

# Ćwiczenie: „Techniki łączenia tworzyw sztucznych - spawanie”

## 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia zaznajomienie studentów z zagadnieniami dotyczącymi metod łączenia tworzyw sztucznych, a także wykonanie połączenia próbek wybranymi metodami

## 2 Określenie podstawowych zagadnień oraz opis metod łączenia tworzyw sztucznych

Tworzywa sztuczne możemy łączyć poprzez klejenie, połączenia mechaniczne (nity, gwinty, zatrzaski). Tworzywa termoplastyczne można dodatkowo łączyć technikami zgrzewania i spawania. Wybór metody łączenia zależy od postaci łączonych elementów, zastosowania, warunków eksploatacji a także od budowy chemicznej i właściwości fizycznych łączonych materiałów.

### 2.1 Spawanie tworzyw sztucznych

Techniki spawania mają zastosowanie w przypadku łączenia elementów z tworzyw termoplastycznych, gdzie konieczne jest wykonywanie trwałych połączeń z dużą wydajnością i możliwie wysoką jakością. Łączenie techniką spawania umożliwia uzyskanie wyrobów finalnych o założonych parametrach użytkowych w sposób szybki i stosunkowo małym kosztem (rys. 1).

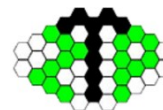


Rysunek 1. Zbiornik do galwanizacji wykonany z polipropylenu (PP) technikami spawania. Szkielet jest stalowy pokryty przyspawanymi profilami z PP.

**Spawanie termoplastów polega na doprowadzaniu ciepła do łączonych powierzchni i materiału łączącego (spoiwa), w celu uplastycznienia ich i docisku spoiwa do łączonych powierzchni.**

Podczas spawania, między uplastycznionym materiałem łączonym i spoiwem, zachodzi dyfuzja makrocząsteczek i po ochłodzeniu powstaje trwałe złącze kohezyjne. Warunkami dobrej dyfuzji jest odpowiednia ruchliwość dyfundujących łańcuchów, dlatego materiał łączony i spoiwo powinny mieć podobną temperaturę mięknięcia (topnienia), a także podobną budowę chemiczną [6]. Większość tworzyw termoplastycznych jest ze sobą niemieszalna termodynamicznie, w związku z tym spoiwo musi być z tego

samego polimeru co materiał łączony. Wyjątkiem jest np. polimetakrylan metylu (PMMA), który można



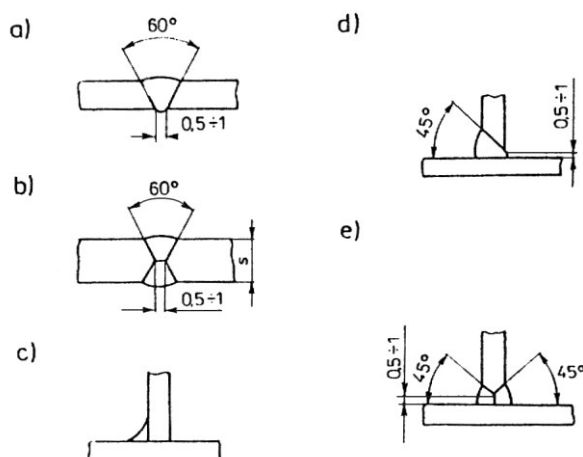
spawać zmięczonym (suspensyjnym-przezroczystym) polichlorkiem winylu (PVC). Umożliwia to uzyskanie większej wytrzymałości połączenia niż przy stosowaniu prętów z PMMA.

Tworzywa termoplastyczne wykazujące w stanie uplastycznionym takie cechy jak: podatność na destrukcję termooksydacyjną, skłonność do degradacji termicznej, duży wskaźnik szybkości płynięcia (MFR), są materiałami, których łączenie technikami spawania wiąże się z dodatkowymi trudnościami lub często jest praktycznie niewykonalne.

W technikach spawania, nagrzewanie odbywa się w strumieniu gorącego gazu najczęściej powietrza, lub w przypadku tworzyw wrażliwych na termooksydację (utleniania pod wpływem podwyższonej temperatury) - azotu, argonu, etc [3].

**Wytrzymałość mechaniczną względną** spoiny określa się stosunkiem wytrzymałości na rozciąganie spoiny do wytrzymałości materiału pierwotnego (nie spojonego). Wytrzymałości względne spoin wahają się w granicach 50%-90% w zależności od materiału i techniki spawania. Spoiny wykonywane przez automaty mają większą wytrzymałość niż spoiny wykonane ręcznie.

W technikach spawania tworzyw sztucznych stosuje się dwa rodzaje spoin: czołowe (spoiwo wprowadza się między powierzchnia styku elementów) (rys. 2. a, b, d, e) i pachwinowe (spoiwo wprowadza się obok styku elementów) (rys. 2. c). Możliwe jest też wykonywanie spoin mieszanych czołowo-pachwinowych.



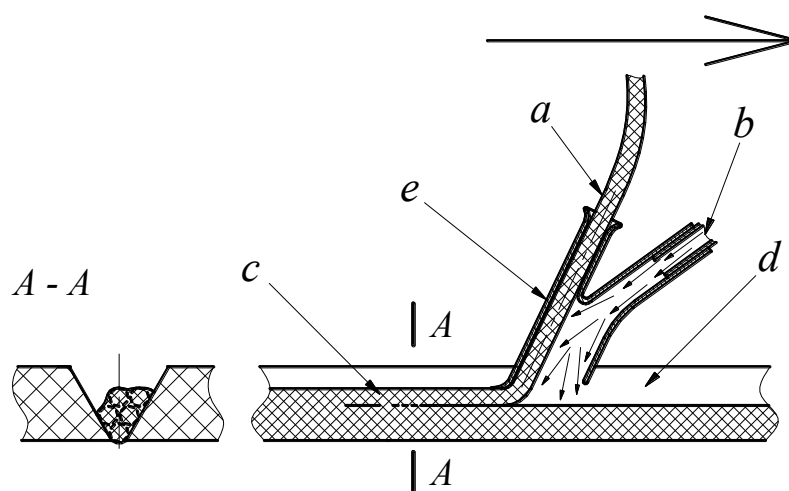
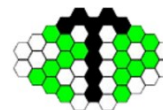
Rysunek 2. Przykładowe rodzaje spoin a) spoina V, b) spoina X, c) spoina pachwinowa pojedyncza, d) spoina 1/2 V, e) spoina K.

Do wykonywania połączeń spawanych termoplastów stosuje się najczęściej dwie techniki: spawanie drutem (ang. welding wire) nazywane również spawanie prętem i spawanie ekstruzyjne (ang. extrusion welding) zwane też spawaniem wytłocznym.

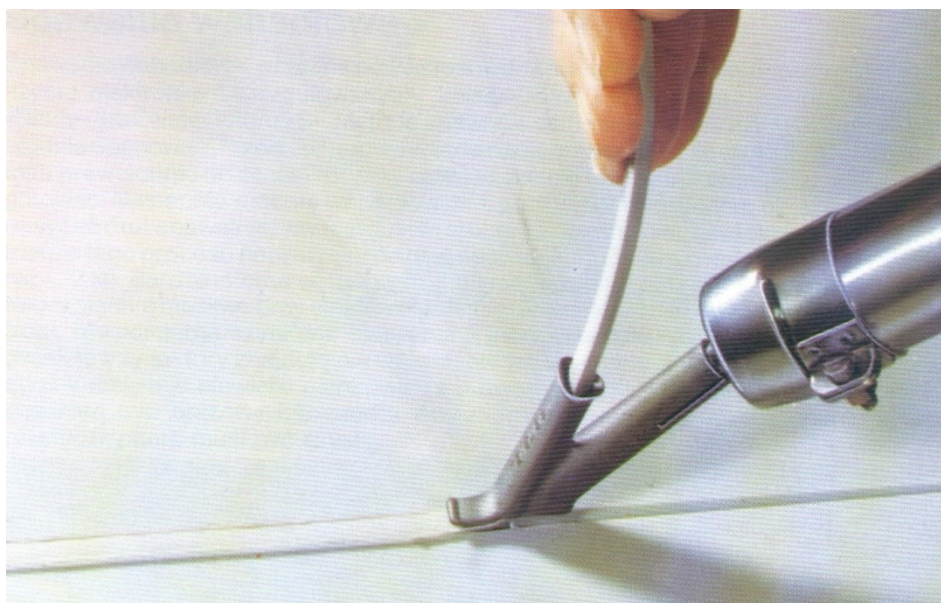
### 2.1.1 Spawanie drutem-prętem

Drutem-prętem nazywamy postać materiału łączącego wykonanego najczęściej z tego samego tworzywa co łączone elementy, o przekroju okrągłym lub trójkątnym i wymiarach poprzecznych od 3 do 7 mm.

