

MATERIAŁY SZKOLENIOWE

Techniki wytwarzania

Dr inż. Andrzej Krzyszkowski

Spis treści:

1. Techniki wytwarzania w mechanice

2 Stopy żelaza z węglem

- 2.1. Charakterystyka żelaza
- 2.2. Układ równowagi żelazo-cementyt
- 2.3. Fazy występujące w układzie żelazo-cementyt
- 2.4. Składniki strukturalne występujące w układzie żelazo-cementyt.
- 2.5. Struktury stali węglowych

3. Odlewnictwo

- 3.1. Etapy procesu produkcyjnego w odlewniach
 - 3.1.1. Wykonanie modeli i rdzennic
 - 3.1.2. Przygotowanie mas formierskich i rdzeniowych
 - 3.1.3. Wykonywanie form i rdzeni
 - 3.1.4. Suszenie i utwardzanie form i rdzeni
 - 3.1.5. Montaż i zalewanie form
 - 3.1.6. Wybijanie odlewów z form i usuwanie rdzeni z odlewu
 - 3.1.7. Oczyszczanie i wykańczanie odlewów
 - 3.1.8. Kontrola jakości odlewów
- 3.2. Topienie metali

4. Zjawiska i procesy leżące u podstaw odkształceń plastycznych

5 Spawalnictwo

5.1. Gazy stosowane w procesie spawania gazowego

5.1.1. Wytwarzanie i właściwości acetylenu

5.1.2. Wytwarzanie i właściwości tlenu

5.2. Urządzenia do spawania gazowego

5.2.1. Butle do gazów technicznych

5.2.2. Butle acetylenowe

5.2.3. Butle tlenowe

5.2.4. Reduktory

5.2.5. Węże spawalnicze

5.2.6. Bezpieczniki

5.2.7. Palniki acetylenowo-tlenowe

5.3. Płomień acetylenowo-tlenowy

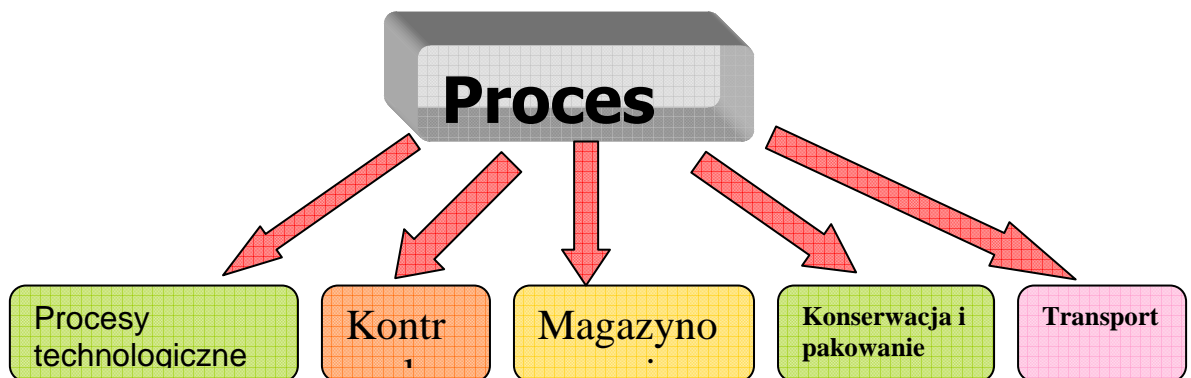
5.4. Metody i techniki spawania gazowego

