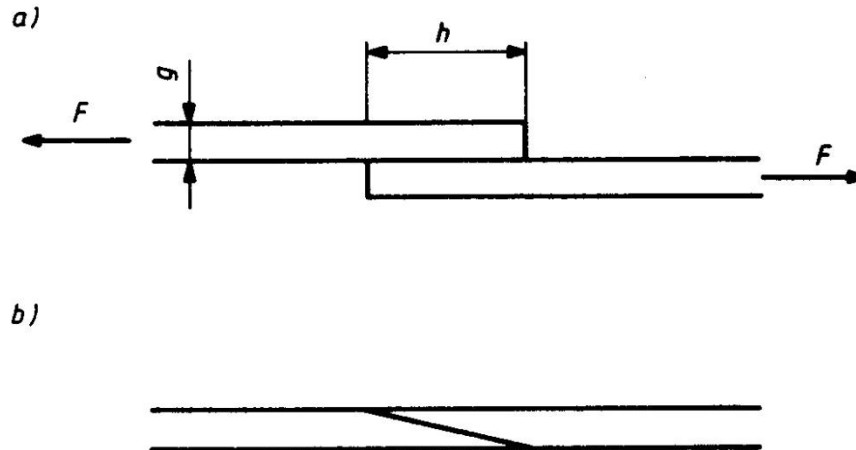


POŁĄCZENIA

Połączenia nierozłączne - klejone

Połączenie klejone polega na złączeniu części za pomocą ciekłej substancji zwanej klejem, która twardnieje i łączy obie części. Najważniejszą sprawą w procesie klejenia jest dobór odpowiedniego kleju do łączonych substancji oraz odpowiednie przygotowanie łączonych powierzchni. Ze względu na sposób łączenia połączenia klejone dzieli się na nakładkowe i ukosowe (rysunek poniżej).



Rys.5.5. Połączenie klejone: a) nakładkowe,
b) ukosowane

Klejenie

Klejenie materiałów jest jedną z nowoczesnych technologii łączenia. Zajmuje ono ważne miejsce w łączeniu różnych materiałów, obok klasycznych metod spajania, takich jak: spawanie, lutowanie czy zgrzewanie. Do szybkiego rozwoju technologii klejenia i produkcji klejów do metali przyczyniają się wysokie wymagania konstrukcyjne stawiane przede wszystkim przez przemysł lotniczy. Dążono do zastąpienia tradycyjnego nitowania, spawania czy zgrzewania - klejeniem, szczególnie przydatnym do łączenia dużych, cienkościennych elementów powłokowych. Największe znaczenie w budowie samolotów ma uzyskanie lekkiej konstrukcji o dużej sztywności i wysokiej wytrzymałości zmęczeniowej. Technologia klejenia znalazła zastosowanie nie tylko w budowie samolotów, ale również w budowie maszyn, samochodów, okrętów i w wielu innych gałęziach przemysłu.

Klejenie jest często stosowane w łączeniu materiałów różnoimiennych, tj. metal-szkło, metal-guma, tworzywo sztuczne - metal, których spajanie stwarza problemy ze względu na ich zróżnicowane właściwości fizykochemiczne. Połączenia klejowe pełnią też często funkcje wspomagające, takie jak: uszczelnianie, mocowanie lub zabezpieczanie. Są też wykorzystywane w połączeniach wspólnych z innymi technikami spajania, np. zgrzewaniem czy nitowaniem. Przemysłowe zastosowanie technologii klejenia wiąże się nierozdzielnie z poznaniem podstawowych zagadnień związanych z tą metodą. Wymaga to od technologów i inżynierów posiadania wiadomości m.in. dotyczących: rodzaju i doboru klejów (składu chemicznego, właściwości, możliwości modyfikacji), sposobu przygotowania powierzchni przed klejeniem, typów połączeń, rozkładu naprężeń w połączeniach klejowych. Ważna jest także znajomość sposobów kontroli połączeń z wykorzystaniem badań nieniszczących i niszczących.

Do podstawowych zalet klejenia zalicza się:

- ☐ możliwość łączenia materiałów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych, np. metal-szkło, tworzywo sztuczne - metal, różne metale i ich stopy,
- ☐ łączenie elementów o różnych kształtach i wymiarach,
- ☐ brak niekorzystnego oddziaływania ciepła na właściwości materiałów łączonych, występującego przy spawaniu zgrzewaniu czy lutowaniu,
- ☐ minimalne (lub ich brak) technologiczne naprężenia własne i odkształcenia cieplne w złączach,
- ☐ równomierne obciążenie złącza, w porównaniu do połączeń śrubowanych lub nitowanych,
- ☐ szczelność połączeń i ich ochrona przed wnikaniem wilgoci oraz korozją,
- ☐ posiadanie właściwości tłumienia drgań i dźwięków przez połączenia klejowe,
- ☐ przejmowanie przez elastyczną warstwę kleju niekorzystnych różnic współczynnika rozszerzalności cieplnej klejonych materiałów,
- ☐ wyeliminowanie dodatkowych obróbek powierzchniowych połączenia po procesie klejenia,
- ☐ większą estetykę złącza klejowego w porównaniu z innymi metodami łączenia,
- ☐ dużą odporność na działanie substancji chemicznych, np. olejów, alkoholi, benzyn,
- ☐ prostą automatyzację procesu przez zastosowanie urządzeń dozujących klej,
- ☐ łatwe przyuczenie pracowników do operacji występujących przy klejeniu.

