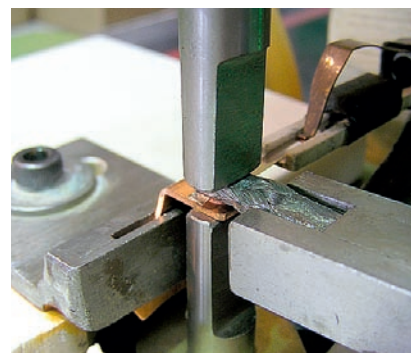


Jakość połączeń w technologii oporowego zgrzewania elementów miedzianych

MGR INŻ. TOMASZ MROCZKA*

Zgrzewanie rezystancyjne metali stanowi rozpowszechnioną metodę pozwalającą na uzyskiwanie trwałych połączeń różnych typów elementów. Łączenie materiałów jest realizowane poprzez docięnięcie zgrzewanych detali z określoną siłą, z następnym przepuszczeniem przez te elementy prądu elektrycznego o dużej wartości. Zjawisko rezystancji obecne na styku łączonych elementów powoduje lokalny wzrost temperatury, tworząc w konsekwencji strefę uplastycznionego materiału. Utrzymujący się w trakcie zgrzewu docisk zapewnia fizyczne połączenie elementów.



Oporowe zgrzewanie elementów miedzianych przy użyciu elektrody wolframowej

fot. INSTAL Świątchłowie



Przykładowe połączenia zbrzyktowanej linki z miedzianą końcówką

fot. INSTAL Świątchłowie



Zbrzyktowane końce linki o przekroju 14 mm²

Spośród wszystkich rodzajów zgrzewania oporowego najbardziej rozpowszechnione jest zgrzewanie punktowe. Ten rodzaj zgrzewania jest z powodzeniem stosowany do łączenia blach karoserii samochodowych, jak i do drobnych elementów o rozbudowanych kształtach.

W zależności od rodzaju łączonych detali elektrody zgrzewalnicze najczęściej wykonuje się ze stopów miedzi lub z wolframu, przy czym z uwagi na wysoką cenę wolframu w praktyce spotyka się rozwiązania polegające na zakończeniu elektrody wykonanej ze stopu miedzi nasadką wolframową.

Obie elektrody są chłodzone wodą o temperaturze ok. 15°C, która odbiera ciepło zarówno z elektrod jak i, po części, ze zgrzanego elementu. Sterowanie procesem jest realizowane poprzez odpowiedni dobór mocy zgrzewania, czasu zgrzewania oraz siły docisku.

ZGRZEWANIE MIEDZI Z MIEDZIĄ

Miedź jako materiał o bardzo dobrych właściwościach elektrycznych i wysokim przewodnictwie cieplnym znajduje szerokie zastosowanie w wielu aplikacjach. Z punktu widzenia zgrzewania oporowego połączenie miedzi elektrolitycznej (99% Cu) bywa jednak problematyczne.

W przypadku wiązek elektrycznych zbudowanych z plecionek miedzianych zakończonych końcówką duża przewod-

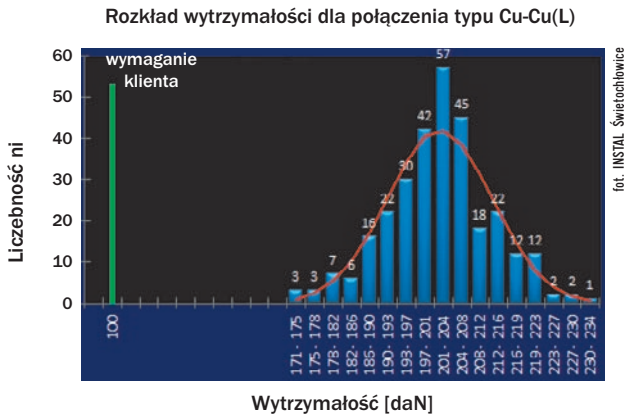
ność materiału w połączeniu z niewielką grubością elementów sprawia, że dość trudno uzyskać wysoką rezystancję styku, pomimo że zgrzewaniu poddawane są oddzielne detale.

Trwałe połączenia typu Cu – Cu osiąga się poprzez zastosowanie wysokich wartości prądu oraz krótkich czasów zgrzewania. W podobny sposób przebiega zgrzewanie aluminium, które jest również dobrym przewodnikiem elektrycznym i cieplnym.

