



Źródło: Master Bond

Nowoczesne techniki połączeń mechanicznych – kleje

Istnieje wiele rodzajów połączeń mechanicznych. Podstawowy podział to połączenia rozłączne (gwintowe, zaczepowe, wpustowe, itd.) i nierozłączne (spawane, nitowane, klejone, itd.).

Mariusz Kozłowski

W większości przypadków połączenia te znane są od lat i niewiele dzieje się w nich nowego. Natomiast prawdziwą rewolucję przechodzą połączenia klejone. Pojawiają się nowe rodzaje klejów, które mogą zastąpić innego rodzaju połączenia nierozłączne. Wybranim rozwiązaniom w tym zakresie warto przyjrzeć się nieco bliżej.

Zastosowanie klejów

Mówiąc o zastosowaniu klejów trzeba w pierwszej kolejności odróżnić kleje naturalne od syntetycznych. Ta pierwsza grupa stanowi substancje pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. Za osobną grupę uznaje się natomiast kleje syntetyczne. Chodzi przede wszystkim o kleje epoksydowe przeznaczone do metalu i ceramiki oraz kleje aminowe do drewna. Istotną rolę odgrywają kleje ftalowe do drewna, papieru itp., a także kleje poliuretanowe. Te ostatnie substancje używane są podczas klejenia metali oraz tworzyw sztucznych i skóry. Przy klejeniu skóry, drewna itp. bardzo często stosuje się kleje poliwinylowe. Z kolei przy klejeniu metali,

ceramiki i tworzyw sztucznych można użyć klejów poliakrylowych. Nie mniej ważne są kleje silikonowe. Standardowo są one odporne na temperatury wynoszące około 50°C, a w wykonaniu specjalnym ok. 800°C. Kleje tego typu używane są przy łączeniu metali z kauczukiem lub tworzywem silikonowym.

Ilość składników

Pod kątem ilości składników oferowane na rynku kleje można podzielić na jednoskładnikowe i dwuskładnikowe. W przypadku substancji jednoskładnikowych należy mieć na uwadze produkty o wysokim poziomie wrażliwości na wilgoć. Stąd też zazwyczaj znajdują one zastosowanie w aplikacjach znajdujących się wewnątrz pomieszczeń. Z kolei kleje dwuskładnikowe są produktami, gdzie jeden ze składników stanowi utwardzacz inicjujący proces krystalizacji i wiązania w drugim składniku.

Za szczególny rodzaj klejów uznaje się substancje mieszane, składające się z żywicy polimerowej rozpuszczonej w monomerze. Odpowiada ona za zachowanie się jak rozpuszczalnik, przy czym

nie ulega parowaniu lecz kopolimeryzacji. W efekcie wraz z żywicą tworzona jest jedna usieciowana struktura. Istota klejów tego typu to szybkie działanie i uniwersalność zastosowania.

Co wpływa na wytrzymałość mechaniczną?

Na wytrzymałość mechaniczną wpływa przede wszystkim rodzaj i siła chemicznego oddziaływania kleju z klejonymi powierzchniami (adhezja). W przypadku gdy klej reaguje chemicznie z podłożem i tworzy z nim wiązania chemiczne, to tego typu spoina reaguje chemicznie z podłożem. Dzięki temu powstaje wiązanie chemiczne, czyli spoina, która jest bardziej wytrzymała niż kleje tylko wnikające w klejoną powierzchnię. Należy podkreślić, że większość klejów uniwersalnych nie reaguje w sposób bezpośredni z podłożem, bowiem nie ma związków chemicznych reagujących ze wszystkim.

Nie mniej istotnym czynnikiem wpływającym na wytrzymałość mechaniczną połączenia klejonego jest głębokość penetracji klejonego materiału przez klej. Im jest ona głębsza tym lepiej. Z kolei w przypadku, gdy klej penetruje zbyt głęboko, jest możliwe zniszczenie struktury samego klejonego materiału. Należy podkreślić, że głębokość penetracji można zwiększyć przez zwiększenie chropowatości powierzchni klejonego materiału. Materiały bardzo gładkie, takie jak np. szkło, zazwyczaj są trudne do sklejenia.

Kluczową rolę dla wytrzymałości mechanicznej połączenia odgrywa wytrzymałość mechaniczna samej warstwy kleju (kohezja). Jest ona szczególnie istotna w przypadku klejów, które tworzą taką warstwę. W dużej mierze zależy ona od struktury chemicznej kleju. Nie mniej ważny jest kształt i rozmiar całej spoiny. Wraz ze wzrostem powierzchni spoiny i jej nieregularnego kształtu rośnie jej wytrzymałość.