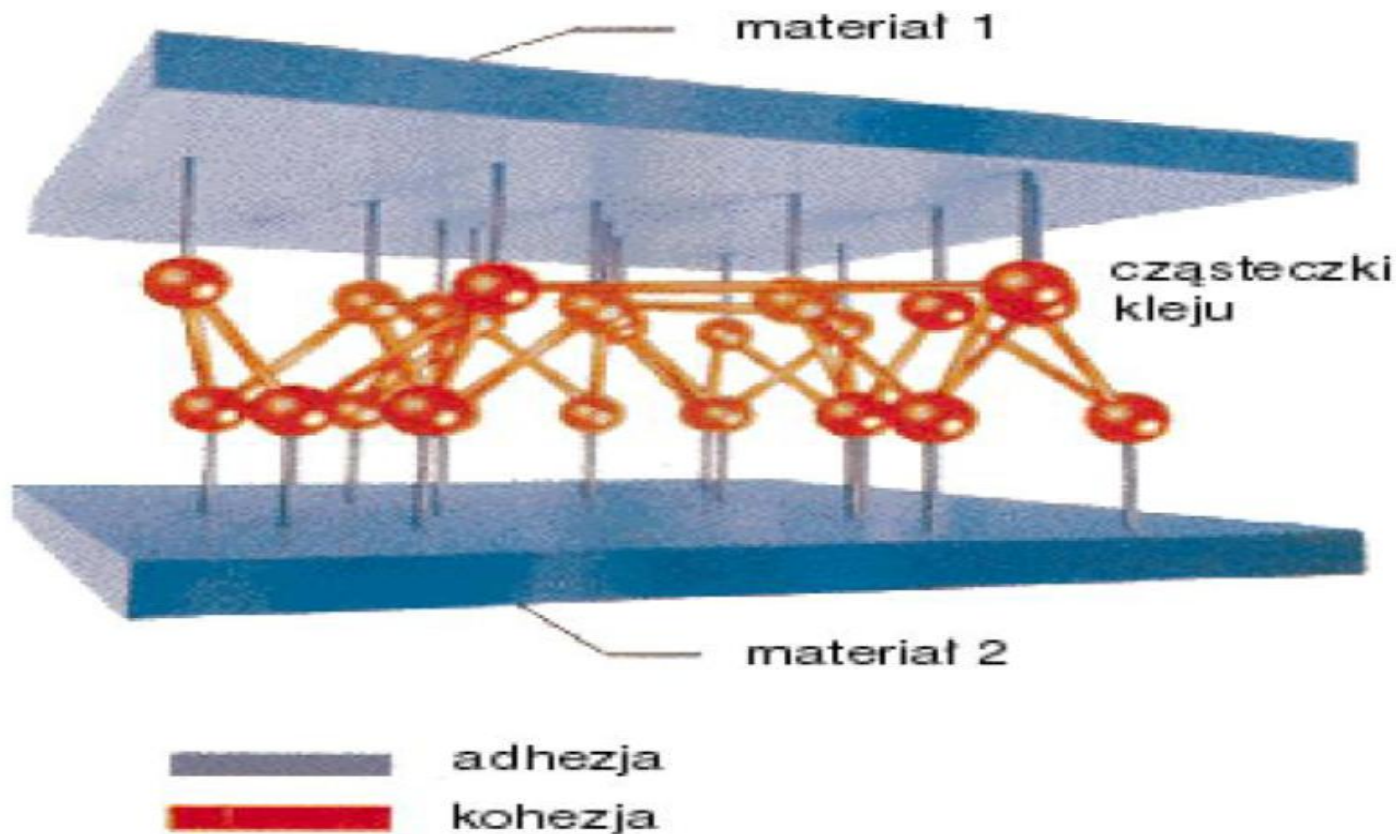
Do podstawowych niedoskonałości klejenia, ograniczających jego stosowanie, zalicza się:

- ☐ zwykle ograniczoną odporność na działanie wysokich temperatur, szczególnie powyżej 200oC,
- ☐ małą wytrzymałość mechaniczną połączeń,
- ☐ małą odporność połączeń na rozszczepianie i oddzieranie,
- ☐ zwykle brak pełnej wytrzymałości mechanicznej bezpośrednio po sklejeniu,
- ☐ ograniczoną żywotność składowania klejów, ich skłonność do rozwarstwienia i żelowania,
- ☐ konieczność stosowania specjalnych sposobów przygotowania powierzchni w celu zapewnienia dobrej adhezji kleju,
- ☐ występowanie substancji szkodliwych dla zdrowia, znajdujących się w wielu gatunkach klejów wymagających zachowania specjalnych warunków bezpieczeństwa w procesie technologicznym.

