

Anna RUDAWSKA¹, Szymon KURZEP²

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

² inż. Szymon Kurzep, Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin
e-mail: szaman136@gmail.com

Wybrane właściwości mechaniczne i szczelność połączeń klejowych rur z tworzyw polimerowych

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienia związane z określeniem wybranych właściwości mechanicznych połączeń klejowych rur z tworzyw polimerowych oraz oceną szczelności połączeń klejowych. W badaniach doświadczalnych użyto dwóch rodzajów klejów oraz pięć rodzajów rur z tworzyw polimerowych, różniących się od siebie gatunkiem tworzywa (polipropylen oraz polichlorek winylu), średnicą oraz grubością ścianek. Do wykonania połączeń użyto dwóch rodzajów klejów: dwuskładnikowego kleju epoksydowego Loctite 3430 A&B Hysol oraz jednoskładnikowego kleju cyjanoakrylowego Loctite 406. W badaniach szczelności można było bez niszczenia próbek określić jakość ich wykonania, natomiast w próbie rozciągania wyznaczono wytrzymałość na rozciąganie. Wykonane badania pozwoliły stwierdzić, że przy tego typu połączeniach zalecane jest stosowanie rur z polichloru winylu oraz kleju jednoskładnikowego Loctite 406.

Słowa kluczowe: połączenia klejowe, rury z tworzyw polimerowych, wytrzymałość, szczelność

SELECTED MECHANICAL PROPERTIES AND LEAKPROOFNESS OF BONDED JOINTS OF POLYMERIC PIPES

Abstract: In the article issues related to the designation of selected mechanical properties of adhesive polymeric pipes joints and leakproofness evaluation of adhesive joints are presented. Two types of adhesives and five types of polymeric pipes, differing species of polymer (polypropylene and polyvinyl chloride), diameter and wall thickness were used in experimental research. Two types of adhesives: Loctite Hysol A&B 3430 two-component epoxy adhesive and Loctite 406 one-component cyanoacrylate adhesive were used to prepare the bonded joints. In leakproofness examinations the bonded joints quality (without destroying the samples) was determined. Strength tests allowed to determine the tensile strength of bonded joints. Research made allowed to conclude that polyvinyl chloride pipe and Loctite 406 one-component cyanoacrylate adhesive are recommended for such type of joints.

Keywords: bonded joints, polymer pipes, strength, leakproofness

1. WPROWADZENIE

Połączenia klejowe powinny charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością w zależności od tego, czy wykonywane są klejem kontaktowym, montażowym, czy też konstrukcyjnym [1,2]. Na wytrzymałość połączeń klejowych wpływa wiele czynników związanych zarówno z samym klejem, jak też procesem

klejenia oraz rodzajem łączonych elementów. Odpowiednią dużą wytrzymałość połączenia klejowego można uzyskać opracowując i stosując właściwą technologię klejenia. Wszelkie odstępstwa od przyjętych etapów tego procesu mogą skutkować znaczącymi wadami spoiny klejowej. Poprawnie wykonany proces klejenia pozwala uzyskać spoinę, która spełni założone wymagania [1,2].

Celem niniejszej pracy jest określenie wytrzymałości na rozciąganie połączeń klejowych tulejowych rur z tworzyw polimerowych oraz jakości wykonanych połączeń z zastosowaniem badań ich szczelności.

2. METODYKA BADAŃ

2.1. CHARAKTERYSTYKA ŁĄCZONYCH MATERIAŁÓW

Próbki były wykonane z dwóch rodzajów materiałów: polipropylenu oraz polichloroku winylu. Tworzywa te wykorzystywane są w wielu gałęziach przemysłu, w tym wykonywane są z nich rury do różnych zastosowań [3]. Polichlorek winylu (PVC) jest polimerem syntetycznym z grupy polimerów winylowych. Jest termoplastyczny i charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną oraz jest odporny na działanie wielu rozpuszczalników. Polipropylen (PP) jest węglowodorowym polimerem termoplastycznym z grupy poliolefin, otrzymywanym poprzez niskociśnieniową polimeryzację propylenu. Charakteryzuje się wysoką odpornością chemiczną, słabo przewodzi ciepło, charakteryzuje się jedną z najniższych wartości gęstości wśród polimerów.