1. Techniki wytwarzania w mechanice

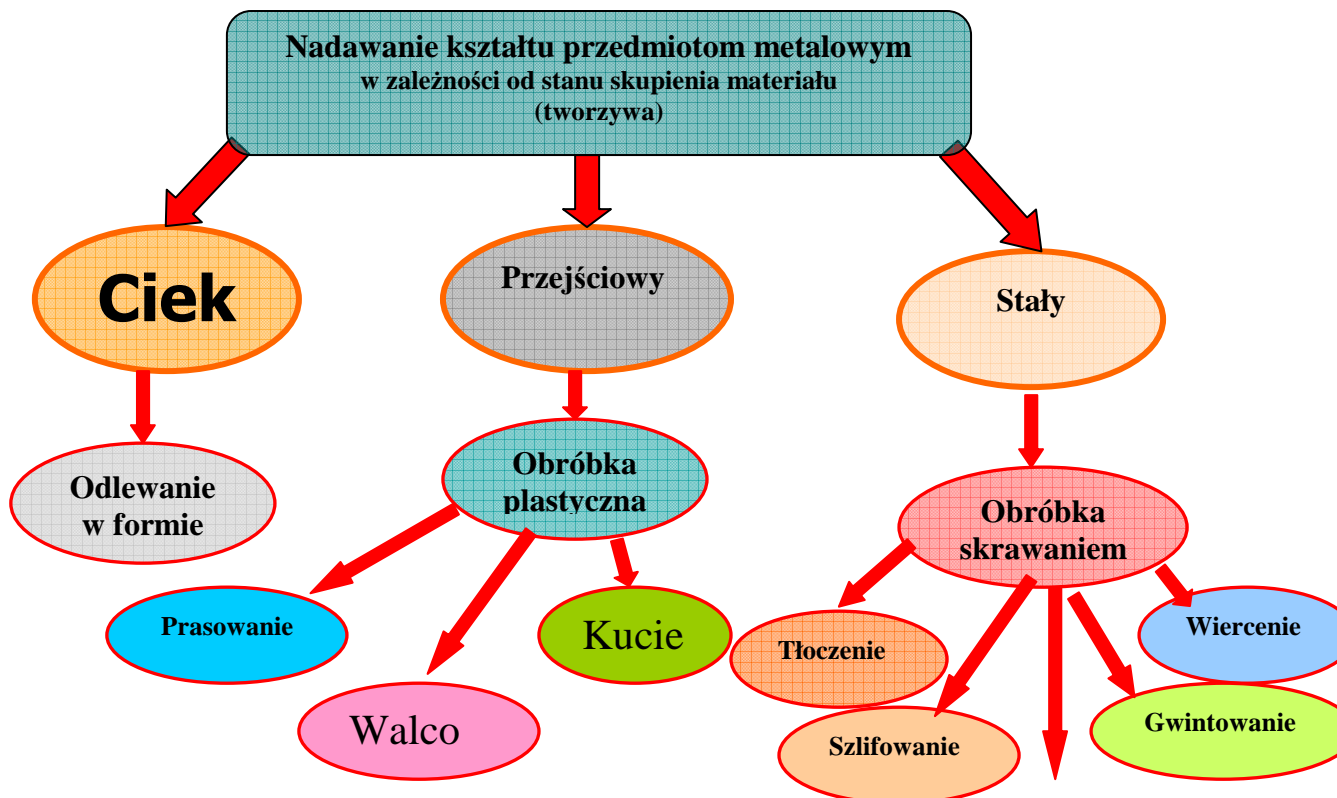
Konstruktor opracowujący kształt nowego przedmiotu uwzględnia przede wszystkim zadania (funkcje), jakie ten przedmiot ma spełniać. Istotny wpływ na określenie tego kształtu będzie jednak miał przyjęty przez konstruktora sposób wykonania przedmiotu, czyli **technika wytwarzania**. Wiąże się z tym ściśle dobór materiału. Decyzje dotyczące tego wyboru konstruktor podejmuje po rozpatrzeniu różnych kryteriów;

- Wymagane własności mechaniczne projektowanego wytworu.
- Rodzaj produkcji (jednostkowa, seryjna, masowa).
- Dostępność maszyn technologicznych i narzędzi.
- Koszty itp.

Najważniejszą częścią **procesu produkcyjnego**, obejmującego wszystkie czynności związane z wytwarzaniem produktu, jest **proces technologiczny**.



Nadawanie kształtu przedmiotom może się odbywać z użyciem różnych **technik wytwarzania**. Również metody łączenia między sobą poszczególnych części w celu stworzenia produktu końcowego mogą się między sobą różnić.