Podczas spawania drutem powierzchnie łączone i materiał spoiwa w postaci drutu lub pręta uplastyczniane są gorącym gazem, następnie ręcznie lub stopką dyszy spawalniczej układana jest spoina (rys. 3 i rys. 4). Aby tą techniką połączyć grubsze elementy, niezbędne jest ułożenie większej liczby ściegów.

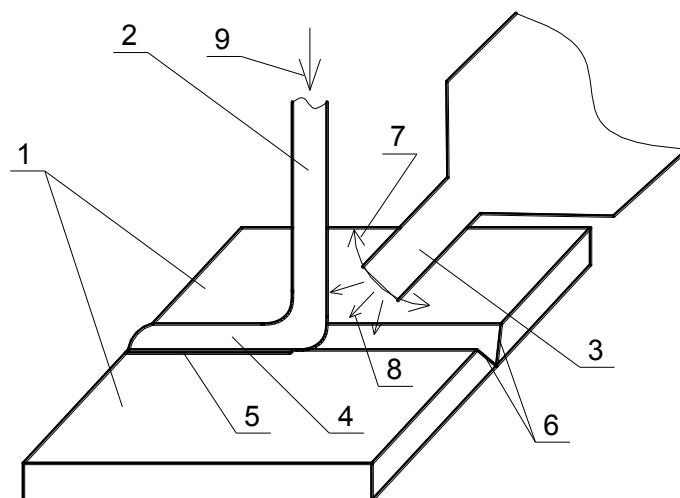
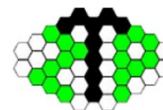


Rysunek 3. Schemat spawania drutem w strumieniu gorącego powietrza. a – drut spawalniczy, b – gorące powietrze, c – spoina, d – zukosowany łączony materiał, e – dysza spawalnicza.



Rysunek 4. Spawanie płyt z PP drutem profilowym z zastosowaniem dyszy spawalniczej.

W przypadku braku dyszy spawalniczej możliwe jest spawanie wahadłowe (Urząd Dozoru Technicznego nazywa takie spawanie wachlarzowym) bez użycia dyszy (rys.5 i rys. 6.), spawanie wtedy jest zdecydowanie mniej wydajne (ok. 10-krotnie wolniejsze).



Rysunek 5. Spawanie wahadłowe prętem z tworzywa w strumieniu gorącego gazu (najczęściej powietrza): 1 – materiały łączone, 2 – pręt-drut z tego samego tworzywa co materiały łączone, 3 – końcówka spawarki-dmuchawy gorącego gazu, 4 – lico wykonanej spoiny, 5 – nadlew-wypływka, 6 – ukosowany pod kątem  $60^\circ$  materiał – spoina doczołowa V, 7 – kierunek wykonywanego ruchu wahadłowego, 8 – gorący gaz, 9 – nacisk na pręt spawalniczy (ok. 1 – 2 kg).

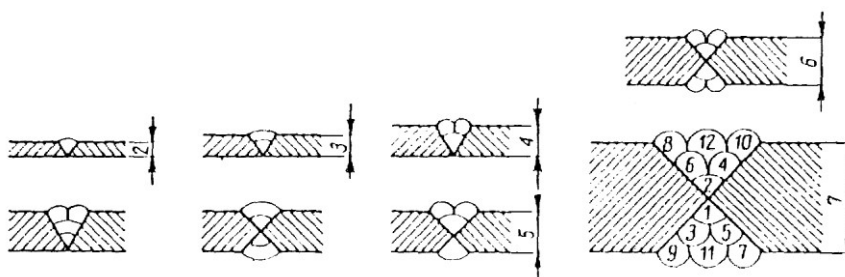
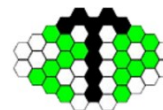


Rysunek 6. Zobrazowanie prawidłowego nadlewu-wypływki przy wahadłowym spawaniu utwardzonego polichlorku winylu (PVC) i profilowanego pręta spawalniczego PVC.

Bardzo istotna podczas spawania drutem jest odpowiednio dobrana temperatura gorącego gazu, oraz równomierna prędkość spawania i nacisk, tak aby powstał właściwy nadlew-wypływka, który jest gwarancją dobrego spawu. Zarówno materiał łączony jak i drut spawalniczy muszą być w takim samym stopniu uplastycznione, gdyż w przeciwnym wypadku nie nastąpi dyfuzja i spoina będzie wadliwa. Należy podkreślić,

że temperatura którą będzie miało tworzywo podczas spawania zależy jednocześnie od temperatury gazu oraz prędkości spawania, czyli czasu jaki będzie gorący gaz oddziaływał z tworzywem. Przy większej prędkości spawania temperatura gazu powinna być wyższa niż przy mniejszej prędkości spawania.

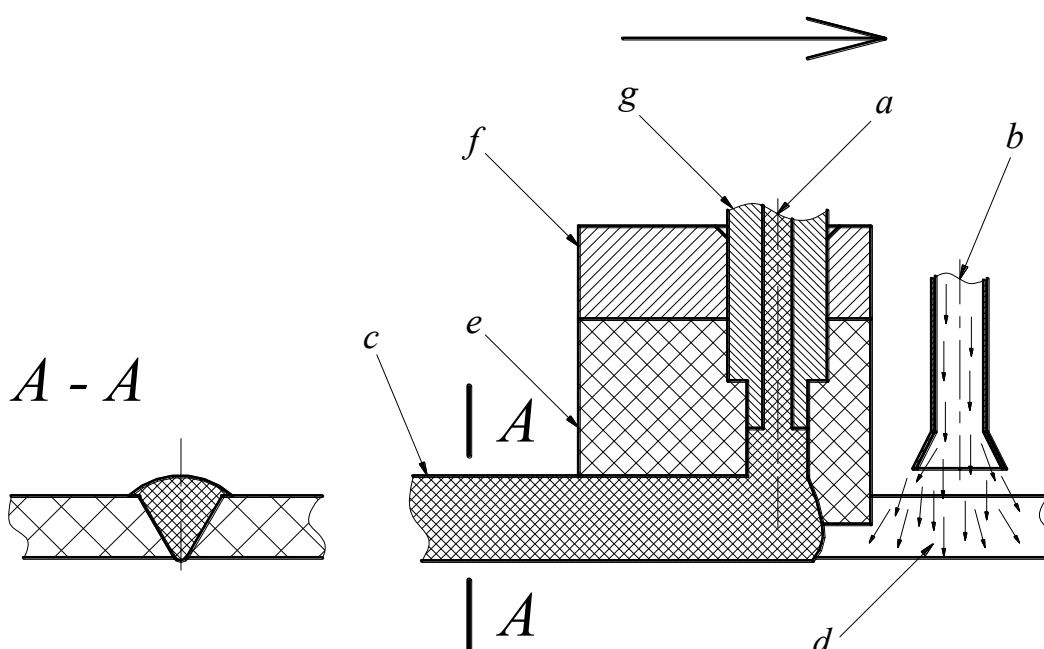
Na rysunku 7 pokazane jest jak należy dobierać warstwy spoin w zależności od grubości materiału łączonego. Należy zwrócić uwagę, że do wykonania spoiny X potrzeba mniej materiału niż do wykonania analogicznej spoiny V.



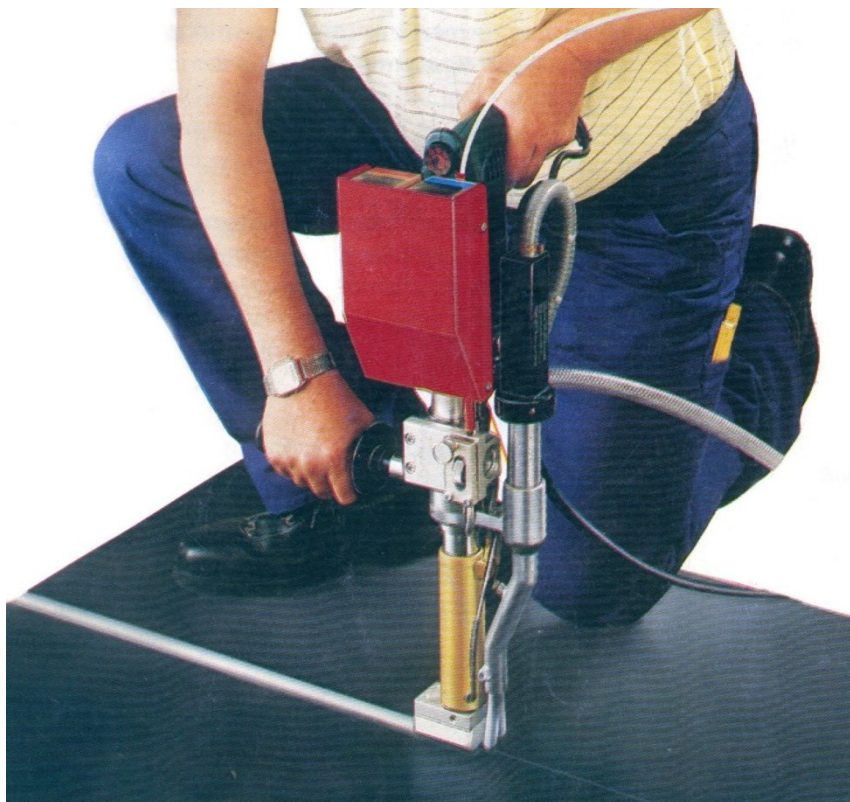
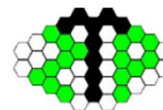
Rysunek 7. Zależność ilości warstw spoiwa od grubości (mm) spawanych elementów.

