

Anna RUDAWSKA¹, Beata KOWALSKA², Paweł KUBICKI³

¹ dr hab. inż. Anna Rudawska, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: a.rudawska@pollub.pl

² dr hab. inż. Beata Kowalska, prof. PL, Wydział Inżynierii Środowiska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, e-mail: b.kowalska@pollub.pl

³ mgr inż. Paweł Kubicki, absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej

Wytrzymałość połączeń klejowych polimerów, wykonanych za pomocą wybranych klejów sztywnych i elastycznych

Streszczenie: Przedmiotem niniejszej pracy są połączenia klejowe polietylenu PE-HD 500 oraz poliamidu PA 6, wykonane przy użyciu różnych klejów cyjanoakrylowych typu: Monolith CE 40, Monolith CS 40 oraz Monolith CP 40, dzięki którym istnieje możliwość otrzymania odpowiednio spoin sztywnych, elastycznych oraz spoin o właściwościach pośrednich. Celem przeprowadzonych badań była analiza porównawcza wytrzymałości połączeń klejowych, których spoiny charakteryzują się różnymi właściwościami oraz określenie, który klej wykazuje najbardziej korzystne cechy odpowiednie do łączenia wybranych tworzyw polimerowych. Na podstawie wyników eksperymentu zauważono, że klej elastyczny Monolith CP 40 jest skuteczniejszy pod względem wytrzymałości do wykonania połączeń klejowych poliamidu PA6, natomiast zastosowanie kleju uniwersalnego Monolith CS 40 jest korzystne dla połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, klej, polietylen, poliamid

THE STRENGTH OF ADHESIVE JOINTS POLYMERS MADE WITH SELECTED RIGID AND FLEXIBLE ADHESIVES

Abstract: The subject of this paper is adhesive joints of PE-HD 500 and polyamide PA 6, made using a variety of cyanoacrylate adhesives such as: CE 40 Monolith, CS 40 Monolith and CP 40 Monolith. The use of these adhesives allows obtaining suitably rigid, flexible and intermediates properties of adhesive layer joints. The aim of this study was to analyze the comparative strength of adhesive joints, which the adhesive layer is characterized by different properties, and determines which adhesive are characteristics the most advantageous properties suitable joining selected polymeric materials. Based on the results of the experiment it was observed that the Monolith CP 40 flexible adhesive is effective in respective of strength to make adhesive joints of PA6 polyamide, while the use of Monolith CS 40 universal adhesive is suitable for adhesive joints PE-HD 500 adhesive joints.

Keywords: adhesive joint, adhesive, polyethylene, polyimide

1. Wprowadzenie

Podczas wykonywania połączeń klejowych jednym z ważniejszych czynników technologicznych jest rodzaj kleju [1-3]. Dobór właściwości spoin klejowych jest niezwykle istotny ze względu na warunki eksploatacyjne [1,4,5]. Właściwości klejów cyjanoakrylowych przyczyniają się do szerokiego zakresu zastosowań tychże klejów w połączeniach różnorodnych materiałów np.: metale, tworzywa termoplastyczne, szkło, guma, papier, ceramika. Ze względu na właściwości, klej cyjanoakrylowy jest zalecanym klejem do wykonywania połączeń tworzyw polimerowych [1,6-8].

Kleje cyjanoakrylowe występują w postaci bezbarwnej, przezroczystej cieczy o małej lepkości, zawierającej cząsteczki monomeru cyjanoakrylanu. Kleje te nie wymagają dodatku katalizatora, a ich utwardzanie odbywa się pod wpływem małej wilgotności względnej powietrza. Utwardzanie spoiny polega na zachodzącej ze znaczną prędkością reakcji polimeryzacji. Czas wiązania jest uzależniony od kilku czynników [6,8]:

- ilości kleju,
- temperatury otoczenia,
- wilgotności powietrza,

— siły docisku, która zazwyczaj jest wymagana (rzędu 100 kPa).