Powyższy dobór parametrów wynika z faktu, że energia doprowadzona do miejsca połączenia musi być na tyle duża i skondensowana, aby zniwelować szybką jej utratę spowodowaną wysoką przewodnością cieplną materiału.

Jakość uzyskanych połączeń w warunkach produkcji seryjnej weryfikuje się podczas prób wytrzymałościowych polegających na rozciąganiu zgrzeiny. Układ kierunków przyłożenia siły dobiera się w sposób symulujący rzeczywiste warunki pracy elementu. Uzupełniająco każda zgrzeina jest poddawana oględzinom w kierunku odbarwień występujących w obszarze działania prądu. Obecność odbarwień może stanowić przesłankę świadczącą o dobrze wykonanym zgrzewie.

W przypadku plecionek wytrzymałość zgrzeiny zależy w dużym stopniu od jakości wykonanego brykietu linki.



Histogram wyników dla zgrzewania z użyciem spoiwa lutowniczego

Im bardziej struktura brykietu jest zwarta i stanowi monolityczną całość, tym większa wytrzymałość połączenia. Projektując proces brykietowania, nie należy jednak zapominać, że plecionka stanowi wiązkę zbudowaną z od kilkuset do kilku tysięcy drutów upakowanych w kilka splecionych z sobą pasemek. Średnica drutu w typowych przekrojach plecionek zawiera się w zakresie od 0,05 do 0,15 mm i stanowi podstawę elastycznych właściwości połączenia.

Dla połączeń, które będą przenosić znaczące obciążenia statyczne lub dynamiczne, zaleca się stosowanie drutów o stosunkowo dużych średnicach. Użycie małych średnic może powodować osłabienie drutów na skutek wysokiej temperatury wymaganej do uzyskania zwartej struktury brykietu. Dalsza degradacja drutów może zachodzić na etapie zgrzewania, gdzie ponownie następuje ich nagrzanie do wysokiej temperatury.

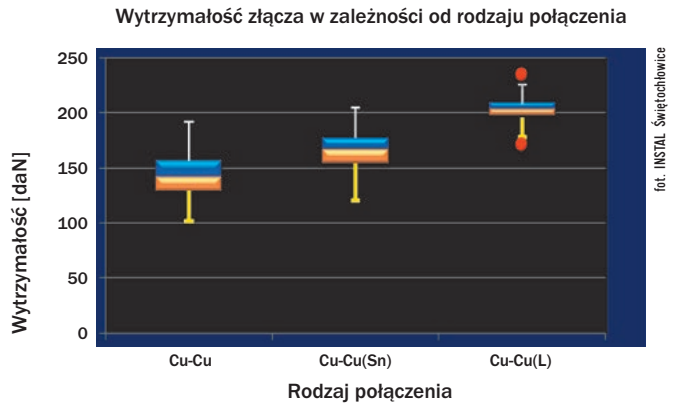
WYTRZYMAŁOŚĆ POŁĄCZEŃ MIEDZIANYCH

W praktyce przemysłowej wzrost własności wytrzymałościowych połączeń miedzianych jest możliwy do uzyskania w dwojaki sposób. Pierwszy z nich polega na pokryciu przynajmniej jednego ze zgrzewanych elementów (np. końcówki) warstwą cyny. W prezentowanych aplikacjach wystarczająca grubość powłoki cynowanej naniesionej w procesie galwanicznym wynosi 8 μm .

Powyższe rozwiązanie jest możliwe do zastosowania w sytuacji kiedy nie stawia się zgrzewom bardzo wysokich wymagań wytrzymałościowych. Zgrzewanie z użyciem cynowanych elementów ma bowiem to ograniczenie, że zastosowanie wysokich warunków prądowych może doprowadzić do „zgotowania” warstwy cynowej, co skutkuje pojawieniem się pęcherzy na powierzchni końcówki.

Drugi ze sposobów polega na zastosowaniu dodatkowego materiału w postaci spoiwa lutowniczego umieszczonego pomiędzy zgrzewanymi detalami. Obecność spoiwa umożliwia uzyskanie połączenia dyfuzyjnego między lutem a łączonymi detalami, co wpływa na poprawę własności mechanicznych utworzonej zgrzeiny. W warunkach przemysłowych podawanie spoiwa w obszar pracy elektrod odbywa się z wykorzystaniem specjalistycznych aplikatorów zbudowanych na bazie siłowników pneumatycznych bądź silników elektrycznych.