Mechanizm tworzenia połączeń klejowych

Klejenie jest technologią łączenia materiałów przy użyciu substancji niemetalicznej - klejów przez zespolenie ich powierzchni siłami adhezji i nadaniu złączu odpowiedniej wytrzymałości dzięki siłom kohezji.

W wyniku działania sił adhezji i kohezji powstaje połączenie klejowe, którego schemat przedstawiono na rysunku 6.7.



Rys. 6.7 Schemat połączenia klejowego

Adhezja jest zjawiskiem powierzchniowym, polegającym na łączeniu stykających się materiałów na skutek oddziaływania między nimi pola sił. Pole sił wytworzone przez ładunki atomów (cząsteczek, jonów), z których zbudowana jest warstwa wierzchnia, maleje wraz ze wzrostem odległości od powierzchni. Oddziaływanie sił van der Waalsa zanika powyżej 1-2 nm, więc aby zaistniała adhezja, konieczne jest odpowiednie zbliżenie łączonych materiałów.

Głównego podziału adhezji dokonuje się, dzieląc ją na adhezję mechaniczną i specyficzną (właściwą). W połączeniach klejowych najczęściej dominuje adhezja specyficzna, przy równoczesnym udziale adhezji mechanicznej.

Powierzchnię materiałów można łączyć w wyniku wnikania kleju w istniejące na niej liczne pory i nierówności, dzięki czemu powstają mechaniczne zakotwiczenia. Adhezja mechaniczna jest więc wynikiem oporu, jaki masa klejowa zestalona w porach stawia siłom zewnętrznym. Odgrywa ona większą rolę podczas łączenia materiałów porowatych oraz o powierzchniach chropowatych, natomiast mniejsze znaczenie ma w przypadku łączenia tworzyw z materiałów nieporowatych (o gładkich powierzchniach).

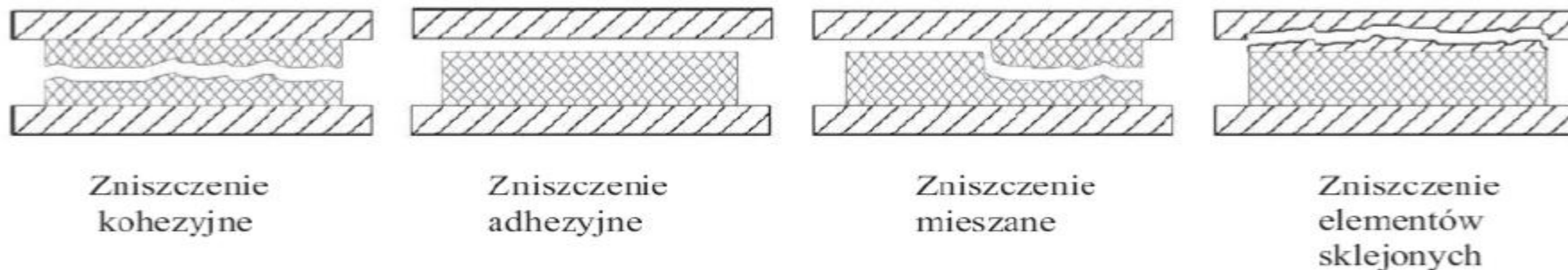
W mechanicznej teorii adhezji na zwiększenie wytrzymałości złączy adhezyjnych mają wpływ różne czynniki. Jednym z nich jest zwiększenie chropowatości powierzchni łączonych materiałów metodą specjalnych obróbek. Chropowatość powierzchni daje w efekcie większą gęstość rys (wgłębień o nieregularnych kształtach) na powierzchni łączenia, przez co zwiększa się rzeczywista powierzchnia sklejaną.

Penetracja kleju w takie mikro nierówności zależy głównie od jego lepkości, warunków klejenia (temperatury ciśnienia, czasu wnikania), a także od przekroju i głębokości tych wgłębień. Zwiększenie średnicy wgłębień ułatwia penetrację, natomiast zwiększenie lepkości kleju, która zależy od temperatury ograniczają.

Kohezja to siła działająca między cząsteczkami samego kleju, utrzymująca jego spójność. Na tę siłę składają się: międzycząsteczkowe siły przyciągania (siły van der Waalsa) oraz wzajemne wiązanie się cząsteczek polimerowych.