Przy omawianiu dowolnej operacji (sposobu obróbki określonej części) należy zawsze przedstawić **schemat ideowy** (np. obróbki skrawaniem) z wyszczególnieniem **elementów procesu technologicznego**.

Jest to **pierwszy etap obróbki**. Podaje się w nim,

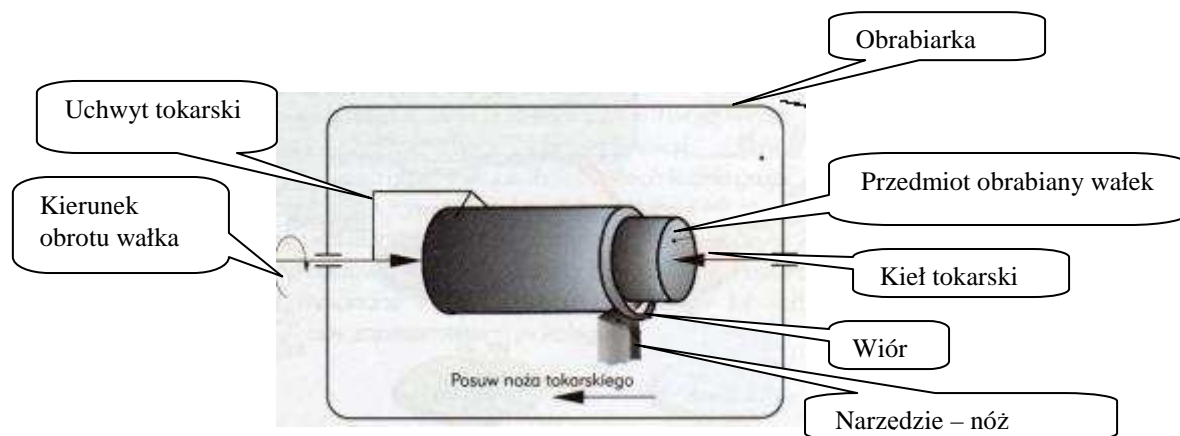
- co jest przedmiotem obrabianym?
- narzędziem
- przyrządem obróbczym (uchwytem)
- maszyną technologiczną (obrabiarką).

W **drugim etapie** podaje się wzory i parametry technologiczne. do **parametrów technologicznych** należą:

- prędkość ruchu obrotowego obrabianego przedmiotu,
- szybkość skrawania,
- prędkość przesuwania się narzędzia i głębokość skrawania.

W **trzecim etapie** opisuje się sposób skrawania i podaje informacje o **elementach procesu technologicznego**, np.:

- sposób obróbki skrawaniem – toczenie,
- przedmiot obrabiany – np. wałek, tuleja, tarcza - wykonuje ruch obrotowy,
- narzędzie – nuż tokarski (obrabia powierzchnie zewnętrzne), wytaczak (obrabia powierzchnie wewnętrzne)
- obrabiarka – tokarka (podaje się też typ tokarki),
- ustalenie przedmiotu – np. przedmiot obrabiany jest ustalony i mocowany w kłach.



Podstawowymi wielkościami charakterystycznymi w obrabiarkach są:

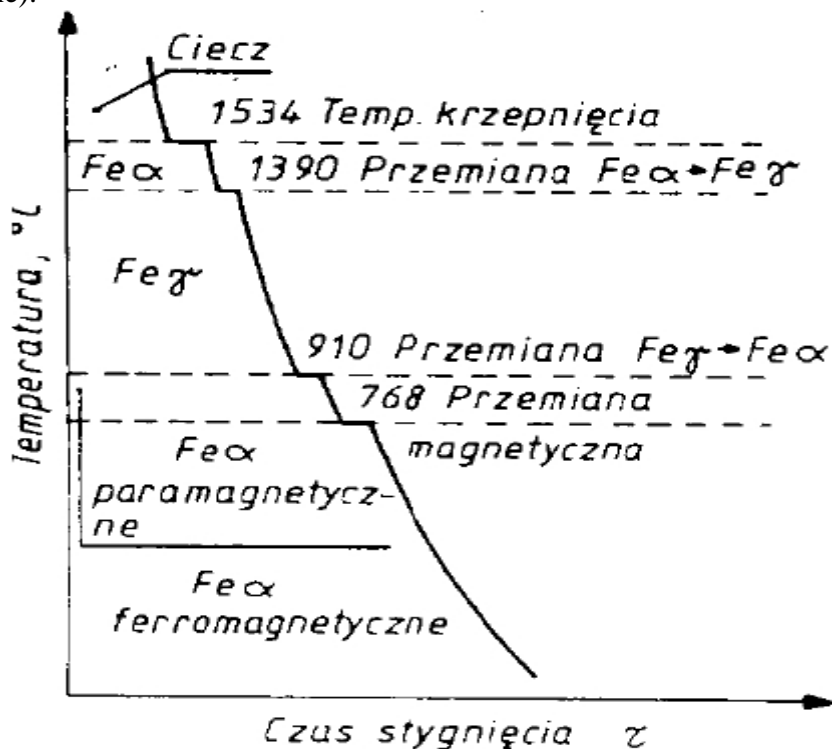
- wymiary przestrzeni roboczej, w której jest obrabiany przedmiot,
- wymiary gabarytowe,
- moc silnika obrabiarki
- prędkości obrotowe

W zależności od liczby przedmiotów przewidzianych do obróbki założonej programem produkcyjnym rozróżnia się **obrabiarki uniwersalne** charakteryzujące się dużym zakresem stosowania, oraz **obrabiarki zadaniowe** – do produkcji ściśle określonych przedmiotów

2 Stopy żelaza z węglem

2.1. Charakterystyka żelaza

Żelazo jest pierwiastkiem metalicznym o temperaturze topnienia 1534°C i temperaturze wrzenia 3070°C . W przyrodzie występuje głównie w postaci tlenków, węglanów, wodorotlenków i siarczków, jako magnetyt (Fe_3O_4), hematyt (Fe_2O_3), syderyt (FeCO_3), limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) i piryt (FeS_2). Z rud tlenkowych w redukcyjnym procesie hutniczym w wielkim piecu otrzymuje się tzw. surówkę, będącą stopem żelaza z węglem, krzemem, manganem, siarką, fosforem, tlenem, azotem i in. (łącznie do 10%). Surówka podlega dalszej przeróbce w piecach stalowniczych, podczas której utlenia się znaczna część domieszek, tak że w większości przypadków łączna ich ilość (nie licząc węgla) nie przekracza 1%. Otrzymany produkt nazywa się stalą węglową. Żelazo występuje w dwóch odmianach alotropowych: α i γ . Żelazo α , termodynamicznie trwałe od niskich temperatur do temperatury 910°C oraz od temperatury 1390 do 1534°C , ma strukturę krystaliczną o sieci regularnej przestrzennie centrowanej. Warto wspomnieć, że wysokotemperaturową odmianę żelaza α często nazywa się żelazem δ . Żelazo γ , termodynamicznie trwałe w temperaturach 910 do 1390°C , ma strukturę krystaliczną o sieci regularnej ściennie centrowanej. Gęstość żelaza α w temperaturze 20°C wynosi $7,86 \text{ g/cm}^3$, gęstość żelaza γ w temperaturze 916°C - $8,05 \text{ g/cm}^3$. Przemiany zachodzące w czystym żelazie podczas jego studzenia lub ogrzewania najlepiej omówić posługując się krzywą studzenia. Jak widać na rys. 3.1, poza przystankiem w temperaturze 1534°C , związanym z krzepnięciem żelaza, na krzywej występują jeszcze trzy przystanki temperatury. Pierwszy z nich w temperaturze 1390°C odpowiada przemianie alotropowej żelaza α w żelazo γ . Drugi przystanek ma miejsce w temperaturze 910°C i odpowiada przemianie alotropowej żelaza γ w żelazo α . Trzeci wreszcie, znacznie krótszy przystanek w temperaturze 768°C (punkt Curie) związany jest z przemianą magnetyczną żelaza α (poniżej tej temperatury żelazo jest ferromagnetyczne, powyżej — paramagnetyczne).