Parametry klejów

O właściwościach, a co za tym idzie zastosowaniu klejów, decyduje przynajmniej kilka parametrów. I tak też ważna jest lepkość, czas otwarty, czyli maksymalny czas od nałożenia kleju na powierzchnię sklejoną do momentu sklejenia, oraz czas wiązania będący czasem, po którym spoina osiąga pełną wytrzymałość. Nie mniej ważna jest baza kleju będąca zasadniczymi składnikami kleju, dzięki którym uzyskuje one określone właściwości. Mówiąc o kleju należy mieć na uwadze ciała stałe, czyli ilość suchej masy w jednostce objętości kleju.

Mechanizmy klejenia

W kontekście mechanizmów klejenia za podstawę można uznać kleje rozpuszczalnikowe. Głęboko wnikają one w materiał powodując jego napężenie i częściowe rozpuszczenie. Po połączeniu kle-

jonych elementów i dociśnięciu spoiny powierzchnie klejonych materiałów wzajemnie się przenikają. Po tym rozpuszczalnik paruje pozostawiając trwałą spoinę bez warstwy samego kleju. Kleje rozpuszczalnikowe sprawdzają się przy klejeniu tworzyw sztucznych.

Ważne miejsce zajmują kleje oparte na żywicach polimerowych. Należy podkreślić, że nie wnikają one zbyt głęboko w materiał. Cechuje je jednak silne powiązanie chemiczne z klejonym materiałem, zaś warstwa samego utwardzonego kleju jest bardzo odporna mechanicznie. Kleje, które bazują na żywicach polimerowych, znajdują zastosowanie przy klejeniu materiałów takich jak np. metal czy też szkło, gdzie trudne jest klejenie za pomocą klejów penetrujących materiał. Dobrym przykładem klejów tego typu są kleje epoksydowe.

Pod kątem mechanizmów klejenia istotne są kleje mieszane. Ich skład bazuje na żywicy mieszanej z rozpuszczalnikiem. To właśnie on odpowiada za penetrowanie klejonego materiału. Kleje tego typu znajdują zastosowanie przy klejeniu materiałów łatwych do sklejenia – skóry, gumy, papieru itp.

W kontekście właściwości fizycznych kleje mogą być sztywne, elastyczne, a także przewodzące lub nieprzewodzące prąd elektryczny. Przewodzone może być również ciepło, pole elektryczne lub magnetyczne. Niektóre kleje są wodoodporne oraz odporne lub nieodporne na działanie agresywnych środowisk chemicznych. Niektóre wymienione cechy mogą być spełniane jednocześnie.

Przygotowanie powierzchni

Przed procesem klejenia zazwyczaj zastosowanie znajduje przynajmniej jedna z metod oczyszczania powierzchni. I tak też obróbkę chemiczną stanowi wytrawianie, które stosuje się przy metalach. W tym przypadku chodzi o powlekanie związkami nieorganicznymi. Z kolei obróbka ścierna to czyszczenie za pomocą materiałów ściernych. Należy podkreślić, że czynności tego typu stosuje się przy metalach, tworzywach sztucznych, a także gumie. Nie mniej ważne jest odłuszczenie polegające na przemywaniu rozpuszczalnikami lub kwasami. Zabieg ten stosuje się przy większości mate-





riałów klejonych. Kluczową rolę odgrywa aktywowanie powierzchni stosowane w odniesieniu do tworzyw sztucznych. W przypadku metali, tworzyw sztucznych, szkła i ceramiki na etapie przygotowania powierzchni uwzględnia się lakierowanie.

Zabezpieczanie połączeń gwintowych

Specjalne kleje produkowane są z myślą o zabezpieczeniu połączeń gwintowych. Tym sposobem zapobiega się samoluzowaniu połączenia. Ważne jest przy tym zabezpieczenie wszystkich elementów gwintowych przed drganiami oraz obciążeniami uderowymi. Substancje tego typu to zazwyczaj preparaty jednoskładnikowe o płynnej konsystencji, łatwo rozpliwające się na gwincie. Nie mniej ważne jest przy tym całkowite wypełnienie szczeliny pomiędzy współpracującymi gwintami.

Np. preparat Loctite 276 firmy Henkel stanowi trudno demontowany produkt przeznaczony do zabezpieczania gwintów. Jest on szczególnie zalecany do połączeń gwintowanych elementów złącznych.