Przy odpowiednich warunkach utwardzanie kleju może nastąpić już po kilku sekundach. Niezbędny docisk może trwać również krótko, czyli kilka sekund, ale w niektórych przypadkach może dochodzić nawet do kilku minut. Po tym czasie spoina uzyskuje 70-80% swojej wytrzymałości, a po kilkudziesięciu godzinach wytrzymałość spoiny wzrasta do maksymalnej wartości, uzależnionej od rodzaju materiału sklejanego. Klej po utwardzeniu jest bezbarwny i przezroczysty, a jego współczynnik załamania światła zbliżony jest do współczynnika załamania światła szkła.

Rozróżnia się następujące kleje cyjanoakrylowe [6,9]:

- cyjanoakrylany etylowe,
- cyjanoakrylany metylowe,
- cyjanoakrylany alkoksyetylowe,
- cyjanoakrylany butylowe,
- cyjanoakrylany propylowe.

Cyjanoakrylany wykazują doskonałą odporność chemiczną na większość olejów i rozpuszczalników, w tym oleju silnikowego, benzyny ołowiowej, etanolu, propanolu i freonu. Spoina klejowa cyjanoakrylanu nie jest odporna na długotrwałe działanie wysokiego poziomu wilgoci i wilgotności powietrza.

Zastosowanie w badaniach polietylenu PE-HD 500 jest uwarunkowane jego szerokim wykorzystaniem w nowoczesnym przemyśle maszynowym oraz jego licznymi zaletami: mechanicznymi, plastycznymi, chemicznymi i termicznymi [10,11].

Drugim wybranym do badań tworzywem polimerowym jest poliamid PA 6, który ma podwyższoną odporność mechaniczną, a jego właściwości prowadzą do zastosowań w budowie podzespołów elementów konstrukcyjnych maszyn np.: kół zębatach oraz innych elementów (np. rury ciśnieniowe do cieczy, sztuczne kości i ścięgna) [10,11]. Do negatywnych cech tego tworzywa zalicza się jego dużą higroskopijność (nawet ponad 10%) [12].

2. Metodyka badań

2.1. Kleje cyjanoakrylowe

W badaniach wykorzystano trzy rodzaje klejów cyjanoakrylowych o oznaczeniach (rys.1):



Rys. 1. Pojemniki z klejami cyjanoakrylowymi (rodzaje według oznaczeń na opakowaniach)

Fig. 1. Containers with cyanoacrylate adhesives (types of markings on the packaging)

- Monolith CE-40 sztywny,
- Monolith CS-40 uniwersalny,
- Monolith CP-40 elastyczny.

Charakterystykę poszczególnych rodzajów klejów opisano w tabeli 1.

Karty charakterystyki klejów cyjanoakrylowych użytych do badań doświadczalnych zostały uzyskane od właściciela firmy „Inter Globus” Sp. z o.o. producenta klejów.

2.2. Połączenia klejowe

W badaniach wykorzystane zostały połączenia klejowe jednozakładkowe polietylenu PE-HD 500 oraz poliamidu PA6, obciążone siłą ścinającą (rys. 2), wykonane z użyciem wybranych klejów cyjanoakrylowych. W każdym wariantcie połączeń klejowych wykonano po 7-9 próbek. Próbkę o wymiarach (60 × 20 mm) wycięto z tworzywa w postaci płyty o wymiarach 1000 × 2000 × 2 mm. Cięcie próbek wykonano za pomocą piły tarczowej do tworzyw sztucznych z węglików spiekanych na przecinarce stołowej.

Kształt połączeń klejowych zakładkowych próbek polietylenu i poliamidu została przedstawiona na rys 3, na którym umieszczono główne wymiary gabarytowe w mm: grubość (g1, g2), długość płytki (l1, l2), szerokość próbki (b).

Wymiary połączeń klejowych były następujące:

- grubość próbek g1, g2 = 2,07 mm;
- szerokość próbek b = 20 mm;
- długość próbek l1, l2 = 60 mm.