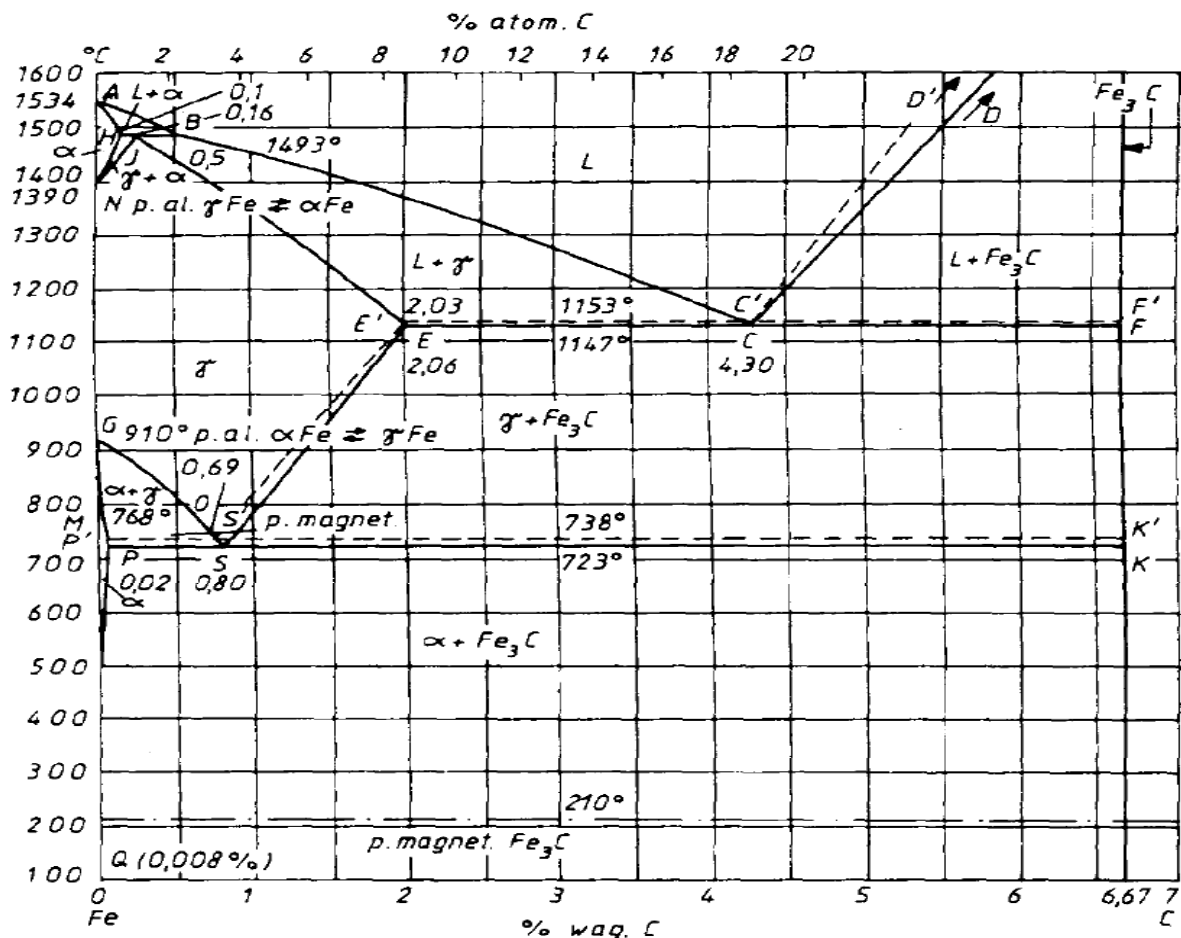


Rysunek. Krzywa studzenia żelaza

Przemiany alotropowe są związane z przebudową struktury krystalicznej, co powoduje zmianę własności fizycznych, chemicznych i mechanicznych. W efekcie powstają inne odmiany tego samego żelaza, noszące nazwę odmian alotropowych. W przeciwieństwie do tego, przy przemianie magnetycznej zmieniają się jedynie niektóre własności elektryczne, magnetyczne i cieplne, tak że jest ona szczególnym rodzajem przemiany, zupełnie różnym od alotropowej.