Z kolei firma WÜRTH proponuje dwa rozwiązania dotyczące zabezpieczania tego typu połączeń gwintowanych: SZCZELIWO DO GWINTÓW ŚREDNIE, do zabezpieczania i uszczelniania standardowych połączeń w urządzeniach i maszynach, które można demontować i SZCZELIWO DO GWINTÓW MOCNE, do połączeń gwintowanych szczególnie narażonych na obciążenia, po użyciu którego demontaż jest możliwy wyłącznie po podgrzaniu do 300°C. Zarówno szczeliwo średnie jak i mocne eliminuje potrzebę stosowania zabezpieczeń mechanicznych przy połączeniach gwintowanych takich jak podkładki sprężyste, zawleczki, nakrętki samohamowne. Utwardzenie płynnych szczeliw następuje wyłącznie na skutek kontaktu z metalem, przy jednoczesnym braku dostępu tlenu (powietrza atmosferycznego).

Preparaty uszczelniające

Specjalne kleje oferowane są z myślą o uszczelnianiu połączeń gwintowych rur. Tym sposobem zapobiega się wyciekom gazów i cieczy. Niektóre preparaty nabyć można w formie płynnej, dzięki czemu dobrze wypełniane są przestrzenie pomiędzy elementami gwintowanymi zapewniając niemal natychmiastowe niskociśnieniowe uszczelnienie. Jako cechy uszczelniaaczy tego typu wymienia się przede wszystkim fakt, że nie pęłają, nie kurczą się oraz nie blokują instalacji rurowych. Można je stosować do instalacji o wszystkich wymiarach. Zastępują one wszystkie rodzaje taśm i konopi oraz taśmy uszczelniające. Powstałe uszczelnienie jest odporne na drgania i obciążenia uderowe. Ważne pozostaje zapewnienie ochrony współpracy złącza gwintowanego przed korozją. Można przy tym rozłączyć uszczelnione elementy za pomocą zwykłych narzędzi.



Źródło: Henkel



Źródło: WÜRTH



Źródło: Henkel

Np. Gasketin to polimerowy środek silnie uszczelniający, sporządzony na bazie gumy kauczukowej, w postaci płynnej. Na uwagę zasługuje odporność na wysokie temperatury i ciśnienia, a także chemikalia. Preparat jest odporny na działanie rozpuszczalników, słonej i zwykłej wody, oleju oraz kwasów i zasad. Zastosowanie obejmuje między innymi uszczelnianie zbiorników, przekładni skrzyń, pomp wody, szyb i wielu innych.

Kleje błyskawiczne

Kleje błyskawiczne lub cyjanoakrylany utwardzają się bardzo szybko pomiędzy dwiema przylegającymi powierzchniami. Substancje tego typu zazwyczaj znajdują zastosowanie przy łączeniu małych elementów, co wynika z bardzo szybkiego ustalania. Kleje błyskawiczne nabyć można jako substancje płynne lub o konsystencji żelu. Preparaty tego typu dobiera się w zależności od potrzeb aplikacji. I tak np. odpowiedni klej jest dobierany pod kątem złącza klejonego, geometrii złącza czy też parametrów procesu. W kontekście cech na uwagę zasługuje bardzo dobra adhezja oraz wysoki poziom odporności na ścianie i rozciąganie. Np. klej Pattex S.O.S. firmy Henkel to szybko schnący preparat cyjanoakrylowy o uniwersalnym zastosowaniu. Dzięki jego płynnej konsystencji i niewielkiej tubce z aplikatorem jest możliwe precyzyjnie sklejenie nawet najmniejszego elementu.

Kleje epoksydowe

Osobną grupę stanowią kleje epoksydowe. Można nabyć epoksydy o pięciominutowym działaniu. Preparaty tego typu pozwalają m.in. na uzupełnianie metali, gdzie niezbędne jest szybkie utwardzanie produktu. Istotne miejsce zajmują epoksydy wzmocnione o bardzo wysokich parametrach wytrzymałościowych i wysokim poziomie odporności na obciążenia uderowe.

Nie mniej ważne w warunkach przemysłowych są epoksydy wysokotemperaturowe. W zależności od potrzeb wybrać można epoksydy o dobrej przejrzystości oraz preparaty o długim czasie przydatności do nałożenia kończąc na produktach o konsystencji pasty, przeznaczone do wypełniania dużych szczelin i zastosowań na płaszczyznach pionowych. Kluczowe miejsce zajmują epoksydowe kleje strukturalne.

Mówiąc o cechach klejów epoksydowych należy mieć na uwadze przede wszystkim upraszczanie rozwiązań konstrukcyjnych poprzez zapewnienie wytrzymałości i sztywności, które są niezbędne do przenoszenia obciążeń. Oprócz tego należy zwrócić uwagę na zapobieganie zmęczeniu i uszkodzeniu materiału poprzez równomierne rozłożenie obciążeń (tzw. dystrybucja obciążeń) oraz poprzez zachowanie integralności strukturalnej substratu. Chodzi tutaj o wyeliminowanie osłabienia elementów, wywołane obróbką termiczną lub mechaniczną.

