych warunkach eksploatacji wymaga przeprowadzenia szeregu badań i prób. Zależne jest to m.in. od właściwości kleju zastosowanego do wykonania połączeń [1–3].

Ze względu na korzystne właściwości oraz duże możliwości przetwórcze, żywice epoksydowe znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu [4,5]. Polarny ich charakter decyduje o bardzo dobrej przyczepności żywic epoksydowych do wielu materiałów [6]. Żywice epoksydowe dzięki swoim charakterystycznym właściwościom są zaliczane do grupy najlepszych materiałów adhezyjnych. Kleje epoksydowe odznaczają się lepszymi właściwościami niż większość innych spoiw ze względu na bardzo dobrą adhezję i odporność chemiczną [6,7]. Duża różnorodność żywic oraz utwardzaczy, a także możliwości modyfikowania właściwości klejów epoksydowych pozwalają na wybór kompozycji najodpowiedniejszej do łączonego materiału oraz do warunków eksploatacji [8–11]. Kleje epoksydowe stosowane są w wielu dziedzinach do łączenia różnorodnych materiałów, przy czym są wykorzystywane do wykonywania połączeń zarówno takich samych materiałów, jak i różnorodnych [12–14]. O skuteczności procesu klejenia decyduje zarówno wybór odpowiedniego

rodzaju kompozycji klejowej, jak i właściwe przygotowanie powierzchni łączonych materiałów, a także prawidłowe opracowanie całego procesu technologicznego klejenia [15–17].

Celem pracy jest określenie wytrzymałości na ściskanie wybranych klejów epoksydowych oraz wytrzymałości na ścinanie połączeń klejowych blach stalowych, wykonanych za pomocą badanych klejów epoksydowych, z określeniem wpływu rodzaju kleju na wytrzymałość tych połączeń.

## 2. METODYKA BADAŃ

### 2.1. CHARAKTERYSTYKA KLEJÓW EPOKSYDOWYCH

Do wykonania próbek klejów w stanie utwardzonym wykorzystano trzy rodzaje klejów epoksydowych zawierających trzy rodzaje żywic epoksydowych: Epidian 5, Epidian 53 oraz Epidian 57 (tabela 1) oraz utwardzacz PAC. Poszczególne żywice mieszane były z utwardzaczem PAC w stosunku 100:100 oraz 100:80, uzyskując po dwa warianty dla każdego rodzaju kleju; oznaczenia badanych klejów zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 1. Wybrane właściwości badanych żywic epoksydowych [18]

Table 1. Selected properties of tested epoxy resins [18]

Właściwości	ŻYWICA EPOKSYDOWA		
	Epidian 5	Epidian 53	Epidian 57
Lepkość (mPas) 25 °C	max. 30000	900–1500	13000–19000
Gęstość (g/cm <sup>3</sup> ) 20 °C	1,17	1,11–1,15	1,14–1,17
Liczba epoksydowa	0,49–0,52	0,41	0,40

Tabela 2. Oznaczenia klejów

Table 2. Designations of adhesives

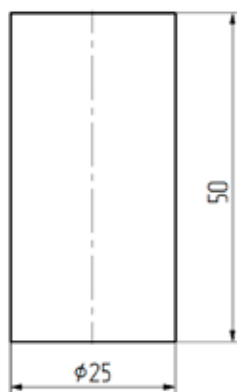
L.p.	Żywica epoksydowa	Utwardzacz	Stosunek ilościowy	Oznaczenie
1.	Epidian 5	PAC	100:100	Epidian5/PAC/100:100
2.			100:80	Epidian5/PAC/100:80
3.	Epidian 53		100:100	Epidian53/PAC/100:100
4.			100:80	Epidian53/PAC/100:80
5.	Epidian 57		100:100	Epidian57/PAC/100:100
6.			100:80	Epidian57/PAC/100:80

Epidian 5 to niemodyfikowana żywica epoksydowa na bazie bisfenolu A [6]. W postaci nieutwardzonej jest to tworzywo plastyczne, po dodaniu utwardzacza np. PAC staje się twarde o wysokiej udarności, lecz o mniejszej wytrzymałości na zginanie i ściskanie. Epidian 53 i 57 są to modyfikowane żywice epoksydowe, których bazą chemiczną jest żywica epoksydowa Epidian 5 [6]. Epidian 53 charakteryzuje mała lepkość, średnia reaktywność oraz bardzo dobre właściwości elektroizolacyjne. Żywica 53 jest wykorzystywana do produkcji laminatów, jako masa zalewowa w elektronice oraz do sporzą-