2.2. KLEJE

Do wykonania połączeń klejowych wykorzystano dwa rodzaje klejów: klej epoksydowy dwuskładnikowy Loctite 3430 oraz klej cyjanoakrylowy jednoskładnikowy Loctite 406. Loctite 3430 Hysol to klej dwuskładnikowy składający się z żywicy epoksydowej oraz utwardzacza. Oba składniki kleju były od siebie odizolowane dzięki specjalnemu opakowaniu, zawierającym dwa oddzielne kartusze. Żywicę i utwardzacz zmieszano w stosunku 1:1. Następnie nałożono klej na powierzchnię jednego z klejonych elementów. Czas utwardzenia w temperaturze pokojowej wynosił około 2 godzin. Drugim z klejów użytych w trakcie badań doświadczalnych był klej jed-

noskładnikowy cyjanoakrylowy Loctite 406. Jest on oparty na cyjanoakrylanie etylowym [6]. Jako klej jednoskładnikowy nie wymaga mieszania i jest umieszczony w łatwym do nanoszenia opakowaniu z aplikatorem. Zastosowany klej utwardza się pod wpływem wilgoci znajdującej się w powietrzu. Utwardzenie dokonuje się po kilku sekundach, lecz odporność chemiczną spoina utworzona z tego kleju uzyskuje po około 24 godzinach. Najbardziej optymalny przebieg procesu utwardzania kleju występuje przy wilgotności od 40% do 60%, w temperaturze 22°C. Przy mniejszej wilgotności utwardzanie trwa dłużej, natomiast przy większej krócej, lecz duża wilgotność ma negatywny wpływ na wytrzymałość spoiny. Istotny wpływ na utwardzanie ma ponadto wielkość szczeliny między łączonymi elementami, im jest ona większa tym proces trwa dłużej [4].

2.3. POŁĄCZENIA KLEJOWE

Do badań szczelności i wytrzymałości statycznej połączeń klejowych wykorzystano, skleione rury z tworzyw polimerowych, których średnicę, grubość ścianek oraz pole przedstawiono w tabeli 1. Konstrukcja połączeń klejowych miała charakter doczołowy, a przykładowy kształt połączenia zaprezentowano na rys. 1.

Tab. 1. Rodzaje wykonanych połączeń klejowych

Tab. 1. Types of made adhesives joints

| Wymiary | Rodzaj materiału | | | | |
|---------------------------------|------------------------|------|------|-----------------|-------|
| | Polichlorek winylu PVC | | | Polipropylen PP | |
| Średnica, mm | 26,5 | 21,1 | 15,5 | 25,0 | 20,0 |
| Grubość ścianki, mm | 2,2 | 1,8 | 1,8 | 4,5 | 3,5 |
| Pole sklejenia, mm ² | 89,5 | 57,1 | 41,3 | 160,7 | 100,3 |

Wyodrębniono 10 serii takich połączeń, w zależności od rodzaju tworzywa polimerowego, średnicy rury (oraz grubości ścianek bocznych) oraz rodzajów kleju.



Rys. 1. Połączenie klejowe rur PP o średnicy 25 mm

Fig. 1. The adhesive joint PP pipes with a diameter of 25 mm

2.4. WARUNKI WYKONYWANIA POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Powierzchnie rur przeznaczone do klejenia zostały poddane obróbce mechanicznej oraz odtłuszczeniu. Obróbka mechaniczna polegała na obróbce papierem ściernym P500, ruchami okrężnymi w czasie 30 sekund. Kolejnym etapem procesu przygotowania powierzchni było odtłuszczenie powierzchni klejonej z wszelkich zanieczyszczeń. Etap ten został wykonany po obróbce mechanicznej w celu usunięcia zanieczyszczeń powstałych w czasie tej obróbki. Odtłuszczenie powierzchni zostało wykonane poprzez spryskanie klejonej powierzchni środkiem odtłuszczającym Loctite SF7061 na bazie acetonu.