### 2.1.2 Spawanie ekstruzyjne

W spawaniu ekstruzyjnym (wyłocznym) uplastycznione spoiwo jest wytłaczane z wytłaczarki i specjalną głowicą tzw. butem spawalniczym jest formowana spoina między uplastycznionymi gorącym gazem powierzchniami łączonymi (rys. 8). Tą metodą możemy jednym przejściem wykonywać spoiny o dużej grubości. Spawanie ekstruzyjne jest bardziej wydajne niż spawanie drutem.



Rysunek 8. Schemat spawania ekstruzyjnego. a – stopione tworzywo z ekstrudera, b – gorące powietrze, c – spoina, d – ukosowany łączony materiał, e – but spawalniczy z PTFE, f – podstawa buta, g – dysza ekstrudera.



Rysunek 9. Spawanie doczołowe płyt z PEHD spawarką ekstruzyjną.

Wybór metody łączenia zależy od postaci łączonych elementów, zastosowania, warunków eksploatacji a także od budowy chemicznej i właściwości fizycznych łączonych materiałów.

## 2.2 Zgrzewanie tworzyw sztucznych

Zgrzewanie tworzyw sztucznych jest to proces łączenia elementów z tworzyw termoplastycznych polegający na uplastycznieniu pod wpływem podwyższonej temperatury łączonych powierzchni i docisku ich do siebie. Po ochłodzeniu powstaje trwałe złącze.

Ciepło potrzebne do uplastycznienia materiału, w zależności od techniki zgrzewania, może być doprowadzone z zewnątrz albo może być wytworzone wewnątrz materiału. Łańcuchy polimerowe dociśniętych do siebie łączonych powierzchni przeplatają się wzajemnie wskutek dyfuzji. Splątane makrocząsteczki po ochłodzeniu tworzą trwałe połączenie. Ze względu na dyfuzyjny charakter procesu właściwości wytrzymałościowe złącza zależą od temperatury i czasu jej oddziaływania oraz od wartości docisku i czasu jej trwania.

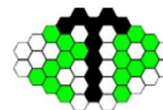
Rozróżnia się 9 następujących metody zgrzewania (podział ze względu na sposób doprowadzenia ciepła):

A) nagrzewanie od **zewnątrznej** strony łączonych elementów:

- 1) zgrzewanie kontaktowe
- 2) zgrzewanie impulsowe

B) nagrzewanie od **wewnętrznej** strony łączonych elementów:

- 3) zgrzewanie gorącym powietrzem
- 4) zgrzewanie gorącym klinem
- 5) zgrzewanie gorącą płytą
- 6) zgrzewanie tarciove
- 7) zgrzewanie wibracyjne
- 8) zgrzewanie laserowe



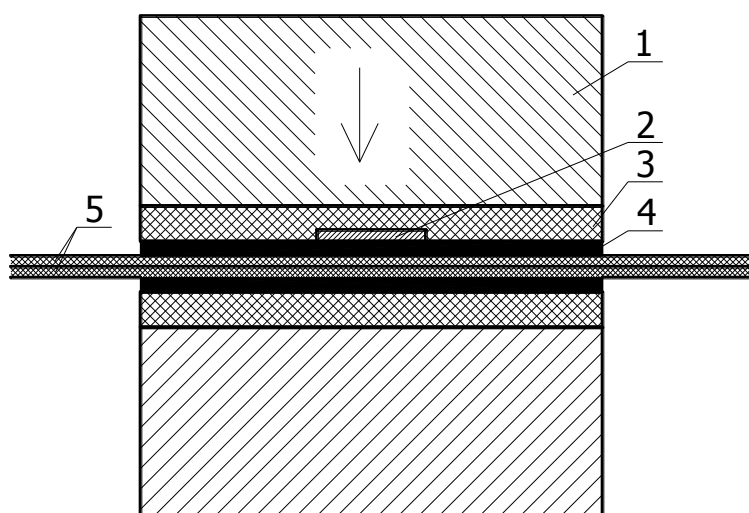
- 9) zgrzewanie mufowe (polidyfuzyjne)
- C) nagrzewanie przy wytworzeniu ciepła wewnątrz łączonych materiałów
  - 10) elektrooporowe
  - 11) zgrzewanie prądami wysokiej częstotliwości
  - 12) Zgrzewanie mikrofalami
  - 13) zgrzewanie ultradźwiękowe

### 2.2.1 Zgrzewanie kontaktowe

Zgrzewanie kontaktowe polega na dociśnięciu łączonych elementów (przede wszystkim folii) do siebie między gorącymi elektrodami lub między gorącą i zimną elektrodą. Elektrody są nagrzewane poprzez przepływ prądu elektrycznego poprzez elementy elektrooporowe. Aby wyeliminować przywieranie uplastycznionego materiału do elektrod, powleka się je policzterofluoroetylenem (PTFE)(znany p od nazwą handlową Teflon) lub tkaniną szklaną nasyconą PTFE. Elektrody podczas całego procesu są gorące. W przypadku łączenia folii, często zgrzewanie kontaktowe prowadzi się w ten sposób aby podczas procesu nastąpiło przecięcie z jednoczesnym spojeniem przeciętych obrzeży.

### 2.2.2 Zgrzewanie impulsowe

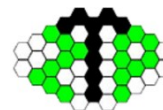
Zgrzewanie impulsowe (rys. 10) polega na ściśnięciu łączonych elementów (przede wszystkim folii) elektrodami, które następnie wskutek krótkiego impulsu prądu elektrycznego są bardzo szybko nagrzewane, a następnie szybko schłodzone. Czas impulsu wynosi od 0,1 do ok. 3 sekund w zależności od grubości. Impuls prądu nie nagrzewa całej elektrody tylko cienką taśmę elektrooporową znajdującą pod elektrodą osłoniętą tkaniną szklaną przesyconą PTFE. Po ustaniu impulsu ciepło jest odbierane przez maszyną elektrodę stalową, która może być dodatkowo cały czas chłodzona. Zaletą metody zgrzewania impulsowego jest chłodzenie złącza pod dociskiem, co eliminuje możliwość jego uszkodzenia przed całkowitym schłodzeniem. Zalety tej nie posiadają zgrzewarki kontaktowe. Metoda ta jest najbardziej rozpowszechniona do zgrzewania opakowań z folii z jednoczesnym ich napełnianiem.



Rysunek 10. Schemat zgrzewania impulsowego. 1 – listwa dociskowa, 2 – taśma elektrooporowa, 3 – guma porowata (izolacja elektryczna taśmy), 4 – tkanina szklana przesycona PTFE, 5 – łączone folie.

### 2.2.3 Zgrzewanie gorącym powietrzem

Zgrzewanie to polega na nagrzaniu gorącym powietrzem wewnętrznych stron łączonych materiałów i docisku ich do siebie (rys. 11). Parametrem zgrzewania jest temperatura wypływającego powietrza i jego ciśnienie a także prędkość przesuwu oraz wielkość docisku. Docisk najczęściej odbywa się za pomocą



elastycznego wałka co umożliwia zgrzewanie nierównych powierzchni. Technika zgrzewania gorącym powietrzem wykonuje się złącza zakładkowe. Metoda ta jest wydajna i umożliwia wykonywanie połączeń z szybkością do 15 m/min.



Rysunek 11. Zgrzewanie gorącym powietrzem polietylenowej wykładziny basenu pływackiego taśmą o szerokości 2cm.

#### 2.2.3.1 Zgrzewanie gorącym klinem

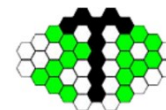
Zgrzewanie tą metodą polega na uplastycznieniu krawędzi łączonych elementów za pomocą gorącego klina metalowego i docisku krawędzi do siebie. Nacisk na elementy wywierany jest za pomocą walcowej rolki. Metoda podobna do zgrzewania gorącym powietrzem. Technika to zgrzewa się folie i cienkie płyty np. z PE, PVC, PMMA.