W trakcie przeprowadzonych badań własnych stwierdzono znaczącą różnicę w jakości uzyskiwanych połączeń miedzianych z zastosowaniem spoiwa lutowniczego Cu – Cu(L) w stosun-

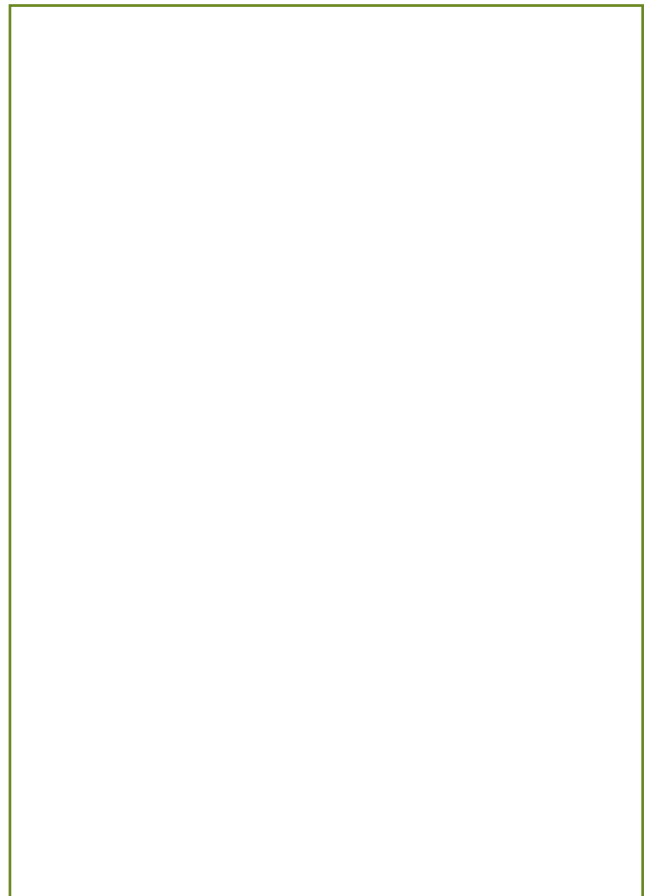


Wykres pudełkowy wytrzymałości zgrzewów uzyskanych w poszczególnych wariantach zgrzewania

ku do połączeń miedzianych bez spoiwa Cu – Cu. Zgrzewanie ze spoiwem pozwala bowiem na przeniesienie uzyskiwanych wyników wytrzymałościowych w obszar absolutnie nieosiągalny dla zgrzewów, do których nie użyto spoiwa. Wyniki poczynionych badań wskazują na wzrost średniej wytrzymałości o 39,90% oraz ograniczenie rozrzutu mierzone współczynnikiem zmienności o 61,46%. Tym samym, poza poprawą średniej procesu, użycie spoiwa sprawia, że proces zachowuje się w sposób bardziej przewidywalny.

Jedynym mankamentem zgrzewania ze spoiwem jest jego koszt. Spoiwo lutownicze, w oparciu o które dokonano niniejszej analizy, stanowi lut miedziано-fosforowy z domieszką srebra (15%), co znajduje odzwierciedlenie w jego cenie.

reklama

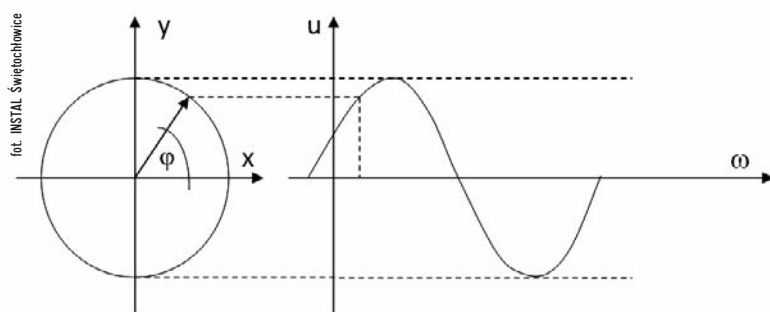


	X_{sr}	X_{max}	X_{min}	S_x	V_x
Cu-Cu	144,25	192	102	19,51	13,52
Cu-Cu(Sn)	165,81	205	120	14,12	10,32
Cu-Cu(L)	201,8	234	171	10,52	5,21