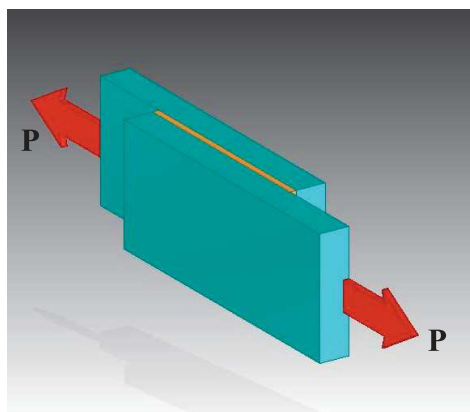
Pozostałe wymiary uzyskanych połączeń klejowych polietylenu oraz poliamidu, wykonanych trzema rodzajami klejów zamieszczono w tabeli 2.

Połączenia klejowe wykonane zostały w temperaturze otoczenia 24±2°C, przy wilgotności względnej powietrza 39±2%. Sklejone próbki do rozpoczęcia badań wytrzymałościowych, były sezonowane przez okres siedmiu dni (168 godzin) w temperaturze 22±2°C i wilgotności względnej powietrza 38±2%.

Tabela 1. Opis klejów wykorzystanych w badaniach

Table 1. Description of adhesives used in tests

Lp.	Oznaczenie kleju	Właściwości
1	Monolith CE-40	Jest to klej o szerokim zastosowaniu wśród różnorodnych materiałów, w których wymagana jest duża szybkość utwardzania. Jest to klej o wysokiej wytrzymałości. Zalecany jest do stosowania w zespołach montażowych części o gładkich powierzchniach. Kleje cyjanoakrylowe wymagają wilgoci na powierzchni podłoża w celu rozpoczęcia procesu sieciowania. Szybkość utwardzania zmniejsza się w warunkach niskiej wilgotności. Niska temperatura ma również znaczący wpływ i powoduje zmniejszenie szybkości utwardzania.
2	Monolith CS-40	Jest to klej o stężeniu cyjanoakrylanu etylu powyżej 90%. Klej ten jest przeznaczony do klejenia bardzo szerokiej gamy materiałów porowatych. Głównie działa na kwaśne i porowate podłoża, na których inne cyjanoakrylany nie są skuteczne. W porównaniu do innych klejów cyjanoakrylowych nie wymaga dużej ilości wilgoci na klejonej powierzchni do szybkości utwardzania spoiny.
3	Monolith CP-40	Jest to klej o stężeniu cyjanoakrylanu etylu powyżej 84%. Jest to klej o średniej lepkości. Szybkość utwardzania cyjanoakrylanów zmienia się w zależności od podłoża, które mają być połączone. Klej nałożony pomiędzy powierzchnie tj. kwaśne skóry i papiery będzie miał dłuższy czas utwardzania, niż klej nałożony na powierzchnię większości tworzyw polimerowych i gumy.



Rys. 2. Połączenie klejowe jednozakładkowe: a) schemat obciążenia siłą ścinającą P (kierunek siły zgodnie ze strzałkami), b) widok wykonanych połączeń

Fig. 2. Single-lap adhesive joints: a) the shear load diagram P (force direction indicated by the arrows), b) view of adhesive joints

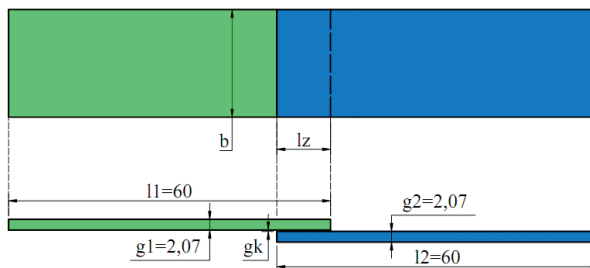
Tabela 2. Grubość spoiny klejowej oraz długość zakładki badanych połączeń klejowych