#### 2.2.3.2 Zgrzewanie gorącą płytą

Metoda ta polega na dociśnięciu powierzchni łączonych do gorącej płyty w celu uplastycznienia tworzywa, a następnie po usunięciu płyty docisku powierzchni do siebie. Podstawowymi parametrami zgrzewania są: temperatura płyty, czas docisku do płyty i siła docisku, czas docisku powierzchni łączonych i siła docisku. Podczas zgrzewania tworzą się dwa symetryczne wypłytki (wałeczki) powstałe z wyciśniętego ze złącza tworzywa. Metodą tą masowo wykonuje się połączenia rur i płyt z tworzyw sztucznych termoplastycznych. Największe zastosowanie metoda znajduje w łączeniu rur z przeznaczeniem do wody, gazu i innych mediów. Najczęściej są to rury z PEHD, PP. Duże zastosowanie metoda ta ma w produkcji okien i drzwi z PVC. Zgrzewaniem doczołowym łączy się płyty w budowie zbiorników instalacji chemicznych.

#### 2.2.3.3 Zgrzewanie tarciove

W metodzie tej ciepło niezbędne do uplastycznienia materiału uzyskuje się przez wzajemne tarcie łączonych powierzchni z jednoczesnym dociskiem ich do siebie. Po osiągnięciu wymaganej temperatury operację tarcia przerywa się utrzymując tylko docisk. Zgrzewanie można przeprowadzać na przystosowanych do tego tokarkach – łączy się w ten sposób rury. Dobrze zgrzewają się tą metodą twarde termoplasty, podatne na utlenianie w podwyższonej temperaturze. Zgrzewanie odbywa się praktycznie bez dostępu powietrza do uplastycznionego tworzywa. Metoda doskonale nadaje się do zgrzewania PA, który jest twardy i podatny na utlenianie w podwyższonej temperaturze.



#### 2.2.3.4 Zgrzewanie wibracyjne

Zgrzewanie wibracyjne jest odmianą zgrzewania tarcowego, gdyż ciepło potrzebne do uplastycznienia materiału również wydziela się podczas tarcia. Różnica polega na tym, że łączone powierzchnie trą o siebie wykonując wibracje względem siebie. Jeden z elementów jest nieruchomy, a drugi wprowadzany w ruch drgający, przy jednoczesnym wywieraniu docisku. Częstotliwość stosowana w tej metodzie wynosi 100 – 280 Hz. Elementy zgrzewane mogą mieć dowolny kształt. Względne przemieszczenie zgrzewanych części może być liniowe lub kątowe. Wibrujące powierzchnie zgrzewanych elementów ulegają uplastycznieniu w ciągu 2-3 s, a po ustaniu drgań następuje ich zestalenie pod odpowiednim dociskiem. Tą metodą zgrzewać można elementy o większych gabarytach np. zbiorniki na paliwo do samochodów.

#### 2.2.3.5 Zgrzewanie laserowe

W tej metodzie następuje uplastycznienie łączonych powierzchni jest następstwem absorpcji promieniowania laserowego. Oddziaływanie promienia lasera z makrocząsteczkami polimeru powoduje zwiększenie ich drgań i podniesienie temperatury tworzywa. Jeżeli tworzyw wykazuje słabą absorpcję promieniowania lasera, wprowadza się uprzednio do tworzywa środki pomocnicze w postaci cząstek dobrze absorbujących to promieniowanie. Przy pomocy lasera można wykonać połączenia doczołowe poprzez nagrzanie laserem rozsuniętych powierzchni przeznaczonych do zgrzania a następnie docisku ich do siebie podobnie jak ma to miejsce podczas zgrzewania gorącą płytą. Drugim sposobem zgrzewania za pomocą lasera jest wykonywanie połączeń elementów, z których jeden przepuszcza promieniowanie (nie wykazuje absorpcji) natomiast drugi doskonale absorbuje je. Są to elementy z tego samego polimeru ale jeden z elementów posiada napelniacz absorbujący promieniowanie lasera. Elementy są dociśnięte do siebie, promień lasera przechodzi przez jeden materiał natomiast na styku elementów następuje absorpcja promieniowania z wydzieleniem ciepła i zgrzanie.

#### 2.2.3.6 Zgrzewanie mufowe (polidyfuzyjne)

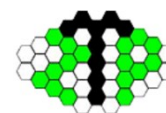
Metoda stosowana wyłącznie do łączenia rur. W metodzie tej łączenie rur odbywa się za pomocą kształtek (muf), nie łączy się rury z rurą bezpośrednio. Miejsce zgrzania jest wewnętrzna powierzchnia kształtki i zewnętrzna rur. Nagrzewania odbywa się na specjalnych narzędziach pokrytych np. teflonem aby zapobiec adhezji do elementów grzejnych. Narzędzie jest w postaci nagrzanego z jednej strony trzpienia i z drugiej strony rury, na które nasadza się jednocześnie kształtkę i wsadza rurę. Po podgrzaniu elementów narzędzie usuwa się i natychmiastowo wkłada się rurę w kształtkę i następuje zgrzanie. Metodą to wykonuje się coraz częściej instalacje wodne z rur PE i PP w gospodarstwach domowych.

#### 2.2.3.7 Zgrzewanie elektrooporowe

Metoda prawie identyczna jak zgrzewanie mufowe z tą różnicą, że nie nagrzewa się powierzchni łączonych gorącym narzędziem. Kształtki (mufy) posiadają wtopiony w ścianki drut elektrooporowy. Po włożeniu rur w kształtkę, przez drut przepuszczany jest prąd elektryczny powodujący rozgrzanie drutu i otaczającego go polimeru. Podgrzewa się zarówno wewnętrzna powierzchnia kształtki jak i zewnętrzna powierzchnia rur w kształtce. Następuje zgrzanie powierzchni.

#### 2.2.3.8 Zgrzewanie prądami wysokiej częstotliwości

Metoda przeznaczona do tworzyw sztucznych mających budowę polarną i wykazujących wysoki współczynnik stratności dielektrycznej przede wszystkim do PVC. Możliwe jest też zgrzewanie tą metodą ABS, PET, PUR, EVA, CA. Pod działaniem pola elektromagnetycznego następuje polaryzacja cząsteczek tworzywa wg linii działania pola czyli ustawienie się dipoli analogicznie jak ustawia się igła kompasu w polu elektromagnetycznym. Po zmianieniu zmianie biegunów przyłożonego napięcia, następuje przegrupowanie



dipoli o  $180^\circ$ . Jeżeli zmiana biegunów odbywa się miliony razy w ciągu sekundy (dokładnie 27 MHz), ruch dipoli wywołuje tarcie wewnętrzne i nagrzewanie się materiału (wyobrazić sobie to można w ten sposób, że igła kompasu reprezentująca pojedynczy dipol na skutek zmiennego pola elektromagnetycznego ustawiała się z wielką częstotliwością raz w górę raz w dół). Elektrody, które dociskają materiał są zimne a ciepło wytwarzane jest w materiale między elektrodami. Górna elektroda ma kształt wykonywanego złącza a dolną stanowi płyta. Wytrzymałość względna spoin wykonanych tą metodą jest bardzo wysoka i dochodzi do 99%, gdyż wymuszony ruch dipoli bardzo wzmaga dyfuzję łańcuchów i wzajemne ich przemieszanie w złączu. Metodą tą wykonuje się zgrzewanie elementów wyposażenia samochodowego, materiałów obiciowych wykonanych np. ze sztucznej skóry PVC.

### 2.2.3.9 Zgrzewanie mikrofalami

Metoda analogiczna do zgrzewania prądami wysokiej częstotliwości różniąc się jedynie częstotliwością pola wynoszącą 0,3-300 GHz i długościami fal elektromagnetycznych.

### 2.2.3.10 Zgrzewanie ultradźwiękowe

Zgrzewanie to polega na wprowadzeniu materiału łączonego za pomocą sondotrody w drgania o częstotliwościach ultradźwiękowych (20-40 KHz), przez co w miejscu odpowiednio uformowanego styku materiałów wydziela się ciepło umożliwiające zgrzanie po ustaniu drgań. Ciepło wydziela się z powodu tarcia wewnętrznego na skutek wysokich naprężeń zmiennych w czasie (a co za tym idzie odkształceń) w miejscu styku materiałów. Materiały w miejscu styku mają małą powierzchnię co powoduje że pod wpływem siły w tym miejscu powstają duże naprężenia i odkształcenia. Zgrzewarka ultradźwiękowa składa się m.in. z przetwornika drgań, w którym wytwarzane są drgania mechaniczne trzpienia, który przenosi je na materiał łączony a także z kowadełka przejmującego nadmiar drgań i odprowadzającego ciepło. Tworzyw przeznaczone do zgrzewania ultradźwiękowego nie powinny tłumić drgań a więc powinny być twarde (np. PA, PC, PMMA, PS, PET, PBT), aby przekazywać całą energię do złącza. Metoda wydajna, czas zgrzewania nie przekracza 2 s.