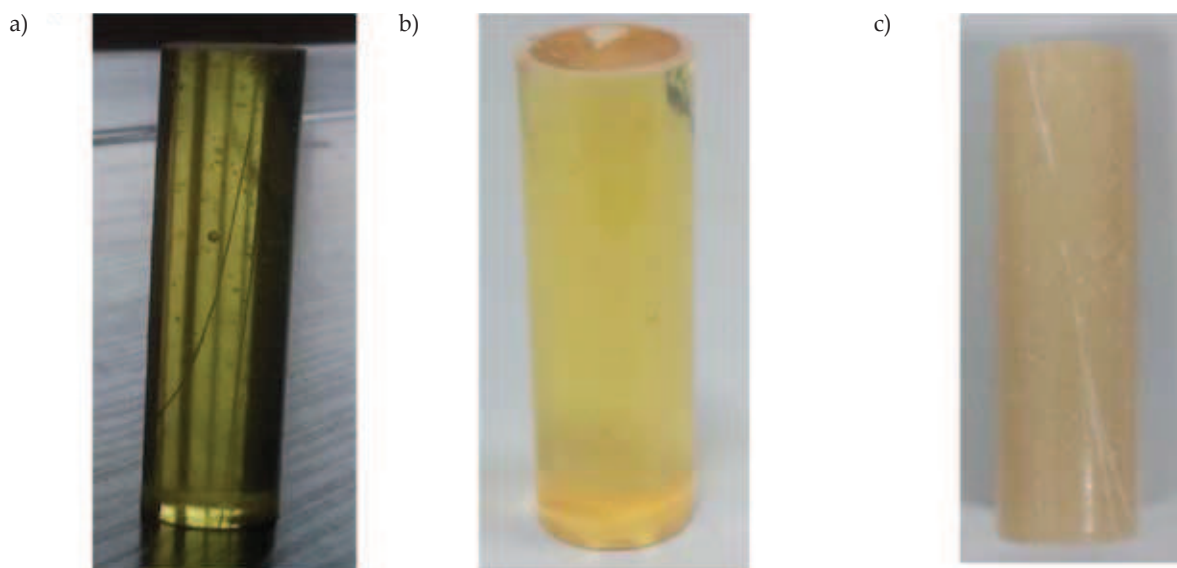
dzenia kleju utwardzanego na zimno, wykorzystywanego do łączenia metali, szkła, ceramiki. Żywica epoksydowa Epidian 57 cechuje się dużą odpornością na oddzieranie (po utwardzeniu). Stosowana jest do przygotowania klejów do łączenia metali, szkła, ceramiki, skóry, a także termoutwardzalnych tworzyw polimerowych.

## 2.2. PRÓBKI KLEJÓW W STANIE UTWARDZONYM

Do pierwszego etapu badań wytrzymałościowych przygotowano próbki walcowe poszcze-



Rys. 1. Wymiary próbek klejów w stanie utwardzonym  
Fig. 1. Dimension of adhesives samples in cured state



Rys. 2. Próbki klejów w stanie utwardzonym: a) Epidian 5/PAC/100:80, b) Epidian 53/PAC/100:80, c) Epidian 57/PAC/100:80

Fig. 2. Adhesives samples in cured state: a) Epidian 5/PAC/100:80, b) Epidian 53/PAC/100:80, c) Epidian 57/PAC/100:80

gólnych rodzajów kleju w stanie utwardzonym (tabela 2). Próbkę wykonano w temperaturze wynoszącej  $28 \pm 2^\circ\text{C}$  oraz przy wilgotność względnej powietrza 30–32%, a czas utwardzania wyniósł 7 dni. Wymiary próbek walcowych kleju w stanie utwardzonym przedstawiono na rys. 1, natomiast przykładowe próbki klejów zamieszczono na rys. 2.

