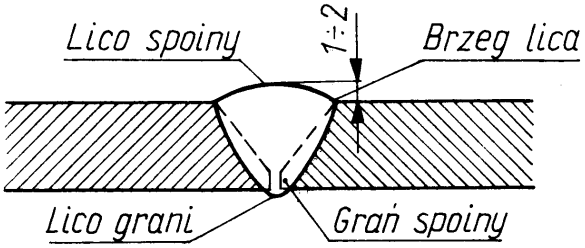
4.4. Połączenia spawane

4.4.1. Materiał nauczania

Spawanie stosuje się w budowie maszyn do łączenia zarówno stali, staliwa, żeliwa jak i stopów metali nieżelaznych. Systematyczne ulepszanie metod i technologii spawania, a przede wszystkim zautomatyzowanie procesów bardzo istotnie zwiększyło zakres stosowania tej techniki. Najczęściej spotykane zastosowanie połączeń spawanych to:

- konstrukcje stalowe, np. mosty, maszty, konstrukcje szkieletowe, urządzenia dźwigniowe,
- konstrukcyjne wszelkiego rodzaju dźwigni,
- spawane korpusy i ramy maszyn wykonane z blach, płyt, rur i kształtowników,
- w pracach remontowych.

Spawanie jest technologią łączenia materiałów przez ich nagrzanie i stopienie w miejscu łączenia. Po stopieniu materiał ulega wymieszaniu a po zakrzepnięciu tworzy spoinę (rys. 13), w przypadku spawania grubszych materiałów dodatkowo stosowane jest spoiwo.



Rys. 13. Złącze spawane [1].

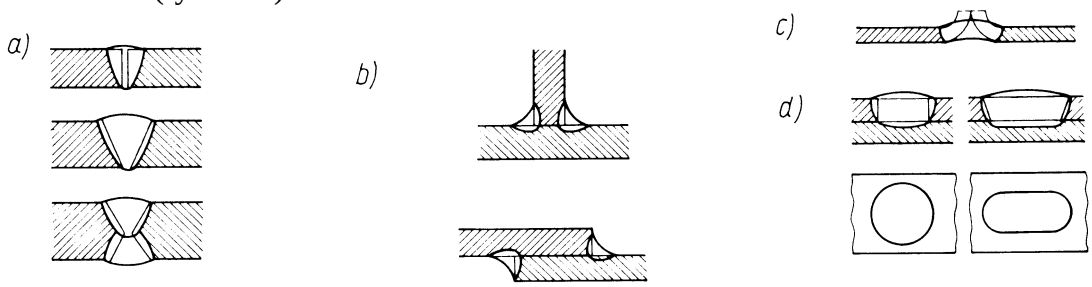
W zależności od źródła ciepła rozróżniamy spawanie:

- gazowe – najczęściej przy spalaniu w płomieniu gazowym acetylenu i tlenu w temperaturach do 3200°C, wprowadzenie dodatkowego metalu daje możliwość spawania metali różniących się składem chemicznym,
- łukowe (elektryczne) z wykorzystaniem elektrod oraz spawarki – urządzenia opierającego swą pracę na zjawisku łuku elektrycznego w temperaturach do 3500°C. Najczęściej stosowane ze względu na szybkie nagrzewanie się części.

Istnieją także inne metody spawania, takie jak: spawanie w osłonach gazów szlachetnych (w celu uniknięcia utleniania spoiny), spawanie laserowe, spawanie elektronowe.

Połączenia spawane ze względu na kształt spoiny dzielą się na:

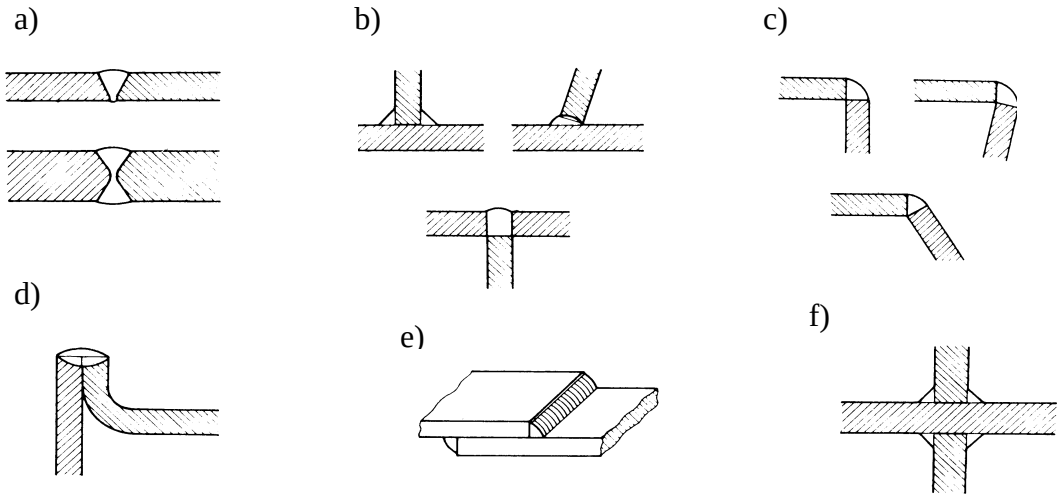
- czołowe jedno- i dwustronne (rys. 14 a),
- pachwinowe (rys. 14 b),
- grzbietowe,
- brzeżne (rys. 14 c),
- otworowe (rys. 14 d).



