



KURS Lutowania

PROWELD
TECHNIKA SPAWALNICZA
PROWELD.INFO.PL



Kursy spawalnicze

☎ 570 546 996

🌐 www.proweld.info.pl

✉ biuro.proweld01@gmail.com

BEZPIECZEŃSTWO I HIGIENA PRACY W SPAWALNICTWIE

WPROWADZENIE

Procesom spawania i cięcia termicznego towarzyszy wiele czynników, które mogą stanowić niebezpieczeństwo zagrażające obsłudze stanowisk spawalniczych oraz ich otoczeniu.

Do podstawowych zagrożeń należą:

- porażenie prądem elektrycznym,
- porażenie wzroku i skóry szkodliwym promieniowaniem,
- zatrucie szkodliwymi gazami, dymami i pyłami,
- poparzenie rozpryskami metali i żużli,
- eksplozja wybuchowych mieszanek gazowych,
- zagrożenie pożarowe,
- nadmierny hałas,
- radioaktywność i pole magnetyczne.

Rodzaj zagrożenia i stopień szkodliwości zależy od rodzaju procesu spawalniczego, rodzaju spawanego materiału, wielkości produkcji i organizacji pracy.

Braki i niedociągnięcia w zakresie zapewnienia bezpiecznych warunków pracy prowadzą często do wystąpienia wypadków oraz są przyczyną chorób zawodowych. Wśród głównych przyczyn wypadków przy pracach spawalniczych wymienia się brak doświadczenia zawodowego personelu spawalniczego (20%), niepełnosprawność pracowników (10%) i nieprzestrzeganie przepisów (70%). Zatem duże znaczenie w przeciwdziałaniu występującym zagrożeniom i powstawaniu wypadków w pracy ma zatrudnianie pracowników z wymaganymi uprawnieniami spawalniczymi oraz odpowiednie szkolenie załóg.

Odpowiedzialność za bezpieczne warunki pracy i ochronę środowiska spoczywa zarówno na pracodawcy jak i na pracownikach. Na pracodawcy ciąży obowiązek szkolenia w zakresie BHP, dopuszczanie pracowników do pracy zgodnie z ich kwalifikacjami i zapewnienie bezpiecznych warunków pracy. Pracownicy są zobowiązani do ścisłego przestrzegania obowiązujących instrukcji obsługi urządzeń, instrukcji bezpieczeństwa na stanowisku pracy oraz innych uregulowań organizacyjnych związanych ze stanowiskiem pracy.

ZAGROŻENIA PORĄŻENIEM PRĄDEM ELEKTRYCZNYM

Źródła zagrożeń porażenia prądem elektrycznym związane są zarówno z bezpośrednim przebiegiem procesu spawania, jak również z obsługą elektrycznych urządzeń pomocniczych wykorzystywanych w procesie spawania. Skutki oddziaływania prądu na organizm ludzki są bardzo groźne dla zdrowia, a często są zagrożeniem dla życia. Jego przepływ przez ciało ludzkie powoduje wydzielanie się dużych ilości ciepła, działa porażająco na układ nerwowy, wywołuje zjawisko

elektrolizy, a także może być przyczyną ciężkich, wtórnych urazów mechanicznych w wyniku upadku.

Wzrost temperatury ciała powyżej 50 °C, spowodowany przepływem prądu, powoduje zamieranie tkanek wskutek ścinania się białka. Natomiast prąd o dużym natężeniu może spowodować nawet zwęglenie części ciała, przez które przepływa.

Paraliż układu nerwowego, spowodowany przepływem prądu, objawia się zaburzeniami zmysłów wzroku, słuchu, równowagi, zakłóceniami pracy serca, a nawet zatrzymaniem oddechu. Szczególnie groźne dla porażonego są zakłócenia w pracy serca w postaci tzw. migotania komór serca, ponieważ w warunkach głębokiego omdlenia nie wykazuje on oznak życia i bez natychmiastowej pomocy medycznej dochodzi do śmierci.

Najsilniej na układ nerwowy oddziałuje prąd przemienny o częstotliwości 40-60 Hz, prąd stały jest pod tym względem mniej groźny. Prąd przemienny o natężeniu 0,01-0,025 A powoduje ból i skurcz mięśni ręki trzymającej przewód elektryczny uniemożliwiając jej oderwanie. Prąd przemienny większy od 0,05 A prowadzi do utraty przytomności, a powyżej 0,1 A grozi śmiercią.

Szczególnie groźne są wypadki związane z kontaktem spawacza z obwodem pierwotnym urządzeń spawalniczych, z powodu występującego tam wysokiego napięcia, co skutkuje często porażeniem śmiertelnym. Niebezpieczny też może być obwód wtórny tych urządzeń, a to z uwagi na napięcie biegu jałowego, które zależnie od urządzenia wynosi 62-100 V.

Wartość prądu elektrycznego płynącego przez organizm ludzki zależy od napięcia źródła prądu oraz oporu kontaktowego ciała. Im większy jest ten opór tym mniejszy płynie prąd. Sucha skóra i sucha odzież ma większą oporność elektryczną od wilgotnych. Natomiast wilgotne środowisko spawania, mokre i zabrudzone pyłem ubranie, wilgotna podłoga zmniejszają ogólny opór elektryczny i zwiększają przez to niebezpieczeństwo śmiertelnego porażenia prądem.

Przy użytkowaniu elektrycznych urządzeń spawalniczych i osprzętu należy w szczególności przestrzegać następujących wymagań bezpieczeństwa:

- nie dotykać gołymi rękami urządzeń pracujących pod napięciem,
- dbać o stan izolacji przewodów zasilających, ponieważ uszkodzona izolacja może być przyczyną przebicia i porażenia prądem,
- unikać pracy z urządzeniami elektrycznymi w wilgotnych pomieszczeniach lub w wilgotnym ubraniu, a w razie potrzeby nosić suchą odzież ochronną, gumowe rękawice oraz stawać na izolacyjnych matach,
- nie dotykać elektrody, jeżeli występuje kontakt z przedmiotem spawanym lub ziemią, lub innej elektrody od innego urządzenia,
- nigdy nie należy pracować pojedynczo, zawsze wymagana jest obecność drugiej osoby,
- należy wyłączyć wszystkie urządzenia, które nie są używane,
- nie przekładać spawalniczych przez swoje ciało,
- przy pracy wewnątrz zbiorników, kotłów i innych metalowych pomieszczeń, stosować oświetlenie elektryczne o napięciu 24 V,

- używać tylko urządzeń sprawnych technicznie, stosować się do instrukcji obsługi urządzenia,
- instalację, naprawy i przeglądy elektrycznych urządzeń spawalniczych powinni wykonywać pracownicy mający odpowiednie uprawnienia.

ZAGROŻENIA PROMIENIOWANIEM ŹRÓDEŁ CIEPŁA SPAWANIA

Procesom spawania łukiem elektrycznym oraz płomieniem gazowym a także cięcia termicznego towarzyszy promieniowanie świetlne widzialne i niewidzialne, którego intensywność zależy od metody spawania oraz parametrów procesu. Na jego szkodliwe skutki narażone są oczy i skóra odsłoniętych części ciała spawacza.

Promieniowanie widzialne działa oślepiająco, nie pozwalając na obserwację miejsca spawania. Widzialne promieniowanie niebieskie powoduje krótkotrwałe olśnienie wzroku, natomiast długotrwałe jego oddziaływanie powoduje podrażnienie oczu, trwałe osłabienie wzroku i bóle głowy.

Niewidzialne promieniowanie podczerwone, przenika w głąb oka i powoduje przegrzanie gałki ocznej. Długotrwałe oddziaływanie powoduje uszkodzenie siatkówki. Skóra odsłoniętych części ciała pochłania 95% promieniowania podczerwonego, powodując silny wzrost temperatury na jej powierzchni.

Niewidzialne promieniowanie nadfioletowe jest silnie pochłaniane przez soczewkę, powoduje zapalenie spojówek, rogówki i powiek. Działając fotochemicznie na soczewkę powoduje powstawanie zaćmy, a długotrwałe narażanie prowadzi do utraty wzroku. Skutki działania promieniowania nadfioletowego na oczy odczuwa się już po kilku godzinach jako przykry ból oka, światłowstręt i łzawienie. Groźne w skutkach może być oddziaływanie promieniowania nadfioletowego na odsłonięte części ciała. Powoduje ono oparzenia podobne do oparzeń słonecznych, a wielokrotna ekspozycja skóry na intensywne promieniowanie ultrafioletowe wywołuje zwłóknienie skóry i zanik naskórka. Długotrwałe działanie tego promieniowania na skórę prowadzi do wystąpienia zmian nowotworowych.

Skuteczną ochronę przed szkodliwym działaniem promieniowania mogą zapewnić indywidualne środki ochrony spawacza takie jak okulary ochronne do spawania gazowego, przyłbice spawalnicze do spawania łukowego, rękawice spawalnicze oraz odzież ochronna. Stanowisko spawania powinno być oddzielone od innych stanowisk pracy za pomocą parawanów.

ZAGROŻENIA GAZAMI, DYMAMI I PYŁAMI SPAWALNICZYMI

Podczas spawania oraz cięcia termicznego wydzielają się duże ilości gazów, dymów, pyłów oraz par metali, które mają szkodliwy wpływ na zdrowie spawacza i osób przebywających w pobliżu stanowiska spawalniczego. Źródłami emisji gazów jest termiczny rozkład i sublimacja związków chemicznych wchodzących w skład

otulin elektrod otulonych, topników do spawania łukiem krytym, topników do lutowania, rozpad i jonizacja gazów spawalniczych. Podczas topienia metali w łuku spawalniczym zachodzi także parowanie metali i utlenianie par metali. W niższej temperaturze lotne substancje kondensują tworząc cząstki o wielkości 0,1-0,5 μm .

Ilość oraz skład chemiczny powstających gazów, dymów, pyłów oraz par metali zależy od metody spawania, rodzaju spawanego materiału podstawowego i materiałów dodatkowych oraz parametrów spawania.

Gazy, które powstają przy spawaniu, cięciu, lutowaniu itp. i stwarzają zagrożenie dla zdrowia spawacza to najczęściej ozon, tlenki azotu, tlenek węgla, fosgen, fluorowodór, a także produkty rozkładu związków chlorowych.