Tab. 1. Statystyka wyników wytrzymałościowych zgrzewania oporowego



Zmienność rzeczywistych warunków prądowych w stosunku do wartości zadanych



Wektorowy opis prądu sinusoidalnego

	Zgrzewanie	Zgrzewanie cynowan-nych elementów	Zgrzewanie z użyciem spoiwa lutowniczego
Stabilność procesu	↓	↑	↑↑↑
Wytrzymałość połączeń	↑	↑↑	↑↑↑
Zużycie elektrod	↓	↑	↑↑
Szybkość operacji	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑
Łatwość przezbajania	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑

Tab. 2. Charakterystyka wariantów zgrzewania oporowego

ZMIENNOŚĆ PROCESU PRODUKCYJNEGO

Niejednokrotnie wyzwaniem dla kadry inżynierskiej w wielu przedsiębiorstwach bywa zmienność procesu produkcyjnego. W przypadku manualnego zgrzewania komponentów liczba czynników wpływających na proces jest dość liczna, poczynając od czystości rękawic operatora, poprzez tempo jego pracy, stan elektrod zgrzewających, a skończywszy na niewielkich fluktuacjach prądu w sieci energetycznej. Wspomniane czynniki mają niewielki wpływ na uzyskiwane wyniki zgrzewania, przy założeniu, że każdy z nich wystąpi samodzielnie. Stanowią one bowiem tzw. szum, stale

obecny w każdym procesie produkcyjnym. Tym niemniej skutki tychże czynników, jeżeli wystąpią one w tym samym momencie, bywają znaczące i potrafią doprowadzić do destabilizacji procesu produkcyjnego.

Walka z szumem może być prowadzona jedynie na drodze zaplanowanych działań systemowych. Przykładem takiego działania jest zaopatrzenie zgrzewarki w inteligentny sterownik z funkcją kompensacji mocy (prądu). Zasada działania sterownika polega na tym, że układ pomiarowy, dokonując w kolejnych połówkach sinusoidy pomiaru prądu, steruje układem tyrystorowym, który „pobiera” określoną moc z transformatora.

Jeżeli uzyskana moc mieści się w założonym przedziale zmienności, sterownik zezwala na realizację zgrzewów. Jeżeli uzyskany prąd wykracza (*in plus* lub *in minus*) poza ów przedział, sterownik dokonuje stabilizacji prądu zgrzewania. Stabilizacja prądu polega na właściwym sterowaniu układem tyrystorowym, który włącza transformator przy różnym nachyleniu wektora prądu.

W przypadku gdy spadek napięcia np. w sieci jest znaczący i sterownik nie jest w stanie dokonać korekty prądu zgrzewania, wówczas następuje zablokowanie zgrzewarki, która zwraca komunikat o przekroczonym zakresie stabilizacji. Zgrzew, przy którym nastąpiło zablokowanie zgrzewarki, powinien zostać odseparowany od normalnej produkcji, bowiem jest on wyrobem niezgodnym.

W praktyce spotyka się dodatkowe układy kontrolne zbudowane na fotokodownikach, które uniemożliwiają ponowne uruchomienie procesu, jeżeli operator nie umieści zakwestionowanej sztuki w tzw. czerwonym pudełku.

Funkcja kontroli i kompensacji prądu zgrzewania jest istotnym elementem wspomagającym utrzymanie procesu zgrzewania na właściwym, uregulowanym poziomie. Nie należy bowiem zapominać, że zgrzewanie należy do grupy procesów specjalnych, czyli takich, których skutków nie można zweryfikować dla każdego wyrobu w drodze pomiarów z uwagi na ich niszczący charakter.

PODSUMOWANIE

Technologia oporowego zgrzewania metali jest bardzo rozpowszechnioną metodą łączenia elementów. Znajduje ona szerokie zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym. Podstawowymi walorami zgrzewania rezystancyjnego są: bardzo krótki cykl produkcyjny, uniwersalność metody, łatwość przezbajania, dobra jakość połączeń, które cechuje duża wytrzymałość przy jednocześnie niewielkim spadku napięcia. Z drugiej strony zgrzewanie oporowe to walka kadry inżynierskiej ze zmiennością, szczególnie w procesach manualnych. Poprzez przynależenie do grupy procesów specjalnych, zgrzewanie oporowe wymaga doświadczenia, aby zapewnić dobrej jakości połączenia i późniejszą satysfakcję klienta. □

* INSTAL Świątobłowice