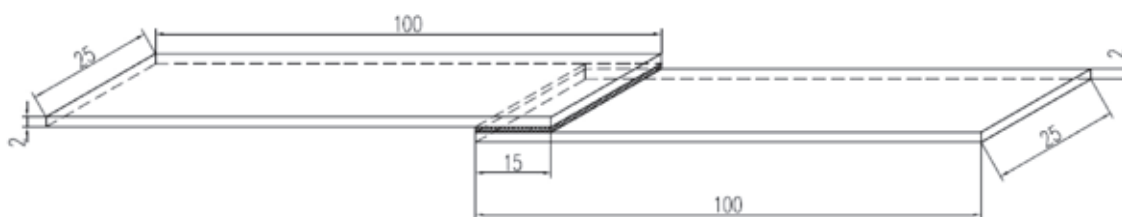
Po procesie utwardzania próbki poddano badaniom wytrzymałości na ściskanie zgodnie z normą DIN EN 196–1, na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell 150. Podczas próby wytrzymałościowej siła wstępna wynosiła 10 N, prędkość trawersu 10 mm/min, a maksymalne odkształcenie przyjęto na poziomie 15%.

### 2.3. CHARAKTERYSTYKA POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Do klejenia wykorzystano próbki wykonane z blachy stalowej ze stali C45 o grubości 2 mm, długości 100 mm i szerokości 25 mm. Kształt oraz wymiary badanych próbek przedstawiono na rys. 3. Długość zakładki połączeń klejowych przyjęto 15 mm, natomiast po wykonaniu połą-

czeń zakres uzyskanych długości wyniósł: 15,44 ( $\pm 0,86$ ) mm do 17,04 ( $\pm 0,90$ ) mm.

W celu przygotowania powierzchni do procesu klejenia zastosowano obróbkę mechaniczną oraz odłuszczenie powierzchni. Obróbkę mechaniczną zrealizowano z zastosowaniem papieru ściernego P800, wykonując 30 ruchów okrężnych na każdej próbce. Do odłuszczenia powierzchni po obróbce mechanicznej wykorzystano środek odłuszcający Loctite 7063. Odłuszczenie wykonano zgodnie z procedurą opisaną w pracy [12]. Po przygotowaniu powierzchni próbek przystąpiono do procesu łączenia, które wykonano w temperaturze  $26 \pm 2^\circ\text{C}$  oraz wilgotność względnej powietrza wynoszącej 30–32% z użyciem 6 rodzajów klejów zaprezentowanych w tabeli 2. Po nałożeniu kleju próbki poddano obciążeniu odważnikiem o masie 1,5 kg. Utwardzanie przeprowadzono jednostopniowo w temperaturze otoczenia ( $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ) w czasie 7 dni. Przykładowe zdjęcie połączenia klejowego po utwardzeniu przedstawiono na rys. 4. Uzyskane wymiary grubości spoiny klejowej po procesie utwardzania zamieszczono w tabeli 3.



Rys. 3. Schemat połączenia klejowego jednozakładkowego

Fig. 3. Scheme of single-lap bonded joints



Rys. 4. Przykładowe połączenie klejowe

Fig. 4. The example of bonded joint

Tabela 3. Grubość spoiny klejowej wykonanych połączeń klejowych

Table 2. Bonded joints adhesive layer thickness

L.p.	Oznaczenie	Grubość spoiny klejowej [mm]
1.	Epidian5/PAC/100:100	0,55 ( $\pm$ 0,12)
2.	Epidian5/PAC/100:80	0,52 ( $\pm$ 0,10)
3.	Epidian53/PAC/100:100	0,32 ( $\pm$ 0,05)
4.	Epidian53/PAC/100:80	0,53 ( $\pm$ 0,18)
5.	Epidian57/PAC/100:100	0,36 ( $\pm$ 0,08)
6.	Epidian57/PAC/100:80	0,22 ( $\pm$ 0,08)

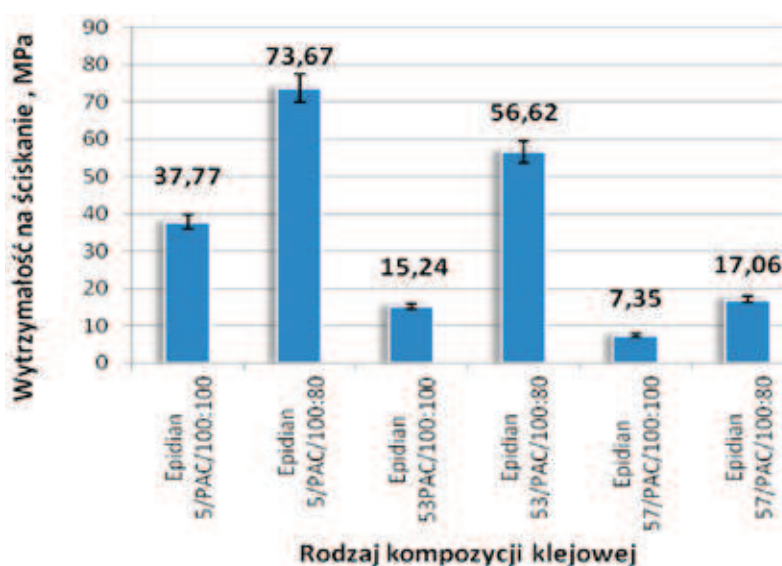
Wykonano 6 serii połączeń klejowych po 10 próbek, które po procesie utwardzania poddano badaniom wytrzymałości na ścinanie (zgodnie z normą DIN EN 1465) na maszynie wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150. Prędkość próby wynosiła 5 mm/min.