## 2.3 Klejenie

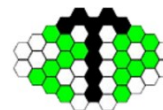
**Klejenie jest to proces łączenia materiałów polegający na naniesieniu między łączone powierzchnie warstwy kleju, który po stwardnieniu trwale łączy spajane elementy.** Wytrzymałość połączenia zależy od rodzaju zastosowanego kleju oraz rodzaju łączonych elementów. Technika klejenia możemy trwale łączyć ze sobą materiały o różnych właściwościach np. tworzywa sztuczne, metale, drewno, szkło itp. Kleje są to najczęściej substancje polimerowe zawierające przeważnie dodatki takie jak rozpuszczalniki, napelniacze, utwardzacze, plastyfikatory, stabilizatory itp.

Kleje można podzielić ze względu na sposób utwardzenia na:

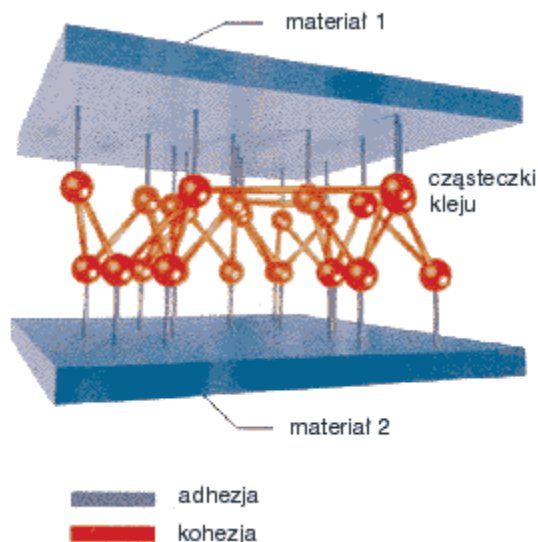
- rozpuszczalnikowe (po odparowaniu rozpuszczalnika pojawiają się oddziaływania fizyczne między cząsteczkami kleju),
- reaktywne (w kleju zachodzą reakcje chemiczne i powstają wiązania kowalencyjne między atomami cząsteczek kleju),
- termoplastyczne (po obniżeniu temperatury termoplastyczny klej się ponownie zestala).

### 2.3.1 Pojęcia adhezji i kohezji

W procesie klejenia wykorzystuje się dwa zjawiska fizyczne: adhezję, i kohezję. Adhezja odpowiedzialna jest za „trzymanie” się kleju łączonej powierzchni, natomiast kohezja za spójność samego kleju tzn. jego wytrzymałość. Na adhezję wpływają oddziaływania mechaniczne jakie pojawiają się po wnikięciu kleju w mikropory i nierówności a także oddziaływania międzycząsteczkowe (siły przyciągania Van der Waalsa) a czasami również siły wiązań chemicznych jakie w niektórych przypadkach powstają



między klejem a powierzchnią łączoną. Na kohezję składają się: siły Van der Waalsa oraz powstanie wiązań chemicznych między łańcuchami polimerowymi (sieciowanie). Zwiększenie sił kohezji następuje po utwardzeniu kleju.



Rysunek 12. Obrazowe przedstawienie adhezji i kohezji.

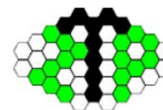
### 2.3.2 Warunki powstania prawidłowego złącza klejowego

Późniejsza wytrzymałość złącza zależy zarówno od nawilżenia klejem powierzchni (aby osiągnąć pełny kontakt międzycząsteczkowy), jak i od jej właściwości adhezyjnych. Może się zdarzyć, że pomimo dobrej adhezji kleju do powierzchni nie została ona dostatecznie zwilżona co zasadniczo obniży połączenie. Przy podanym napięciu powierzchniowym kleju zwilżalność zależy od napięcia powierzchniowego detalu i lepkości kleju. Także zanieczyszczenia powierzchni mogą spowodować obniżenie stopnia jej nawilżenia klejem.

Bardzo ważnym aspektem od którego zależy dobra przyczepność jest polarność kleju i substancji sklejaney. Nie można uzyskać wytrzymałego połączenia dwóch materiałów polarnych, sklejaney klejem o charakterze niepolarnym i odwrotnie. Siły przyciągania między różnoimiennymi biegunami dipoli kleju i podłoża są częścią ogólnej siły adhezji między polarną powierzchnią i polarnym klejem. Gdy na powierzchni kleju osiągnie się zorientowanie przynajmniej większości grup polarnych w kierunku powierzchni klejonej, siły adhezji stają się dość znaczne. Zorientowanie takie uzyskuje się tym łatwiej, im większą płynność wykazuje klej, gdyż wtedy jego cząsteczki są bardziej ruchliwe i ich grupy polarne łatwiej ulegają działaniu sił przyciągających grup polarnych powierzchni klejonej.

Poza odpowiednią przyczepnością istnieje szereg wymagań stawianych dobrym klejom. A więc powinny się one odznaczać dostateczną spójnością, by połączenie klejone wykazywało wystarczającą wytrzymałość na działanie czynników mechanicznych. W takiej sytuacji należałoby raczej stosować kleje na bazie tworzyw termoutwardzalnych. Poza tym klej przeznaczony dla konstrukcji bardziej obciążonych nie powinien wykazywać znaczącego płynięcia pod wpływem długotrwałych obciążeń statycznych, a jego starzenie powinno być nieznaczne, aby nie wpływało w poważniejszym stopniu na jego właściwości mechaniczne. Ważną kwestią jest dobór substancji klejącej o współczynniku rozszerzalności cieplnej zbliżonym do współczynnika podłoża. Jeśli współczynniki kleju i podłoża różnią się znacznie, to przy zmianach temperatury w spoinie występują duże naprężenia wewnętrzne, mogące spowodować zniszczenie wiązania.

Z punktu widzenia mechanicznej teorii przyczepności substancja klejąca powinna spełniać trzy warunki: 1) być ciekłą, 2) dobrze zwilżać sklejaney powierzchnie, 3) odznaczać się zdolnością tężenia, przy czym najistotniejsze znaczenie ma zdolność zwilżania. Zależy ona przede wszystkim od lepkości i napięcia



powierzchniowego. Miarą zwilżalności powierzchni jest kąt zwilżania  $\theta$ , zawarty między zwilżaną powierzchnią a styczną do powierzchni zwilżającej cieczy. W miarę wzrostu adhezji kleju do powierzchni kąt zwilżania maleje aż do momentu zrównania się siły adhezji z siłą spójności kleju. Wtedy kąt ma wartość równą zeru.

Nacisk, temperatura i czas klejenia są to parametry wywierające wpływ na ostateczną wytrzymałość kleju. Dwa ostatnie czynniki decydują o tym, kiedy błona zostanie ostatecznie wysuszona lub zestalona. Nacisk natomiast decyduje o grubości warstwy klejowej i niekiedy o braku w niej defektów (pęcherzyków i spękań).

### 2.3.3 Mechanizmy utwardzania klejów reaktywnych

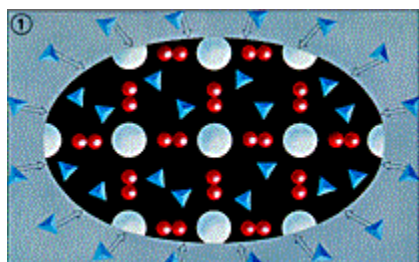
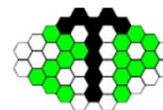
Większość klejów to kleje na bazie polimerów reaktywnych. Wiązanie takich klejów odbywa się poprzez polimeryzacyjne reakcje chemiczne. Obecnie produkuje się wiele klejów o specjalnych mechanizmach utwardzania, przeznaczonych dla różnych zastosowań. Sposoby utwardzania klejów reaktywnych:

- a) *reakcja anaerobowa*
- b) *naświetlanie promieniami UV (także jako wtórny system utwardzania)*
- c) *reakcja anionowa (cyjanokrylany)*
- d) *system aktywacyjny (akrylany modyfikowane)*
- e) *utwardzanie wilgocią (silikony, uretany)*

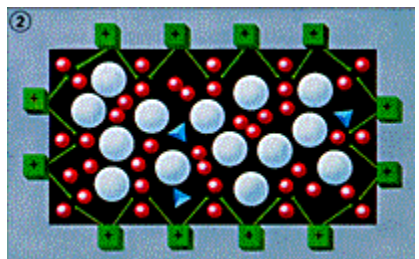
#### a) KLEJE UTWARDZANE ANAEROBOWO

Kleje anaerobowe to jednoskładnikowe materiały, które utwardzają się w temperaturze pokojowej przy wyeliminowaniu kontaktu z tlenem. Składnik utwardzający nie aktywizuje się, dopóki pozostaje w kontakcie z tlenem atmosferycznym. Kiedy klej zostanie pozbawiony dopływu tlenu, np. przy montażu części, wówczas utwardzanie następuje bardzo szybko, szczególnie przy równoczesnym kontakcie z metalem. Proces utwardzania można wyobrazić sobie w sposób następujący: kiedy zostanie wyłączony dopływ tlenu atmosferycznego, pod wpływem działania jonów metalu (Cu, Fe) powstają wolne rodniki, które zapoczątkowują proces polimeryzacji.

