

TECHNOLOGICAL CONDITIONS OF THE ADHESIVE BONDING PROCESS OF ELEMENTS OF ABS TERPOLYMER IN THE ASPECT OF PRINTING MODELS WITH FDM METHOD

Summary

The paper presents selected technological aspects of connection process of elements made of ABS plus material in the adhesive bonding joint. Sample elements were made with FDM method on the 3D spatial printer Dimension 1200es produced by the Stratasys company. The main objective of the research was to evaluate the best type of connection made in the aspect of surface geometry, method of connection, and particularly, the strength of adhesive bonding.

Key words: plastics; terpolimers; adhesive bonding; types of connections; physical properties; laboratory experimentation

TECHNOLOGICZNE UWARUNKOWANIA PROCESU KLEJENIA ELEMENTÓW Z TERPOLIMERU ABS W ASPEKCIE WYKONYWANIA MODELI METODĄ FDM

Streszczenie

W pracy przedstawiono wybrane aspekty technologiczne procesu łączenia elementów wykonanych z tworzywa ABS plus w procesie klejenia. Próbki wykonano metodą FDM na drukarce przestrzennej 3D Dimension 1200 es produkcji firmy Stratasys. Celem głównym prób technologicznych klejenia elementów była ocena najlepszego typu połączenia z punktu widzenia geometrii powierzchni, sposobu łączenia, a przede wszystkim właściwości wytrzymałościowych połączenia.

Słowa kluczowe: tworzywa sztuczne; terpolimery; klejenie; typy połączeń; właściwości fizyczne; badania laboratoryjne

1. Wprowadzenie

Proces klejenia elementów z tworzyw sztucznych, z punktu widzenia technologicznego, jest często bardzo trudny i wymagający. Zachodzi on poprzez ich łączenie za pomocą rozpuszczalników oraz klejów w postaci cieczy, past lub błon.

Właściwy dobór warstwy klejowej wynika z oceny szeregu czynników technologiczno-konstrukcyjnych elementów łączonych (wykonawstwo, konstrukcja, przygotowanie powierzchni), a także oceny wpływu czynników atmosferycznych, termicznych, chemicznych i starzeniowych na powstałą warstwę.

Z punktu widzenia adhezji mechanicznej połączenia klejowego, istotne są parametry struktury, topografii i geometrii powierzchni łączonych elementów. Struktura powierzchni (stopień jej rozwinięcia) decyduje o możliwości penetracji kleju i jego rozłożenia oraz wnikania w mikropory. Elementem działającym synergicznie jest odpowiednio dobrana i zoptymalizowana lepkość kleju, pozwalająca na właściwe zwilżenie powierzchni i całkowite wypełnienie nierówności.

Z definicji, klejem nazywamy substancję, która prowadzona między powierzchnie przylegające dwóch przedmiotów, wykonanych z takich samych lub różnych materiałów, umożliwia trwałe ich połączenie w procesie klejenia. Kleje są zaliczane do materiałów czynnych powierzchniowo, których cechą charakterystyczną jest i powinno być zwiększenie adhezji między powierzchniami łączonymi [1].

Zastosowanie rozpuszczalnika w procesie klejenia tworzyw sztucznych wiąże się z jednej strony z badaniem odporności powierzchni tworzywa na związki chemiczne, z drugiej strony: ze zmiękczeniem warstwy powierzchniowej i połączeniem adhezyjnym, chemicznym. Odpowiedni

dobór rozpuszczalnika, w niektórych przypadkach łączenia tworzyw, może być dobrą alternatywą dla klejów. Rozpuszczalniki wchodzi w skład znacznej większości klejów i polimerów. Można je podzielić na kilka grup. W jednej z tych grup znajdują się rozpuszczalniki aktywne, tzn. rozpuszczające polimery (żywice) wchodzące w skład kleju lub działające agresywnie na klejone tworzywo. Drugą grupę stanowią rozpuszczalniki utajone, których zadaniem jest wzmocnienie działania rozpuszczającego rozpuszczalników aktywnych.