Proces klejenia przeprowadzany był w laboratorium, w którym temperatura wynosiła $22^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, natomiast wilgotność $27\%\pm 2\%$. Klejenie elementów odbywało się po osuszeniu środka odtłuszczającego z wykorzystaniem kleju epoksydowego Loctite 3430 oraz kleju cyjanoakrylowego Loctite 406. W obu przypadkach zastosowano jednakową technikę nakładania kleju, na powierzchnię jednego z klejonych elementów [5], a następnie ustalano je oraz wywierano na nie docisk w specjalnym urządzeniu ustalającym przez 72 godziny. Utwardzanie trwało 72 godziny w temperaturze $22^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$, przy wilgotności $27\%\pm 2\%$.

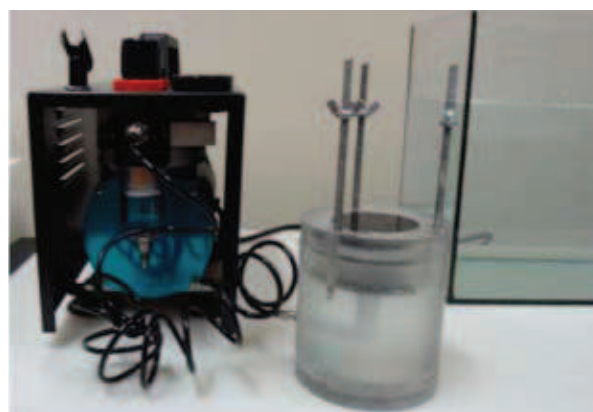
2.5. BADANIA SZCZELNOŚCI ORAZ BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI

Badania doświadczalne polegały na określeniu szczelności wykonanych połączeń klejowych

rur z tworzyw polimerowych sklejonych doczołowo (badania nieniszczące) oraz określeniu wytrzymałości na ścinanie tych połączeń (badania niszczące). Podczas wykonywania badań zostały użyte dwa stanowiska badawcze:

- stanowisko do badań szczelności próbki [6], stosując odpowiednią metodykę badań [6,7,8],
- stanowisko do badań wytrzymałościowych – maszyna wytrzymałościowa Zwick/Roell Z150 wraz z zestawem komputerowym z oprogramowaniem testXpert.

Ponadto podczas badania szczelności zastosowano także urządzenia do oceny wizualnej połączeń klejowych, m.in. lupę Peak No.:1996 L. Opis stanowiska oraz sposób wykonania badania szczelności zamieszczono w pracy [6]. Stanowisko do badania szczelności przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Stanowisko do badań szczelności, od lewej: sprężarka Model No.:AS18A, uchwyt mocujący, zbiornik na wodę

Fig. 2. Position of the leakproofness tests, from left: Model No.:AS18A compressor, fixture, water tank

Próbkę połączenia klejowego mocowano w uchwycie mocującym, który wraz z zamocowaną próbką umieszczano w zbiorniku z wodą. Badania szczelności wykonano przy ciśnieniu 4 bar, a czas pomiaru wynosił 30 sekund. Podczas badania można było zaobserwować ewentualne spadki ciśnienia oraz wydobywające się z próbki przez spoinę pęcherzyki powietrza, jeżeli próbka była nieszczelna, oceniając wizualnie szczelność połączeń.

Po wykonaniu badań szczelności, próbki połączeń klejowych mocowano w uchwytach maszyny wytrzymałościowej za pomocą specjalnego przyrządu, po czym poddano obciążeniom rozciągającym aż do momentu zniszczenia połączenia.

3. WYNIKI BADAŃ

3.1. SZCZELNOŚĆ POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

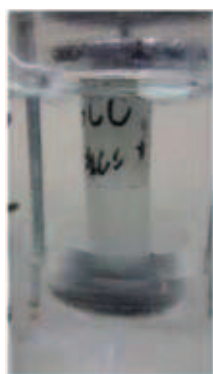
W tabeli 2 porównano wyniki badań szczelności próbek klejonych klejami Loctite 3430 oraz Loctite 406. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zastosowane

do wykonania połączeń klejowych doczołowych kleje Loctite 3430 i Loctite 406 wykazują podobną szczelność. Nieszczelności wystąpiły w przypadku dwóch serii próbek klejonych klejem Loctite 3430 oraz trzech serii próbek klejonych klejem Loctite 406. Należy zauważyć, że większość nieszczelności w próbkach klejonych klejem epoksydowym stanowiła seria próbek z rur $\phi 15,9$ mm z polichlorku winylu, co mogło wynikać z wad powstałych w czasie procesu klejenia. Można również zauważyć, że średnica rur nie miała wpływu na występowanie nieszczelności połączeń podczas badań. Na rys. 3 i rys. 4 przedstawiono przykład próbki połączeń klejowych szczelnych oraz z nieszczelnością.