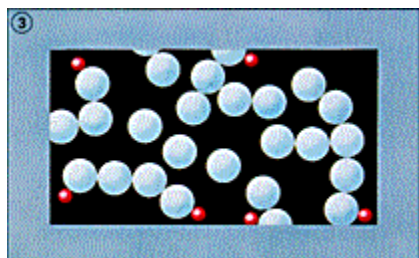
Płynny klej jest w stanie całkowicie wypełnić połączenie i wnikać w najdrobniejsze nawet szczeliny dzięki swej kapilarności. Następnie utwardzony klej "zakleszcza się" w mikronierównościach klejonych części. Proces utwardzania jest także stymulowany przez kontakt kleju z powierzchniami metalowymi, które działają jak katalizator. Materiały pasywne mają słabe (lub żadne) właściwości katalizujące, wymagają więc - dla szybkiego i pełnego utwardzenia - zastosowania aktywatorów. W tych przypadkach, jeszcze przed naniesieniem kleju, trzeba pokryć aktywatorem jedną lub obie klejone powierzchnie. Nie ma tu konieczności mieszania składników ani żadnych ograniczeń związanych z czasem przydatności takiej mieszaniny.



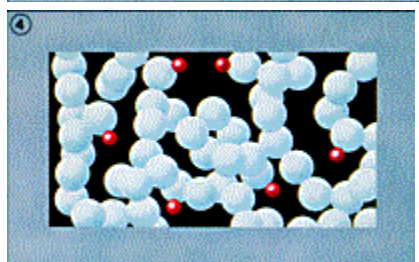
W stanie płynnym klej zachowuje stabilność dzięki stałemu dopływowi tlenu



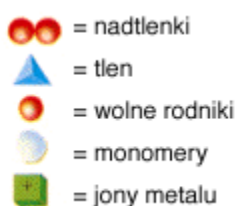
Kiedy zostanie zamknięty w szczelinie złącza i pozbawiony kontaktu z tlenem nadtlenki w reakcji z jonami metalu, zamieniają się w wolne rodniki.



Następnie wolne rodniki inicjują formowanie się łańcuchów polimeryzacyjnych.



Postać utwardzona przedstawia zwartą strukturę z wiązaniami poprzecznymi łańcuchów.



Rysunek 13. Proces zastygania kleju utwardzanego anaerobowo.

Kleje utwardzane poprzez reakcję anaerobową posiadają na ogół następujące cechy:

- bardzo wysoka wytrzymałość na ścinanie
- dobra odporność na temperaturę (od  $-55^{\circ}\text{C}$  do maks.  $+230^{\circ}\text{C}$ )
- szybkie utwardzanie
- ponieważ są jednoskładnikowe, łatwo je dozować dozownikami automatycznymi
- nie jest tu konieczna precyzyjna obróbka części; dopuszczalna chropowatość powierzchni wynosi 8 do  $40\ \mu\text{m}$  (Rz)
- równoczesne działanie uszczelniające przy doskonałej odporności chemicznej
- dobra odporność na wibracje
- dobra odporność na obciążenia dynamiczne

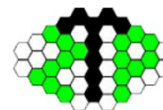


Tabela 1. Wpływ materiałów pasywnych i aktywnych na utwardzanie anaerobowe

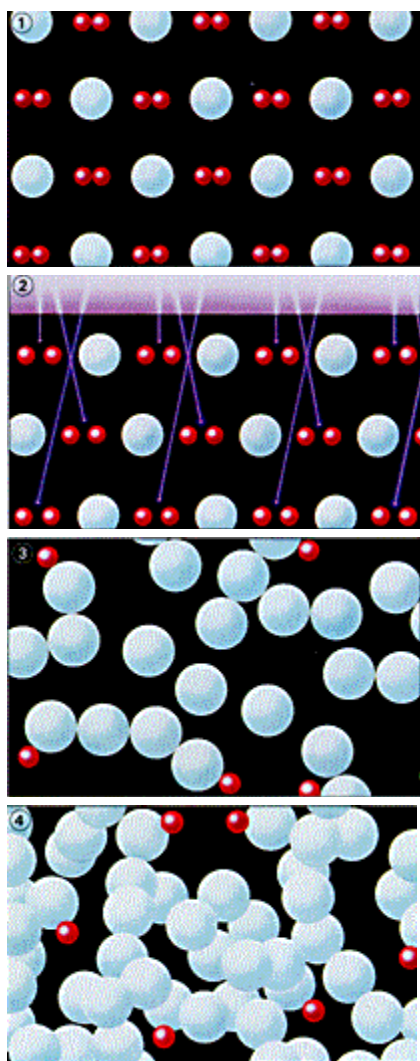
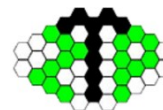
Materiały aktywne Szybkie utwardzanie	Materiały pasywne Wolne utwardzanie*)
Mosiądz Brąz Miedź Żelazo Stal	Powłoki anodowe Aluminium (z niską zawartością Cu) Ceramika Warstwy chromowane Szkło Stal wysokostopowa Nikiel Warstwy tlenkowe Tworzywa sztuczne Srebro Stal nierdzewna Cyna Cynk

\*) aktywator przyspiesza proces utwardzania

#### b) KLEJE UTWARDZANE ŚWIATŁEM UV

Czas utwardzania tych klejów zależy od natężenia i długości fal światła UV. Dlatego prawidłowa polimeryzacja wymaga zawsze doboru źródła promieniowania UV do danego produktu. Promieniowanie UV powoduje rozszczepianie fotoinicjatorów. Z kolei tak powstałe wolne rodniki rozpoczynają polimeryzację. Procesy utwardzania UV dzieli się na trzy rodzaje:

- utwardzanie wskrośne przez promieniowanie UV
- utwardzanie powierzchniowe przez promieniowanie UV
- wórnne systemy utwardzania



W stanie płynnym monomery i fotoinicjatory współistnieją bez żadnych interakcji.

Kiedy zostaną poddane działaniu światła UV ...

...fotoinicjatory zmieniają się w wolne rodniki, które inicjują tworzenie się łańcuchów monomeru.

Łańcuchy polimeryzacyjne sieciują tworząc wiązania poprzeczne



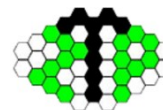
Rysunek 14. Proces zastygania klejów utwardzanych UV.

### Utwardzanie wskrośne

Dla osiągnięcia maksymalnie głębokiego utwardzenia kleju wskazane są systemy UV, które emitują światło o wysokim natężeniu i długościach fal rzędu od 300 do 400 nm.

### Utwardzanie powierzchniowe

Utwardzanie powierzchniowe jest szczególnie ważne przy klejeniu lub zalewaniu materiałami UV. Jeśli użyje się nieodpowiednich rodzajów lamp UV, powierzchnia pozostanie lepka. Aby temu zapobiec, źródło promieniowania UV powinno emitować fale o wysokim natężeniu w zakresie długości fal poniżej 280 nm (światło UVC). Jest to bardzo skuteczne, gdy chce się uniknąć niepożądanego reakcji przy kontakcie klejonej powierzchni z powietrzem atmosferycznym, które hamuje utwardzanie się produktu. Widma promieniowania "wysokoenergetycznych" systemów światła UV gwarantują niezawodne utwardzanie, nie pozostawiając lepkiej powierzchni kleju.

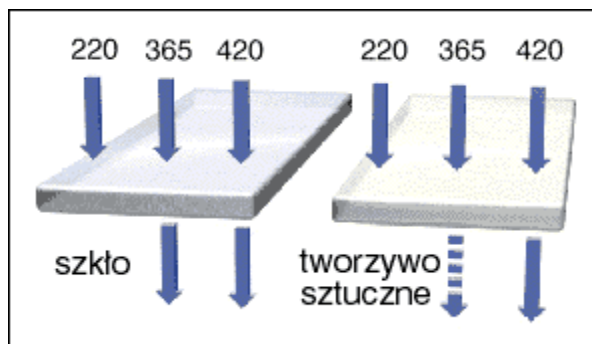


### Utwardzanie przy pomocy mechanizmów wtórnych

W wielu przypadkach światło UV nie dociera do wszystkich miejsc pokrytych klejem. Dlatego opracowano kleje z dodatkowymi systemami utwardzania w przestrzeniach nie objętych światłem UV:

- utwardzanie anaerobowe
- utwardzanie na gorąco
- utwardzanie poprzez wilgoć z powietrza
- utwardzanie aktywatorem

Jak uprzednio wyjaśniono, utwardzanie klejów UV zależy od długości fali i natężenia światła na powierzchni klejonej. Tak więc ważnym kryterium doboru najwłaściwszego kleju jest stopień przenikalności różnych materiałów dla światła UV. Do łączenia części wykonanych z PC (poliwęglan), PVC (polichlorek winylu) czy podobnych materiałów, przeznaczone są "kleje utwardzane światłem widzialnym". Kleje te można utwardzać światłem UVA, lecz znacznie lepszy efekt uzyskuje się, gdy podda się je działaniu światła o dużym natężeniu i długości fali około 420 nm (światło widzialne).