Zoptymalizowanie doboru kleju lub rozpuszczalnika, w aspekcie trwałych połączeń elementów z tworzyw sztucznych, musi uwzględniać wiele z wymienionych powyżej czynników warunkujących prawidłowy mechanizm klejenia.

Proces klejenia tworzyw sztucznych jest bardzo przydatny, w aspekcie wykonywania wielkogabarytowych modeli z tworzyw sztucznych metodą szybkiego prototypowania (*Rapid prototyping*), przy użyciu drukarki 3D, gdzie ograniczeniem jest objętość komory wydruku drukarki. Wykonanie bardzo dużego modelu funkcjonalnego wymaga wykonania go w częściach, w kilku etapach technologicznych i w konsekwencji procesu dokładnego ich klejenia. Teoretycznie jest to proste. W rzeczywistości proces ten jest pracochłonny i uzależniony nie tylko od zoptymalizowanego doboru kleju, ale także od spełnienia wszystkich uwarunkowań technologicznych procesu, jakim jest klejenie. Dotyczy to:

- odpowiedniego przygotowania powierzchni (czyszczenie, zmatowienie, odtłuszczenie, suszenie itp.),
- odpowiedniego naniesienia kleju lub pokrycia rozpuszczalnikiem,

- nie dopuszczenia do zabrudzeń i wpływu czynników mechanicznych uszkadzających warstwę klejoną,
- zachowania wymaganego czasu klejenia,
- zachowania odpowiedniej temperatury klejenia (przy uwzględnieniu parametrów fizykochemicznych klejów i rozpuszczalników aktywnych),
- spełnienia parametrów nacisku dla łączonych powierzchni (przylegania).

W publikacji przedstawiono wybrane aspekty technologiczne procesu klejenia części elementów z terpolimeru ABS, stosowanego w prototypowaniu metodą FDM, na drukarce przestrzennej 3D Dimension SST 1200 es.

2. Cel i przedmiot badań

Celem głównym prób technologicznych klejenia elementów była ocena najlepszego typu połączenia z punktu widzenia geometrii powierzchni, sposobu łączenia, a przede wszystkim właściwości wytrzymałościowych (szczególnie wytrzymałości na rozciąganie R_m).

Przedmiotem badań były próbki wykonane z tworzywa termoplastycznego ABS plus, którego parametry przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Wybrane właściwości fizykomechaniczne materiału modelowego ABS plus firmy Stratasys
Table 1. Chosen physico-mechanical properties of the ABS plus material produced by Stratasys company

Lp.	Właściwości fizykomechaniczne	Jednostka	ABS plus **	ABS plus ***
1.	Kolorystyka	-	naturalny	naturalny
2.	Gęstość *	g/cm ³	1,03	1,03
3.	Udarność z karbem wg Izod'a, 23°C *	J/m	96	-
4.	Temperatura odkształcania HDT, 0,5 MPa *	°C	96	-
5.	Wytrzymałość na rozciąganie R_m	MPa	27,9	48,9
6.	Wydłużenie zrywające AB	%	5,4	42,3
7.	Umowna granica sprężystości R_{sp}	MPa	13,9	46,0
8.	Moduł Younga E	MPa	262	396

* Parametry katalogowe firmy Stratasys

** Próbki z ABS plus wykonane metodą FDM na drukarce 3D DIMENSION 1200 es

*** Próbki z ABS plus wykonane metodą wtrysku na wtryskarce KUASY 260/160

Uwaga: Badania właściwości mechanicznych próbek z ABS plus wykonano na maszynie wytrzymałościowej HTP-2402, przy prędkości rozciągania 100 mm/min

Próbki do badań wytrzymałości połączeń klejowych wykonano z ABS plus metodą szybkiego prototypowania (FDM) na drukarce przestrzennej 3D Dimension SST 1200 es. Urządzenie przedstawiono na rys. 1.

Do prób klejenia przygotowano próbki w postaci półwek wiósełek. Kształt próbek i geometrię ich powierzchni przedstawiono na rys. 2.

Zastosowano cztery typy połączeń, różniących się powierzchnią i kształtem złącza. Połączenia te przedstawiono na rys. 3.