Ważne jest obniżenie kosztów produkcji w efekcie zastąpienia tradycyjnie stosowanych złączy mechanicznych takich jak chociażby wkręty, nity czy też spawanie. Dzięki klejom epoksydowym zmniejszają się koszty materiałowe i zmniejszana jest masa elementów poprzez zredukowanie grubości materiału z jednoczesnym zachowaniem właściwości w zakresie przenoszenia obciążeń.

Np. Monolith EP 2501-1 to dwuskładnikowy klej na bazie żywicy epoksydowej, utwardzający się przez reakcję chemiczną na przezroczyste tworzywo sztuczne. Czas utwardzania zależy od temperatury otoczenia i temperatury substratów. Przez podwyższenie temperatury można te czasy skrócić (niska temperatura opóźnia ten proces). Czas utwardzania nie zależy od głębokości ani grubości szczeliny, ale jest związany z ilością materiału, gdyż duża ilość materiału utwardza się szybciej ze względu na egzotermiczny charakter reakcji. Monolith EP 2501-1 nie zawiera rozpuszczalników, izocyjanianów, silikonów i PCV oraz nie ma praktycznie zapachu. Wykazuje dobrą przyczepność do wielu podłoży bez gruntowania. Ma niską lepkość i dobrze wypełnia szczeliny.



Zródło: Mirex

turze +23°C). Podobnie jak inne kleje epoksydowe klej charakteryzuje się wysoką przezroczystością po utwardzeniu. Dzięki wysokiej przyczepności do metali (w tym do stali nierdzewnej), szkła, ceramiki i tworzyw sztucznych klej doskonale nadaje się do napraw pęknięć elementów metalowych i z tworzyw sztucznych. Opakowanie kleju wyposażone jest w dwa mieszadła ze specjalną końcówką, która umożliwia bardzo dokładną aplikację.

Tworzywa naprawcze

Ciekawe rozwiązanie stanowią tworzywa naprawcze z domieszką metali. Dzięki preparatom tego typu zyskuje się możliwość rozwiązywania problemów, które wynikają z korozji udarowej i uszkodzeń mechanicznych. Chodzi przede wszystkim o pęknięte obudowy, zużyte wały cylindryczne itp.



Zródło: Henkel

Czynnikiem wpływającym na wytrzymałość mechaniczną połączenia klejonego jest głębokość penetracji klejonego materiału przez klej. Im jest ona głębsza tym lepiej.



Zródło: AM Technologia

Z kolei Multibond 13 jest przezroczystym klejem epoksydowym o płynnej konsystencji i wolnym wiązaniu. Klej ze względu na niską lepkość (bardzo płynna konsystencja) szczególnie nadaje się do zalewania małych szczelin, form oraz cienkowarstwowego klejenia szkła i przezroczystych tworzyw. Powolne wiązanie umożliwia dobre odpowietrzenie mieszanki. Dla lepszego efektu przezroczystości, mieszankę kleju wlaną w formę można umieścić w naczyniu próżniowym, do czasu żelowania. Ze względu na wysoką przezroczystość i znikome żółknięcie spoiny klej bardzo dobrze nadaje się do zastosowań optycznych.

Najnowszą propozycją firmy WÜRTH jest dwuskładnikowy klej epoksydowy ESK-50 o bardzo krótkim czasie wiązania, który wstępną wytrzymałość osiąga już po ok. 5 minutach (w tempera-



Zródło: WÜRTH

Specjalne tworzywa naprawcze z domieszką metali przeznaczone są do trwałych napraw oraz odbudowy i konserwacji zniszczonych maszyn i urządzeń bez potrzeby stosowania wysokiej temperatury lub spawania. Cechy tworzyw naprawczych to: niska kurczliwość ograniczająca naprężenia, łatwa aplikacja, brak konieczności podgrzewania elementów oraz możliwości wykonywania napraw bezpośrednio na linii produkcyjnej. Należy podkreślić, że po utwardzeniu powstała powierzchnia może być wiercona, gwintowana lub poddawana obróbce maszynowej.

Np. Produkt Loctite Hysol 3475 (Henkel) jest dwuskładnikowym klejem epoksydowym z wypełniaczem aluminiowym, którego utwardzanie przebiega w temperaturze pokojowej, po wymieszaniu składników. Jest on stosowany do naprawy i odbudowy zużytych części metalowych. Proporcja mieszania składników wynosi 1:1, a produkt charakteryzuje się niskim skurczem w czasie utwardzania i odpornością na korozję. Produkt Hysol 3475, ze względu na łatwe i wygodne stosowanie jest używany do napraw przeprowadzanych w warunkach warsztatowych oraz podczas konserwacji i przeglądów okresowych na liniach produkcyjnych. ■