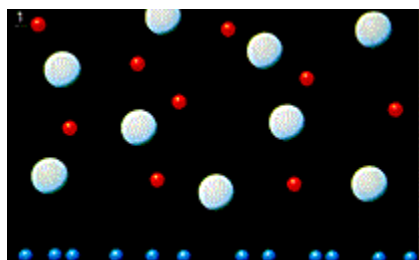
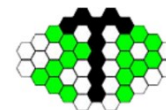
Rysunek 15. Przenikalność szkła i tworzyw dla UV.

Kleje utwardzane światłem UV generalnie charakteryzują się następującymi własnościami:

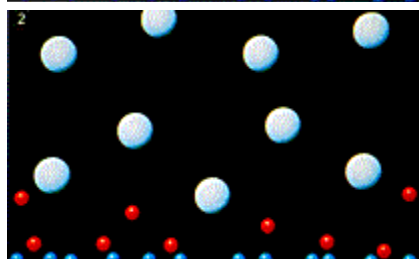
- znaczna wytrzymałość
- wysoka zdolność wypełniania szczelin
- bardzo krótkie czasy utwardzania do osiągnięcia wytrzymałości ręcznej
- dobra do bardzo dobrej odporność na środowisko
- jako kleje jednoskładnikowe są łatwe do dozowania w automatycznych systemach nanoszenia

### c) KLEJE UTWARDZANE POPRZEC REAKCJĘ ANIONOWĄ (CYJANOAKRYLANY)

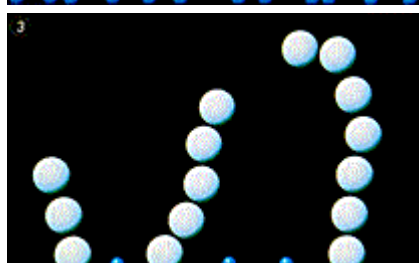
Jednoskładnikowe kleje cyjanoakrylowe ulegają polimeryzacji w kontakcie z powierzchniami lekko alkalicznymi. Na ogół wilgotność w powietrzu i na klejonych powierzchniach wystarcza, aby w ciągu kilku sekund nastąpiło utwardzenie. Wilgotność klejonej powierzchni neutralizuje zawarty w kleju stabilizator, tak więc polimeryzacja przenosi się z jednej powierzchni na drugą. Aby jak najszybciej osiągnąć wytrzymałość ręczną, należy zredukować wymiar szczeliny praktycznie do zera. Najlepsze wyniki dają warunki rob. ocze, kiedy względna wilgotność otoczenia wynosi 40 do 60% w temperaturze pokojowej. Niższa wilgotność powoduje wolniejsze utwardzanie; wyższa z kolei przyspiesza ten proces, jednak może spowodować osłabienie końcowej wytrzymałości kleju.



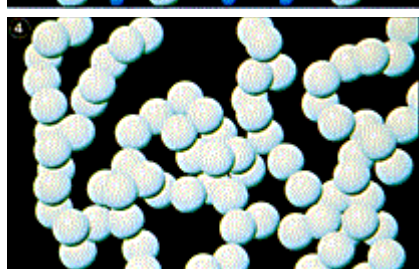
Stabilizator kwasowy zapobiega wszelkim reakcjom cząsteczek kleju utrzymując klej w stanie płynnym.






Wilgotność powierzchniowa neutralizuje stabilizator ...



... i rozpoczyna się polimeryzacja.



Powstaje wiele łańcuchów polimeryzacyjnych, które sieciując łączą się wzajemnie.

-  = stabilizator kwasowy
-  = wilgotność powierzchniowa
-  = monomery

Rysunek 16. Proces utwardzania klejów cyjanoakrylowych.

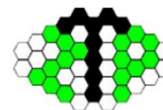
Po naniesieniu kleju trzeba natychmiast łączyć części, gdyż polimeryzacja zaczyna się w ciągu zaledwie kilku sekund. Czas przydatności po nałożeniu produktu zależy od względnej wilgotności powietrza, wilgotności klejonych powierzchni, rodzaju kleju i temperatury otoczenia. Ponieważ kleje cyjanoakrylowe zastygają bardzo szybko, są one szczególnie przydatne do klejenia małych części.

Kleje te należy nanosić oszczędnie, tylko na jedną powierzchnię. Najlepszy efekt daje nałożenie takiej tylko ilości, aby wypełnić szczelinę.

Jak wyjaśniono powyżej, szybkość zastygania zależy też od wilgotności klejonych powierzchni. Je śli chce się przyspieszyć proces utwardzania albo uniezależnić od wilgotności otoczenia, można posłużyć się aktywatorami. Przy pomocy aktywatorów można spowodować zastygnięcie w ciągu sekund nawet całej kropli kleju (np. użytej do mocowania przewodów elektrycznych) lub jego wypływki.

Kleje cyjanoakrylowe charakteryzują się na ogół następującymi cechami:

- bardzo wysoka wytrzymałość na ścinanie i rozciąganie

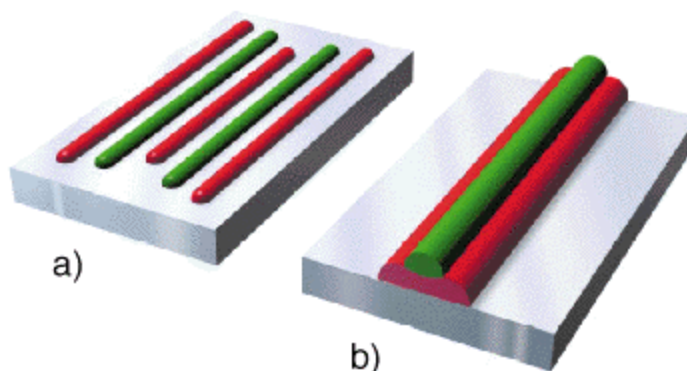


- bardzo duża szybkość utwardzania (sekundowe ustalanie)
- nadają się do klejenia większości materiałów
- dobra odporność na starzenie

#### d) KLEJE UTWARDZANE AKTYWATORAMI (AKRYLOWE MODYFIKOWANE)

Przy użyciu aktywatorów kleje te utwardzają się w temperaturze pokojowej. W zależności od rodzaju kleju można nakładać na klejone powierzchnie osobno klej i aktywator albo też można je uprzednio mieszać w mieszalniku statycznym. Do niektórych klejów używa się aktywatorów o niskiej lepkości. Tych klejów nigdy nie należy uprzednio mieszać. W tych przypadkach trzeba zawsze oddzielnie nakładać klej i aktywator. Proces utwardzania rozpoczyna się dopiero po połączeniu części.

Eliminując płynny aktywator opracowano także kleje akrylowe z aktywatorami o tej samej konsystencji. Są tutaj dwa sposoby nanoszenia - osobno kleju i aktywatora: wstęga obok wstęgi albo jedna wstęga na drugiej. Kiedy klejone części zostaną połączone, produkt wymiesza się pod wpływem ruchów podczas montażu. Jeśli czas przydatności kleju po zmieszaniu składników wynosi 5 lub więcej minut, można zastosować mieszalnik statyczny. Daje to tę dogodność, że nanosi się już gotowy, wymieszany uprzednio produkt i mieszanie nie jest uzależnione od ruchów łączonych części podczas montażu.



Rysunek 17. Zależnie od potrzeb, można wybrać metodę a) lub b). W każdym przypadku część A i część B produktu trzeba nanieść w taki sposób, aby obie wymieszały się podczas łączenia.

Modyfikowane kleje akrylowe charakteryzują się zwykle następującymi cechami:

- bardzo wysoka odporność na ścinanie i rozciąganie
- duża odporność na uderzenia
- szeroki zakres temperatur pracy (-55°C do +120°C)
- mogą kleić prawie wszystkie materiały
- dobra zdolność wypełniania szczelin (szczególnie wstępnie mieszane)
- dobra odporność środowiskowa

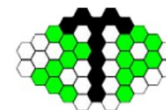
Typowe zastosowania to klejenie głośników i klejenie magnesów.