### 3. WYNIKI BADAŃ WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

#### 3.1. WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE KLEJÓW

Zestawienie wyników wytrzymałości na ściskanie próbek walcowych klejów w stanie utwardzonym przedstawiono na wykresach poniżej (rys. 5 i rys. 6).

Największą wytrzymałość na ściskanie uzyskano w przypadku próbek kleju Epidian 5/PAC/100:80 i wynosi ona 73,67 MPa, najmniejszą zaś dla kleju Epidian 57/PAC/100:100 – 7,35 MPa, to jest 10-krotnie mniej od największej wartości. Zauważono, że większą wytrzymałość na ściskanie otrzymano w przypadku zastosowania mniejszego udziału procentowego utwardzacza w stosunku do żywicy epoksydowej i dotyczy to wszystkich badanych klejów epoksydowych. Różnica pomiędzy wytrzymałością na ściskanie kompozycji klejowych o większym udziale procentowym utwardzacza PAC (100:100) w odniesieniu do kompozycji o mniejszym udziale (100:80) wynosi odpowiednio, dla kleju zawierającego żywicę: Epidian 5 – 51%, żywicę Epidian 53 – 27% oraz żywicę Epidian 57 – 43%.

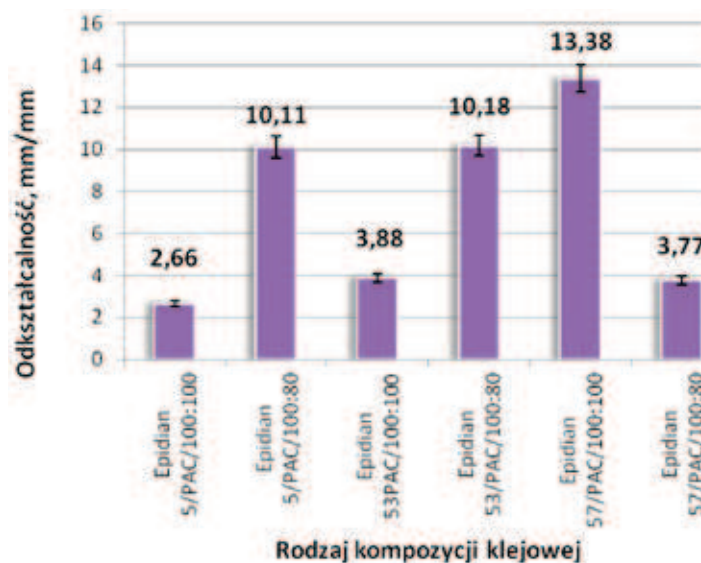


Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie kompozycji klejowych epoksydowych

Fig. 5. Compressive strength of epoxy adhesives compounds

Na tej podstawie można wnioskować, że większą wytrzymałością na ściskanie odznaczają się kleje zawierające mniejszą ilość utwardzacza, oraz, że dodatek utwardzacza w takiej samej ilości jak żywicy powoduje spadek niekiedy o ponad 50% wartości wytrzymałości na ściskanie. Ponadto zauważono, że na uzyskane wyniki ma także wpływ rodzaj zastosowanej żywicy, jako składnika kleju, przy takim samym rodzaju utwardzacza.

ność próbki jest czterokrotnie mniejsze w przypadku równej proporcji kleju i utwardzacza. Dla żywicy Epidian 53/PAC/100:100 odkształcalność jest 60% mniejsza niż dla żywicy Epidian 53/PAC/100:80. Odwrotną sytuację można zaobserwować w przypadku żywicy Epidian 57/PAC/100:100, dla której zmniejszenie ilości utwardzacza w stosunku do ilości kleju (Epidian 57/PAC/100:80) spowodowało zmniejszenie odkształcalności próbki o 70%.