Zniszczenie złącza klejowego (rys. 6.8) może nastąpić na skutek:

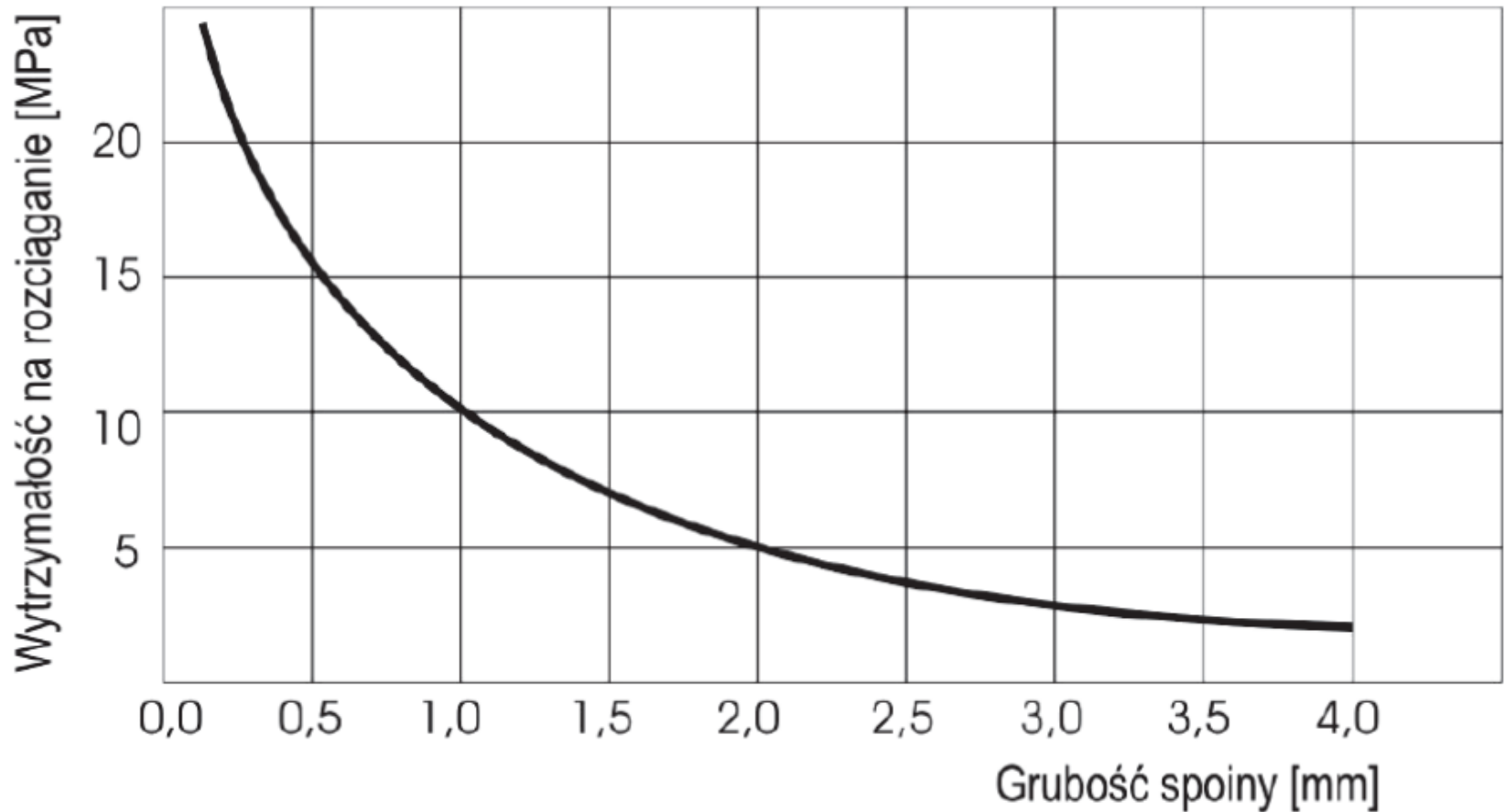
- ☐ oderwania warstwy klejowej od podłoża – zniszczenie adhezyjne,
- ☐ zniszczenie błony klejowej - niszczenie kohezyjne,
- ☐ zniszczenie sklejonego materiału – zniszczenie materiału konstrukcyjnego.