Szczególne toksycznością odznaczają się dymy spawalnicze, które są aerozolem mieszaniną bardzo drobnych cząstek pyłu i gazów. Również pary metali i ich tlenki stwarzają duże zagrożenie dla zdrowia. Do najczęściej spotykanych, szczególnie niebezpiecznych, zalicza się związki cynku, ołowiu, kadmu, aluminium i miedzi.

Celem ochrony pracowników przed skutkami narażenia na działanie niebezpiecznych dla zdrowia substancji należy przestrzegać przepisów określających wartości dopuszczalnych stężeń poszczególnych związków w powietrzu na stanowisku pracy. Skutecznym sposobem ochrony w tym przypadku jest sprawnie działający system wentylacji ogólnej i lokalnej na stanowisku spawalniczym. Szczególnym nadzorem należy objąć spawaczy pracujących w ciasnych pomieszczeniach (zbiornikach), gdzie oprócz wentylacji może być konieczny również nawiew świeżego powietrza.

ZAGROŻENIA POPARZENIEM ROZPRYSKAMI METALI I ŻUŻLI

Stosowane w procesach spawania źródła ciepła o wysokiej temperaturze znajdują się w bezpośredniej bliskości spawacza. Z tego względu istnieje bezpośrednie niebezpieczeństwo poparzenia ciepłem łuku, ciepłem płomienia gazowego oraz odpryskami metalu i żużla.

Źródłem zagrożenia poparzeniem w procesach spawania może być rozgrzana elektroda, gorąca spoina, proces wstępnego podgrzewania przedmiotów jak również zabiegi obróbki cieplnej złączy po spawaniu. Podczas spawania części metalowe nagrzewają się wskutek przewodnictwa ciepła nawet na znacznej odległości od miejsca pracy spawacza i mogą stać się źródłem zagrożenia poparzeniem.

Niestabilność procesów spawania jest przyczyną występujących gorących rozprysków metalu i żużli, które mogą powodować poparzenie spawacza, a także mogą wywołać zapalenie się materiałów łatwopalnych podczas prowadzenia prac spawalniczych. Do ochrony przed oparzeniami należy nosić nieuszkodzoną ochronną odzież spawalniczą i rękawice spawalnicze, a w szczególnych przypadkach także skórzany fartuch.

ZAGROŻENIE EKSPLOZJĄ MIESZANEK WYBUCHOWYCH

Niebezpieczeństwo wybuchu mieszanek gazowych występuje w pracach spawalniczych, w których stosuje się butle z gazami palnymi lub butle z tlenem. Gazy palne tworzą z powietrzem lub tlenem mieszaniny wybuchowe w bardzo szerokim zakresie stężeń. Do zainicjowania wybuchu takiej mieszanki wystarczy niewielka iskra. Spalaniu wybuchowemu mieszanki towarzyszy niszcząca fala detonacyjna i wysoka temperatura, będąca przyczyną pożarów. Do powstania mieszanek wybuchowych przy pracach spawalniczych przyczyniają się następujące czynniki:

- niewłaściwa obsługa butli, np. rzucanie, przewracanie mogące uszkodzić zawór butli,
- nieszczelność zaworów butlowych lub reduktorów,
- nieszczelność instalacji gazowej,
- magazynowanie wspólne gazów palnych z tlenem, chlorem itp.

Wybuchowi mogą ulec również butle z gazami sprężonymi. Dlatego należy z butlami obchodzić się bardzo ostrożnie, unikać wstrząsów, chronić przed uderzeniami itp. Należy je również chronić przed nagrzaniem, tzn. nie wystawiać na działanie promieni słonecznych, nie stawiać w pobliżu pieców lub ognisk, aby w ten sposób nie wywołać nadmiernego ciśnienia, mogącego spowodować rozerwanie butli. Bardzo niebezpieczne jest zanieczyszczenie butli oraz instalacji sprężonego tlenu smarami, olejami czy innymi tłuszczami.

Zagrożenie wybuchem występuje również podczas prac spawalniczych przy zbiornikach, rurociągach i innych obiektach przeznaczonych do przechowywania i transportu materiałów palnych. Wówczas prace mogą być prowadzone pod szczególnym nadzorem.

ZAGROŻENIE HAŁASEM

Hałas należy do najczęściej występujących w środowisku pracy czynników oddziałujących szkodliwie na organizm ludzki, a procesy spawalnicze są jego najpoważniejszymi źródłami. Szczególnie niebezpieczne okazują się procesy cięcia termicznego oraz natryskiwanie cieplne, podczas których poziom hałasu przekracza obowiązujące normy bezpieczeństwa, w wysokości 85 dB, a często osiąga wartość 110 dB zbliżając się do progu odczuwalnego bólu.

Poziom hałasu zależy od metody cięcia i spawania oraz od stosowanych parametrów procesu takich jak parametry prądowe, rodzaj stosowanych gazów itp. Źródłami hałasu w procesach cięcia i spawania są:

- urządzenia elektryczne do spawania i cięcia,
- wypływ strumienia gazów z dyszy palnika gazowego lub plazmowego,
- układy chłodzenia urządzeń spawalniczych,
- urządzenia wentylacyjne na stanowiskach pracy.

Praca w hałasie, oddziałującym na narządy słuchu może powodować upośledzenie sprawności narządów słuchu i uszkodzenie ucha środkowego. Ryzyko uszkodzenia narządów słuchu istotnie zwiększa się wraz ze wzrostem poziomu natężenia hałasu

i długości czasu ekspozycji na hałas oraz ze wzrostem udziału dźwięków o wysokiej częstotliwości i dźwięków impulsowych. Z tego względu w warunkach zagrożenia hałasem, należy zaopatrzyć się w osłonę uszu, stosując miękkie zatyczki i nauszniki.

ZAGROŻENIA POŻAROWE

Największe zagrożenie pożarowe występuje w pracach spawalniczych nieodpowiednio przygotowanych do wykonywania takich prac. Wysoka temperatura łuku spawalniczego, płomienia gazowego, a także powstające podczas spawania, zgrzewania i cięcia rozpryski mogą stać się przyczyną zapalenia się materiałów łatwopalnych, znajdujących się w pobliżu miejsca spawania. Szczególnie niebezpiecznie, ponieważ często lekceważone, są rozpryskujące się rozżarzone cząstki metalu, które rozprzestrzeniają się niekiedy na kilka metrów od miejsca spawania czy cięcia.

Do głównych przyczyn, sprzyjających powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożarów w pracach spawalniczych, należą:

- snop rozżarzonych cząstek metalu (iskier),
- krople ciekłego metalu,
- żarzące się cząstki żużla,
- wysoka temperatura łuku elektrycznego i płomienia gazowego,
- promieniowanie cieplne,
- niesprawna instalacja i urządzenia spawalnicze,
- wykonywanie prac spawalniczych w pobliżu obiektów będących niebezpiecznymi pod względem pożarowym i nieodpowiednio zabezpieczonymi,
- nieznajomość lub lekceważenie przepisów przeciwpożarowych,
- brak odpowiedniego nadzoru nad przebiegiem prac spawalniczych.

Bardzo ważnym działaniem zapobiegającym pożarom, jest kontrola miejsc i obiektów po zakończeniu prac spawalniczych.

ZAGROŻENIA RADIOAKTYWNOŚCIĄ I POLEM ELEKTROMAGNETYCZNYM

Promienie X oraz gamma mogą u człowieka, który otrzymał niebezpieczną dawkę promieniowania, spowodować wiele groźnych chorób, takich jak rozpad czerwonych ciałek krwi, uszkodzenie gruczołów i wiele innych.

Potencjalne źródło zagrożenia radioaktywnego występuje przy spawaniu metodą TIG (z ang. Tungsten Inert Gas) z użyciem elektrod wolframowych zawierających ok. 2% tlenku toru, przy spawaniu wiązką elektronów oraz podczas kontroli radiologicznej złączy spawanych.

Tlenek toru ThO_2 jest związkiem słabo promieniotwórczym i podczas spawania występuje w niewielkich stężeniach w dymach spawalniczych. Zagrożenie nim istnieje w przypadku całkowitego braku wentylacji stanowiska spawalniczego.

Większe zagrożenie radioaktywnością występuje w spawaniu wiązką elektronów. Szczególnie niebezpiecznym źródłem promieniowania X są urządzenia do spawania WE pracujące pod napięciem większym niż 60 kV.

Największe zagrożeniem promieniowaniem jonizującym występuje podczas badania złączy spawanych metodami radiologicznymi, które wykorzystują promieniowanie rentgenowskie X oraz promieniowanie γ izotopów promieniotwórczych.

Z uwagi na duże zagrożenie radioaktywnością personel obsługujący urządzenia do spawania wiązką elektronów oraz wykonujący badania radiologiczne, musi mieć indywidualne wskaźniki napromieniowania.

W procesach spawalniczych występuje również zagrożenia polem elektromagnetycznym, którego źródłami mogą być:

- urządzenia indukcyjne do nagrzewania i topienia metali,
- zgrzewarki elektryczne odporowe,
- urządzenia i wyposażenie do spawania elektrycznego, w tym:
 - a) spawalnicze źródła prądu,
 - b) przewody spawalnicze,
 - c) łuk elektryczny.

Negatywny wpływ długotrwałego działania promieniowania elektromagnetycznego na organizm na ludzki przejawia się zwiększoną zachorowalnością na choroby układu nerwowego, a ponadto:

- bólami głowy,
- nerwową drażliwością,
- zaburzeniami czynności serca i mózgu,
- zaburzeniami rytmów biologicznych,
- uczuciem mrowienia skóry.

Ciało ludzkie wystawione na promieniowanie elektromagnetyczne adsorbuje część energii pola i zamienia ją na ciepło, co w konsekwencji prowadzi do niebezpiecznego wzrostu jego temperatury.

PRZEPISY DOTYCZĄCE BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W PRACACH SPAWALNICZYCH.

Obowiązujące przepisy w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w pracach spawalniczych, wydane w rozporządzeniu ministra gospodarki z dnia 27 kwietnia 2000 r. zawarte są w Dz. U. Nr 40 poz. 470. Zarządzenia oparte na podstawie Kodeksu pracy, art. 237 §2, dotyczą uregulowania zasad bezpieczeństwa i odnoszą się między innymi do:

- spawalni i stanowisk spawalniczych,
- wyposażenia i materiałów technologicznych,
- kwalifikacji personelu spawalniczego,
- wykonywania prac spawalniczych.