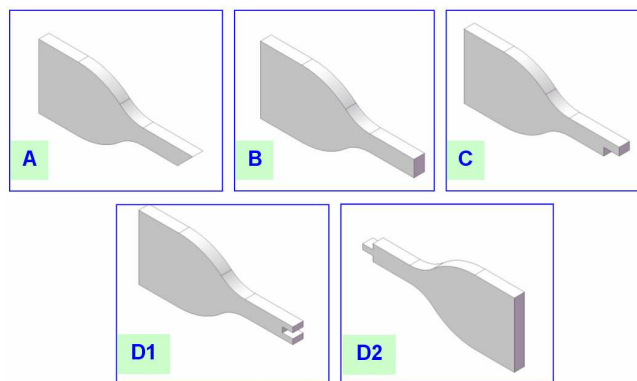
W procesie klejenia wybrano i wykorzystano zarówno specjalistyczne kleje jak i odpowiednie rozpuszczalniki:

- klej cyjanoakrylowy – Pattex SOS Super Klej Żel (2-cyjanoakrylan etylu),
- klej epoksydowy dwuskładnikowy – Pattex Repair Epoxy Universal (produkt reakcji bisfenolu A z epichlorohydryną),

- klej poliuretanowy konstrukcyjny – Technicqll,
- klej polichlorowinylowy jednoskładnikowy – Technicqll,
- butanol (alkohol butylowy) – zalecony przez dostawcę urządzenia do szybkiego prototypowania,
- izopropanol (alkohol izopropylowy) [11].



Rys. 1. Widok drukarki przestrzennej 3D Dimension SST 1200 es
Fig. 1. View of 3D spatial printer Dimension SST 1200 es



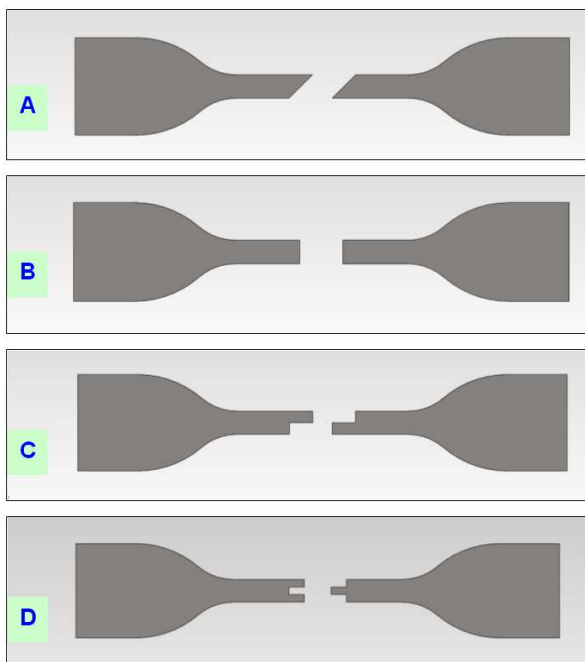
Rys. 2. Kształt półwek próbek i ich różna geometria powierzchni klejenia: A – próbka zakończona skosem pod kątem 45°, B – próbka zakończona prostą powierzchnią, C – próbka zakończona schodkami, D – próbki zakończone wpustem i wypustem stanowiące komplet

Fig. 2. Samples shape (halves) and their different area of the adhesive bonding geometry: A – sample finished with the angle 45°, B – sample finished with straight surface, C – sample finished with steps, D - samples finished with the key and spline (set)

3. Metodyka badań

Próby klejenia przy użyciu standardowych klejów wykonano w oparciu o zalecenia producenta dotyczące technologii i sposobu nanoszenia na powierzchnie łączone, doboru temperatury, czasu i siły nacisku.