Rys. 6. Odkształcalność próbek kompozycji klejowych epoksydowych

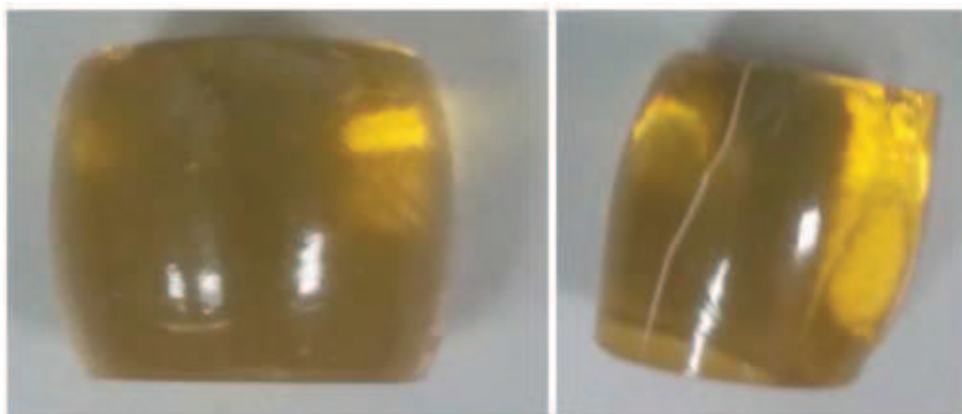
Fig. 6. Deformability of epoxy adhesives compounds samples

Największą odkształcalność próbki (13,38 mm/mm) uzyskano przy sile 2308 N, w próbach wytrzymałościowych na próbce kleju w stanie utwardzonym Epidian 57/PAC/100:100, czyli kleju mającego najmniejszą wytrzymałość na ściskanie. Najmniejszą odkształcalność (2,66 mm/mm) uzyskano z zastosowaniem siły ściskającej 11860 N dla kleju Epidian 5/PAC/100:100. Oprócz kleju zawierającego w składzie żywicę epoksydową Epidian 57, zauważono podobne relacje w wartościach odkształcenia, jak dla wytrzymałości na ściskanie analizowanych klejów epoksydowych, czyli większe odkształcenie zaobserwowano w przypadku klejów zawierających mniejszą zawartość utwardzacza w kompozycji klejowej.

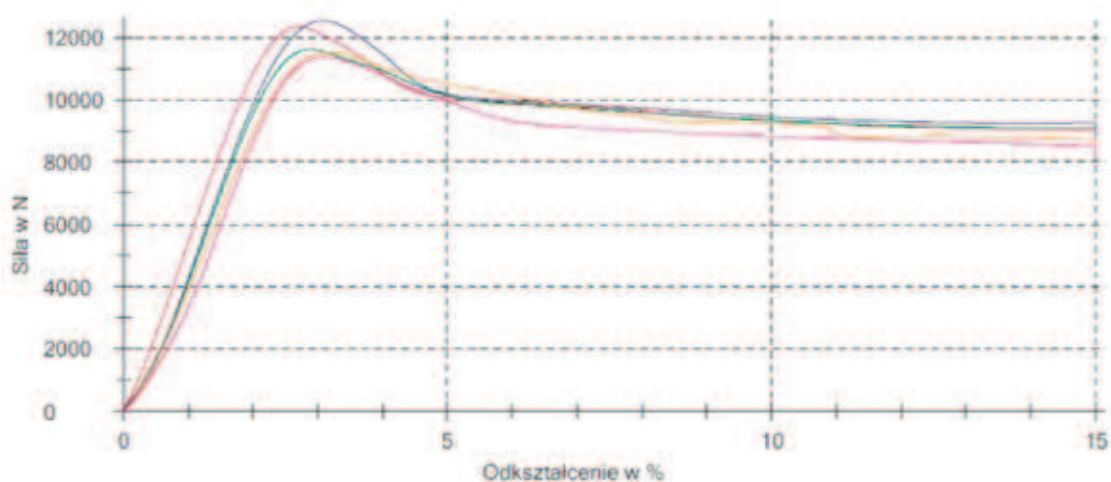
Porównując próbki kleju w stanie utwardzonym Epidian 5/PAC/100:100 i Epidian 5/PAC/100:80 zauważyć można, że odkształcal-

Warto zwrócić uwagę na fakt, że maksymalną odkształcalność próbki kleju w stanie utwardzonym Epidian 57/PAC/100:100 uzyskano przy najmniejszej z zastosowanych sił niszczących, tj. 2308 N, przy czym ta odkształcalność była największa ze wszystkich próbek. Oznacza to, że klej Epidian 57/PAC/100:100 charakteryzuje się większą elastycznością niż pozostałe badane kleje w stanie utwardzonym.