2.2. Układ równowagi żelazo-cementyt

Stopy żelaza z węglem należą do najbardziej rozpowszechnionych stopów w technice. Można je traktować pod wieloma względami jako stopy dwuskładnikowe, mimo że zawierają one jeszcze zawsze niewielkie ilości manganu, krzemu, siarki, fosforu i innych pierwiastków pochodzących z procesu metalurgicznego. W związku z tym struktury tych stopów w stanie zbliżonym do równowagi (a więc w stanie wyżarzonym zupełnie) można rozpatrywać korzystając z wykresu równowagi fazowej dwuskładnikowego układu na żelazo-węgiel. Istnieją dwa rodzaje układu żelazo-węgiel: **układ stabilny** i **układ metastabilny** (rys. 2.2). Pierwszy z nich przedstawia równowagę układu żelazo-grafit, drugi — równowagę układu żelazocementyt (węgiel żelaza Fe_3C). Ze względów praktycznych drugi — układ metastabilny (z cementytem) jest rozpatrywany w zakresie zawartości węgla od 0% (czyste żelazo) do 6,6% (cementyt). Ten układ ma zastosowanie przy analizowaniu przemian fazowych i struktur stali węglowych.



Rysunek 2.1. Wykres równowagi układu żelazo-węgiel;

linie ciągłe przedstawiają równowagę metastabilną układu żelazo-cementyt, linie przerywane - równowagę stabilnego układu żelazo-grafit (wg Hansena, 1958)

Zgodnie z omawianym wykresem, za stale węglowe uważa się wszystkie stopy żelaza z węglem zawierające 0,02-2,06% C, przy czym górna granica tego zakresu odpowiada maksymalnej rozpuszczalności węgla w żelazie γ . Należy wyjaśnić, a stopy zawierające mniej niż 0,02% C noszą nazwę żelaza technicznego, a stop o zawartości węgla większej od 2,06 - nazwę żeliw.

2.3. Fazy występujące w układzie żelazo-cementyt

Ponieważ żelazo występuje w dwóch odmianach alotropowych α i γ , a ponadto tworzy z węglem roztwory stałe i fazę międzymetaliczną Fe₃C (cementyt), w układzie równowagi żelazo-cementyt (zależnie od temperatury i zawartości węgla) istnieją następujące fazy ferryt, austenit, cementyt i ciekły roztwór węgla w żelazie. Na rysunku 2.2 w poszczególnych polach wykresu oznaczono następujące fazy (L — roztwór ciekły węgla w żelazie, α — ferryt, γ — austenit oraz Fe₃C). Wykres układu równowagi żelazo-cementyt można podzielić na dwa obszary:

- a) obszar związany ze zmianą stanu skupienia, ograniczony od góry linią likwidusu *ABCD*, od dołu - linią solidusu *AHIJECF*,
- b) obszar przemian w stanie stałym — poniżej linii solidusu.

Ferryt jest międzywęzłowym roztworem stałym węgla w żelazie α . Oznacza się go bądź symbolem Fe α (C), bądź krótko α . Graniczna zawartość węgla w ferrycie w stanie równowagi wynosi w temperaturze 20°C zaledwie 0,008% i wzrasta w temperaturze 723°C do 0,02% (punkt P na wykresie). Natomiast ferryt wysokotemperaturowy może zawierać w temperaturze 1493°C do 0,1% C. Własności fizyczne i mechaniczne ferrytu są zbliżone do własności żelaza α . Na przykład, twardość ferrytu wynosi ok. 80 HB, *R_m* - ok. 300 MPa, A10 - ok. 40%, KCU2 - ok. 180 J/cm². Podobnie jak żelazo α , ferryt jest ferromagnetyczny do temperatury 768°C.