Table 2. The thickness of the adhesive layer and the length of adhesive joints overlap

Lp.	Oznaczenie kleju	Rodzaj łączonego materiału			
		Polietylen PE-HD 500		Poliamid PA6	
		gk, mm	lz, mm	gk, mm	lz, mm
1	Monolith CE-40	0,04	10,27	0,06	10,31
2	Monolith CS-40	0,06	10,55	0,07	10,57
3	Monolith CP-40	0,03	10,22	0,09	10,42

Wszystkie próbki z tworzyw polimerowych przeznaczone do klejenia oraz połączenia klejowe zostały przygotowane w następującej kolejności:

- weryfikacja jakościowa powierzchni łączonych elementów (płaskość, kontrola optyczna),



Rys. 3. Schemat połączeń klejowych próbek jednozakładkowych zastosowanych w badaniach doświadczalnych: g_1 , g_2 – grubość próbek, l_1 , l_2 – długość próbek, b – szerokość próbek (szerokość zakładki), g_k – grubość kleju, l_z – długość zakładki

Fig. 3. Schematic of adhesive joints samples used in experimental studies: g_1 , g_2 – the thickness of the samples, l_1 , l_2 – the length of the samples, b – width of the samples (overlap width), g_k – adhesive thickness, l_z – overlap length

- usunięcie zbędnych pozostałości na krawędziach próbek po obróbce cięcia,
- przygotowanie powierzchni elementów poprzez schropowacenie powierzchni za pomocą papieru ściernego P800,
- odtłuszczenie powierzchni za pomocą środka odtłuszczającego Loctite 7063,
- nałożenie kleju za pomocą łopatek z tworzywa polimerowego na powierzchnię jednego z klejonych elementów, rozprowadzenie oraz ustalenie łączonych elementów na odpowiednią długość zakładki,
- uzyskanie odpowiedniej siły docisku próbek podczas klejenia poprzez umieszczenie na powierzchni jednej próbki (górnej) wykonanego połączenia na długości zakładki, wyskalowanych na wadze elektronicznej odważników tworzących średnio wartość ciśnienia równą $p = 46$ Pa.

Na rys. 4 przedstawiono próbki połączeń klejowych, na których widoczne są wypływyki czolowe. Wypływyki uwarunkowane były nierównomierną ilością kleju, który został nałożony na sklepane powierzchnie oraz użyciem jednakowego nacisku. Zastosowana znaczna ilość kleju na



Rys. 4. Próbkę sklejone klejem cyjanoakrylowym Monolith CS-40, widok wypływyki kleju

Fig. 4. Samples bonded Monolith CS-40 cyanoacrylate adhesive, spew adhesive view

klejone powierzchnie ułatwiała poprawne ustawienie klejonych elementów, ale powodowała powstawanie wypływek. W przypadku zastosowania mniejszej ilości kleju pojawiały się niewielkie wypływy czołowe i boczne, kosztem nieliniowego ustawienia próbek, co przekłada się na znaczną szybkość utwardzenia tuż po złączeniu sklejanymi powierzchniami bez możliwości właściwego ustawienia sklejanymi próbek. Należy zaznaczyć, że zastosowane w badaniach kleje odznaczają się krótkim czasem ustalenia względem siebie łączonych elementów.

2.3. Badania wytrzymałościowe

Badania wytrzymałościowe zostały przeprowadzone na maszynie wytrzymałościowej Zwick Roell Z150, zgodnie z normą DIN EN 1465 [13]. Próbki połączeń klejowych zamocowano w uchwytach śrubowo-klinowych maszyny (rys. 5).