Wartości odchylenia standardowego od wartości średniej odkształcalności próbek kleju w stanie utwardzonym dla wszystkich analizowanych żywic epoksydowych są porównywalne i mają niewielkie wartości. Poszczególne wartości oscylują wokół wartości średnich. Przykładowe próbki kleju w stanie utwardzonym po próbie wytrzymałościowej przedstawiono na rys. 7. Po przekroczeniu granicy sprężystości poja-



Rys. 7. Próbkę kleju Epidian 53/PAC/100:80 po próbie wytrzymałościowej  
 Fig. 7. Epidian 53/PAC/100:80 epoxy adhesives sample after strength test



Rys. 8. Siła i odkształcenie próbek walcowych kleju Epidian 5/PAC/100:100  
 Fig. 8. Force and deformation of Epidian 5/PAC/100:100 epoxy adhesives samples

wiają się w próbce odkształcenia trwale. Próbkę spęcznia się, przyjmując kształt beczkowaty. Na rys. 8 przedstawiono przykładowy wykres z próby ściskania próbek walcowych.

Powyższy wykres przedstawia wyniki z prób ściskania próbek walcowych kleju Epidian 5/PAC/100:100 w stanie utwardzonym. We wszystkich próbach uzyskano maksymalne odkształcenie równe ok. 3% przy sile 1100÷1200 N.

### 3.2. WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych w zależności od użytego kleju zaprezentowano na rys. 9.

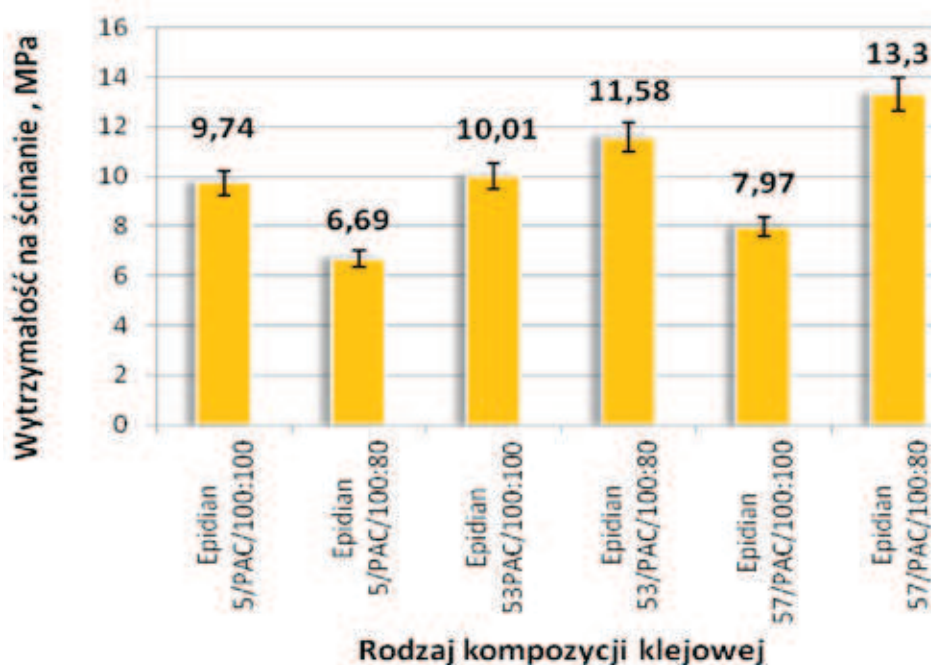
Opierając się na wynikach prób wytrzymałościowych połączeń klejowych wykonanych przy użyciu kleju Epidian 53/PAC/100:80

oraz Epidian 57/PAC/100:80 można zauważyć, że w przypadku zastosowania mniejszej ilości utwardzacza w stosunku do ilości użytego kleju, wytrzymałość połączeń klejowych jest większa, aniżeli w przypadku zastosowania kleju i utwardzacza w proporcji 1:1. W przypadku połączenia klejowego wykonanego z użyciem kleju Epidian 57/PAC/100:100 wytrzymałość ta stanowi 50% wytrzymałości połączenia klejowego wykonanego z użyciem kleju Epidian 57/PAC/100:80. Odwrotnie jest w przypadku kleju Epidian 5/PAC/100:100. Wytrzymałość połączenia klejowego wykonanego z użyciem