#### e) KLEJE UTWARDZANE WILGOTNOŚCIĄ OTOCZENIA

Te kleje/uszczelniacze polimeryzują (w większości przypadków) poprzez reakcję z wilgocią atmosferyczną. Do tej kategorii należą dwa główne typy chemiczne:

##### **Silikony:**

Wulkanizacja tych materiałów następuje w temperaturze pokojowej poprzez reakcję z wilgocią otoczenia (RTV - Room Temperature Vulcanizing). W porównaniu z reakcją anionową cyjanoakrylanów, gdzie wilgoć neutralizuje stabilizator, silikony potrzebują przy sieciowaniu cząsteczek wody. Znaczy to, że wilgoć musi

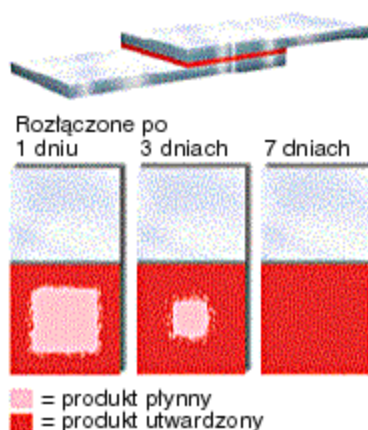


przeniknąć do silikonu, do miejsca, gdzie następuje wulkanizacja. Kiedy cząsteczki silikonu połączą się z cząsteczką wody, powstanie produkt uboczny. W zależności od składu chemicznego, wyłoniony produkt uboczny może być kwaśny (np. kwas octowy), zasadowy (np. amina) lub neutralny (np. oksym lub alkohol). Szybkość utwardzania tych klejów zależy przede wszystkim od wilgotności względnej.

Z uwagi na naturę mechanizmu utwardzania wulkanizacja silikonów przebiega od strony zewnętrznej do wnętrza szczeliny klejowej. Wobec konieczności dotarcia wilgoci do miejsca sieciowania, głębokość utwardzania ogranicza się do 10-15 mm.

Elastomery silikonowe (albo utwardzone silikonu) charakteryzują się na ogół następującymi cechami:

- doskonała odporność cieplna (ponad 230°C)
- elastyczność, wytrzymałość, znaczna wydłużalność
- niski do średniego moduł sprężystości
- skuteczne uszczelnienie przy różnych rodzajach płynów
- doskonale wypełnianie szczelin



Rysunek 18. Typowe złącze klejone silikonem.

Tabela 2. Typowe zastosowania silikonów:

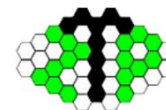
Zastosowanie	Dodatkowy mechanizm utwardzania
Uszczelnianie powierzchni i uszczelnianie w przemyśle samochodowym	-
Uszczelnianie odporne na wysokie temperatury	-
Uszczelnianie i klejenie (szczególnie małych części)	Utwardzanie światłem UV
Uszczelnianie i zalewanie (neutralny produkt uboczny)	-
Powlekanie elektronicznych płytek drukowanych	Utwardzanie światłem UV

### Poliuretany:

Poliuretany sieciują (w większości przypadków) poprzez mechanizm, w którym woda wchodzi w reakcję z dodatkiem zawierającym grupy izocyjanianowe. Jak przy utwardzaniu silikonów cząsteczka wody musi wnikać w klej w miejsce, gdzie zachodzi sieciowanie. Jest to proces analogiczny jak przy silikonach, tyle że nie następuje tu wydzielanie do środowiska produktu ubocznego. Szybkość utwardzania jest także zależna od wilgotności względnej.

Poliuretany charakteryzują się na ogół następującymi cechami:

- doskonała wytrzymałość
- elastyczność
- doskonale wypełnianie szczeliny

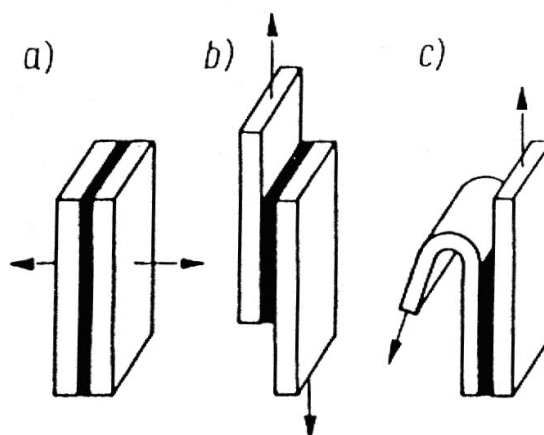


- po utwardzeniu nadają się do malowania
- doskonała odporność chemiczna

Aby uzyskać jak najlepszą i najtrwalszą adhezję zaleca się stosowanie odpowiednich zmywaczy i podkładów (środki poprawiające adhezję). Rodzaj podkładu musi być dostosowany do rodzaju powierzchni.

### 2.3.4 Charakterystyka złączy klejowych

Wytrzymałość złączy klejowych zależy m.in. również od typu połączenia i rodzaju działających obciążeń połączenia (rys. 19). Największą wytrzymałość złącza klejowe wykazują na ścinanie i tak należy planować w miarę możliwości geometrie złącza. Zdecydowanie nie powinny pracować na oddzieranie, gdyż niezależnie od wielkości złącza nastąpi jego zniszczenie. Porównać to można np. do odrywania taśmy klejącej od powierzchni, do której została przyklejona. Gdybyśmy próbowali oderwać ją działając siłą wzdłuż tej powierzchni to nastąpiłoby zerwanie taśmy przed jej odklejeniem. Obciążenia odrywające pojawiają się wtedy, gdy siła przyłożona jest osiowo i działa prostopadłe do złącza. Jest to przypadek, rzadko pojawiający się w praktyce, gdyż nawet nieznaczna nieosiowość działających sił spowoduje pojawienie się momentu sił i w rezultacie naprężeń złożonych, na które połączenie klejowe jest mniej wytrzymałe.



Rysunek 19. Podstawowe rodzaje obciążeń połączeń klejowych: a) odrywające, b) ścinające, c) oddzierające.

## 2.4 Sposób wykonania ćwiczenia

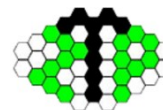
Instrukcja obsługi urządzeń wraz z danymi technicznymi oraz uwagami dotyczącymi BHP powinna znajdować się na stanowisku. Obsługiwanie urządzeń do spawania i zgrzewania jest dozwolone tylko w obecności prowadzącego ćwiczenie po uprzednim zapoznaniu się z instrukcją lub przeszkoleniu. Należy ściśle stosować się do poleceń prowadzącego ćwiczenie. Należy zachować szczególną ostrożność, gdyż w przeciwnym wypadku istnieje groźba poparzenia.

### 2.4.1 Spawanie tworzyw sztucznych

Na ćwiczeniach przewidziane jest przeprowadzenie spawania drutem bez oraz z dyszą szybkiego spawania a także spawanie ekstruzyjne. W/w metodami wykonane zostaną złącza doczołowe płyt z PE i PP ukosowanych na V lub X w zależności od grubości płyt. Wykonane złącza prowadzący ćwiczenie poprzecina w próbki do badań wytrzymałości względnej spoin a następnie zostaną przeprowadzone próby wytrzymałościowe.

### 2.4.2 Zgrzewanie tworzyw sztucznych

W czasie ćwiczeń zostaną wykonane połączenia doczołowe rur z PE i PP metodą gorącej płyty. Przy pomocy zgrzewarki impulsowej wykonane zostaną worki z folii PE. Na zgrzewarce wielkiej częstotliwości wykonane zostanie połączenie folii ze zmiękczonego PVC.



### 2.4.3 Klejenie tworzyw sztucznych

Przy pomocy klejenia zostaną połączone na zakładkę próbki z blachy stalowej. W celu zbadania wpływu sposobu przygotowania powierzchni i warunków klejenia na wytrzymałości wykonanych połączeń, po utwardzeniu się kleju zostanie przeprowadzona próba wytrzymałościowa.

## 3 Literatura

- 1 Schreder W.: Tworzywa sztuczne. Przeróbka i spawanie. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 1973
- 2 Klimpel A.: Spawanie i zgrzewanie tworzyw termoplastycznych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000
- 3 Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego „SPAWACZE I ZGRZEWACZE TERMOPLASTYCZNYCH TWORZYW SZTUCZNYCH”, WDT-ST-1/00, Warszawa 2000
- 4 K. Kwiatkowski, Z. Rostaniec – „Badanie połączeń spawanych elastomerów poli(eterowo-estrowych). Cz. I. Wpływ zawartości segmentów giętkich na morfologię i właściwości mechaniczne”, POLIMERY 2004, 49, 268-274
- 5 Spawanie termoplastycznych tworzyw sztucznych przy użyciu spawarek ręcznych. Materiały reklamowe firmy LEISTER, prospekt 21A/PL, Kagiswil, Szwajcaria
- 6 *LOCTITE - Ogólne informacje dotyczące technologii klejenia -*  
<http://www.multibo.swidnik.pl/multibo.htm>