Austenit jest międzywęzłowym roztworem węgla w żelazie γ i oznaczony jest bądź symbolem Fe γ (C), bądź literą γ . Graniczna zawartość węgla w austenicie w temperaturze 1147°C wynosi 2,06% (punkt E na wykresie). W stopach żelaza z węglem w stanie równowagi austenit występuje jedynie w temperaturach wyższych od 723°C. Natomiast w niektórych stalach stopowych, zawierających np. nikiel lub mangan, austenit w stanie równowagi istnieje również w temperaturach niższych. Podobnie jak żelazo γ , austenit jest paramagnetyczny. Odnacza się przy tym dużą plastycznością, zwłaszcza przy niższej zawartości węgla. Również gęstość austenitu zależy od zawartości węgla (średnio wynosi ona 8,1 g/cm³).

Cementyt, czyli węglík żelaza jest fazą międzymetaliczną o złożonej strukturze, krystalizującą w układzie rombowym. Stosunek liczby atomów żelaza do atomów węgla wynosi 3:1 (Fe₃C), co odpowiada wagowej zawartości węgla 6,67%. W temperaturze do 210°C cementyt jest ferromagnetyczny, powyżej tej temperatury — paramagnetyczny. Gęstość cementytu wynosi 6,9 g/cm³. Jest on fazą bardzo twardą (HB ok. 800) i bardzo kruchą. Cementyt może tworzyć roztwory stałe różnowęzłowe, przy czym na miejsce atomów węgla mogą wchodzić do jego sieci atomy azotu, zaś na miejsce atomów żelaza — atomy takich metali, jak mangan, chrom, wolfram itd. Tak utworzone roztwory stałe na podstawie sieci cementytu noszą nazwę cementytu stopowego. Warto podkreślić, że zgodnie z układem równowagi żelazo-cementyt, w temperaturze otoczenia stopy żelaza z węglem do zawartości

0,008% C są jednofazowe (ferryt), natomiast wszystkie stopy o zawartości węgla od 0,008 do 6,67% składają się z dwóch faz: ferrytu i cementytu. Pomijając omówione już przemiany zachodzące w czystym żelazie oraz przemiany w czystym cementycie, w układzie żelazo-cementyt można wyróżnić następujące trzy podstawowe przemiany, zachodzące w stałych temperaturach: przemiana eutektyczna: $LC \rightarrow \gamma E + Fe_3C$,

przemiana perytektyczna: $LB + \alpha H \rightarrow \gamma J$

przemiana eutektoidalna: $\gamma S \rightarrow \alpha p + Fe_3C$.

Sz szczególnie duże znaczenie praktyczne ma przemiana eutektoidalna, na której opiera się obróbka cieplna stali.