Rys. 6.8 Podstawowe rodzaje zniszczeń połączeń klejowych

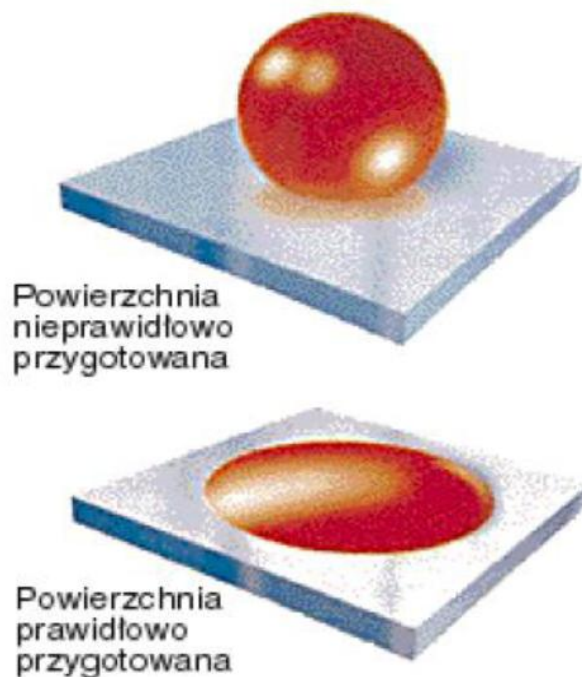
Zniszczenie adhezyjne zachodzi wtedy, kiedy siły adhezji są mniejsze zarówno od sił spójności, jak i sił obciążenia zewnętrznego. Natomiast niszczenie kohezyjne następuje, gdy siły wiązań międzycząsteczkowych kleju ustępują siłom spójności i siłom obciążenia zewnętrznego. Gdy następuje zniszczenie materiału sklejanego, siły spójności kleju i siły przyczepności są porównywalne i przewyższają siłę spójności klejonego materiału. Prawidłowo wykonane połączenie klejowe powinno ulec zniszczeniu właśnie na skutek uszkodzenia łączonych materiałów, poza złączem klejowym. Do klejenia elementów konstrukcyjnych stosuje się wyłącznie kleje o dużej kohezji. Uzyskuje się ją, wykorzystując jako spoiwa syntetyczne związki wielkocząsteczkowe z odpowiednio dobranymi modyfikatorami, takimi jak: napęlniacze, rozcieńczalniki, plastyfikatory i środki zwiększające przylepność.

Na dobrą wytrzymałość kohezyjną spoiny wpływa również grubość spoiny klejowej. Należy kleić elementy dobrze dopasowane do siebie, zachowując stałą pożądaną grubość szczeliny złącza. Dla większości klejów konstrukcyjnych grubość spoiny klejowej powinna mieścić się w przedziale od 0,06 do 0,20 mm (rys. 6.9).



Rys. 6.9 Zależność wytrzymałości złącza na rozciąganie od grubości spoiny klejowej

Zanieczyszczona powierzchnia materiału klejonego może spowodować obniżenie stopnia jej zwilżenia klejem. Odpowiednie przygotowanie powierzchni do klejenia można łatwo sprawdzić metodą „kropli wody”. Metoda ta polega na naniesieniu na oczyszczone powierzchnie kilku kropli wody. Jeżeli powierzchnia klejonego materiału jest niedostatecznie oczyszczona, kropla wody zachowa swój kulisty kształt, co oznacza potrzebę ponownego oczyszczenia powierzchni. Jeśli natomiast kropla rozplynie się na powierzchni, oznacza to, że zwilżalność jest dobra i powierzchnia klejenia jest wystarczająco czysta (rys. 6.10). Próba „kropli wody” jest metodą prostą w użyciu. Należy jednak pamiętać, że jest to tylko próba zwilżalności powierzchni, nie jest natomiast badaniem zdolności klejenia.



Rys. 6.10 Metoda sprawdzania przygotowania powierzchni za pomocą „kropli wody”

Charakterystyka klejów - podział klejów

Klejami nazywa się niemetaliczne substancje pochodzenia organicznego lub nieorganicznego, łączące trwale materiały stałe, nie wywołując istotnych zmian ich kształtu i właściwości. O powstaniu połączenia dwóch lub więcej elementów konstrukcyjnych, zwanego złączem klejowym, decyduje przyczepność kleju (adhezja) i jego wewnętrzna spoistość (kohezja).

Od wartości sił międzycząsteczkowych w warstwie utwardzonego kleju, określanej mianem spoiny klejowej lub skleiny, zależy, czy dorówna ona pod względem wytrzymałości materiałom klejonym.

Głównym składnikiem kleju jest spoiwo, czyli lepiszcze (polimer, monomer lub żywica). Substancja ta decyduje przede wszystkim o pożądanej przyczepności do klejonych powierzchni, a także o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej utwardzonej spoiny i odporności spoiny na działanie czynników zewnętrznych (temperatury, promieniowania UV, wody lub innych czynników chemicznych).

Do podstawowych rodzajów polimerów, żywic i monomerów zawierających wymienione grupy lub podstawniki, a stanowiących spoiwa różnych klejów, należą:

- ☐ polioktan winylu i kopolimery oktanu winylu,
- ☐ poliakrylany i polimetakrylany oraz niektóre kopolimery,
- ☐ poliwinylacetale,
- ☐ poliamidy,
- ☐ polichlorek winylu,
- ☐ kauczuki,
- ☐ nasycone i nienasycone żywice poliestrowe,
- ☐ żywice fenolowe i aminowe,
- ☐ poliuretany i izocyjaniany,
- ☐ żywice epoksydowe,
- ☐ monomery akrylowe i metakrylowe.

