

# 9

## Inżynieria spajania metali

KRZYSZTOF PAŃCIKIEWICZ, EDMUND TASAK

### 9.1. Wprowadzenie

Inżynieria spajania obejmuje szeroki obszar wiedzy łączący wiele dyscyplin z dziedziny nauk technicznych, dotyczących trwałego łączenia materiałów. Wykorzystywane do tego celu różne procesy stanowią najstarsze elementy technik wytwarzania. Najstarsze sposoby łączenia metali to zgrzewanie (4000 lat p.n.e.) i lutowanie (3800 lat p.n.e.). Procesy spawania, dominujące obecnie, zostały zapoczątkowane dopiero pod koniec XVIII w. n.e. wraz z wykorzystaniem ciepła spalania mieszanin gazów palnych z powietrzem lub tlenem do topienia metali [13]. W obecnych czasach głównym nośnikiem energii w procesach spawania jest energia elektryczna, przetwarzana na energię cieplną o wymaganej koncentracji strumienia.

### 9.2. Klasyfikacja procesów spajania

Procesy spajania różnią się między sobą sposobem osiągnięcia ciągłości metalicznej pomiędzy dwoma łączonymi materiałami, nierzadko z użyciem trzeciego, nazywanego spoiwem. Międzynarodowa klasyfikacja procesów spajania obejmuje ponad 100 procesów w kilku podstawowych grupach, do których zaliczono spawanie, zgrzewanie, lutowanie, lutospawanie oraz te sposoby cięcia i żłobienia, które wykorzystują do tego celu procesy spawalnicze.

*Spawanie* polega na stopieniu brzegów łączonych elementów (materiału rodzimego) oraz spoiwa (materiału dodatkowego), co prowadzi do utworzenia tzw. *jeziorka spawalniczego*. Po przejściu jeziorka spawalniczego w stan stały pomiędzy łączonymi materiałami powstaje *spoina*. Spawanie może być wykonywane na powietrzu oraz (w ograniczonym zakresie) pod wodą.

W przypadku procesów *zgrzewania* ciągłość metaliczną uzyskuje się w stanie stałym przez zastosowanie odpowiedniego docisku elementów, których łączone brzegi są nagrzane do temperatury zapewniającej przejście w stan wysokoplastyczny oraz przyspieszającej procesy dyfuzji. Proces ten jest na ogół realizowany bez dodatku spoiwa.

*Lutowanie* polega na stopieniu spoiwa (materiału dodatkowego) nazywanego *lutem* i nagraniu łączonych brzegów materiału rodzimego do temperatury, która umożliwia ich zwilżanie przez ciekły lut i wypełnienie nim szczeliny lutowniczej. Po przejściu w stan stały powstaje trwałe połączenie. Ze względu na stosowaną temperaturę procesu wyróżnia się *lutowanie miękkie* ( $T < 500^{\circ}\text{C}$ ) i *twarde* ( $T \geq 500^{\circ}\text{C}$ ).

Z połączenia procesów spawania i lutowania powstał proces *lutospawania*, w którym łączone brzegi są przygotowywane jak do spawania, a sam proces przebiega według zasad lutowania twardego, tj. bez stopienia brzegów materiału rodzimego. Połączenie uzyskuje się dzięki dyfuzji roztopionego materiału dodatkowego w głąb materiału rodzimego, a wypełnienie przestrzeni pomiędzy łączonymi elementami (rowka) zachodzi na skutek działania sił ciężkości, a nie sił kapilarnych [21].

Każdy z procesów spajania i cięcia opatrzono charakterystycznym, niepowtarzalnym numerem<sup>1</sup>. Z uwagi na swoją uniwersalność numer ten jest zazwyczaj stosowany w dokumentacji technicznej, gdyż m.in. nie zależy od języka. Podział ujęto w sposób trójpoziomowy, gdzie oznaczenie jednocyfrowe wskazuje na grupę procesów (np. 1 – spawanie łukowe), oznaczenie dwucyfrowe wskazuje podgrupę procesów (np. 12 – spawanie łukiem krytym), a oznaczenie trzycyfrowe wskazuje na proces (np. 121 – spawanie łukiem krytym drutem litym).

Uzupełnieniem klasyfikacji procesów spajania może być niewymienione wcześniej *klejenie*, w którym łączone brzegi materiału rodzimego są pokrywane warstwą kleju – substancji niemetalicznej. Klej jest najczęściej nakładany w stanie ciekłym, a po przejściu w stan stały wykazuje zdolność trwałego połączenia na skutek działania sił adhezji do łączonej powierzchni i sił kohezji, tj. spójności wewnętrznej.

Energia cieplna niezbędna do spajania powstaje w wyniku:

- zamiany energii elektrycznej na ciepło w łuku elektrycznym;
- wydzielania ciepła Joule’a–Lenza;
- chemicznej reakcji spalania;
- reakcji egzotermicznych;
- tarcia lub docisku mechanicznego;
- promieniowania elektromagnetycznego;
- indukcji elektromagnetycznej.

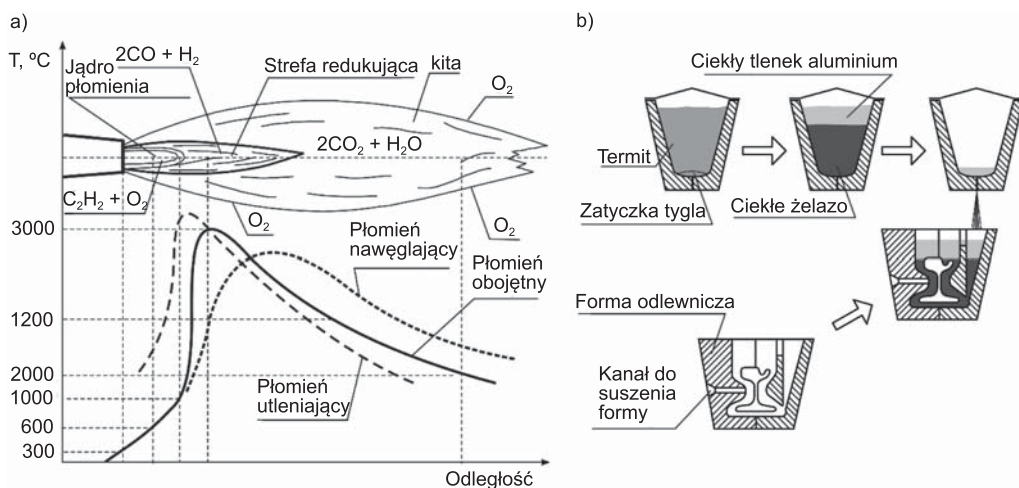
---

<sup>1</sup> Zestawienie tych numerów można znaleźć w normie PN-EN ISO 4063.

W dalszej części scharakteryzowano wybrane metody spawania, najczęściej stosowane w przemyśle.

### 9.2.1. Spajanie z użyciem chemicznej reakcji spalania i reakcji egzotermicznych

Jednym ze źródeł ciepła umożliwiającym osiągnięcie odpowiedniej temperatury w miejscu łączenia jest płomień gazowy powstający na skutek reakcji chemicznej spalania gazu palnego w tlenie lub powietrzu. Ciepło przenoszone jest na drodze promieniowania (ok. 15%) i konwekcji (ok. 85%). Temperatura płomienia zależy głównie od wartości opałowej paliwa gazowego oraz objętości i ciepła właściwego produktów spalania. Największą wydajnością cieplną charakteryzuje się acetylen, stąd jest najczęściej stosowanym gazem palnym. Charakteryzuje się też największą szybkością spalania, możliwością łatwej i dokładnej regulacji charakteru płomienia (utleniający, nawęglający, obojętny) dzięki dwustopniowemu spalaniu, małym zużyciem tlenu na jednostkę objętości acetylenu i korzystnym rozkładem temperatury w płomieniu. Płomień acetylenowo-tlenowy ma trzy charakterystyczne strefy (rys. 9.1.a): jądro płomienia, strefę redukującą oraz kłę. Podczas spawania w obszar płomienia w miejsce o najwyższej temperaturze jest podawany z zewnątrz materiał dodatkowy, najczęściej w postaci pręta.



Rysunek 9.1. Schematy: a) płomienia acetylenowo-tlenowego wraz z rozkładem temperatur, b) spawania termitowego szyn

Najczęściej spotykanymi procesami spajania wykorzystującymi płomień gazowy są:

- spawanie acetylenowo-tlenowe;
- spawanie propanowo-tlenowe;
- spawanie wodorowo-tlenowe;
- lutowanie płomieniowe twarde i miękkie;
- lutowanie gazowe.