(13,3 MPa) wykonanego z użyciem kleju Epidian 57/PAC/100:80 grubość warstwy kleju była najmniejsza (0,22 mm), zaś dla połączeń klejowych o mniejszej wytrzymałości grubości warstwy kleju były większe (około 0,5 mm).

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Wymienione badania dotyczyły określenia wpływu rodzaju kleju na wytrzymałość na ściskanie klejów w stanie utwardzonym oraz wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych blach stalowych. Badaniom wytrzymałości-



Rys. 9. Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych wykonanych przy użyciu różnych rodzajów klejów epoksydowych

Fig. 9. Shear strength of bonded joints made with various types of epoxy adhesives

kleju Epidian 5/PAC/100:80 wynosi 6,69 MPa, co stanowi 60% wytrzymałości połączenia klejowego wykonanego z użyciem kleju Epidian 5/PAC/100:100.

Warto również zauważyć, że dla najbardziej wytrzymałego połączenia klejowego

wym poddano próbki klejów w stanie utwardzonym wykonanych z trzech rodzajów klejów epoksydowych przygotowanych z żywic epoksydowych: Epidian 5, Epidian 53 oraz Epidian 57 i utwardzacza PAC w różnych stosunkach stechiometrycznych, uzyskując 6 wariantów



klejów epoksydowych. Druga część badań dotyczyła połączeń klejowych blach ze stali C45, połączonych 6 analizowanymi wariantami klejów epoksydowych.

Na podstawie otrzymanych rezultatów badań klejów w stanie utwardzonym można stwierdzić, że większą wytrzymałością na ściskanie odznaczają się kleje zawierające mniejszą ilość utwardzacza. Największe odkształcenie miało miejsce dla próbek kleju Epidian 57/PAC/100:100, a najmniejsze dla kleju Epidian 5/PAC/100:100. Dla kleju Epidian 57/PAC/100:80 zmniejszenie udziału utwardzacza w masie klejowej na 100:80 powoduje kilkukrotne zmniejszenie odkształcenia próbki. Inaczej jest dla klejów Epidian 5/PAC/100:100 i Epidian 53/PAC/100:100, dla których odkształcenie jest trzy, cztery – razy mniejsze przy zastosowaniu proporcji 100:100. Biorąc pod uwagę analizę wytrzymałości na ściskanie oraz fakt, że żadna z próbek nie uległa całkowitemu zniszczeniu można stwierdzić, iż badane kleje są elastyczne. Uzależnione jest to od zastosowanego utwardzacza PAC, którego główną zaletą jest wzrost elastyczności i udarności masy klejowej, w porównaniu do innych rodzajów utwardzaczy (np. Z1). Dlatego też jego stosowanie jest rekomendowane w przypadku łączenia elementów lub wykonywania elementów z tworzyw epoksydowych w stanie utwardzonym, podatnych na odkształcenia. Ponadto zauważono, że na uzyskane wyniki ma także wpływ rodzaj zastosowanej żywicy, jako składnika kleju przy takim samym rodzaju utwardzacza.

Zauważono, że rodzaj użytego kleju oraz ilość dodanego utwardzacza ma istotny wpływ na wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych. Najwyższą wytrzymałość uzyskano dla połączeń klejowych wykonanych z użyciem kleju Epidian 57/PAC/100:80. Najsłabsze wyniki uzyskano dla połączeń klejowych przygotowa-

nych przy użyciu kleju Epidian 5/PAC/100:80. Dla żywic Epidian 53/PAC/100:80 i Epidian 57/PAC/100:80 zauważyć można wzrost wytrzymałości połączeń klejowych, przy zmniejszeniu udziału procentowego utwardzacza w masie klejowej (100:80).