Rys. 5. Uchwyt mocujący maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell Z150 wraz z zamocowaną próbką przed jej zniszczeniem
Fig. 5. Clamping of Zwick/Roell Z150 strength test device with a fixed sample before its failure

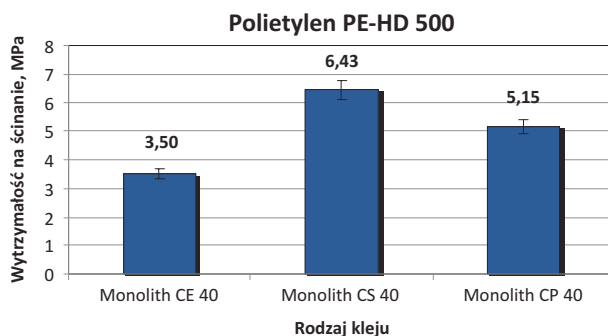
Badanie wytrzymałości na ścinanie wykonywano z prędkością 5 mm/min w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Wytrzymałość połączeń klejowych polietylenu

Na rys. 6 przedstawiono wyniki średnich arytmetycznych wytrzymałości na ścinanie przy rozciąganiu oraz siły maksymalnej połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500, sklejanymi klejami cyjanoakrylowymi: Monolith CE 40 (sztywny), Monolith CS 40 (uniwersalny) oraz Monolith CP 40 (elastyczny).

Na podstawie wyników zaprezentowanych na rys. 6 zauważono, że występują różnice w uzyskanej wytrzymałości połączeń klejowych polietylenu, wykonanych za pomocą trzech badanych rodzajów klejów. Największą wytrzymałość na ścinanie (6,43 MPa) uzyskano dla po-



Rys. 6. Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500 w zależności od rodzaju kleju Monolith

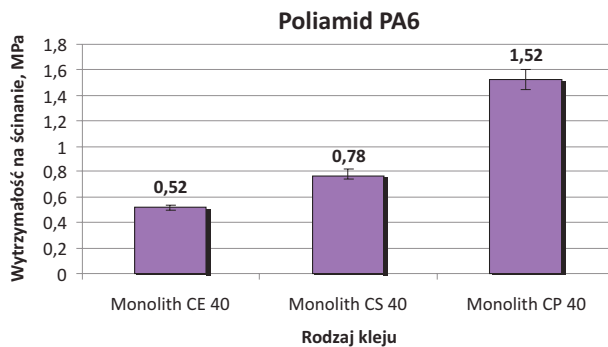
Fig. 6. The shear strength of PE-HD 500 polyethylene adhesive joints, depending on the type of Monolith adhesive

łączenia klejowego, wykonanego klejem Monolith CS 40 (uniwersalny), większą o 1,28 MPa od połączenia klejowego, wykonanego klejem Monolith CP 40 (elastyczny), przy którym uzyskano 5,15 MPa. Najniższą średnią wartość wytrzymałości na ścinanie otrzymano w przypadku połączenia klejowego wykonanego klejem Monolith CE 40 (sztywny) równą 3,50 MPa, co stanowi 54% największej wartości wytrzymałości.

3.2. Wytrzymałość połączeń klejowych poliamidu

Porównanie wyników dla połączeń klejowych jednozakładkowych poliamidu PA 6 sklejanymi trzema różnymi klejami cyjanoakrylowymi zostało zobrazowane na rys. 7. Wykresy słupkowe ilustrują średnie arytmetyczne wartości otrzymane z prób wytrzymałościowych.

Na podstawie zestawionych wyników można zauważyć, że połączenia klejowe wykonane z zastosowaniem kleju Monolith CP 40 osiągnęły największą wytrzymałość na ścinanie i uzyskały średnią wartość równą 1,52 MPa. Porównując otrzymane wyniki badań wytrzymałościowych połączeń klejowych poliamidu PA 6 najmniejszą wytrzymałość wykazały połączenia klejowe wykonane



Rys. 7. Wytrzymałość na ścinanie połączeń klejowych poliamidu PA6 w zależności od rodzaju kleju Monolith

Fig. 7. The shear strength of PA6 polyimide adhesive joints, depending on the type of Monolith adhesive

za pomocą kleju sztywnego Monolith CE 40 ze średnią wytrzymałością dla tego rodzaju połączeń stanowiącą 44% największej wytrzymałości połączeń wykonanych klejem elastycznym Monolith CP 40 (1,52 MPa).