Tab. 2. Porównanie liczby wykrytych nieszczelności w próbkach połączeń klejowych poddanych badaniu szczelności

Tab. 2. Comparison of the number of leaks detected in samples of adhesive joints tested leakproofness

| Rodzaj połączenia klejowego | Klej Loctite 3430 | Klej Loctite 406 |
|-----------------------------|--|------------------|
| | Liczba nieszczelnych próbek połączeń klejowych | |
| Rura $\phi 26,5$ mm z PVC | 0 | 2 |
| Rura $\phi 21,1$ mm z PVC | 0 | 1 |
| Rura $\phi 15,9$ mm z PVC | 4 | 0 |
| Rura $\phi 25$ mm z PP | 0 | 1 |
| Rura $\phi 20$ mm z PP | 2 | 0 |
| Suma nieszczelności | 6 | 4 |



Rys. 3. Przykładowa próbka połączeń klejowych podczas badań szczelności bez widocznych nieszczelności

Fig. 3. Example of adhesive joints sample during leakproofness testing with no visible leaks



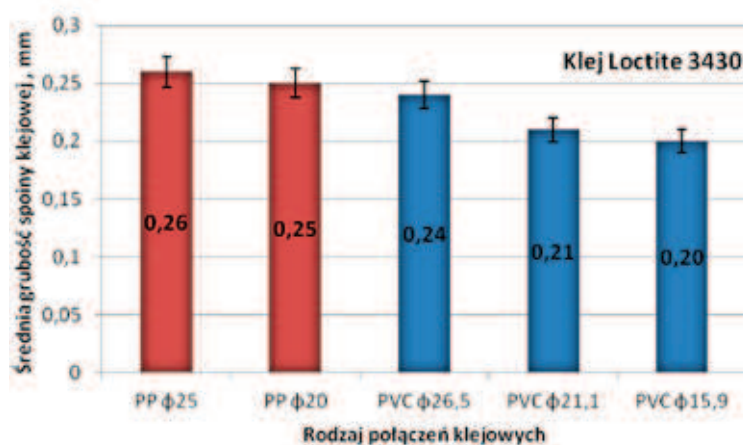
Rys. 4. Przykładowa próbka połączeń klejowych podczas badania szczelności, widoczne są dwie nieszczelności

Fig. 4. Example of adhesive joints sample during leakproofness testing, two leaks are visible

Na rys. 5 zaprezentowano połączenie klejowe rur polipropylenowych o średnicy 25 mm i grubości ścianki 4,5 mm klejonych klejem Loctite 3430, które w badaniach wykazały szczelność połączenia. W próbie nieszczelnej połączeń klejowych rur polipropylenowych o średnicy 25 mm i grubości ścianki 4,5 mm klejonych klejem Loctite 406 (rys. 6) znajdowały się dwie nieszczelności, widoczne podczas badania szczelności oraz podczas sprawdzania metodą wizualną z wykorzystaniem lupy Peak No.1996 L.

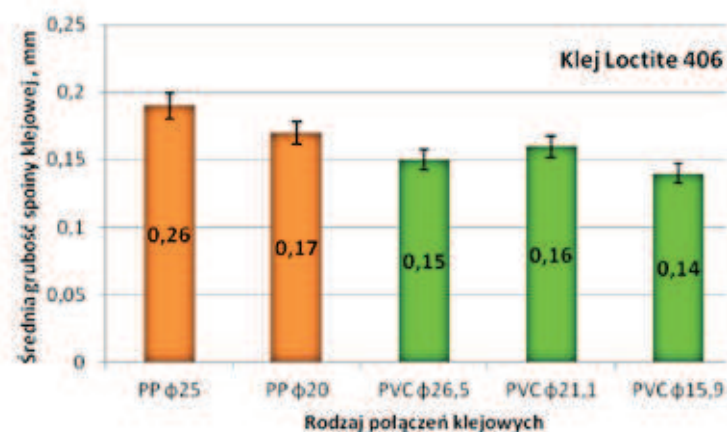
3.2. GRUBOŚĆ SPOINY KLEJOWEJ

Istotnym elementem mającym znaczący wpływ na jakość spoiny była jej grubość. Średnie wartości grubości spoiny klejowej w połączeniach wykonanych klejem epoksydowym Loctite 3430 i cyjanoakrylowym Loctite 406 przedstawiono na rysunkach 5 oraz rys. 6.