Powierzchnie styku próbek przygotowano w aspekcie uzyskania jak najsilniejszej adhezji fizycznej i jednocześnie właściwego stanu energetycznego powierzchni sklejaných. Technologia szybkiego prototypowania FDM elementów z ABS plus, ze względu na sposób nanoszenia warstwy, pozwala uzyskać „właściwą”, z punktu widzenia klejenia, chropowatość powierzchni elementów łączonych. Eliminuje to konieczność dodatkowej obróbki ścierniej powierzchni styku, w celu osiągnięcia odpowiedniego rozwinięcia powierzchni.



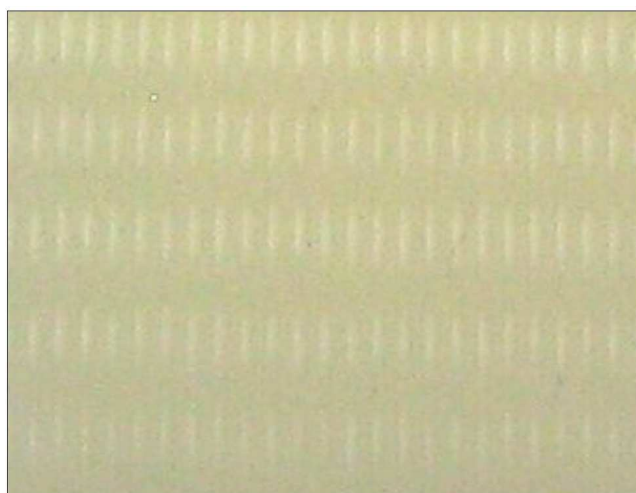
Rys. 3. Typy połączeń klejowych próbek z ABS plus, wykonanych na drukarce przestrzennej 3D Dimension SST 1200 es: A – połączenie jedną płaszczyzną styku pod kątem 45° do kierunku zrywania próbki, B – połączenie jedną płaszczyzną styku prostopadłą do kierunku zrywania próbki, C – połączenie schodkowe, trzy powierzchnie styku, D – połączenie wpustowe, największa powierzchnia styku

Fig. 3. Types of adhesive bonding joints for ABS plus material samples, made on 3D spatial printer Dimension SST 1200 es: A – connection with one plain of the joint under angle 45° to direction of breaking the sample, B – connection with one plain of the joint perpendicular to direction of breaking the sample, C – stepwise connection, three areas of the joint, D – key-spline connection, the biggest area of the joint

Topografię powierzchni łączonych próbek przedstawiono na rys. 4.

Do operacji przygotowawczych klejenia zalicza się:

- wstępne odtłuszczenie powierzchni próbek (eliminacja cząstek pyłów, mikroorganizmów itp.) w roztworze wodorotlenku sodowego,
- końcowe odtłuszczenie w alkoholu butylowym, ewentualnie w acetonie.



Rys. 4. Widok topografii powierzchni łączonych próbek z ABS plus
Fig. 4. Surface topography of connected samples made of ABS plus

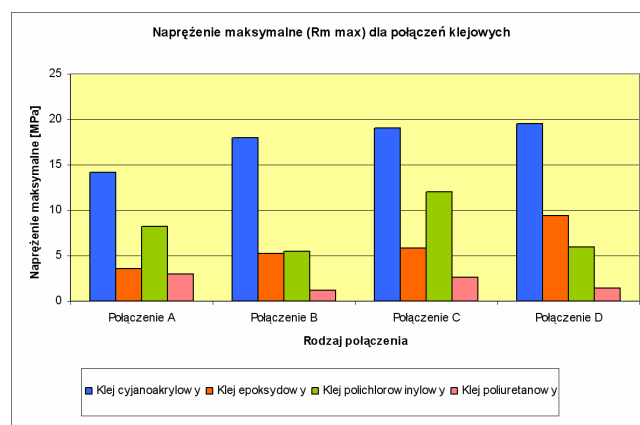
Po przygotowaniu klejów (4 rodzaje) oraz wykonaniu operacji technologicznej klejenia, próbki pozostawiono na 24 h w komorze klimatycznej (temperatura 23°C), w celu osiągnięcia maksymalnych właściwości fizyko mechanicznych spoiny.