3.3. Analiza wyników badań

Analizując średnie wartości uzyskane w badaniach wytrzymałościowych dla połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500 i poliamidu PA6 (rys. 6 i rys. 7) sformułowano następujące spostrzeżenia:

- dzięki użyciu kleju Monolith CS 40 (uniwersalnego) do wykonania połączeń klejowych polietylenu PE-HD uzyskano największą wytrzymałość na ścinanie (ze wszystkich rodzajów klejów) wynoszącą 6,43 MPa;
- największą wytrzymałość połączeń klejowych poliamidu PA6 uzyskano stosując klej Monolith CP 40 (elastyczny);
- klej sztywny Monolith CE 40 okazał się klejem najslabszym ze względu na wytrzymałość na ścinanie, ponieważ zarówno połączenia klejowe polietylenu PE-HD, jak i poliamidu PA6 uzyskały najmniejsze średnie wartości tej wielkości tj.: połączenia klejowe polietylenu osiągnęły wytrzymałość wynoszącą 3,50 MPa, a wytrzymałość połączeń klejowych poliamidu (0,52 MPa);
- na wytrzymałość połączeń klejowych wpływa zarówno rodzaj zastosowanego kleju, ale także rodzaj łączonych materiałów, chociaż kleje cyjanoakrylowe zalecane są do łączenia tworzyw polimerowych.

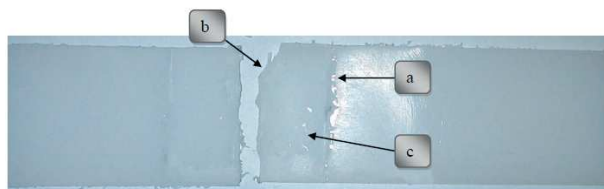
W pracy [14] zawarto wyniki badań wytrzymałości połączeń klejowych poliamidu PA6, wykonanych za pomocą różnych rodzajów klejów: epoksydowych oraz cyjanoakrylowych. Otrzymana wartość wytrzymałości na ścinanie 6,50 MPa jest porównywalna z wartością wytrzymałości 6,50 MPa [14] połączeń klejowych przygotowanych za pomocą kleju epoksydowego dwuskładnikowego Loc-tite 9466, dla którego wykazano jednak duży rozrzut wyników wytrzymałości (5,4–8,9 MPa). Ponadto zastosowany klej epoksydowy wymaga dłuższego czasu przygotowania niż zastosowane w niemniejszych badaniach kleje

cyjanoakrylowe. Z tego wynika, że w przypadku klejenia poliamidu PA6 można wykorzystać zarówno klej cyjanoakrylowy, jak i epoksydowy, chociaż podczas opracowywania technologii klejenia należy uwzględnić zarówno czas przygotowania kleju, jak i czas jego utwardzania, co w przypadku klejów epoksydowych dwuskładnikowych oba te czasy są znacznie dłuższe niż w przypadku klejów cyjanoakrylowych, a ten czynnik może mieć znaczenie aplikacyjne.

Na rys. 8 zostały zestawione próbki poliamidu PA6, wykonane klejem cyjanoakrylowym, elastycznym Monolith CP 40.