Rys. 5. Średnia grubość spoiny klejowej w połączeniach klejowych wykonanych klejem Loctite 3430

Fig. 5. The average thickness of the adhesive layer in the adhesive joints made with Loctite 3430



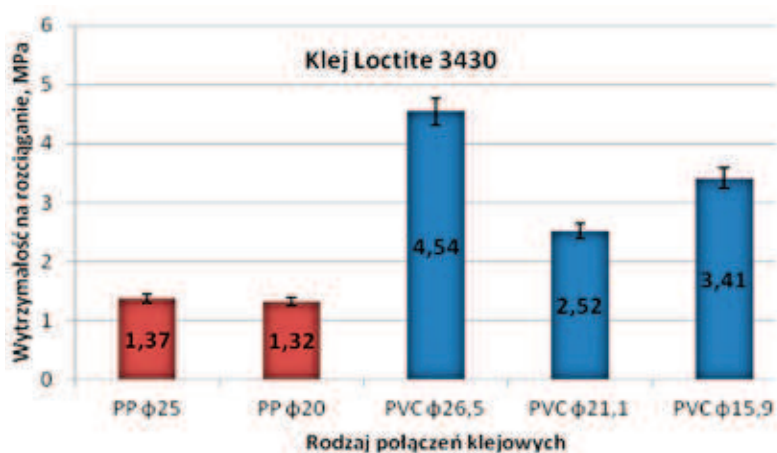
Rys. 6. Średnia grubość spoiny klejowej w połączeniach klejowych wykonanych klejem Loctite 406

Fig. 6. The average thickness of the adhesive layer in the adhesive joints made with Loctite 406

Można zauważyć, że próbki klejone klejem Loctite 3430 miały spoinę o większej grubości niż te wykonane klejem Loctite 406. Może to wynikać m.in. z mniejszej lepkości kleju Loctite 406. Ponadto zauważono, że wraz ze zmniejszeniem się grubości ścianki w poszczególnych rodzajach rur grubość warstwy kleju również spadała, niezależnie od rodzaju kleju.

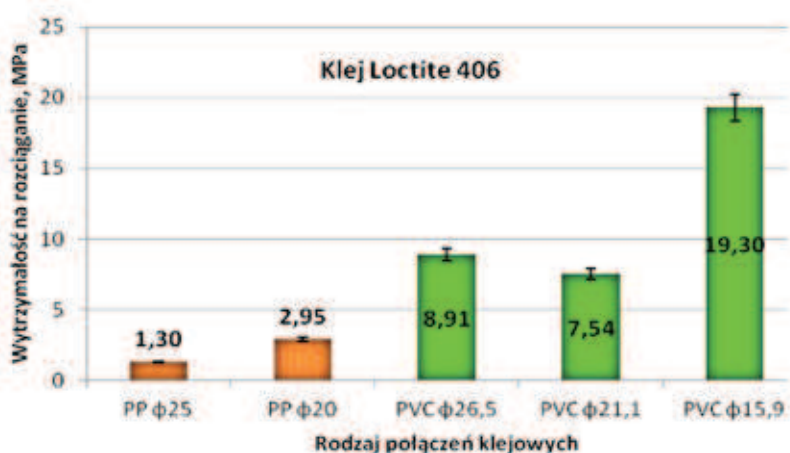
3.3. WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE POŁĄCZEŃ KLEJOWYCH

Średnią wytrzymałość na rozciąganie próbek połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 3430 zamieszczono na rys. 7, a na rys. 8 połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 406.