Rys. 14. Rodzaje spoin: a) czołowa, b) pachwinowa, c) brzeżna, d) otworowa [1].

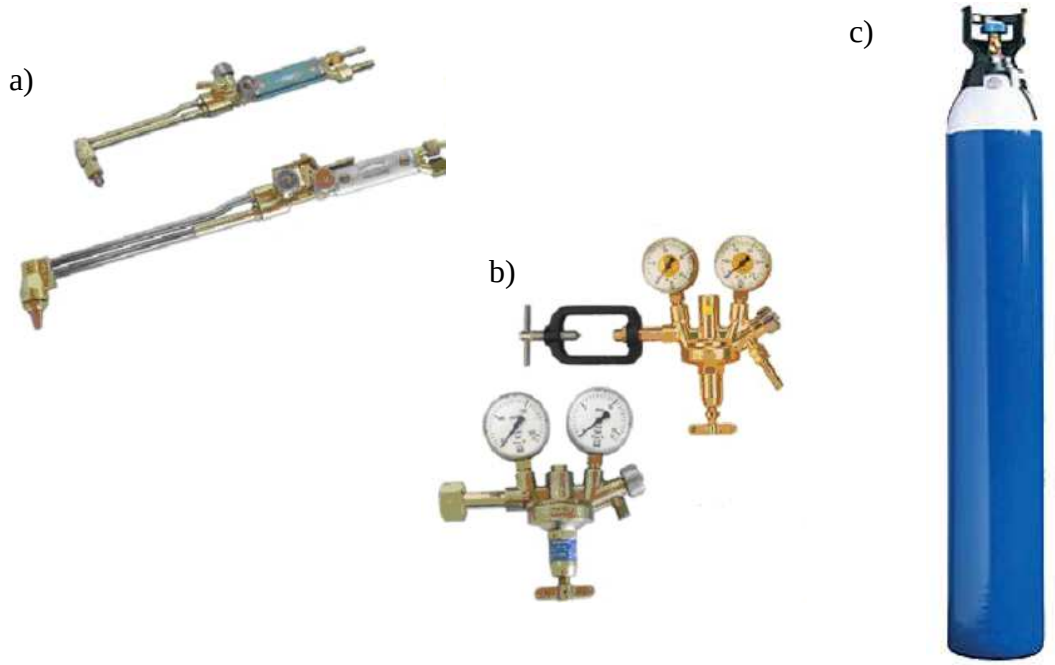
Połączenia spawane ze względu na ułożenie spawanych elementów względem siebie dzielą się na:

- stykowe (rys. 15 a),
- zakładkowe (rys. 15 e),
- teowe (rys. 15 b),
- przylgowe (rys. 15 d),
- narożne (rys. 15 c),
- krzyżowe (rys. 15 f).



Rys. 15. Rodzaje złączy spawanych: a) doczołowe, b) teowe, c) narożne, d) przylgowe, e) zakładkowe, f) krzyżowe [3].

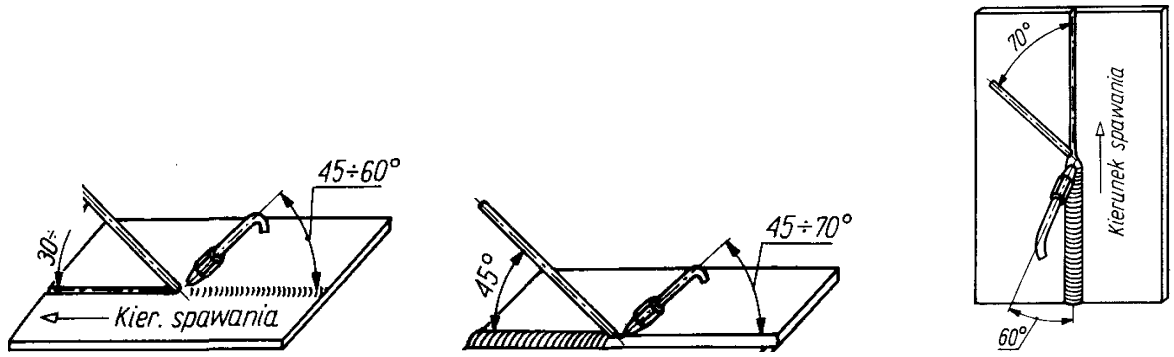
W technologii spawania gazowego do nagrzania łączonych elementów wykorzystuje się ciepło płomienia powstałego wskutek spalania mieszanki acetylenu lub propanu z tlenem. Gaz spawalniczy i tlen są podawane do palnika z osobnych butli ciśnieniowych. Podstawowym sprzętem do spawania jest palnik acetylenowo-tlenowy, butle spawalnicze na acetylen i tlen, przewody przyłączeniowe (rys. 16). Podczas spawania gazowego stosuje się spoiwo w postaci drutów i prętów stalowych, aluminiowych, żeliwnych o różnym składzie chemicznym.



Rys. 16. Sprzęt do spawania gazowego: a) palniki, b) reduktory, c) butla [6].

Rozróżniamy trzy zasadnicze metody spawania gazowego:

– spawanie w lewo – stosowane do materiałów o grubości poniżej 3 mm (rys. 17 a),
– spawanie w prawo – stosowane do materiałów o grubości powyżej 3 mm (rys. 17 b),
– spawanie w górę – stosowane do materiałów wszystkich grubości (rys. 17 c).



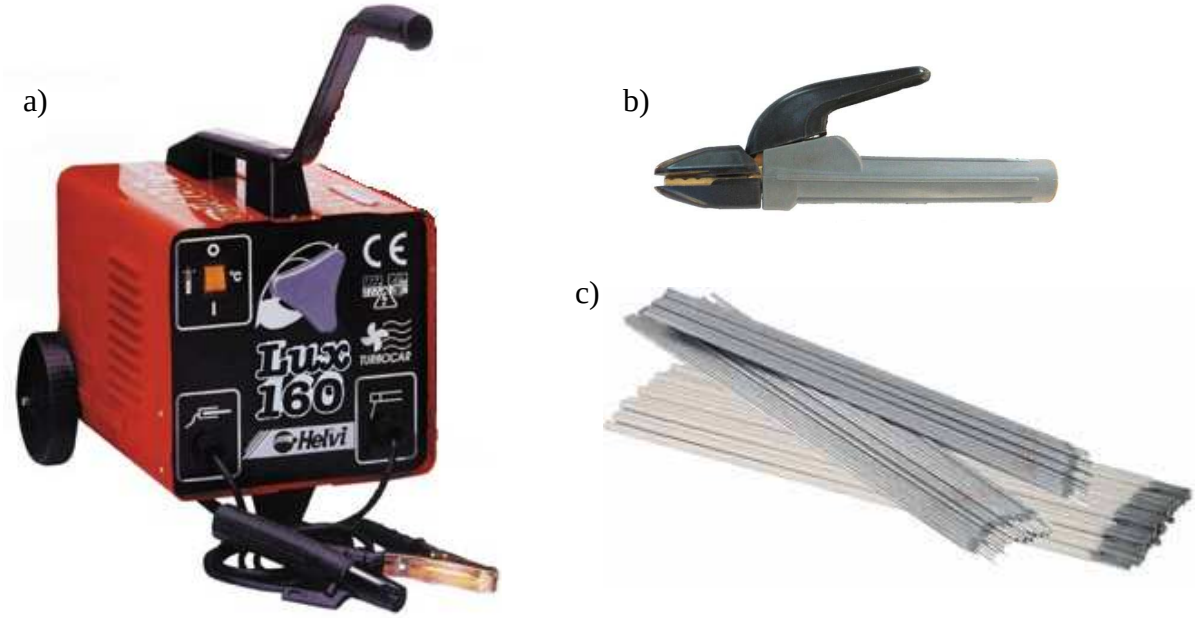
Rys. 17. Metody spawania gazowego: a) w lewo, b) w prawo, c) w górę [1].

Spawanie w lewo polega na prowadzeniu palnika od strony prawej do lewej, przy pochyleniu palnika pod kątem od 60° (przy materiałach grubszych), do 10° (przy materiałach cieńszych). Spoiwo podczas spawania prowadzi się pod kątem około 45°. Przy spawaniu metodą w lewo spoiwo jest prowadzone przed palnikiem. Płomień palnika roztapia brzegi metalu, tworząc otworek w dolnej części spawanego materiału. Spawacz prowadzi palnik prawą ręką, postępowym ruchem w lewo, nie czyniąc nim żadnych ruchów bocznych. Bardzo ważne jest, aby spoiwo cały czas było w obrębie płomienia, gdyż rozgrzany jego koniec w zetknięciu z powietrzem szybko się utlenia i spawacz wprowadza do spoiny tlenki.

Spawanie w prawo stosuje się przeważnie do grubszych materiałów (ponad 3 mm) wymagających ukosowania brzegów. Przy spawaniu w prawo palnik prowadzi się pod kątem 55°, a spoiwo pod kątem 45°. Spoiwo posuwa się za palnikiem od strony lewej do prawej. Palnikiem nie wykonuje się żadnych ruchów poprzecznych, lecz prowadzi się go równomiernie ruchem prostoliniowym wzdłuż brzegów spawanych. Spoiwem trzymanym w jeziorku stopionego metalu wykonuje się ruch (w kształcie półksiężyca lub elipsy) w kierunku poprzecznym do spoiny.

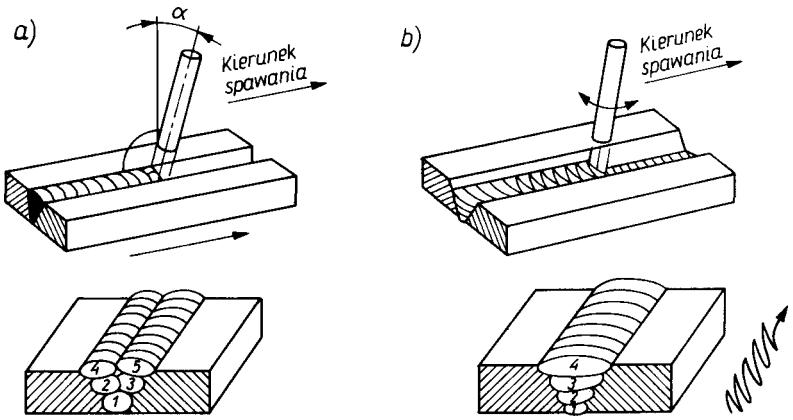
Metodę spawania w górę stosujemy do wszystkich grubości materiału, przy czym materiał o grubości powyżej 4 mm powinien być spawany przez dwóch spawaczy jednocześnie. Palnik należy prowadzić pod kątem 30° do osi pionowej, a drut pod kątem około 20°. Palnik prowadzi się równomiernym ruchem prostoliniowym, a spoiwo ruchem skokowym.

Spawanie łukowe elektrodą otuloną jest procesem, w którym trwałe połączenie uzyskuje się przez stopienie ciepłem łuku elektrycznego topliwej elektrody otulonej i materiału spawanego. Łuk elektryczny jarzy się między rdzeniem elektrody pokrytym otuliną i spawanym materiałem. Elektroda otulona przesuwana jest ręcznie przez operatora wzdłuż linii spawania i ustawiona pod pewnym kątem względem złącza. Spoinę złącza tworzą stopione ciepłem łuku rdzeń metaliczny elektrody, składniki metaliczne otuliny elektrody oraz nadtopione brzegi materiału spawanego (rodzimego).



Rys. 18. Sprzęt do spawania łukowego: a) spawarka transformatorowa, b) uchwyt spawalniczy do elektrod, c) elektrody otulone [7].

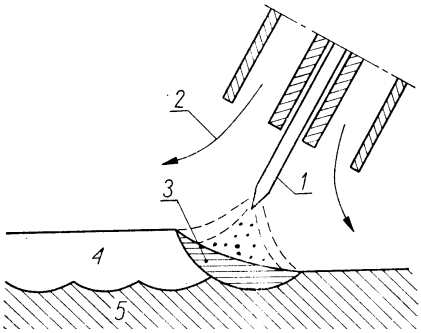
Elektroda zasilana jest prądem stałym lub przemiennym. Źródłem prądu jest transformator spawalniczy (rys. 18). Elektroda otulona składa się z rdzenia oraz otuliny. Rdzeń wykonany z jest metalu o takim samym lub podobnym składzie chemicznym jak łączony metal. W wyniku spalania się otuliny w łuku elektrycznym powstaje gaz, który oddziela miejsce spawania od dostępu tlenu, dzięki temu materiał spoiny nie ulega utlenieniu. Inną rolą otuliny jest rozpuszczanie zanieczyszczeń w miejscu spawania, który w postaci żużla wypływa na powierzchnie spoiny i krzepnie chroniąc spoinę przed gwałtownym ochłodzeniem. Elektrodą otuloną spawa się stale węglowe konstrukcyjne oraz żeliwo.



Rys. 19. Technika spawania: a) prowadzenie elektrody ściegami prostymi, b) prowadzenie elektrody ściegami zakosowymi [1].

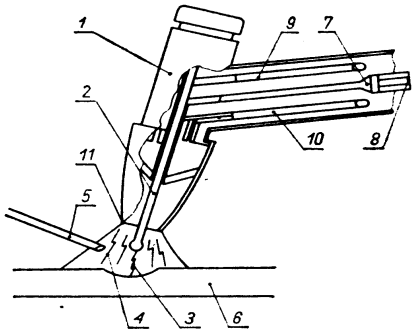
W praktyce warsztatowej spawanie elektrodą otuloną wypierane jest przez spawanie metodą MAG/MIG i TIG. W tych metodach spawania osłonę gazową miejsca spawania tworzą dwutlenek węgla (spawanie MAG) lub gaz obojętny: argon, hel lub mieszanina tych gazów (MIG). Dokładna osłona łuku jarzącego się między elektrodą topliwą a spawanym materiałem zapewnia, że spoina formowana jest w bardzo korzystnych warunkach. Spawanie MIG/MAG zastosowane więc może być do wykonania wysokiej jakości połączeń wszystkich metali, które mogą być łączone za pomocą spawania łukowego (rys. 21). Należą do nich stale niestopowe i niskostopowe, stale odporne na korozję, aluminium, miedź, nikiel i ich stopy. Metal spoiny formowany jest z metalu stapiającego się drutu elektrodowego i nadtopionych brzegów materiału spawanego. Elektroda topliwa w postaci drutu pełnego, zwykle o średnicy od 0,5 do 4,0 mm, podawana jest w sposób ciągły przez specjalny system podający. Palnik chłodzony może być wodą lub powietrzem.

Rys. 20. Półautomat spawalniczy MIG [7].



Rys. 21. Schemat spawania metodą MAG i MIG: 1) elektroda, 2) strumień gazu ochronnego, 3) jeziorko metalu, 4) spoina [6].

Obecnie spawanie TIG jest jednym z podstawowych procesów wytwarzania konstrukcji, zwłaszcza ze stali wysokostopowych, stali specjalnych, stopów niklu, aluminium, magnezu, tytanu i innych. Spawać można w szerokim zakresie grubości złączy, od dziesiętnych części mm do nawet kilkuset mm. Połączenie spawane uzyskuje się przez stopienie metalu spawanych przedmiotów i materiału dodatkowego ciepłem łuku elektrycznego jarzącego się pomiędzy nietopliwą elektrodą i spawanym przedmiotem w osłonie gazu obojętnego. Elektroda nietopliwa wykonana jest z wolframu i zamocowana jest w specjalnym uchwycie palnika, umożliwiającym regulację położenia elektrody i jej wymianę (rys. 22).



Rys. 22. Schemat spawania metodą TIG: 1) uchwyt elektrody, 2) elektroda wolframowa, 3) łuk elektryczny, 4) gaz obojętny – argon, 5) spoiwo, 6) metal rodzimy, 7) dopływ prądu spawania, 8) dopływ argonu, 9) dopływ wody chłodzącej, 10) odpływ wody chłodzącej, 11) dysza wylotowa gazu [6].

Zalety połączeń spawanych:

- pozwalają na dowolne ustawienie łączonych ścianek, nie wprowadzając elementów pomocniczych,
- nie osłabiają przekrojów otworami na nity,
- nie wymagają dodatkowych zabiegów w celu uzyskania szczelności połączenia,
- mała pracochłonność.

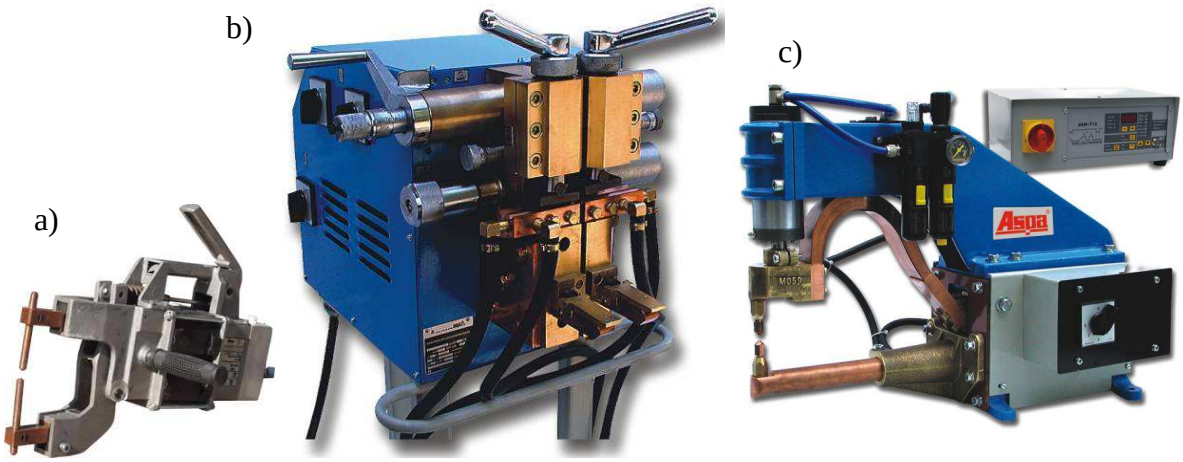
Wady:

- wysoka temperatura,
- naprężenia,
- zmiany strukturalne,
- paczenie.

4.5. Połączenia zgrzewane

4.5.1. Materiał nauczania

Innym rodzajem połączeń nierozłącznych jest zgrzewanie. Podczas zgrzewania materiały zostają nagrzane w miejscach łączenia do stanu plastyczności, a następnie pod wpływem nacisku następuje połączenie trwałe materiałów. Rozróżniamy zgrzewanie elektryczne i zgrzewanie tarciowe. W pierwszym przypadku, źródłem ciepła jest przepływający prąd przez zgrzewane elementy, a w drugim przypadku ciepło powstałe z tarcia o siebie dwóch powierzchni. Podczas zgrzewania elektrycznego przedmioty łączone są dociskane przez cały czas trwania procesu elektrodami (zgrzewanie punktowe i liniowe) lub bezpośrednio (zgrzewanie czołowe). Zgrzewanie elektryczne wykonuje się na specjalnych maszynach (zgrzewarkach), dostosowanych do rodzaju zgrzewania i materiału łączonych części (rys. 23).



Rys. 23. Zgrzewarki: a) ręczna kleszczowa, b) doczołowo zwarciowa, c) punktowa [8].

Do podstawowych rodzajów zgrzewania zalicza się zgrzewanie:

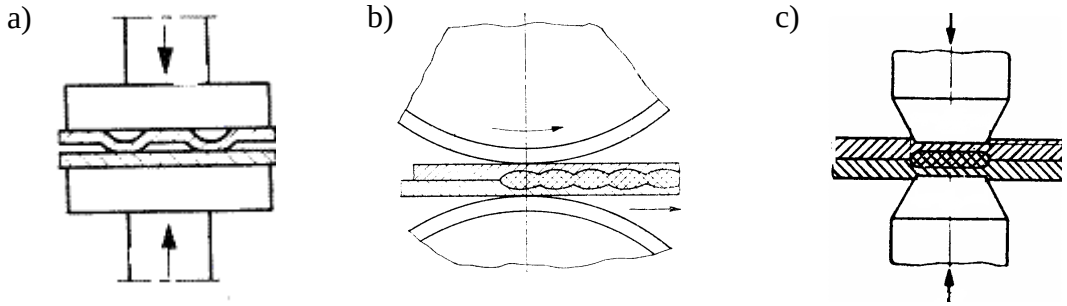
- czołowe,
- punktowe,
- liniowe,
- garbowe.

Zgrzewanie czołowe stosuje się do łączenia prętów, odkuwek i innych elementów, w których zgrzeina obejmuje całe pole powierzchni styku. Tą samą metodą można zgrzać np. narzędzia skrawające: noże tokarskie, wiertła do głębokich otworów, łącząc część skrawającą narzędzia ze stali narzędziowej z trzonkiem ze stali węglowej.

Zgrzewanie punktowe jest najczęściej stosowane do łączenia cienkich blach, blach z różnymi kształtownikami itp. Wprowadzenie nowoczesnych zgrzewarek automatycznych o wydajności do 200 zgrzein na minutę powoduje, że zgrzewanie punktowe jest stosowane głównie w produkcji wielkoseryjnej, m.in. w przemyśle samochodowym, kolejowym itp.

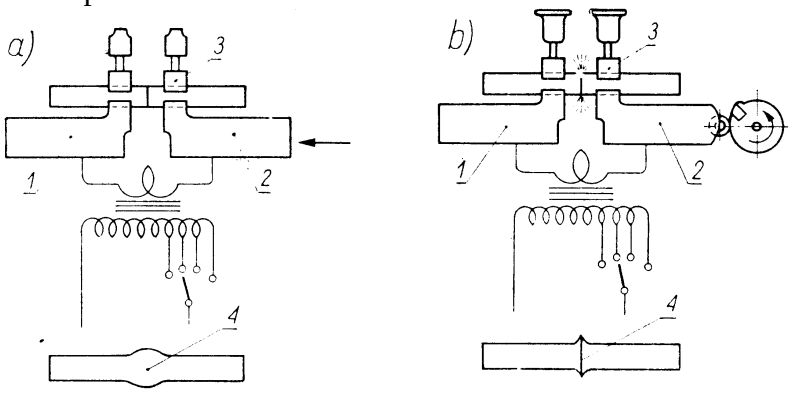
Elektrody stosowane w zgrzewaniu liniowym mają kształt krążków obracających się ruchem jednostajnym, co powoduje mechaniczny przesuw, np. łączonych blach.

Zgrzewanie garbowe jest odmianą zgrzewania punktowego. Garby mają najczęściej kształt czaszy kulistej i służą m.in. do usztywnienia części wykonanych z cienkich blach. W zgrzewaniu garbowym elektrody płaskie (płytowe) dociskają części, powodując miejscowe nagrzanie blach (garbów) i uzyskanie zgrzein punktowych. Garby powinny być na tyle sztywne, aby uległy tylko częściowemu zgnieceniu.



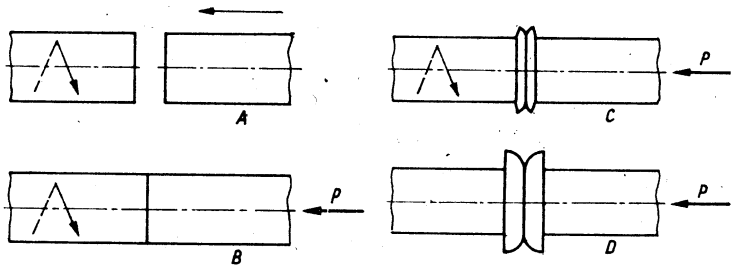
Rys. 24. Schemat zgrzewania elektrycznego: a) garbowego, b) liniowego, c) punktowego [4].

Inną metoda zgrzewania jest zgrzewanie doczołowe zwarciowe i iskrowe (rys. 25). W zgrzewaniu zwarciowym czoła przedmiotów są dosunięte do siebie, obwód elektryczny jest w stanie zwarcia. Płynący prąd o dużym natężeniu powoduje wzrost temperatury w miejscu styku, uplastycznienie powierzchni przedmiotów a następnie, na skutek nacisku zgrzanie. W zgrzewaniu iskrowym przedmioty do siebie zbliżamy na niewielką odległość, pomiędzy nierównościami zaczynają się jarzyć mikro łuki elektryczne, które powodują nagrzanie powierzchni przedmiotów.



Rys. 25. Schemat zgrzewania doczołowego: a) zwarciowego, b) iskrowego: 1, 2 – elektrody, 3- element zaciskający przedmiot zgrzewany, 4 – zgrzeina. [4].

W metodzie zgrzewania tarciowego wykorzystuje się do uplastycznienia powierzchni zgrzewanych materiałów ciepło wytwarzane podczas tarcia powierzchni (rys. 26).



Rys. 26. Schemat zgrzewania tarciowego [4].

Zgrzewanie tarciowe (odmiana zgrzewania doczołowego) jest metodą łączenia metali i ich stopów w wyniku działania docisku i ciepła wytworzonego w trakcie wzajemnego tarcia łączonych powierzchni. Najczęściej odbywa się to w taki sposób, że jedna z łączonych części zamocowana jest sztywno i nie zmienia swojego położenia, a druga wykonuje ruch obrotowy dookoła swojej osi. Inne rozwiązania przewidują jednoczesny ruch obu łączonych części w przeciwnych kierunkach albo ruch części pośredniczącej (łącznika) w łączeniu, stykającej się jednocześnie z dwoma właściwymi częściami łączonymi.

4.6. Połączenia lutowane

4.6.1. Materiał nauczania

Lutowanie jest jednym z najstarszych sposobów łączenia metali. Lutowaniem nazywamy metodę spajania metali za pomocą wprowadzania między łączone powierzchnie innego roztopionego metalu lub stopu (czynnika łączącego), zwanego spoiwem. Podczas lutowania części łączone nagrzewają się, lecz nie topią w miejscu łączenia. Połączenie trwałe uzyskuje się dzięki przyczepności lutu do materiałów łączonych, dlatego warunkiem otrzymania prawidłowego połączenia jest staranne oczyszczenie (mechaniczne i chemiczne) powierzchni lutowanych. Największe zastosowanie lutowanie znajduje w przemyśle elektrotechnicznym, elektronicznym i telekomunikacyjnym do łączenia przewodów elektrycznych. W zależności od temperatury topnienia spoiwa rozróżniamy lutowanie:

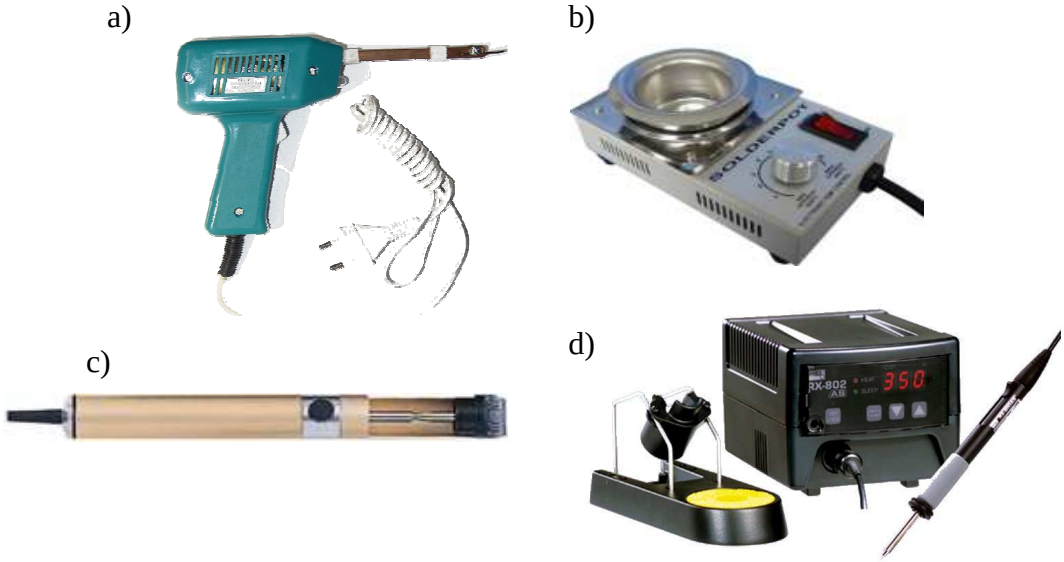
- miękkie (temp do 450°C),
- lutowanie twarde (powyżej 450°C).

Lutowanie miękkie stosuje się do łączenia części o niedużych naprężeniach w złączu i niewysokiej temperaturze pracy, jak również do uszczelniania połączeń np. cienkościennych zbiorników, pojemników, rynien, rurociągów. Lut w stanie wyjściowym ma kształt pałeczek, drutu, blaszek lub ziaren zmieszanych z topnikiem. Typowymi lutami miękkimi są stopy cyny z ołowiem, o temperaturze topnienia 181–243ºC. Ze względu na wysoki koszt cyny stosowane są także stopy bezcynowe głównie ołowiu i kadmu z małą domieszką cyny i antymonu.

Do lutowania używa się również topniki, bez których lut się utlenia i źle wypełnia szczeliny między łączonymi powierzchniami. Topniki lutownicze są to substancje chemiczne względnie ich mieszaniny lub roztwory, w postaci proszku, kremu, pasty lub płynu, np. kalafonia.

Elementy łączone przed lutowaniem należy oczyścić z warstwy tlenków, powłok ochronnych, tłuszczów i brudu. Czyszczenie przeprowadza się sposobami mechanicznymi, jak szczotkowanie, piaskowanie, szlifowanie, piłowanie, skrobanie. Niekiedy powierzchnie stykowe złączy oprócz czyszczenia pokrywa się dodatkowo cienką warstewką metali dobrze lutowanych jak miedź, nikiel, cyna poprzez pobielanie kąpielowe. Do pobielania kąpielowego używa się najczęściej tygli lutowniczych. Lutowanie miękkie wykonuje się za pomocą narzędzia zwanego lutownicą. Najważniejszą częścią lutownicy jest jej grot miedziany, który po nagrzaniu służy do roztopienia cyny i przeniesienia jej na miejsce lutowania.

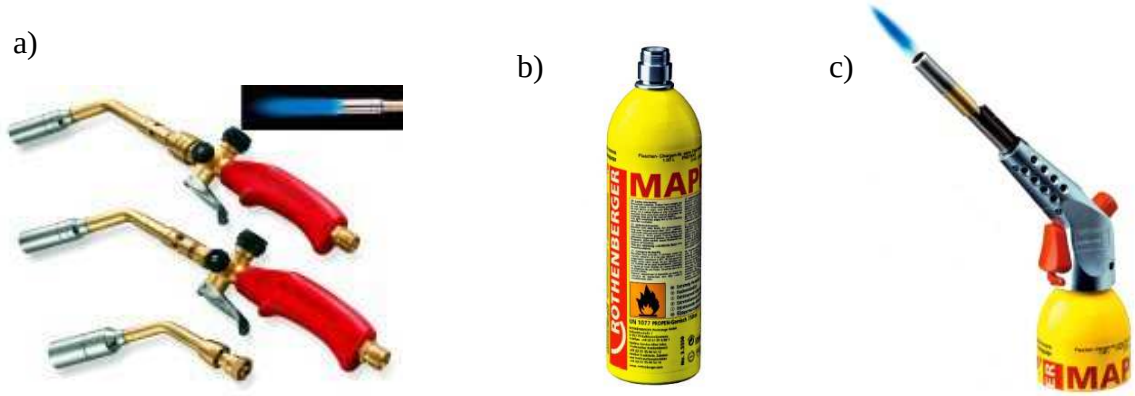
Po nagrzaniu lutownicy pociera się jej grot o kalafonię i przykłada do lutu, który roztapia się i przylepia do ostrza lutownicy. Następnie grot lutownicy przykłada się do miejsca lutowanego i pociąga grotem wzdłuż szwu. Lutując duże połączenia należy lut trzymać lewą ręką nad spoiną. Lutownica trzymana prawą ręką rozgrzewa materiał łączony i jednocześnie topi lut. Roztopiony lut ścieka i łączy powierzchnie, zastygając między nimi. W czasie lutowania należy tak prowadzić lutownicę, aby lut nie rozpływał się po wierzchu, lecz spływał w głąb szwu. Po zalutowaniu usuwa się nadmiar lutu za pomocą skrobaka lub pilnika i przemywa szew, ponieważ użyte topniki w większości są silnie korozyjne.



Rys. 27. Przykładowe narzędzia do lutowania: a) lutownica elektryczna transformatorowa, b) tygiel lutowniczy, c) odsysacz cyny, d) stacja lutownicza [9].

Luty twarde charakteryzują się temperaturą topnienia w zakresie 450–2000°C, stanowią je przeważnie stopy miedzi (mosiądze, brązy), srebra, niklu, aluminium i magnezu. Luty twarde produkowane są w postaci prętów, prętów w otulinie topnikowej, drutu na szpuli i zwoju, taśm. Lutowanie twarde stosowane jest przy znacznych naprężeniach w złączu i wysokiej temperaturze pracy (ponad 150°C). Jest używane do wykonania połączeń ślusarskich, do łączenia części mechanizmów precyzyjnych, w produkcji narzędzi skrawających.

Przed lutowaniem powierzchnie łączone należy dokładnie oczyścić i dopasować do siebie. Części łączone nagrzewa się palnikiem gazowym lub lampą lutowniczą (rys. 28) tak długo, aż lut się roztopi i zwiąże części łączone. Oba te narzędzia zasilane są gazem z butli lub z naboju. Po wykonaniu lutowania połączone części zostawia się do powolnego ostygnięcia.



Rys. 28. Przykładowe narzędzia do lutowania twardego: a) zestaw palników, b) butla z gazem, c) palnik uzbrojony w butlę [10].