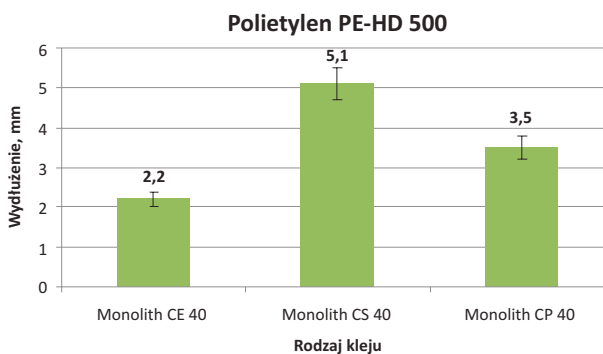
Podczas analizy połączeń klejowych po badaniach wytrzymałościowych, na próbkach łączonych elementów można zauważyć (rys. 8):

- a. wypłytki – nadmiar kleju, który wydostał się spod powierzchni łączonych tworzyw podczas stosowania docisku,
- b. uszkodzenia naroży próbek – które wystąpiły w sytuacji, gdy w danym miejscu na powierzchni sklejenia (również wypłytki) siły adhezji i kohezji zastosowanego kleju przewyższają siłę spójności materiału,
- c. zniszczenie próbek adhezyjno-kohezyjne.



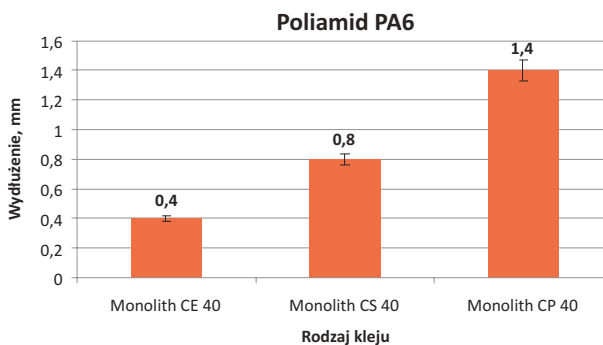
Rys. 8. Widok próbki poliamidu PA6 po przeprowadzeniu badań wytrzymałościowych, próbka ułożona na płaskiej powierzchni – widok z góry: a) wypłytki, b) uszkodzenia naroży próbek, c) zniszczenie adhezyjno-kohezyjne

Fig. 8. View of PA6 polyamide samples after testing the strength, the sample placed on a flat surface – the view from the top: a) the adhesive spew, b) damage to the corners of the samples, c) adhesive-cohesive failure



Rys. 9. Wydłużenie spoin klejowych zastosowanych w badaniach klejów cyjanoakrylowych w przypadku połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500

Fig. 9. Elongation of cyanoacrylate adhesive layers of PE-HD 500 polyethylene adhesive joints



Rys. 10. Wydłużenie spoin klejowych zastosowanych w badaniach klejów cyjanoakrylowych w przypadku połączeń klejowych poliamidu PA6

Fig. 10. Elongation of cyanoacrylate adhesive layers of PA6 polyimide adhesive joints

Wartości wydłużenia badanych połączeń klejowych zamieszczono na rys. 9 oraz rys. 10.

Na podstawie wyników zaprezentowanych na rys. 9 i rys. 10 zauważono, że w przypadku połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500 największe wydłużenie wystąpiło w przypadku kleju Monolith CS 40, kleju uniwersalnego, a dla połączeń klejowych poliamidu PA6 dla kleju elastycznego Monolith CP40. Porównując wydłużenie spoin klejowych z wytrzymałością zauważono, że w przypadkach połączeń klejowych obu polimerów większej wytrzymałości odpowiada większe wydłużenie spoiny klejowej.

4. Podsumowanie

W przeprowadzonych badaniach doświadczalnych wykorzystano połączenia klejowe polietylenu PE-HD 500 oraz poliamidu PA6, wykonane za pomocą trzech klejów cyjanoakrylowych typu Monolith CE 40, Monolith CS 40 oraz Monolith CP 40, charakteryzujących się spoinami: sztywnymi, uniwersalnymi oraz elastycznymi.

Otrzymane wyniki badań połączeń klejowych wskazują zasadność zastosowania tego typu klejów do wykonywania połączeń polietylenu PE-HD 500, które uzyskały średnią wartość wytrzymałości na ścinanie dla wszystkich użytych typów klejów o 80% większą od połączeń z poliamidu PA6. Wydłużenie spoin klejowych także jest większe w przypadku połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500. Należy zaznaczyć, że przedstawione spostrzeżenia dotyczą zastosowanych warunków technologicznych.