W ujęciu Ustawy spawalnia i stanowiska spawalnicze są rozumiane następująco:

- Stanowisko spawalnicze – jest to stanowisko pracy, na którym

są wykonywane prace przy zastosowaniu procesów spajania, takich jak spawanie, napawanie, lutowanie, zgrzewanie i cięcia termicznego metali i tworzyw termoplastycznych.

- Stałe stanowisko spawalnicze – jest to stanowisko pracy przeznaczone do powtarzalnego wykonywania prac spawalniczych, którego wyposażenie techniczne i instalacje zasilające są na stałe zainstalowane.
- Ruchome stanowisko spawalnicze – jest to stanowisko pracy przeznaczone do okresowego wykonywania prac spawalniczych, którego wyposażenie techniczne i instalacje zasilające są kompletowane doraźnie na czas wykonywania określonej pracy.
- Spawalnia – jest to pomieszczenie przystosowane lub wydzielona część pomieszczenia, w którym są zlokalizowane stałe stanowiska spawalnicze.

ZALECENIA I PRZEPISY BHP OBOWIĄZUJĄCE UCZESTNIKÓW LABORATORIUM

1. Do ćwiczeń laboratoryjnych studenci powinni przystąpić ubrani w fartuch ochronny oraz inne środki ochrony osobistej przewidziane do użycia na danym stanowisku spawalniczym, takie jak okulary, przyłbice, rękawice itp.
2. Zabrania się samowolnego uruchamiania urządzeń znajdujących się na spawalni. Studenci mogą uruchamiać i obsługiwać urządzenia laboratoryjne jedynie za zgodą i pod nadzorem prowadzącego ćwiczenie.
3. W szczególności, ze względu na bezpieczeństwo uczestników laboratorium, zabrania się studentom:
 - obserwacji procesów spawania bez środków ochrony wzroku,
 - dotykania rozgrzanych przedmiotów bezpośrednio po spawaniu lub cięciu,
 - dotykania przewodów będących pod napięciem,
 - kierowania płomienia lub innych źródeł ciepła na butle ze sprężonymi gazami lub inne urządzenia lub osoby,
 - opierania się o urządzenia, przewody i inne elementy stanowisk laboratoryjnych,
 - samowolnej naprawy urządzeń spawalniczych i dokonywania zmian w ich konstrukcji,
 - używania urządzeń spawalniczych do innych celów niż to przewidziano w ćwiczeniu,
 - bezmyślnego manipulowania przyciskami i pokrętkami aparatury badawczej i innych urządzeń pomiarowych,
 - zdejmowania osłon, demontażu urządzeń oraz usuwania innych elementów wyposażenia laboratorium mających wpływ na bezpieczeństwo osób przebywających na spawalni,
 - samowolnego opuszczania stanowiska laboratoryjnego w trakcie odbywania ćwiczeń,
 - samowolnego przechodzenia do innych stanowisk laboratoryjnych, lub innych grup ćwiczeniowych, a także załatwianie podczas ćwiczeń spraw nie związanych z tematem zajęć laboratoryjnych,

7. LUTOWANIE

CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest zapoznanie studentów z:

- charakterystyką metod lutowania miękkiego i twardego,
- wyposażeniem stanowisk do procesów lutowania,
- materiałami dodatkowymi do lutowania miękkiego i twardego,
- techniką lutowania wybranych elementów i materiałów.

7.1. WPROWADZENIE

Lutowanie, obok klejenia, zaliczane jest do najstarszych technik spajania materiałów. Znane było już 4–5 tysięcy lat p.n.e. [1,2]. Lutowano wtedy ozdoby i biżuterię ze złota i srebra. Dzisiaj lutowanie należy, obok spawania, do najczęściej stosowanych metod spajania. Za pomocą lutowania można łączyć metale, a także niemetale, takie jak: ceramikę, szkło, grafit, węgliki spiekane, nie tylko między sobą, ale również w połączeniach materiałów różnoimiennych [1,3-9].

Lutowanie jest procesem wyraźnie różniącym się od spawania. Nie występuje tu nadtapianie materiałów łączonych, a jedynie stapianie materiałów dodatkowych, którymi są najczęściej topnik i lut. Cechą charakterystyczną lutowania jest szczelina lutownicza, tj. odstęp o właściwościach kapilarnych, pomiędzy elementami lutowanymi. Jeśli stosuje się proces lutowania przy odstępie niekapilarnym i ukosowaniu elementów łączonych, tak jak przy spawaniu, proces taki nosi nazwę lutospawania.

Ogólnie, z uwagi na temperaturę topnienia lutów, rozróżnia się lutowanie miękkie i twarde. Lutowanie miękkie, jest procesem, w którym temperatura likwidus lutu jest mniejsza od 450 °C. Lutowanie twarde jest metodą lutowania, które zachodzi przy stosowaniu lutów o temperaturze likwidus powyżej 450 °C. W literaturze niemieckiej można się spotkać również z terminem procesu lutowania wysokotemperaturowego, które występuje przy stosowaniu lutów o temperaturze topnienia powyżej 900 °C [1]. Ze względu na znaczne utlenianie nagrzewanych materiałów w wysokich temperaturach, przeprowadza się je zwykle w piecach w osłonie gazowej lub w próżni, bez potrzeby stosowania topników.

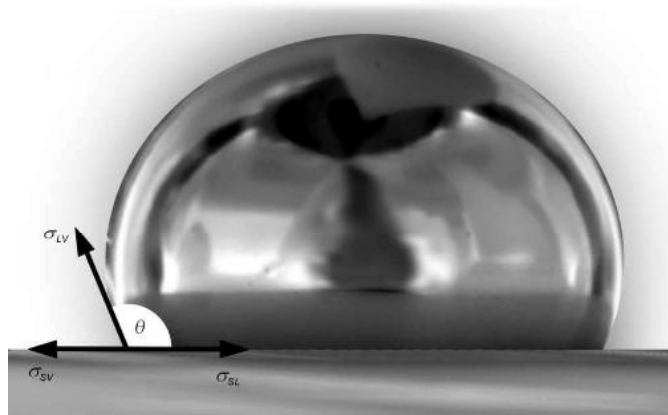
W technologiach lutowania wymagane jest, jak już wspomniano, stosowanie materiału dodatkowego – lutu (spoiwa), o niższej temperaturze topnienia od materiałów lutowanych, który po stopieniu stanowi lutwinę między łączonymi elementami. Materiałami dodatkowymi stosowanymi w technikach lutowania są również topniki i gazy ochronne, które mają za zadanie osłonić nagrzewanych elementów przed utlenianiem oraz oczyszczanie i roztwarzanie nowo tworzących się tlenków na powierzchni elementów lutowanych. Umożliwia to wystąpienie podstawowych zjawisk powierzchniowych, zachodzących podczas każdego procesu lutowania, takich jak: zwilżanie, rozpląnięcie lutu i jego kapilarność.

7.2. ZJAWISKA FIZYKOCHEMICZNE WYSTĘPUJĄCE W PROCESACH LutowANIA

Zjawiska powierzchniowe, takie jak: zwilżalność, kapilarność i rozptywność występują w każdym procesie lutowania, niezależnie od temperatury. Ze względu na temperaturę topnienia lutu i temperaturę lutowania lutowanie miękkie i twarde różnią się istotnie zjawiskami fizykochemicznymi, w wyniku których powstaje połączenie lutowane o określonej wytrzymałości mechanicznej. W lutowaniu miękkim zachodzą zjawiska adhezji i kohezji, natomiast w lutowaniu twardym występują zjawiska dyfuzji.

Zwilżalność w procesach lutowania to zdolność lutu do pokrywania powierzchni elementów łączonych cienką, równomierną i nieprzerwaną warstwą. Zwilżanie lutem związane jest z napięciem powierzchniowym materiału lutowanego.

Wartość napięcia powierzchniowego σ wyznacza się z równania Younga, co wynika z warunku równowagi termodynamicznej kropli lutu na powierzchni materiału lutowanego podczas oddziaływania topnika lub osłony gazowej. Graficzną interpretację równania Younga pokazuje rys. 7.1.



Rys. 7.1. Graficzna interpretacja równania Younga

Dla lutu w fazie ciekłej można przyrównać napięcie powierzchniowe σ do energii powierzchniowych ω i stąd:

$$\cos \theta = \frac{\omega_{SV} - \omega_{SL}}{\omega_{LV}} \quad (7.1)$$

w którym:

$\cos \theta$ – współczynnik zwilżania,

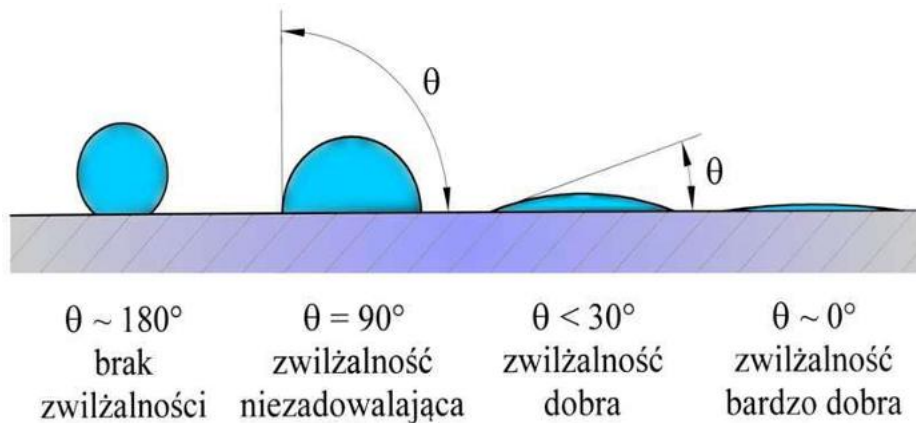
ω_{SV} – energia powierzchniowa pomiędzy fazą stałą i gazową,

ω_{SL} – energia powierzchniowa pomiędzy fazą stałą i ciekłą,

ω_{LV} – energia powierzchniowa pomiędzy fazą ciekłą i gazową.