Porównując wytrzymałość połączeń klejowych i grubość warstwy kleju zauważyć można pewną zależność. Mianowicie, im spoina klejowa ma mniejszą grubość, tym wytrzymałość połączenia jest większa. Połączenie klejowe przygotowane z użyciem kleju Epidian 57/PAC/100:80 uzyskało największą wytrzymałość przy najcieńszej grubości spoiny klejowej. Zastosowanie kleju Epidian 5/PAC/100:80 pozwoliło na uzyskanie najmniejszej wytrzymałości na ścinanie połączenia klejowego, przy jednocześnie najgrubszej warstwie kleju.

Podsumowując zauważono, że zarówno rodzaj żywicy, jak i ilość utwardzacza w kompozycji klejowej (mieszczącej się w granicach zalecanego stosunku stechiometrycznego) wywiera istotny wpływ zarówno na właściwości mechaniczne samego kleju (w stanie utwardzonym), jak i na wytrzymałość połączeń klejowych wykonanych za pomocą analizowanych rodzajów klejów. Z tego względu konieczna jest analiza wymagań dotyczących zarówno wytrzymałościowych samego kleju, jak i połączeń klejowych, która pozwoli na jak najlepsze dobranie rodzaju kleju, w celu uzyskania pożądanej wytrzymałości i elastyczności, w zależności od zastosowań,

## LITERATURA

1. Cagle Ch. V.: *Kleje i klejenie. Poradnik inżyniera i technika*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1977.
2. Czaplicki J., Ćwikliński J., Godzimirski J., Konar P.: *Klejenie tworzyw konstrukcyjnych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.

3. Brockmann W., Geiß P.L., Klingens J., Schröder B.: *Adhesive bonding. Materials, Applications and Technology*. Wiley-Vch Press, Weinheim, Germany 2009.
  4. Lee H.L., Neville H.: *Handbook of Epoxy Resins*. McGraw-Hill, New York 1988.
  5. Prolongo S.G., del Rosario G., Ureña A.: *Comparative study on the adhesive properties of different epoxy resins*. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2006, 26, 125–132.
  6. Czub P., Bończa-Tomaszewski Z., Penczek P., Pielichowski J.: *Chemia i technologia żywic epoksydowych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
  7. May C.A.: *Epoxy Resins, Chemistry and Technology*. Marcel Dekker, New York, 1988.
  8. Gladkikh S., Kolobova V., Kuznetsova L.: *Fast-curing adhesive compositions based on modified epoxy resins*. Polymer Science Series C, 2007, 49, 193–194.
  9. Czub P., Franek I.: *Epoxy resin modified with palm oil derivatives – preparation and properties*. Polimery 2013, 58, 135–139.
  10. Czaderski Ch., Martinelli E., Michels J., Motavalli M.: *Effect of curing conditions on strength development in an epoxy resin for structural strengthening*. Composites: Part B 2012, 43, 398–410.
  11. Rudawska A., Czarnota M.: *Selected aspects of epoxy adhesive compositions curing process*. Journal of Adhesion Science and Technology, 2013, 27, 1933–1950.
  12. Rudawska A.: *Dobór rodzaju kleju w aspekcie wytrzymałości połączeń klejowych blach ocynkowanych*. Technologia i Automatyza Montażu, 2005, 1, 28–29.
  13. Kałuża M., Hulimka J., Kubica J.: *Effectiveness of adhesive CFRP/steel joints – double-lap static tests*. Processing International Symposium “Brittle Matrix Composites 11”, A.M. Brandt, J. Olek, M.A. Glinicki, C.K.Y. Leung, J. Lis, eds. Warsaw, September 28–30, 2015, 479–488.
  14. Kałuża M., Hulimka J.: *Methacrylate adhesives to create CFRP laminate-steel joints – preliminary static and fatigue tests*. Procedia Engineering 2017, 172, 489–496.
  15. Fitton M.D., Broughton J.G.: *Variable modulus adhesives: an approach to optimized joint performance*. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2005, 25, 329–336.
  16. Rudawska A., Cimek E.: *Wpływ rodzaju kleju na wytrzymałość połączeń klejowych poliamidu PA6*. Przetwórstwo Tworzyw, 2011, 3, 198–202.
  17. Rudawska A., Kowalska B., Kubicki P.: *Wytrzymałość połączeń klejowych polimerów, wykonanych za pomocą wybranych klejów sztywnych i elastycznych*. Przetwórstwo Tworzyw, 2015, 4, 343–348.
  18. <http://www.zch.sarzynna.pl/epoksydy/utwardzacze.html>, (16.02.2017)
- Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 03–03–2017  
Data akceptacji publikacji do druku: 27–03–2017