Spoiwo w wielu przypadkach nie jest jedynym składnikiem kleju. Miesza się je z substancjami modyfikującymi właściwości użytkowe i wytrzymałościowe. Do takich substancji należą m.in. rozpuszczalniki, rozcieńczalniki, zmiękczacze, napętniacze i barwniki.

Kleje można klasyfikować według różnych kryteriów, np. barwy chemicznej, mechanizmu utwardzania, rodzaju klejonych materiałów, właściwości złączy, szybkości wiązania, ilości składników itp.

Podziału klejów często dokonuje się także ze względu na mechanizm ich utwardzania.

Wśród wielu obecnie dostępnych gatunków klejów przemysłowych największą popularnością cieszą się kleje utwardzające się w wyniku procesów fizycznych: topliwe i rozpuszczalnikowe oraz kleje reaktywne - utwardzające się chemicznie.

Zasady doboru klejów

Na obecnym etapie rozwoju techniki klejenia istnieją duże możliwości wyboru kleju odpowiedniego do potrzeb produkcyjnych czy warunków użytkowania połączenia. Dostępne są kleje utwardzające się przez pobieranie wody z otoczenia (środowisko wodne lub wilgotne powietrze) lub w atmosferze pozbawionej jakichkolwiek śladów wody. Są także kleje utwardzające się w obecności tlenu jak również utwardzające się tylko w środowisku beztlenowym. Istnieją także kleje utwardzające się w temperaturze podwyższonej, inne w warunkach niskotemperaturowych.

Zastosowanie odpowiedniego kleju jest podstawowym warunkiem uzyskania wysokiej wytrzymałości połączenia klejowego. Dobierając klej, należy w pierwszej kolejności uwzględnić rodzaj łączonych materiałów gdyż kleje są opracowywane właśnie pod kątem klejenia określonych materiałów i tylko te materiały można nimi skutecznie łączyć.

Dysponując określoną grupą klejów odpowiednio dobraną do łączenia danego materiału, należy zwrócić uwagę na właściwości wytrzymałościowe złącza, uwzględniać warunki pracy połączenia (temperaturę, wilgotność, agresywność chemiczną środowiska) oraz oszacować koszty procesu, a zwłaszcza cenę kleju.

Dobierając gatunek kleju do odpowiedniej aplikacji, należy, oprócz rodzaju klejonych materiałów uwzględnić jeszcze kilka innych czynników, takich jak:

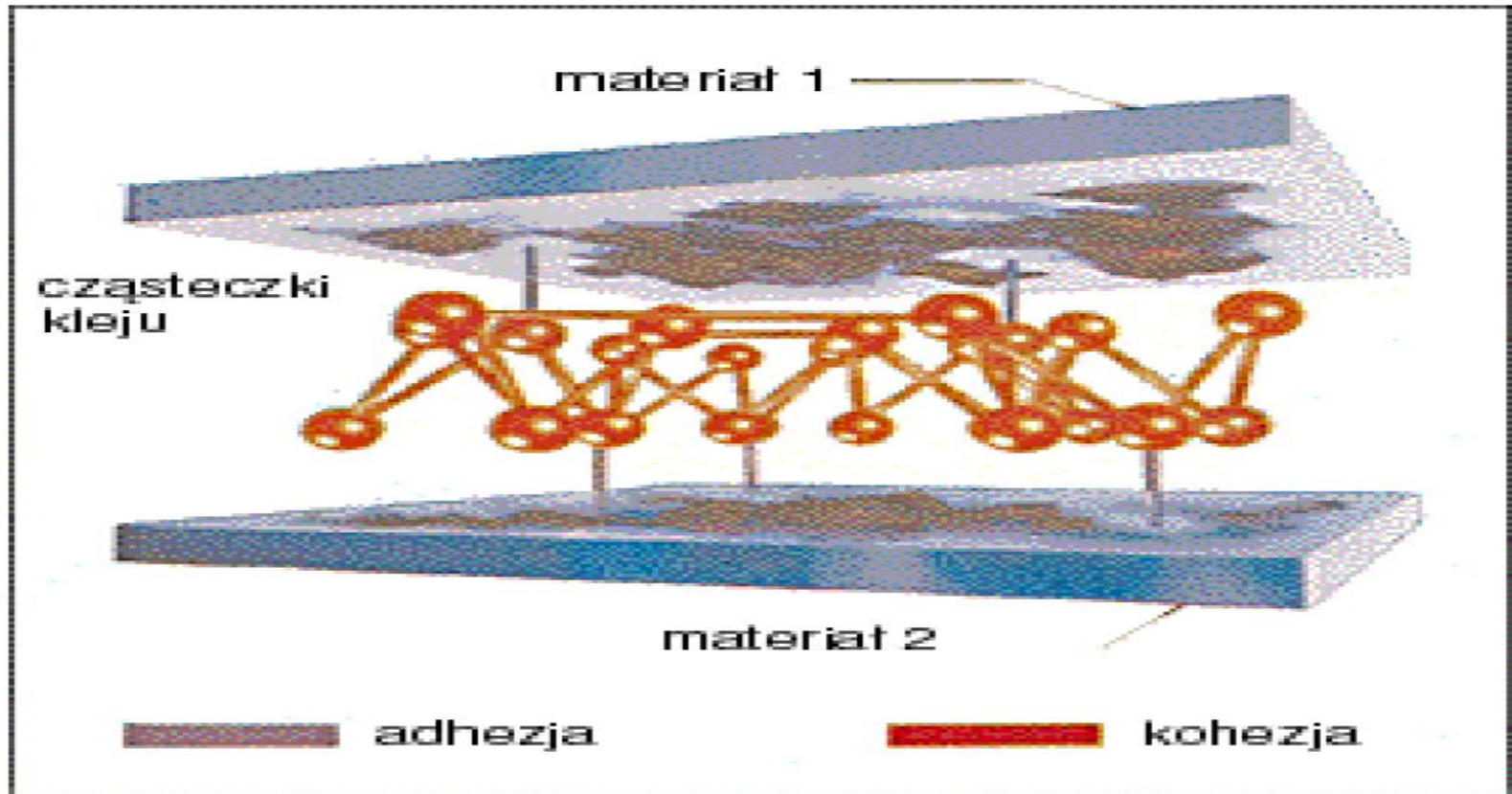
- ☐ postać kleju (np. klej w postaci stałej, ciekłej),
- ☐ ilość składników (przy stosowaniu klejów wieloskładnikowych należy uwzględnić konieczność ich mieszania bezpośrednio przed użyciem),
- ☐ mechanizm i parametry utwardzania spoiny klejowej (czas, temperatura, ciśnienie),
- ☐ żywotność masy klejowej (czas użycia kleju po zmieszaniu),
- ☐ wytrzymałość mechaniczną połączeń (także w różnych temperaturach),
- ☐ odporność chemiczną spoiny klejowej,
- ☐ odporność połączenia na działanie czynników zewnętrznych (np. wilgoci, nagłych zmian temperatury) - czyli odporność starzeniową,
- ☐ sposób przygotowania klejonych powierzchni (np. odtłuszczanie),
- ☐ konieczność stosowania obróbki specjalnej powierzchni przed procesem klejenia (np. trawienie),
- ☐ konieczność stosowania podkładów lub aktywatorów,
- ☐ sposób nanoszenia kleju (ręczny, automatyczny),
- ☐ zawartość składników toksycznych (wymagania związane z bezpieczeństwem pracy i ochroną środowiska),
- ☐ koszty procesu, w tym cenę kleju.

Przygotowanie powierzchni do klejenia

Dla uzyskania optymalnego rezultatu klejenia niezbędne jest właściwe przygotowanie powierzchni. Wytrzymałość klejenia w dużym stopniu zależy od adhezji pomiędzy łączonymi powierzchniami i klejem. Należy zdawać sobie sprawę, że połączenia klejowe będą tym mocniejsze, im staranniej zostaną przygotowane i oczyszczone powierzchnie (rys. 6.11).

Adhezję można wspomóc przez:

- ❑ usunięcie niepożądanych warstw z klejonych powierzchni poprzez odtłuszczenie lub szlifowanie,
- ❑ utworzenie nowej aktywnej powierzchni poprzez pokrycie podkładami,
- ❑ zmianę aktywności powierzchni poprzez ich wytrawianie, koronowanie, plazmowanie etc.



Rys. 6.11 Zanieczyszczenia na powierzchniach detali redukują adhezję

Odłuszczenie powierzchni przed klejeniem

Aby uzyskać jak najlepsze połączenie klejowe konieczne jest całkowite usunięcie oleju, tłuszczu, kurzu i innych brudnych pozostałości z obu klejonych powierzchni. Najbardziej nadają się do tego rozpuszczalniki, które wyparowują i nie pozostawiają osadu (tab. 6.2).

Wodne środki myjące na bazie zasadowej lub kwasowej prawie zawsze zawierają do-datki antykorozyjne. Pozostając na oczyszczonych powierzchniach mogą one zredukować adhezję kleju lub zapobiegać jego utwardzeniu. Jeśli mają być stosowane takie systemy myjące, należy uprzednio sprawdzić ich wpływ na klej. W każdym jednak wypadku powierzchnie klejone muszą być umyte i wytarte.