Wartość kąta zwilżania ciekłym lutem θ służy często do określania lutowności łączonych materiałów. Gdy kąt θ jest zawarty między 90 a 180°, tj. gdy

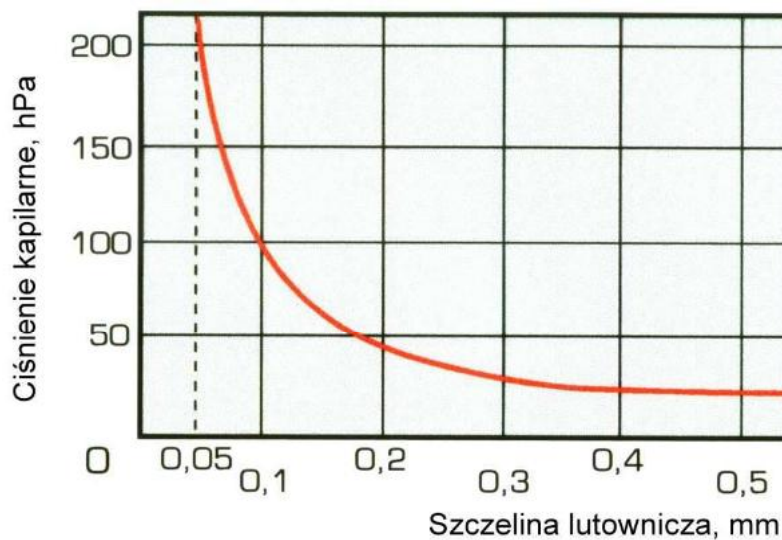
$0 \geq \cos \theta \geq -1$, przyjmuje się, że ciekły lut nie zwilża ciała stałego [3-6,10]. Dobrą zwilżalność materiału określa się kątem zwilżania, najczęściej poniżej 30° . Poszczególne przypadki oddziaływania lutu na powierzchni lutowanej pokazano na rys. 7.2.



Rys. 7.2. Przypadki zwilżania lutem materiału lutowanego

Kapilarność w procesie lutowania określa zdolność do samoczynnego wypełniania szczelin przez ciekły lut, która wynika z różnicy między ciśnieniem powstającym wewnątrz szczeliny, a ciśnieniem otoczenia.

Największy wpływ na kapilarność, oprócz napięcia powierzchniowego oraz lepkości i gęstości lutu, ma szerokość szczeliny lutowniczej. Zależność ciśnienia kapilarnego od szerokości szczeliny lutowniczej pokazano na rys. 7.3.



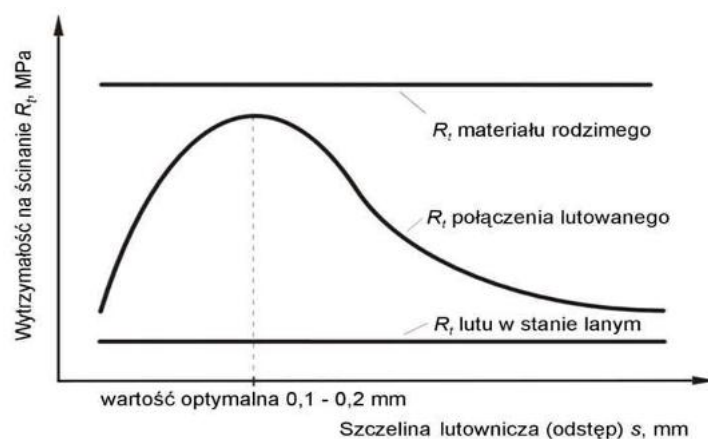
Rys. 7.3. Zależność ciśnienia kapilarnego od szerokości szczeliny lutowniczej w lutowaniu pod osłoną topnika [6]

Największe ciśnienie kapilarne występuje dla szczelin lutowniczych poniżej 0,05 mm. Są one korzystne w warunkach lutowania beztopnikowego. Zdolność wypełnienia lutem tak wąskich szczelin, w warunkach lutowania topnikowego, jest jednak ograniczona. Szczeliny poniżej 0,05 mm w lutowaniu topnikowym nie

są zalecane ze względu na wtrącenia żużli potopnikowych oraz pory obniżające właściwości mechaniczne połączenia lutowanego. Z punktu widzenia kapilarności zaleca się w lutowaniu topnikowym stosowanie szczelin lutowniczych w zakresie 0,05-0,2 mm. Dotyczy to jednak lutowania materiałów jednoimiennych, o jednakowych właściwościach fizykochemicznych. W przypadku szczelin o szerokości powyżej 0,3 mm większość lutów traci już właściwości kapilarne [3-8].

Jeżeli wartości szczeliny przekraczają 0,5 mm pojęcie szczeliny lutowniczej traci swój sens, a tego rodzaju odstęp między lutowanymi materiałami występuje w procesach lutowania [6].

Szerokość szczeliny lutowniczej ma istotny wpływ na wytrzymałość połączenia lutowanego (rys. 7.4). Dla każdego rodzaju lutu występuje optymalna szczelina lutownicza, przy której złącze lutowane uzyskuje największą wytrzymałość mechaniczną. Dla większości lutów optymalna szerokość szczeliny lutowniczej wynosi 0,1–0,2 mm.



Rys. 7.4. Zależność wytrzymałości na ścinanie połączenia lutowanego w funkcji szerokości szczeliny lutowniczej

Rozpływność lutu jest ściśle związana ze zwilżalnością i zależy od właściwości powierzchni materiału lutowanego, a także od właściwości fizykochemicznych spoiwa. Istotne znaczenie mają tu siły adhezji między lutem, a materiałem lutowanym, a także siły kohezji występujące w lucie. Miarą rozpływności lutu jest zwykle wielkość powierzchni materiału lutowanego, na której rozpułnął się stopiony lut.

Adhezja (łac. adhesio – szepianie, przyleganie) jest zjawiskiem powierzchniowego wiązania się warstw wierzchnich dwóch ciał, w tym przypadku lutu i materiału lutowanego. Adhezję dzieli się na właściwą i mechaniczną [4,6].

Adhezja właściwa przedstawia oddziaływanie sił między cząsteczkami lutu i łączonych materiałów. Są to siły van der Wallsa, które mimo to że są stosunkowo małe, odgrywają decydującą rolę w procesach lutowania miękkiego.

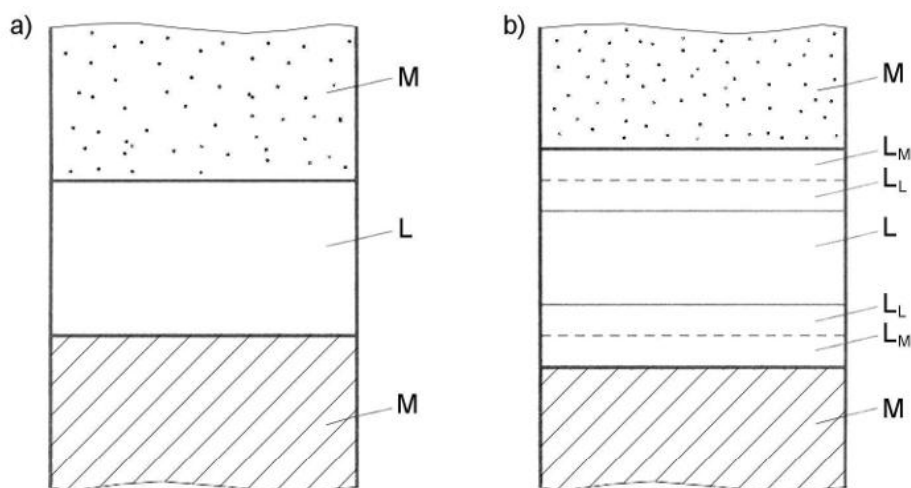
Adhezja mechaniczna związana jest z chropowatością i rozwinięciem powierzchni materiałów lutowanych.

Kohezja (łac. cohaesio – spójność) jest określana siłami spójności, występującymi w powstałej lutowninie.

Zjawiska dyfuzji mają podstawowe znaczenie w procesach fizykochemicznych zachodzących podczas lutowania twardego, w wyższych temperaturach. Dyfuzja jest procesem aktywowanym termicznie, co wyraźnie wynika z prawa Arrheniusa, w którym współczynnik dyfuzji D jest funkcją temperatury T i czasu lutowania t .

7.3. BUDOWA I RODZAJE ZŁĄCZY LUTOWANYCH

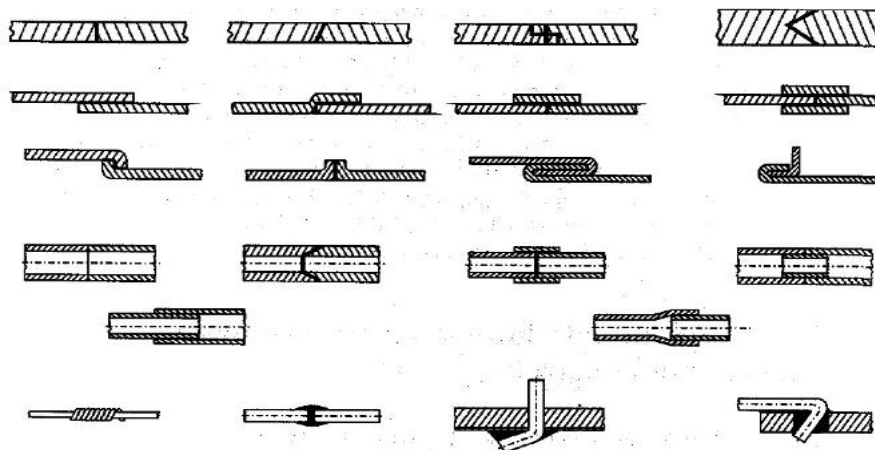
Schematycznie budowę złączy lutowanych pokazano na rys. 7.5. W lutowaniu miękkim powstaje połączenie lutowane, zwykle bez rozbudowanych stref reakcyjnych, podobnie jak w procesach klejenia (rys. 7.5a). W lutowaniu twardym, w wyniku zjawisk dyfuzji, występują zwykle rozbudowane strefy reakcyjne (dyfuzyjne L_M i L_L), w których mogą występować twarde i kruche fazy międzymetaliczne (rys. 7.5b). Mogą one, w granicznych przypadkach, prowadzić do erozji i zniszczenia połączenia lutowanego.