Rys. 7. Wytrzymałość na rozciąganie połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 3430

Fig. 7. The tensile strength of adhesive joints made with Loctite 3430



Rys. 8. Wytrzymałość na rozciąganie połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 406

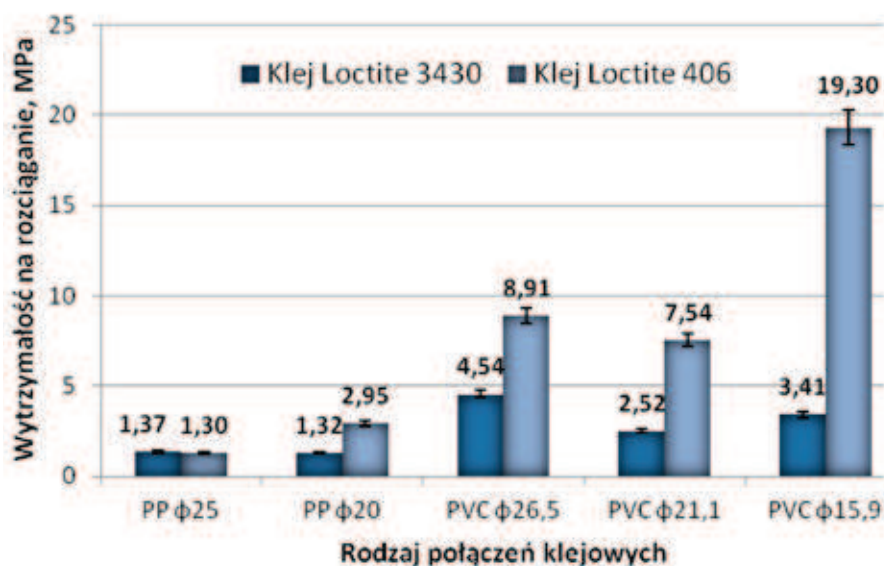
Fig. 8. The tensile strength of adhesive joints made with Loctite 406

Na podstawie przedstawionych na rys. 7 wyników zauważono, że pomimo większej powierzchni klejonej, próbki połączeń klejowych rur z polipropylenu osiągnęły mniejszą wytrzymałość na rozciąganie niż próbki połączeń klejowych rur z polichlorku winylu. Próbki połączeń klejowych rur z PVC o średnicy 26,5 mm oraz grubości ścianki 2,2 mm były pięciokrotnie wytrzymalsze od próbek połączeń klejowych rur z polipropylenu, które miały grubszą ściankę i większą łączoną powierzchnię. Warto zauważyć, że wytrzymałość próbek połączeń klejowych rur z polichlorku winylu była powiązana z wielkością powierzchni klejonej, im mniejsza powierzchnia tym wytrzymałość była mniejsza. Próbki połączeń rur z PVC $\phi 21,1$ mm i PVC $\phi 15,9$ mm, mimo takiej samej wielkości powierzchni klejonej miały różną wytrzymałość na rozciąganie. Próbki połączeń klejowych rur PVC $\phi 15,9$ mm wykazały większą wytrzymałość od próbek połączeń klejowych rur z PVC

$\phi 21,1$ mm. Można stwierdzić, że stosowanie kleju Loctite 3430 jest wskazane przy wykonywaniu połączeń rur z PVC.

Dane przedstawione na rys. 8 pokazują, że połączenia klejowe rur z polipropylenu charakteryzują się mniejszą wytrzymałością od połączeń klejowych rur z polichlorku winylu pomimo większych powierzchni sklejenia. Największą wytrzymałością charakteryzowały się połączenia klejowe rur z polichlorku winylu o średnicy 15,9 mm i grubości ścianki 1,8 mm. Były one około dwa razy wytrzymalsze od innych próbek połączeń rur z polichlorku winylu oraz około osiem razy bardziej wytrzymalsze od próbek połączeń klejowych rur z polipropylenu. W przypadku kleju Loctite 406 wielkość powierzchni klejonych miała niewielki wpływ na wytrzymałość na rozciąganie.

Na rys. 9 porównano wytrzymałość na rozciąganie próbek połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 3430 oraz Loctite 406.