Tabela 6.2 Najważniejsze rozpuszczalniki oraz zakres ich możliwości przygotowania powierzchni do klejenia

Rozpuszczalnik	Własności myjące	Palne lub łatwopalne
Węglowodory (np. izoparafiny)	dobrze	tak
Ketony (np. aceton)	dobrze	tak
Alkohole (np. izopropanol)	średnie	tak
Na bazie wody	dobrze	nie

Jeśli w produkcji wielkoseryjnej stosuje się specjalną kąpiel odtłuszczającą, należy przedtem usunąć zgrubne zanieczyszczenia, aby nie zabrudziły one kąpeli czyszczącej. Bardzo często stosuje się oczyszczanie oparami. W takim przypadku podgrzewa się rozpuszczalnik do temperatury wrzenia, aby go odparować. Kiedy opary zmywacza zetkną się z zimnym detalem, skraplają się na jego powierzchniach. Osiadła na nich płynna powłoka usuwa resztki brudu i tłuszczu. Odtłuszczanie takie często przeprowadza się w całkowicie zamkniętych urządzeniach. W wielu przypadkach dla przygotowania powierzchni wystarcza zmywacz o szybkim działaniu. Usuwa on oleje, tłuszcze, cząsteczki brudu i inne zanieczyszczenia. Przy stosowaniu do czyszczenia rozpuszczalników można wspomagać odtłuszczanie chemiczne obróbką mechaniczną (czyszczenie ściernicami, szczotkami), co zagwarantuje całkowite usunięcie niepożądanych zanieczyszczeń na powierzchniach.

Przygotowanie mechaniczne

Zabrudzone powierzchnie metalowe są często pokryte warstwą tlenków, których nie można usunąć przez odtłuszczenie. W tych przypadkach konieczna jest mechaniczna obróbka powierzchni, jak śrutowanie, ściernie lub czyszczenie szczotką drucianą. Śrutowanie dobrze nadaje się do czyszczenia dużych powierzchni. Uzyskana w ten sposób ich szorstkość sprzyja procesowi klejenia pod warunkiem, że nie użyto zbyt dużego ziarna. Ściernie daje podobnie korzystny efekt. W tym przypadku ważne jest zastosowanie odpowiedniej ziarnistości (np. 300 do 600 dla aluminium, 100 dla stali). Po śrutowaniu, tak jak i po ścierniu czy czyszczeniu szczotką, należy wszystkie części odtłuścić, aby usunąć wszelkie pozostałości ścierniwa. Bardzo brudne części trzeba także odtłuszczać przed obróbką mechaniczną, aby ziarno ściernie nie rozprowadzało brudu po powierzchni. W praktyce metoda obróbki mechanicznej jest bardzo prosta i przynosi na ogół dobre rezultaty.

Wytrawianie

Do wytrawiania powierzchni używa się relatywnie agresywnych chemikaliów. W zależności od powierzchni stosuje się produkty bardzo kwaśne albo silnie zasadowe. Dzięki reaktywnym grupom chemicznym wytrawianie powoduje perforację powierzchni, co ułatwia mechaniczne zakotwiczenie się kleju. Skutki tego działania są różne, zależnie od rodzaju materiału powierzchni. Stosowanie tej metody w przemyśle jest ograniczone, ponieważ rozwiązania dotyczące wytrawiania stają się coraz bardziej kosztowne.

Jonizacyjne przygotowanie powierzchni

Jonizacyjne przygotowanie powierzchni zmienia ich biegunowość i napięcie powierzchniowe, podobnie jak przy stosowaniu mokrych chemikaliów.

Podkłady

Typowe podkłady to reaktywne chemikalia rozpuszczone w rozpuszczalniku. Roztwór rozprowadza się na powierzchni detalu pędzlem lub rozpylaczem. Nośnik powinien odparować pozostawiając aktywne składniki. W zależności od typu podkładu powierzchnia może być gotowa do klejenia natychmiast, jak w przypadku podkładów do poliolefin dla cyjanoakrylanów. Grunty powierzchniowe na ogół poprawiają podatność części na klejenie stanowiąc rodzaj pomostu chemicznego między powierzchnią i klejem. Reaktywne składniki zawarte w podkładzie spełniają zróżnicowane funkcje, gdyż jedne wchodzi w reakcję z powierzchnią, inne zaś są chemicznie ściśle spokrewnione z klejem.

POŁĄCZENIA

Inne połączenia nierozłączne

Oprócz połączeń dotąd omówionych czasami stosuje się jeszcze inne rodzaje połączeń nierozłącznych, takie jak **połączenia skurczowe** lub **połączenia wtłaczane**.

W połączeniach skurczowych wykorzystuje się własność rozszerzania się metali pod wpływem temperatury. Część zawierającą otwór rozgrzewa się i nasadza się na drugą część zimną. Po ostygnięciu część nasadzona zmniejsza swoje rozmiary i powstaje trwałe połączenie.

Połączenie wtłaczane powstaje przez wtłoczenie lub wprasowanie jednej części w otwór drugiego elementu.

Pytania

- 1. Na czym polega połączenie klejone?**
- 2. Na jakich mechanizmach opiera się tworzenie połączenia klejonego?**
- 3. Co nazywamy klejami?**
- 4. Jak jest właściwe przygotowanie powierzchni do klejenia.**
- 5. Wymień inne połączenia nierozłączne.**