Rys. 7.5. Schemat budowy połączenia lutowanego [4,11]: a - bezdyfuzyjne (adhezyjne, charakterystyczne dla lutowania miękkiego), b - o rozbudowanych strefach reakcyjnych w wyniku dyfuzji (charakterystyczne dla lutowania twardego), oznaczenia: M-materiał rodzimy, L-lutowina, L_M - strefa dyfuzji wzbogacona w składniki materiału podstawowy, L_L - strefa dyfuzji wzbogacona w składniki lutu

Połączenia lutowane na miękko zwykle nie przenoszą większych obciążeń mechanicznych. Najczęściej projektuje się tu złącza, które powinny zapewniać szczelność połączeń lutowanych lub kontakt elektryczny. W przypadku obciążeń mechanicznych powinny one przenosić naprężenia ścinające, zwykle w połączeniach o budowie zakładkowej lub nakładkowej. Wytrzymałość na ścinanie połączeń lutowanych na miękko nie jest duża i wynosi w granicach 30–70 MPa, jest porównywalna z wytrzymałością połączeń klejowych. Znacznie większą wytrzymałość mechaniczną osiągają połączenia wykonane lutami twardymi. Ich wytrzymałość na ścinanie osiąga wartości rzędu 150–500 MPa [3,4,9].

Najczęściej stosowane rozwiązania konstrukcyjne połączeń lutowanych pokazano na rys. 7.6. Tam gdzie występuje konieczność stosowania złączy doczołowych należy dążyć do możliwie największej powierzchni lutowania. W złączach rurowych stosuje się konstrukcję kielichową, o ściśle określonej długości połączenia lutowanego. W konstrukcji złączy lutowanych dąży się, o ile jest to możliwe, do swobodnego przepłynięcia topnika i lutu na drugą stronę połączenia, co ułatwia też kontrolę połączenia lutowanego. Nie zaleca się stosowania nierównoległych szczelin rozwartych, o kształcie klinowym.



Rys. 7.6. Przykłady konstrukcji połączeń lutowanych [4]

7.4. TOPNIKI I ICH RODZAJE

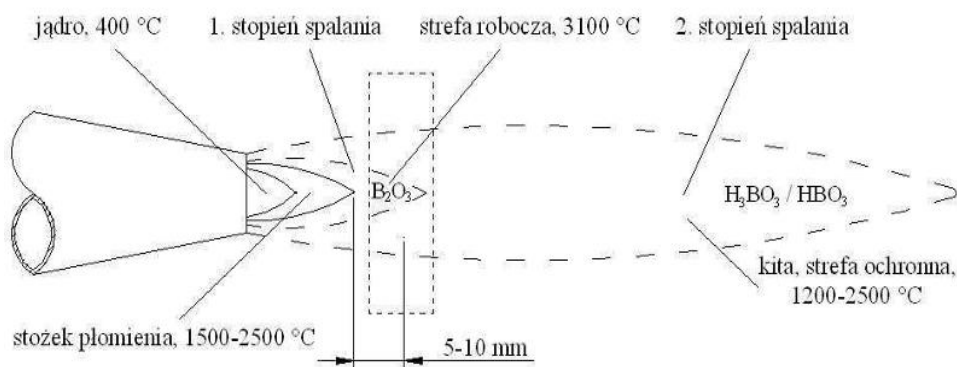
Topnik jest substancją, która umożliwia i znacznie ułatwia lutowanie, zarówno miękkie jak i twarde, poprzez chemiczne oczyszczanie powierzchni łączonych materiałów. Temperatura aktywności (topnienia) topnika powinna być dostosowana do temperatury topnienia lutu w taki sposób, aby topnik wcześniej, przed stopieniem lutu, oczyszczał powierzchnie elementów lutowanych i przygotowywał do zwilżania i kapilarnego wnikania lutu w szczelinę. Stąd zaleca się, aby temperatura topnienia topnika była przynajmniej 30-50 °C mniejsza od początku temperatury topnienia lutu. Czas oddziaływania stopionego topnika jest również ograniczony i nie powinien przekraczać 2-4 minut. Dłuższe funkcjonowanie topnika nie tylko ogranicza jego skuteczność, ale również stwarza większe problemy w usunięciu żużla potopnikowego. Pozostałości topnika zwykle stwarzają zagrożenie korozyjne dla złącza lutowanego i powinny być usunięte po zakończeniu procesu lutowania. Opracowywane są i stosowane coraz częściej topniki niekorozyjne, które nie wymagają usuwania pozostałości po lutowaniu.

Nie istnieją topniki uniwersalne, nadające się zarówno do lutowania miękkiego jak i twardego. Stosowanie podobnych spoiw do lutowania różnych materiałów wymaga użycia również odmiennych topników.

Do lutowania miękkiego stosowane są zarówno topniki niekorozyjne jak i korozyjne. Są one klasyfikowane wg normy PN-EN 29454:2000. Topniki

niekorozyjne, oparte są na związkach organicznych, stanowiących żywice i kwasy organiczne. Przykładem takich topników są: kalafonia (kwas abietynowy), i jej roztwory alkoholowe używane przede wszystkim do lutowania miedzi w elektronice. Do topników wywołujących korozję złączy lutowanych należą: chlorek cynku i wodne roztwory kwasu solnego, wymagające starannego usunięcia po lutowaniu. Są one stosowane do lutowania stali niepokrywanych i ocynkowanych. Do lutowania stali nierdzewnych i kwasoodpornych służą topniki oparte na roztworach kwasu ortofosforowego [3]. Topniki do lutowania miękkiego mogą występować w postaci stałej, ciekłej, tłuszczu, proszków lub past.

Topniki do lutowania twardego są klasyfikowane według PN-EN 1045:2001. Ich skład chemiczny jest oparty na chlorkach i fluorkach metali alkalicznych oraz związkach boru. Te pierwsze stosowane są do lutowania spoiwami srebrnymi. Luty miedzi, o większej temperaturze topnienia, stosowane są z topnikami opartymi na mieszaninach boraksu ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) i kwasu borowego (H_3BO_3) [3,4]. Norma wyróżnia dwie klasy topników: FH i FL. Pierwsza grupa topników klasy FH jest stosowana do lutowania metali ciężkich, tj. różnego rodzaju stali, miedzi, niklu i ich stopów oraz metali szlachetnych. Topniki klasy FL są stosowane do lutowania aluminium i jego stopów. W tej grupie ważną rolę odgrywa topnik niekorozyjny o nazwie firmowej Nocolok, oparty na solach z układu $\text{KF} - \text{AlF}_3$. Pozostałości po procesie lutowania, w postaci żużla potopnikowego, są zwykle trudne i kłopotliwe do usunięcia. W celu uniknięcia problemów z usuwaniem żużli potopnikowych, szczególnie w metodzie lutowania płomieniowego, stosuje się topniki lotne, które są łatwo zmywalne wodą. Umożliwiają one zarówno dobrą osłonę powstającego złącza lutowanego, jak i całego obszaru lutowanego. Są one aktywne w zakresie temperatur lutowania twardego 750-950 °C, ze względu na składnik aktywny tj. boran trimetylu. Nie ma opracowanych topników lotnych do lutowania miękkiego. Lotny topnik jest doprowadzany do obszaru lutowania za pośrednictwem płomienia gazowego (rys. 7.7), co stanowi znaczne ułatwienie procesu lutowania. Istotną wadą topników lotnych, w porównaniu z tradycyjną postacią topników nanoszonych przed nagrzewaniem na powierzchnie lutowane, jest ograniczone oddziaływanie kapilarne lutu w szczelinie lutowniczej.



Rys. 7.7. Strefy płomienia acetylenowo-tlenowego z doprowadzonym topnikiem lotnym

Lutowanie w osłonie gazów osłonowych, w porównaniu z lutowaniem pod osłoną topnika, charakteryzuje się uzyskiwaniem połączeń lutowanych o większej jakości, lutowin lepiej odgazowanych i o większej czystości, z powodu braku wtrąceń żużli potopnikowych. Przeprowadza się je zwykle w wysoko wydajnych tunelowych piecach przelotowych z rusztem wędrownym oraz w piecach o budowie komorowej.

Lutowanie próżniowe stanowi najbardziej zaawansowaną metodę beztopnikowego lutowania piecowego. Osłona próżniowa redukuje istniejące tlenki i chroni powierzchnię łączonych materiałów przed ponownym utlenieniem. Lutowanie próżniowe jest procesem charakteryzującym się uzyskiwaniem połączeń lutowanych o największej jakości i najlepiej odgazowanych lutowinach [3-6].

7.5. RODZAJE LUTÓW

7.5.1. LUTY MIĘKKIE

Luty miękkie znajdują swoje podstawowe zastosowanie w elektronice, elektrotechnice, w budownictwie i w instalacjach sanitarnych. Jeszcze do niedawna, szczególnie w elektronice, stosowane były powszechnie luty cynowo – ołowiowe, a w tym najczęściej stosowane luty na osnowie cyny o oznaczeniu LC60 (60% Sn, reszta Pb) i luty eutektyczne LC63 (o temperaturze topnienia 183 °C). Ze względu na rosnące zagrożenie ekosystemu ołowiem Unia Europejska wprowadziła od 1 lipca 2006 roku dyrektywy ROHS (on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment), zabraniające stosowania lutów z ołowiem, kadmem, rtęcią, 6-wartościowym chromem oraz innymi toksycznymi i niebezpiecznymi składnikami lutów, groźnymi dla zdrowia człowieka i środowiska naturalnego. W związku z tym opracowano nowe luty bezołowiowe na bazie cyny, z dodatkami miedzi, srebra, antymonu i indu. Mają one jednakże wyższą temperaturę topnienia od lutów cynowo-ołowiowych o około 30–50 °C, większe napięcie powierzchniowe i gorszą od nich lutowność. Spowodowało to określone skutki w zakresie wzrostu mocy urządzeń grzewczych stosowanych przy lutowaniu i wprowadzenie zabezpieczeń przed agresywnym oddziaływaniem lutów cynowych na elementy maszyn pracujących w kąpielach lutowniczych. Nie wszędzie jednak udało się zastąpić luty i materiały z dodatkiem ołowiu, np. w stopach lutowniczych o zawartości co najmniej 85% wag. Pb i w zabezpieczeniach przeciwpożarowych.