Przeprowadzone próby łączenia elementów za pomocą rozpuszczalników nie pozwoliły na uzyskanie trwałych połączeń elementów. Dotyczy to zarówno użycia butanolu, jak i izopropanolu. Rozpuszczenie powierzchni okazało się niewystarczające dla właściwego połączenia i osiągnięcia odpowiednich parametrów wytrzymałościowych.

Próbki, wykonane metodą FDM z polimeru ABS plus, sklejone standardowymi klejami, zostały poddane badaniom wytrzymałościowym przy użyciu uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej HT-2402, przy prędkości posuwu 100 mm/min. Badając wytrzymałość połączenia klejowego, określono przede wszystkim parametry wytrzymałości statycznej.

4. Wyniki pomiarów

Wyniki wartości średnich naprężeń maksymalnych połączeń klejowych w zależności od typu połączenia i zastosowanego kleju przedstawiono na rys. 5 oraz w tab. 2.



Rys. 5. Wykresy wartości średnich naprężeń maksymalnych wybranych połączeń próbek z ABS Plus

Fig. 5. Graphs of average values of maximum stress for the chosen connections of ABS plus samples

5. Podsumowanie i wnioski

W wyniku przeprowadzonych obserwacji i pomiarów sformułowano następujące wnioski:

- Możliwość łączenia elementów z tworzywa sztucznego ABS plus firmy Stratasys przy użyciu standardowych klejów pozwala na wykonywanie większych gabarytowo modeli prototypów części przy użyciu metody szybkiego prototypowania, niż wynika to z gabarytów komory drukarki 3D.
- Trwałość połączeń klejowych jest różna i uzależniona od rodzaju kleju i jego warunków aplikacji, ale także od geometrii powierzchni łączonych.
- Połączenia wykonane za pomocą kleju cyjanoakrylowego mają większą wytrzymałość niż analogiczne połączenia wykonane za pomocą kleju polichlorowinylowego, epoksydowego oraz poliuretanowego. Analizując sposób połączenia (próbki A–D), można zauważyć, że najsłabszym połączeniem jest zestawienie powierzchni pod kątem 45° do kie-

runku zrywania próbki. Pozostałe połączenia są bardziej wytrzymałe, szczególnie połączenie kształtowe (klinowe D), gdzie oprócz większej powierzchni rozwinięcia i działania kleju, kształt łączenia pozwolił na dodatkowe jego wzmocnienie.

- Nie uzyskano (pomimo zapewnień dystrybutora tworzywa) trwałego połączenia próbek z ABS plus przy użyciu metody rozpuszczalnikowej (zastosowanie butanolu).

6. Bibliografia

- [1] Saechtling H.: Tworzywa sztuczne. Poradnik. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007.
- [2] Gościański M., Ciechacki R.: Badania prototypowych elementów maszyn rolniczych wykonanych metodą FDM i metodą wtrysku w odniesieniu do projektowanego elementu w systemie CAD (SOLID WORKS),. PIMR-TT-5/2009.
- [3] Frącz W., Krywult B.: Projektowanie i wytwarzanie elementów z tworzyw sztucznych, Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005.
- [4] Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw polimerowych: podstawy logiczne, formalne i terminologiczne. Lublin: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 2006.
- [5] Koszul J., Bociaga E.: Materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Częstochowa: Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 2004.
- [6] Jasiulek P.: Łączenie tworzyw sztucznych metodami spawania, zgrzewania, klejenia i laminowania. Krosno: Wydawnictwo i Handel Książkami "KaBe", 2004.
- [7] Pielichowski J., Puszyński A.: Technologia tworzyw sztucznych. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2003.
- [8] Wilczyński K.: Reologia w przetwórstwie tworzyw sztucznych. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2001.
- [9] Broniewski T.: Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2000.
- [10] Żuchowska D.: Polimery konstrukcyjne: wprowadzenie do technologii i stosowania. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2000.
- [11] Materiały handlowe firm, źródła internetowe: Stratasys – USA, Henkel – Niemcy, Nalmat – Polska.

Publikacja opracowana w oparciu o wyniki prac realizowanych w ramach projektu rozwojowego nr: N R03 0009 06/2009, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie.