

Naprężenia i odkształcenia spawalnicze

Ciepłno-mechaniczne właściwości metali i stopów

Parametrami, które określają stan mechaniczny metalu w różnych temperaturach, są:

- moduł sprężystości podłużnej E ,
- moduł sprężystości postaciowej G ,
- współczynnik Poissona ν ,
- granica plastyczności R_e
- oraz współczynnik rozszerzalności liniowej α .

Charakter zmian tych parametrów jest różny, właściwy dla danego gatunku materiału. Moduł sprężystości podłużnej E metali na ogół zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury.

Oznacza to, że właściwości sprężyste, a ściślej opór sprężysty, zmniejszają się. Zwiększa się więc podatność materiału na odkształcenia sprężyste pod działaniem sił zewnętrznych.

Granica plastyczności R_e jako główny parametr wytrzymałościowy również obniża się wraz ze wzrostem temperatury, aby w pewnej temperaturze (zależnej od gatunku materiału) osiągnąć wartość minimalną. Oznacza to zwiększanie się skłonności materiału do odkształcania plastycznego w wyniku oddziaływania sił zewnętrznych. Współczynnik rozszerzalności cieplnej jako parametr określający wielkość odkształceń pod wpływem temperatury ma istotne znaczenie w procesie tworzenia się naprężeń i odkształceń cieplnych. Wartość jego zwiększa się wraz z temperaturą.

Powstawanie naprężeń własnych

Podczas spawania element jest poddawany skomplikowanym procesom cieplnym oraz przemianom strukturalnym. Źródło ciepła spawania, którym może być płomień gazowy, łuk elektryczny, strumień plazmy, wiązka elektronów lub promień lasera, przesuwa się wzdłuż linii spawania, nagrzewając intensywnie obszar spoiny. Przesuw źródła ciepła powoduje nierównomierne nagrzewanie elementu.

Obszary wokół spoiny są poddawane bardzo zróżnicowanemu nagrzewaniu (aż do temperatury topnienia) i chłodzeniu (do temperatury otoczenia). Towarzyszy temu zjawisko intensywnej dylatacji (rozszerzania się i kurczenia pod wpływem temperatury).

Podczas nagrzewania i chłodzenia zmieniają się właściwości mechaniczne metalu. W trakcie realizacji procesów spawalniczych źródło ciepła (płomień gazowy, łuk elektryczny) powoduje miejscowe intensywne nagrzanie elementu.



Temperatury w obszarze źródła ciepła są najwyższe i w przypadku łuku elektrycznego przekraczają nawet 3000°C. Nierównomierny rozkład temperatur oraz niestacjonarny przepływ ciepła są przyczyną zróżnicowanej cieplnej i mechanicznej reakcji elementu. Parametry opisujące właściwości cieplno-mechaniczne metali wpływają na kinetykę naprężeń cieplnych. Obszar spoiny jest nagrzewany do temperatury topnienia, pozostaje w tym stanie bardzo krótko, a następnie jest schładzany do temperatury otoczenia. Czas chłodzenia jest zwykle również stosunkowo krótki. W związku z tym przemiany fazowe zachodzą w ograniczonym czasie, co w zależności od materiału może prowadzić do powstawania struktur hartowniczych (martenzyt lub bainit). Przemiany fazowe są związane ze zmianą objętości, szczególnie w przypadku przemiany martenzytycznej.

Reasumując, podczas spawania zachodzą:

- nierównomierne oraz szybkie nagrzewanie i chłodzenie,
- zmiany właściwości cieplno-mechanicznych (E , R_e , a) podczas nagrzewania i chłodzenia,
- przemiany fazowe związane ze zmianą objętości.

Oddziaływanie jednocześnie tych wszystkich czynników powoduje w rezultacie oddziaływania mechaniczne w sąsiedztwie poszczególnych obszarów poddanych procesowi podgrzewania i chłodzenia.

Rozkłady naprężeń własnych

Nierównomierne nagrzewanie, zjawiska cieplno-mechaniczne oraz ich kinetyka powodują w spawanym elemencie stany naprężeń, których rozkłady będą bardzo zróżnicowane co do kierunków i wartości. Na rozkłady te będzie miał wpływ również kształt łączonych elementów. W obszarze spoin, napoin oraz w strefach wpływu ciepła wystąpią w większości przypadków naprężenia rozciągające.

W elemencie napawanym strefa rozciągana wystąpi w napoinie jako wynik skurczu roztopionego metalu, a w strefie pod napoiną jako efekt odkształceń plastycznych, które wystąpiły podczas podgrzewania i stygnięcia materiału. Zazwyczaj wartości naprężeń rozciągających w napoinach są duże (szczególnie przy napawaniu jednowarstwowym) i mogą osiągać wartość granicy plastyczności. Należy o tym pamiętać przy napawaniu materiałami kruchymi i twardymi, ponieważ bez zastosowania pewnych zabiegów cieplnych może dojść do pęknięcia napoin.



Odkształcenia spawalnicze

Odkształcenia spawalnicze są wynikiem łącznego oddziaływania skurczu krzepnącego metalu spoiny i skurczu powstałego na skutek odkształceń plastycznych stref przyspoinowych podczas procesu nagrzewania.

Skurcz powstający w spoinie działa we wszystkich kierunkach, tworząc w sumie odkształcenia na długości i szerokości elementu. Skurcz w kierunku grubości spoiny ma zwykle niewielkie znaczenie (należy brać go pod uwagę w przypadku bardzo grubych spoin). Nierównomierne oddziaływanie skurczu poprzecznego (większe w obszarze nadlewu i całkiem małe w obszarze grani) prowadzi do pojawienia się, oprócz odkształceń poprzecznych (Δl_x , odkształcenia kąтового ($\Delta \alpha$). Skurcz podłużny działający wzdłuż osi y , w zależności od sztywności łączonych elementów, oprócz skrócenia podłużnego (Δl_y) może spowodować ugięcie (f_z). Ugięcie to może przybierać nieraz bardzo skomplikowane kształty, znacznie deformując kształty konstrukcji. W przypadku elementu teowego ze spoinami pachwinowymi zjawisko skurczu będzie wywoływać podobne reakcje w postaci odkształceń. Skurcz poprzeczny oprócz odkształcenia poprzecznego (Δl_x) wywoła odkształcenie kątowe ($\Delta \alpha$), a skurcz podłużny wywoła odpowiednio skrócenie elementu i ewentualnie wygięcie (wielkość wygięcia będzie zależała od sztywności przekroju poprzecznego).

W zależności od kształtu konstrukcji, jej wymiarów, długości, grubości i zagęszczenia spoin skurcz spawalniczy będzie wywoływał odkształcenia różne co do wielkości i kierunków. Wiedza dotycząca odkształceń spawalniczych jest istotnym elementem wielu przedsięwzięć stosowanych w celu ich unikania lub zminimalizowania.

Odkształcenia poprzeczne

Odkształcenia poprzeczne, jako wynik skurczu poprzecznego, zależą od grubości elementu, rodzaju i wymiarów ukosowania, metody i techniki spawania.

Skurcz poprzeczny w złączach teowych ze spoinami pachwinowymi jest zjawiskiem bardziej złożonym, ponieważ zależy on od wymiaru spoiny i od grubości elementu, które zwykle są różne.

Odkształcenia podłużne

Odkształcenia podłużne elementów spawanych są rezultatem występowania skurczu podłużnego. Ich wielkość jest uzależniona nie tylko od objętości i długości spoiny.



Parametrem, który wyznacza wielkość odkształceń, jest również stosunek pola powierzchni przekroju elementu do pola powierzchni przekroju spoin. Kierunek skurczu spoiny jest zgodny z kierunkiem osi spoiny. Siła skurczu, która jest wynikiem przemian cieplno-mechanicznych w spoinie i w strefie przy spoinowej, rozkłada się na cały przekrój elementu. Płaszczyzna tego przekroju jest prostopadła do osi spoin. Im większy stosunek pola powierzchni przekroju elementu do pola powierzchni przekroju spoin w danej płaszczyźnie, tym skurcz podłużny będzie mniejszy. Siła skurczu rozkłada się na większą powierzchnię i tym samym wzdlużne odkształcenie sprężyste elementu będzie mniejsze.

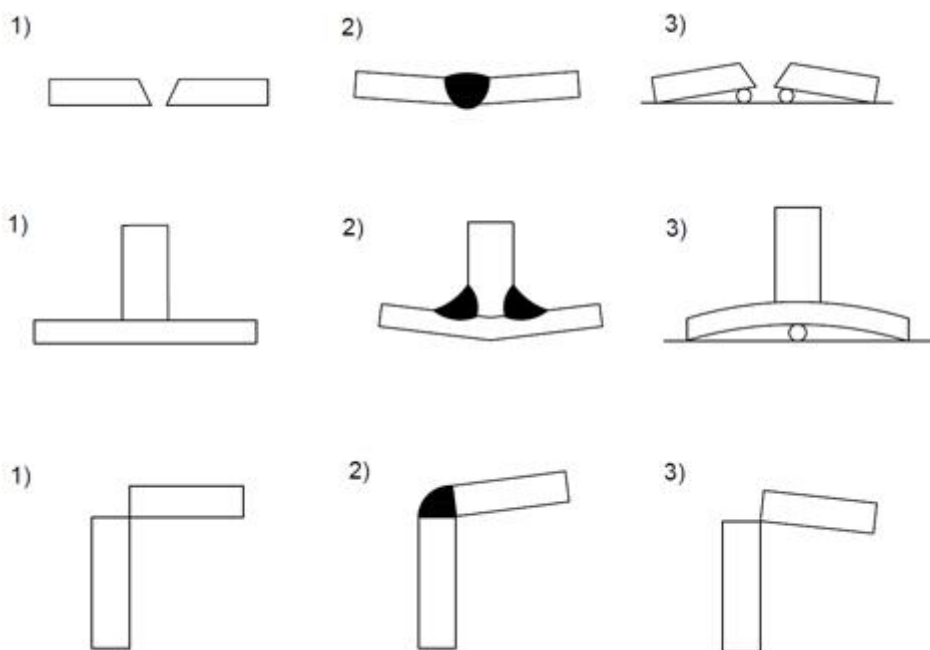
Odształcenia kątowe

Nierównomierny poprzeczny skurcz spoin (czołowych i pachwinowych) jest powodem występowania *odkształceń kątowych*. Odształcenia te są szczególnie dokuczliwe, ponieważ zwykle są przyczyną odkształceń przestrzennych, takich jak: wybrzuszenia, skręcenia oraz błędy kształtu (odchyłka płaskości, liniowości, prostopadłości i inne). Występują podczas wykonywania spoin czołowych i pachwinowych. Przyczyną tworzenia się odkształceń kątowych jest nierównomierny skurcz poprzeczny na grubości złącza oraz odkształcenia plastyczne występujące podczas cyklu cieplno--mechanicznego. Wielkość skurczu poprzecznego zależy od kąta ukosowania i od szerokości i głębokości wtopienia poszczególnych ściegów.

Zasady minimalizacji naprężeń i odkształceń spawalniczych

Zjawiska odkształceń i naprężeń spawalniczych zawsze występują łącznie. W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego elementu zarówno odkształcenia, jak i naprężenia będą ujawniać się w sposób zróżnicowany. W przypadku konstrukcji masywnych, wykonanych z elementów o dużych grubościach odkształcenia spawalnicze będą niewielkie, natomiast naprężenia własne w obszarach połączeń spawanych mogą osiągnąć wysokie wartości (nawet do wartości granicy plastyczności materiału podstawowego). Konstrukcje wiotkie i cienkie wykazują z kolei tendencje do odkształcania się po spawaniu. Siły na skutek zjawisk cieplno-mechanicznych są w takich przypadkach tak duże, że są w stanie pokonać sztywność elementów i wywołać ich odkształcenie. Naprężenia własne w takich konstrukcjach są mniejsze, ponieważ pewna ich część, a ściślej pewna część energii sprężystej, jest zamieniona na pracę odkształcenia elementu.

Naprężenia i odkształcenia w konstrukcjach są niekorzystne, chociaż z różnym nasileniem. W celu ograniczenia ich oddziaływania można wykorzystać wiele sposobów natury projektowo-technologicznej.



a) złącze teowe przed spawaniem

b) złącze teowe spawane jednostronnie



c) złącze teowe spawane dwustronnie