Luty miękkie do lutowania miedzi i jej stopów są klasyfikowane według PN - EN 29453:2000. Skład chemiczny najczęściej stosowanych lutów cynowych, ich temperatura topnienia oraz zastosowanie zamieszczono w tabeli 7.1.

Tab. 7.1. Skład chemiczny lutów cynowych, ich temperatura topnienia i zastosowanie

Lp.	Oznaczenie wg PN - EN 29453	Skład chemiczny [% wag.]			Temperatura topnienia [°C]	Zastosowanie, materiały lutowane
		Sn	Cu	Ag		
1	S-Sn97Cu1	99	1	-	230-240	Cu i jej stopy, lutowanie w elektronice
2	S-Sn96Ag4	96	-	4	221 (eutektyka)	
3	S-Sn96Ag3Cu04	96,4	0,4	3,2	217 (eutektyka)	
4	S-Sn97Cu3	97	3	-	230 - 250	Miedziane instalacje sanitarne

Kolejną grupę, często stosowanych lutów miękkich, stanowią luty cynkowe przeznaczone do lutowania miękkiego aluminium i jego stopów. Mogą być one również stosowane do wykonywania połączeń różnoimiennych, np. typu Al-Cu i Al-stal ocynkowana. Skład chemiczny najczęściej stosowanych lutów cynkowych zamieszczono w tabeli 7.2.

Tab. 7.2. Skład chemiczny lutów cynkowych, ich temperatury topnienia i zastosowanie

Lp.	Oznaczenie wg PN - EN ISO 3677	Skład chemiczny [% wag.]		Temperatura topnienia [°C]	Zastosowanie, materiały lutowane
		Zn	Al		
1	S-Zn98Al2	98	2	382-407	Al i jego stopy, lutowanie wymienników ciepła
2	S-Zn96Al4	96	4	382-387	
3	S-Zn85Al15	85	15	382-450	

7.5.2. LUTY TWARDE

Spoiwa do lutowania twardego są przedmiotem normy PN-EN ISO 17672:2010 (wcześniej PN-EN 1044:2002}, w której podzielono je pod względem składu chemicznego na osiem klas: klasa Al (spoiwa aluminiowe i magnezowe), klasa Ag (spoiwa srebrne), klasa CuP (spoiwa miedziano – fosforowe), klasa Cu (spoiwa miedziane i mosiężne), klasa Ni (spoiwa niklowe i kobaltowe), klasa Pd (spoiwa zawierające pallad) oraz klasa Au (spoiwa zawierające złoto). Ze spoiw aluminiowych do lutowania twardego aluminium i jego stopów największe zastosowanie ma lut siluminowy Al 112, zawierający w % wag.: 88 % Al i 12 % Si, o temperaturze

topnienia 575-585 °C. Najczęściej stosowane luty na osnowie srebra zestawiono w tabeli 7.3.

Tab. 7.3. Skład chemiczny lutów srebrnych, temperatura topnienia i zastosowanie

Lp.	Oznaczenie wg PN-EN ISO 17672 (wg starej PN)	Skład chemiczny [% wag.]						Temperatura topnienia [°C]	Zastosowanie, materiały lutowane
		Ag	Cu	Zn	Mn	Ni	Inne		
1	Ag 156 (LS 56Sn)	56	22	17	-	-	5 Sn	620-655	Miedź i jej stopy, stale wysokostopowe
2	Ag 145 (LS 45Sn)	45		25,5	-	-	2,5 Sn	620-635	
3	Ag 244 (LS45)	44	30	26	-	-	-	675-735	
4	Ag 340 (LS40K)	40	19	21	-	-	20 Cd	595-630	Stale szybkotnące, węgliki spiekane, segmenty diamentowe
5	Ag 272 (LS72)	72	28	-	-	-	-	780	Lutowanie próżniowe
6	Ag 449 (LS49MN)	49	16	23	7,5	4,5	-	680-705	Węgliki spiekane
7	Przekładka LAg49MN/Cu	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670-690	

Spoiva miedziano-fosforowe są szeroko stosowane do lutowania beztopnikowego miedzi. Rolę topnika spełnia fosfor, stanowiący podstawowy składnik lutu. Luty klasy CuP mogą służyć również do lutowania stopów miedzi, ale w tym przypadku muszą być stosowane z topnikiem. Luty miedziano-fosforowe nie mogą być stosowane do lutowania stali i niklu, ze względu na powstawanie kruchych fosforków żelaza i niklu. Skład chemiczny najczęściej stosowanych lutów miedziano-fosforowych zamieszczono w tabeli 7.4.

Do lutów miedzianych, klasy Cu, zaliczane są luty mosiężne. Są one najczęściej stosowane, spośród lutów twardych, do lutowania twardego stali niestopowych. Oprócz podstawowych składników, miedzi i cynku, zawierają one dodatki krzemu, cyny i srebra poprawiające właściwości lutownicze spoiw i właściwości mechaniczne połączeń lutowanych. Do lutowania węglików spiekanych, stosowanych do zbrojenia narzędzi, najczęściej używane są luty mosiężne, zawierające mangan i nikiel dla

poprawienia zwilżalności i zwiększenia właściwości wytrzymałościowych połączeń lutowanych. Skład chemiczny najczęściej stosowanych lutów miedzianych zamieszczono w tabeli 7.5.

Tab. 7.4. Skład chemiczny lutów miedziano-fosforowych, temperatura topnienia i zastosowanie

Lp.	Oznaczenie wg PN-EN ISO 17672 (wg starej PN)	Skład chemiczny [% wag.]				Temperatura topnienia [°C]	Zastosowanie, materiały lutowane
		Ag	Cu	P	Sn		
1	CuP 284 (LS15F)	15	80	5	-	645-800	Miedź i jej stopy, wymienniki ciepła Instalacje sanitarne, Instalacje gazowe, (nie wolno lutować stali oraz niklu i jego stopów!)
2	CuP 281 (LS5F)	5	89	6	-	645-815	
3	CuP 279 (LS2F)	2	91,7	6,3	-	645-825	
4	CuP 182 (LMF8)	-	92	8	-	710 - 770	
5	CuP 180	-	93	7	-	710-820	
6	CuP 386	-	86,2	6,8	7	650-700	

Tab. 7.5. Skład chemiczny lutów na osnowie miedzi, temperatura topnienia i zastosowanie

Lp.	Oznaczenie wg PN-EN ISO 17672 (wg starej PN)	Skład chemiczny [% wag.]						Temperatura topnienia [°C]	Zastosowanie, materiały lutowane
		Cu	Zn	Si	Mn	Ni	Inne		
1	Cu 110	100	-	-	-	-	-	1083	Lutowanie próżniowe, stale niestopowe, węgliki spiekane
2	Cu 470 (LM60K)	60	reszta	0,3	-	-	0,1 Sn	875-895	Stale niestopowe
3	Cu 773	48	reszta	0,3	0,1	10	-	890-920	Stale niestopowe, węgliki spiekane
4	SMKM	reszta	-	0,3	0,3	-	-	1060	Stale niestopowe, lutowanie w osłonie gazowej
5	CuSi	reszta		3	1		-	965-1035	Lutospawanie, stale ocynkowane
6	LMN3M	63	reszta	0,3	2	3	-	890-920	Węgliki spiekane
7	Cu 595	reszta	-	-	14	2	-	965-1000	

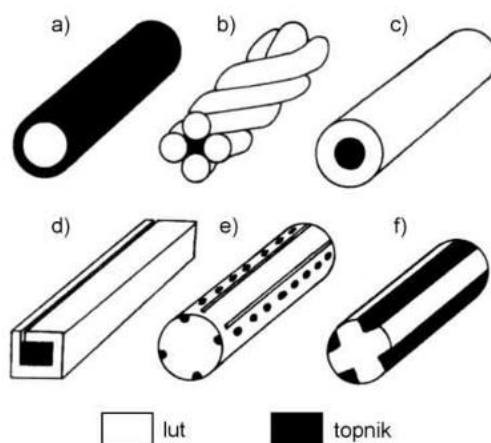
7.6. POSTACIE LUTÓW

Najczęściej stosowane luty w tradycyjnej postaci, tj. drutów, prętów i taśm oraz wykonanych z nich kształtek, pokazano na rys. 7.8.



Rys. 7.8. Standardowe postacie lutów i przykładowe kształtki

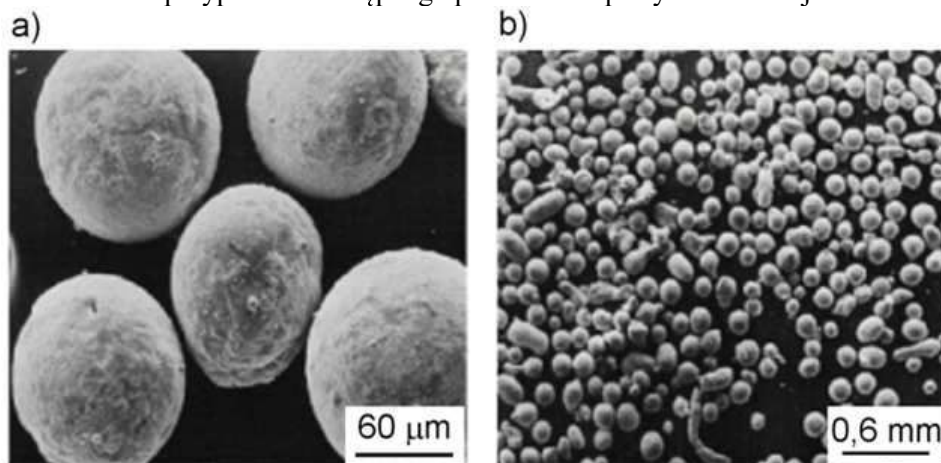
Do lutowania stosuje się również spoiwa zespolone z topnikiem, pokazane na rys. 7.9. Ułatwia to dozowanie topnika, szczególnie w trudnych warunkach montażowych.