W analizie wytrzymałościowej porównane zostały trzy zastosowane rodzaje klejów cyjanoakrylowych. Wyniki badań wytrzymałościowych dla próbek z tworzyw polimerowych jednoznacznie potwierdziły niską skuteczność zastosowania do wykonania połączeń kleju sztywnego Monolith CE 40. Na podstawie uzyskanych wyników wykazało 35% różnicę w stosunku do pozostałych użytych klejów, zarówno dla próbek połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500, jak i z poliamidu PA6.

W aspekcie wytrzymałościowym dla przeprowadzonych prób połączeń klejowych największe znaczenie miały dwa kleje: Monolith CS 40 klej uniwersalny i Monolith CP 40 klej elastyczny. Klej elastyczny Monolith CP 40 jest skuteczniejszy do wykonania połączeń klejowych poliamidu PA6, natomiast klej uniwersalny Monolith CS 40 dla połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500. Uwzględniając wytrzymałość na ścinanie przy rozciąganiu połączeń klejowych jednozakładkowych polietylenu PE-HD 500, można stwierdzić, że zastosowanie kleju uniwersalnego Monolith CS 40 mającego cechy pośrednie zarówno elastyczne, jak i sztywne umożliwia wykonanie wytrzymałego połączenia klejowego.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że w przypadku połączeń klejowych obciążanych na ścinanie, korzystne jest zastosowanie kleju uniwersalnego Monolith CS 40 do wykonania połączeń klejowych polietylenu PE-HD 500. Natomiast w przypadku poliamidu PA6 konieczne jest przyjęcie innych warunków technologicznych, takich np. rodzaj kleju oraz sposób przygotowania powierzchni, w celu uzyskania odpowiedniej wytrzymałości na ścinanie. Wskazówką płynącą z tych badań, jest fakt wykazania korzystnych cech wytrzymałościowych połączenia klejowego poliamidu PA6 wykonanego za pomocą kleju elastycznego, w porównaniu do kleju sztywnego i uniwersalnego.

Literatura

- Godzimirski J., Kozakiewicz J., Łunarski J., Zielecki W.: *Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
- Brockmann W., Geiß P.L., Klingen J., Schröder B.: *Adhesive bonding. Materials, Applications and Technology*. Wiley-Vch Press, Weinheim 2009.
- da Silva L.F.M., Lopes M.J.C.Q.: *Joint strength optimization by the mixed-adhesive technique*. International Journal of Adhesion and Adhesives 2009, 29, 509-514.
- Devroey D.R.E., Homma M.: *Blends of silyl-terminated polyethers and epoxides as elastic adhesives*. International Journal of Adhesion and Adhesives 2001, 21, 275-280.
- Duncan B., Dean G.: *Measurements and models for design with modern adhesives*. International Journal of Adhesion and Adhesives 2003, 23, 141-149.
- Dimter L.: *Kleje do tworzyw sztucznych*. WNT, Warszawa 1971.
- Siemaszko A., Porejko S.: *Kleje naturalne i syntetyczne*. PWT 1980.
- Cagle Ch. V.: *Kleje i klejenie*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1977.
- <http://www.lepro.com.pl> (10.2014)
- Saechtling H.: *Tworzywa sztuczne – poradnik*. WNT, Warszawa 2000.
- Żuchowska D.: *Polimery konstrukcyjne*. WNT, Warszawa 2000.
- Sikora R.: *Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje, właściwości i struktura*. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1991.
- DIN EN 1465 Adhesives – Determination of tensile lap-shear strength of bonded assemblies.
- Rudawska A., Cimek E.: *Wpływ rodzaju kleju na wytrzymałość połączeń klejowych poliamidu PA6*. Przetwórstwo Tworzyw 2011, 3, 198-202.