Rys. 9. Porównanie wytrzymałości na rozciąganie połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 3430 oraz Loctite 406

Fig. 9. Comparison of adhesive joints tensile strength made with Loctite 3430 and Loctite 406

Połączenia klejowe rur polimerowych wykonane klejem Loctite 406 wykazały większą wytrzymałość na rozciąganie niż połączenia klejowe rur sklejone klejem Loctite 3430. Jedynie w przypadku połączeń rur z polipropylenu o średnicy 25 mm wartości wytrzymałości przy zastosowaniu obu klejów były zbliżone. W innych próbkach wytrzymałość połączeń klejowych połączonych klejem Loctite 3430 stanowiła 40% (PP Φ 20 mm), 60% (PVC Φ 26,5 mm), 52% (PVC Φ 21,1 mm) oraz 85% (PVC Φ 15,9 mm) wytrzymałości połączeń klejowych odpowiednio tych samych połączeń, ale wykonanych za pomocą kleju Loctite 406. W próbkach połączeń klejowych rur z polichlorku winylu o średnicy 15,9 mm różnica między klejami była duża i mogła wynikać m.in. z wad próbek połączeń klejowych wykonanych klejem Loctite 3430, powstałych w czasie procesu klejenia a wykrytych w czasie badań szczelności.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Po przeanalizowaniu wyników wykonanych badań doświadczalnych można sformułować następujące wnioski:

- właściwości uszczelniające klejów Loctite 3430 oraz Loctite 406 są podobne, a głównym czynnikiem uzyskania szczelnej próbki jest poprawny przebieg procesu klejenia, w szczególności etapy docisku, ustalenia łączonych elementów i utwardzenia się kleju,
- duży wpływ na szczelność i wytrzymałość połączeń klejowych ma dokładność geometryczna łączonych elementów,
- połączenia klejowe wykonane za pomocą kleju cyjanoakrylowego Loctite 406 wykazują większą wytrzymałość na rozciąganie niż połączenia wykonane za pomocą kleju epoksydowego dwuskładnikowego Loctite 3430,
- rozmiar powierzchni klejowej ma mały wpływ

na wynik badań wytrzymałości połączeń klejowych rur z tworzyw polimerowych.

Można stwierdzić, że zarówno badania niszczące, jak i niszczące pozwoliły na określenie właściwości połączeń klejowych rur z tworzyw polimerowych. Dzięki badaniom szczelności można było bez niszczenia próbek określić jakość ich wykonania, natomiast dzięki badaniom wytrzymałościowym określono odporność połączeń na działanie naprężeń rozciągających. Wykonane badania pozwoliły stwierdzić, że przy wykonywaniu połączeń rur z PVC jest wskazane stosowanie kleju Loctite 3430.

LITERATURA

1. Brockmann W. i inni: *Adhesive bonding. Materials, Applications and Technology*. Wiley-Vch Press, Weinheim, Niemcy 2009.
2. Godzimirski J. i inni: *Konstrukcyjne połączenia klejowe elementów metalowych w budowie maszyn*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1997.
3. Rabek J.: *Polimery*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
4. <http://www.loctite.pl> (09.03.2016)
5. Rudawska A., Kowalska B., Kubicki P.: *Wytrzymałość połączeń klejowych polimerów, wykonanych za pomocą wybranych klejów sztywnych i elastycznych*. Przetwórstwo Tworzyw, 2015, 4, 343–348.
6. Miturska I., Rudawska A.: *Leakproofness control station of glue joints in the assembly processes*. Rozdział w monografii: *Advanced technologies in designing, engineering and manufacturing*. Research problems. Ed.: Tomasz Jachowicz, Mariusz Kłonica. Wyd. Perfekto info, 2015, s. 88–100.
7. Rudawska A., Zaborowski G.: *Zastosowanie polimerowych mas regeneracyjnych do naprawy korpusu zasuw kotłowniczej DN300 PN 6,3 MPa*. Technologia i Automatyka Montażu, 2015, 3, 48–53.
8. Cebulewski K., Kasprzak A.: *Automatyzacja montażu i kontroli szczelności z zastosowaniem wyspy zaworowej*, Mat. Konferencyjne: „Technika i technologia montażu maszyn”, Rzeszów-Jawor 1997, 69–74.

Publikację przyjęto do druku: 29.06.16