Rys. 7.9. Różne postacie lutów zespolonych z topnikiem: otulone (a), Drilldraht (b), proszkowe (c,d), z częściowym wypełnieniem (e,f)

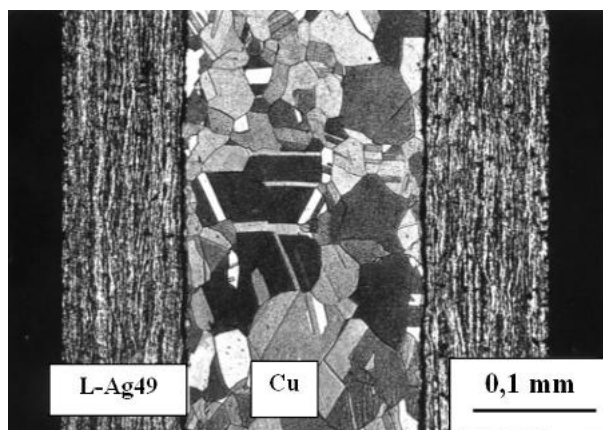
W wielu przypadkach stosowane są pasty lutownicze, które ułatwiają lutowanie, szczególnie przy łączeniu drobnych i precyzyjnych elementów oraz w miejscach trudnodostępnych. Po ich nałożeniu w obszar lutowania, należy je tylko odpowiednio podgrzewać do temperatury lutowania. Pasta lutownicza stanowi mieszaninę

sproszkowanego lutu z topnikiem, połączoną składnikami wiążącymi. Na rysunku 7.10 pokazano przykładowo ziarna lutu miedzianego L-CuNiB (w % wag.: 3% Ni, 0,05% B, reszta Cu) w postaci sferoidalnej, najbardziej nadających się do past dozowanych automatycznie. Luty w postaci past lutowniczych stosuje się szczególnie często przy lutowaniu gazowym ze względu na małą koncentrację płomienia gazowego i możliwość spokojnego odparowania składników lotnych. Nie wyklucza to również stosowania past lutowniczych w innych metodach lutowania, np. w lutowaniu indukcyjnym, czy też lutowaniu w próżni. Wymaga to jednak w wielu przypadkach wstępnego podsuszenia pasty lutowniczej.



Rys. 7.10. Kształt ziaren lutu miedzianego L-CuNiB (a,b) [6]

W lutowaniu materiałów o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych zachodzi konieczność stosowania lutów przekładkowych, w celu kompensacji naprężeń skurczowych powstających podczas studzenia połączenia lutowanego. Dotyczy to np. lutowania kształtek z węglików spiekanych ze stalowym korpusem narzędzia. Do tego celu służy lut trzywarstwowy, pokazany na rys. 7.11. Warstwę środkową stanowi taśma miedziana platerowana z obu stron warstwą lutu srebrnego L-Ag49MN. Miedź nie ulega ona stopieniu podczas lutowania, kompensując naprężenia wynikające ze zróżnicowanego skurczu łączonych materiałów.



Rys. 7.11. Srebrny lut przekładkowy L-Ag49MN/Cu, o grubości 0,4 mm [6]

7.7. METODY LutowANIA MIĘKKIEGO I TWARDEGO

7.7.1. METODY LutowANIA MIĘKKIEGO

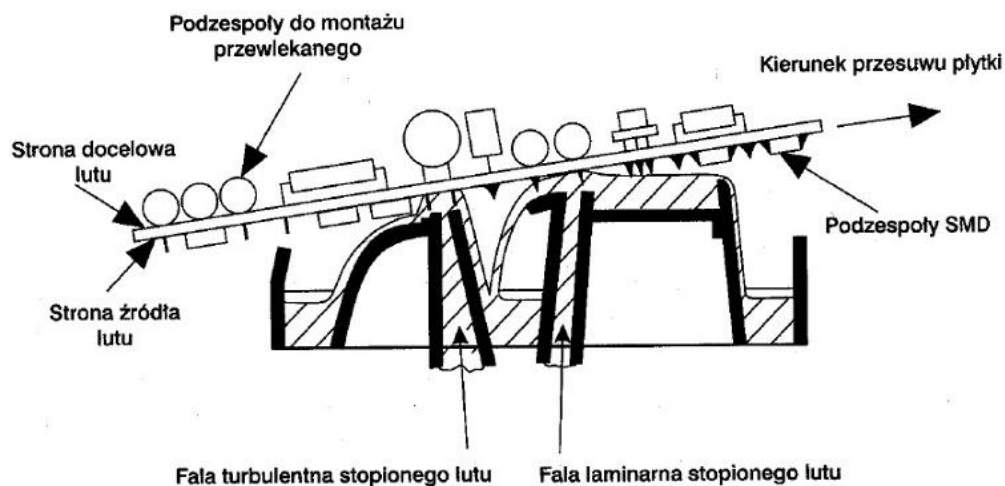
W zależności od stosowanego źródła ciepła lutowanie miękkie może być przeprowadzone następującymi sposobami:

- kolbą miedzianą,
- lutownicą transformatorową,
- kąpielowe (zanurzeniowe),
- w stopionych solach,
- ultradźwiękowe,
- płomieniowe.

Lutowanie kolbą miedzianą charakteryzuje się niewielkim, miejscowym doprowadzeniem ciepła do elementów lutowanych, stąd występuje tu nieznaczne odkształcenie połączeń lutowanych. Kolby mogą być nagrzewane różnymi sposobami, najczęściej oporowo lub płomieniowo.

Lutowanie lutownicą transformatorową stosowane jest do lutowania ręcznego w procesie montażu elektronicznego. Stosowane jest wszędzie tam, gdzie z różnych przyczyn nie może być stosowane lutowanie zmechanizowane.

Lutowanie kąpielowe (zanurzeniowe) polega na lutowaniu elementów zanurzonych do ciekłego lutu, pokrytego warstwą topnika. Stosowane jest przy lutowaniu w przemyśle elektronicznym i elektrotechnicznym, wymienników ciepła (chłodnic samochodowych) i drobnej galanterii. Odmianą lutowania kąpielowego jest lutowanie metodą fali stojącej (rys. 7.12). Ciekły lut jest tłoczony pompą do wąskiej szczeliny, tworząc stojącą falę. Metoda ta stosowana jest przede wszystkim do lutowania obwodów drukowanych w elektronice.



Rys. 7.12. Schemat procesu lutowania miękkiego na podwójnej fali [12], podzespoły SMD (ang. Surface Mount Device) – elementy elektroniczne przystosowane do montażu powierzchniowego

Lutowanie w stopionych solach jest odmianą lutowania kąpielowego. Może być stosowane zarówno w lutowaniu miękkim jak i twardym. Elementy lutowane zanurza

się w ciekłych solach, stanowiących źródło ciepła i osłonę topnikową. Lut nakładany jest w miejscu mającym stanowić połączenie lutowane. Metoda ta ma duże znaczenie w lutowaniu aluminium i jego stopów.

Lutowanie ultradźwiękowe polega na zastosowaniu fal ultradźwiękowych (drgań mechanicznych) o dużej częstotliwości, najczęściej w zakresie 18-60 kHz. W metodzie tej występuje zjawisko kawitacji, w wyniku którego następuje rozbicie i usunięcie warstwy tlenków poprzez oddziaływanie sonotrody lutownicy ultradźwiękowej. Lutowanie ultradźwiękowe może odbywać się również w wannach wyposażonych w magnetostrykcyjne generatory ultradźwięków. Stosowane jest najczęściej do lutowania metali lekkich, przede wszystkim aluminium oraz magnezu i ich stopów, w elektrotechnice, elektronice, telekomunikacji, w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i kosmicznym.

Lutowanie płomieniowe przeprowadzane jest zwykle przy użyciu płomieni gazowych, o niewielkiej mocy, głównie stosując palniki na propan, przy pobieraniu powietrza z atmosfery oraz na propan-tlen. W przemyśle stosowane są często stanowiska ze zmechanizowanym procesem lutowania płomieniowego.

7.7.2. METODY LutowANIA TWARDEGO

Spośród metod lutowania twardego, z uwagi na źródło nagrzewania i doprowadzenie ciepła, stosuje się najczęściej lutowanie:

- płomieniowe,
- indukcyjne,
- oporowe,
- lutozgrzewanie,
- w osłonach gazowych,
- próżniowe.

Należy również zaznaczyć, że w ostatnim okresie nastąpił znaczny rozwój lutowania z zastosowaniem źródeł ciepła, które wcześniej nie były wykorzystywane w lutowaniu, tj.: łuku elektrycznego i promienia lasera.

W lutowaniu płomieniowym mogą być stosowane następujące mieszaniny gazowe:

- propan – powietrze,
- propan – tlen,
- gaz ziemny – tlen,
- acetylen – powietrze,
- acetylen – tlen,
- wodór – tlen.

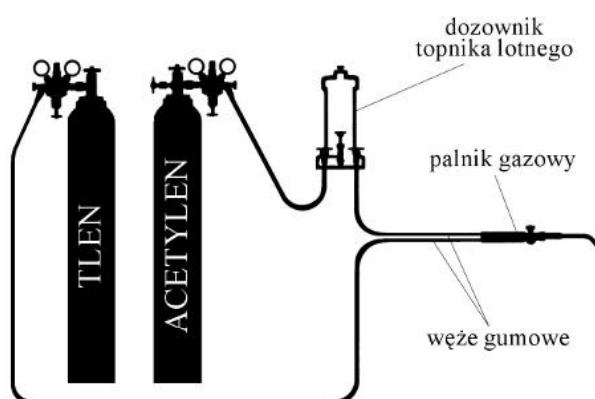
Mieszaniny gazów, stosowane w procesach lutowania miękkiego i twardego, charakteryzuje maksymalna temperatura występująca w płomieniu. W zależności od składu gazów w mieszaninie, temperatura płomienia gazowego może wynosić w zakresie 1880-3150 °C (tab. 7.6).

Tab. 7.6. Maksymalna temperatura występująca w płomieniach gazowych, uszeregowana od wartości maksymalnej

Lp.	Mieszanina gazów	Maksymalna temperatura płomienia [°C]
1	acetylen – tlen	3150
2	propan – tlen	2800
3	metan – tlen	2765
4	acetylen – powietrze	2325
5	propan – powietrze	1925
6	metan – powietrze	1880

Spośród gazów palnych do lutowania płomieniowego węglików spiekanych ze stałą najczęściej stosowany jest acetylen. Acetylen jest jedynym gazem palnym ze strefą redukującą tlen w płomieniu. Inne gazy palne pobierają w pierwotnym spalaniu więcej tlenu z otaczającego powietrza, aniżeli potrzebują do pełnego spalania.

Stanowisko do lutowania lotnym topnikiem pokazano na rys. 7.13. Gaz palny (acetylen, propan) jest doprowadzany do dozownika z cieczą lotnego topnika, gdzie nasycany jest jego parami. Następnie lotny topnik jest przekazywany do płomienia gazowego, zabarwiając go na charakterystyczny kolor zielony.

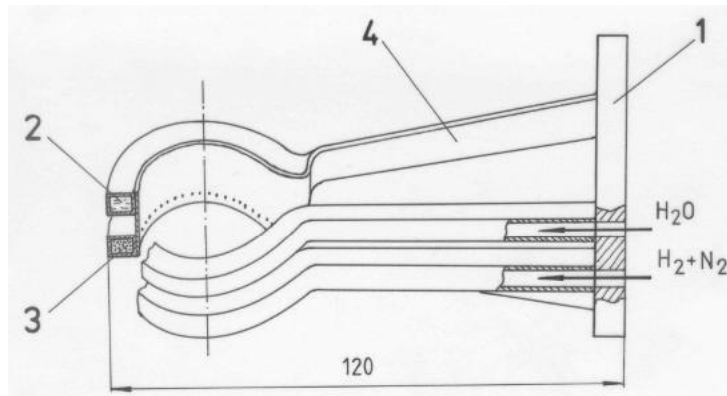


Rys. 7.13. Stanowisko do lutowania płomieniowego, wyposażone w dozownik topnika lotnego

Lutowanie indukcyjne materiałów zachodzi przez indukowanie prądów wirowych w nagrzewanych elementach i wytworzenie ciepła, zgodnie z prawem Joulea – Lenza. Głębokość wnikania prądów wirowych w materiał lutowany zależy od właściwości materiału i częstotliwości nagrzewania indukcyjnego. Może być ono przeprowadzone przez nagrzewanie prądami o średniej i wysokiej częstotliwości. Prądy średniej częstotliwości, w zakresie 8-15 kHz są bardziej przydatne w procesach lutowania, szczególnie elementów o większych przekrojach, a to ze względu na głębsze wnikanie prądów wirowych w nagrzewane elementy i większą prędkość nagrzewania.

Lutowanie indukcyjne najczęściej przeprowadza się na otwartym powietrzu, pod osłoną topnika. Coraz częściej znajduje zastosowanie lutowanie indukcyjne w osłonie

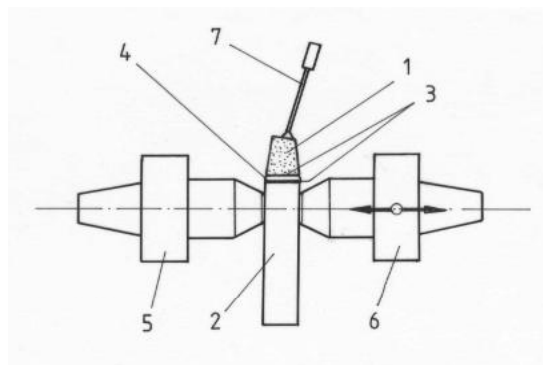
gazów obojętnych lub redukujących. Na rysunku 7.14 pokazano konstrukcję specjalnie wykonanego wzbudnika do lutowania w osłonie gazowej, który składa się z dwóch pierścieni. Jeden pierścień służy do konwencjonalnego obiegu wody chłodzącej, a drugi doprowadza gaz osłonowy.



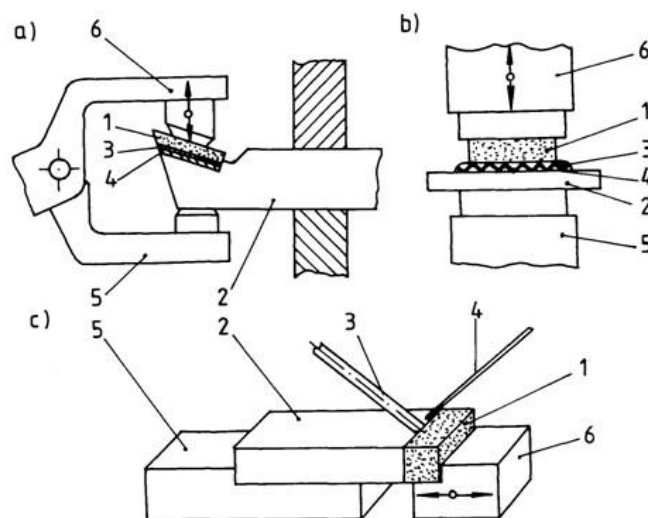
Rys. 7.14. Konstrukcja wzbudnika pierścieniowego z doprowadzeniem gazu osłonowego [6]:
podstawa mocująca (1), pierścień miedziany z chłodzeniem wodnym (2),
pierścień doprowadzający gaz osłonowy (3), płaszcz miedziany (4)

W lutowaniu oporowym złącze lutowane powstaje w wyniku przepływu prądu elektrycznego między łączonymi materiałami i wydzielania się dużej ilości ciepła na powierzchni styku. Proces lutowania oporowego najczęściej jest wykonywany przy użyciu zgrzewarek doczołowo-zwarciovych (rys. 7.15).

Lutozgrzewanie jest procesem stanowiącym modyfikację lutowania oporowego, wykonywanym na urządzeniach do zgrzewania, przy wykorzystaniu ich zdolności do wywierania docisku na łączone elementy [6]. Może być wykonywane na zgrzewarkach kleszczowych, punktowych, garbowych i doczołowo-zwarciovych (rys. 7.16a-c).

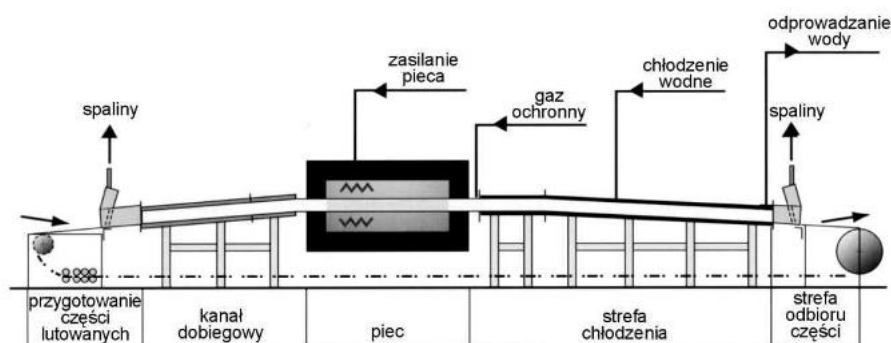


Rys. 7.15. Lutowanie oporowe narzędzia: płytka węglikowa (1), korpus stalowy (2), warstwa topnika (3), kształtka lutownicza (4), elektroda nieruchoma (5), elektroda ruchoma (6), dociskacz ręczny (7)



Rys. 7.16. Lutozgrzewanie stali z węglnikami spiekanymi za pomocą: zgrzewarki kleszczowej (a), zgrzewarki punktowej (b), zgrzewarki doczołowo-zwarciowej (c): płytka węglkowa (1), korpus stalowy (2), topnik (3), lut (4), elektroda stała (5), elektroda ruchoma (6)

Lutowanie twarde pod osłoną topnika, zwłaszcza w temperaturze lutowania powyżej 1000 °C, nie stanowi już tak skutecznej ochrony powstającego złącza lutowanego jak w niższej temperaturze. Szczególnie dotyczy to obszaru, obok złącza lutowanego, nagrzewanego do wysokiej temperatury, i niechronionego przed intensywnym utlenianiem. Aby tego uniknąć stosowane są technologie piecowe lutowania w osłonie gazowej. Używane są do tego celu piece komorowe i piece tunelowe z rusztem wędrownym, nazywane też piecami taśmowymi. Schemat pieca tunelowego, z jego charakterystycznymi strefami, pokazano na rys. 7.17.



Rys. 7.17. Schemat pieca tunelowego z rusztem wędrownym

Lutowanie w próżni, przeprowadzane jest, bez potrzeby stosowania topników, zwykle w piecach o konstrukcji jedno – lub dwukomorowej (rys. 7.18). Piece próżniowe mają możliwość uzyskiwania próżni w zakresie 10^{-1} - 10^{-7} mbar i temperatury roboczej do 1600 °C. Luty przeznaczone do lutowania próżniowego nie mogą zawierać składników łatwo parujących, takich jak: cynk, kadm, fosfor, czy też mangan. Nowoczesne piece próżniowe umożliwiają również, obok procesu lutowania,

obróbkę cieplną stali narzędziowych, poprzez dużą prędkość schłodzenia azotem, argonem, helem lub gazem formującym wprowadzonym do komory roboczej.



Rys. 7.18. Piec próżniowy jednokomorowy

7.8. CZĘŚĆ PRAKTYCZNA

1. Omówienie zagrożeń i obowiązujących warunków bezpiecznej pracy.
2. Przedstawienie stanowisk do lutowania miękkiego i twardego.
3. Przygotowanie i omówienie materiałów podstawowych i dodatkowych do lutowania. Przedstawienie sposobów oczyszczania powierzchni elementów łączonych.
4. Pokaz lutowania miękkiego rurek miedzianych pastą lutowniczą S-Sn97Cu3, przy użyciu płomienia na propan-powietrze.
5. Pokaz lutowania twardego lutem siluminowym AlSi12 blaszek aluminiowych dla uzyskania złącza kąтового, przy użyciu płomienia na propan-powietrze.
6. Pokaz zwilżania beztopnikowego lutem twardym miedziano-fosforowym blaszki miedzianej, przy użyciu płomienia acetylenowo-tlenowego.
7. Pokaz lutowania twardego lutem mosiężnym elementów stalowych, przy użyciu płomienia acetylenowo-tlenowego.
8. Ocena i omówienie uzyskanych połączeń lutowanych.

UWAGI DO SPRAWOZDANIA

W sprawozdaniu należy podać:

- schemat stanowiska do lutowania metodami zaprezentowanymi podczas zajęć laboratoryjnych,
- sposoby przygotowania elementów do lutowania,
- technologię lutowania (rodzaj lutu, sposób nagrzewania, topnik),
- ocenę wykonanych złączy lutowanych,
- wnioski własne.