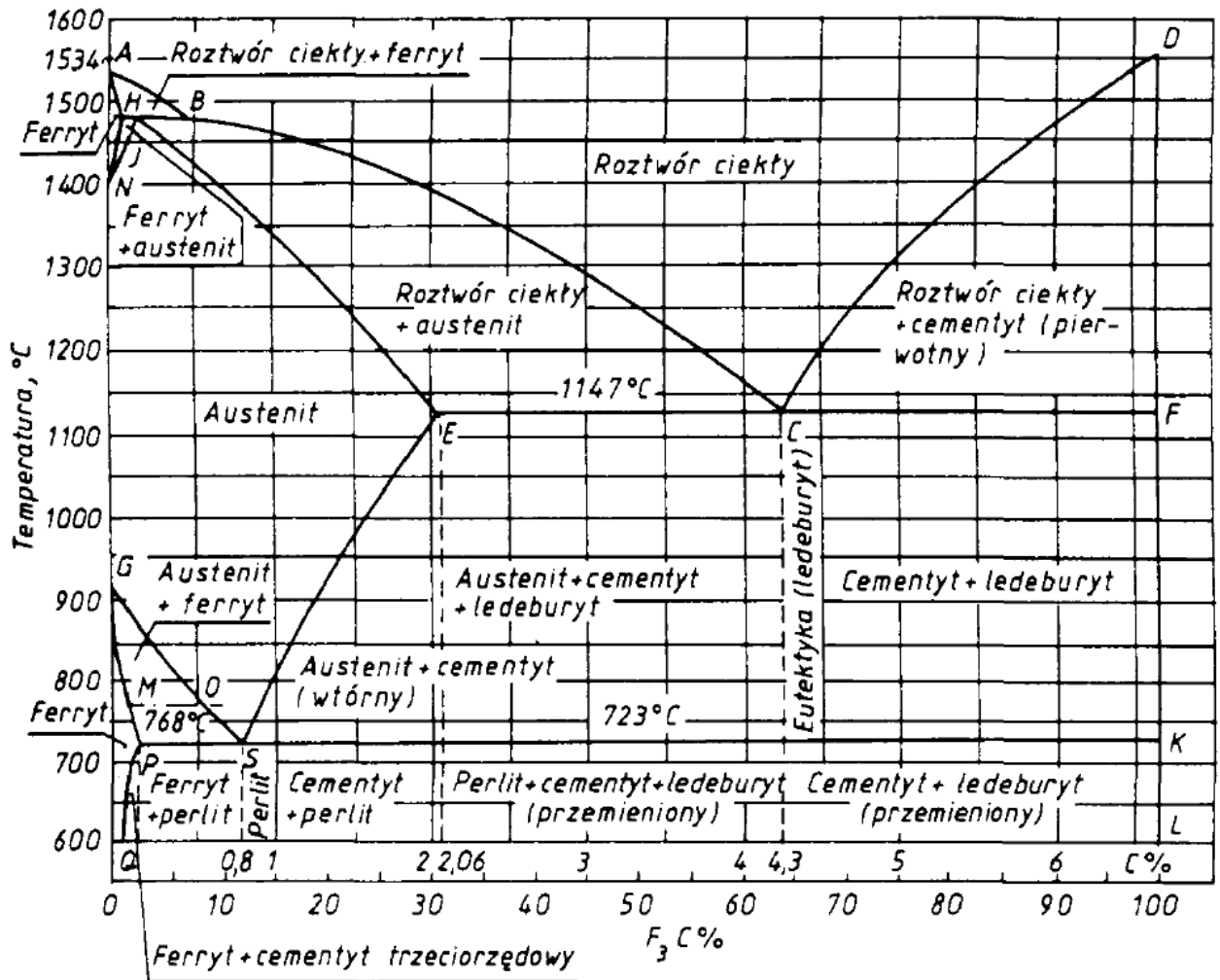
2.4. Składniki strukturalne występujące w układzie żelazo-cementyt.

Składnikami strukturalnymi nazywa się pojedyncze fazy lub charakterystyczne ugrupowania kilku faz, tworzące dany stop. Składniki te tworzą strukturę metalograficzną stopu, przy czym struktura taka składa się z jednego lub więcej składników strukturalnych. Jak więc widać, określenie *struktura* jest używane zarówno w odniesieniu do struktury krystalograficznej, związanej z odpowiednim układem atomów, jak też struktury metalograficznej, związanej z odpowiednim układem faz. Obecnie coraz częściej w odniesieniu do struktury metalograficznej używa się pojęcia *mikrostruktura*. Należy również rozróżniać określenia: składniki strukturalne i składniki układu. W przypadku układu żelazo-cementyt składnikami układu są oczywiście żelazo i cementyt. Mikrostruktura metalu lub stopu jest przedmiotem badań metalograficznych, które przeprowadza się na odpowiednio przygotowanych powierzchniach próbek. Przygotowanie polega na wyszlifowaniu i wypolerowaniu (mechanicznym lub elektrolitycznym) wybranych powierzchni próbek, (dzięki czemu otrzymuje się tzw. zgląd metalograficzny) i następnie wytrawieniu tej powierzchni odpowiednio dobranym odczynnikiem, chemicznie lub elektrolitycznie. Podczas wytrawiania zglądu odczynnik działa zwykle silniej na granice niż na powierzchnię ziarn jednej fazy lub różnych faz. Po dłuższym trawieniu poszczególne ziarna danej fazy zostają zaatakowane w różnym stopniu, zależnie od ich orientacji krystalograficznej i dlatego przybierają różne zabarwienie. Na ogół skutek trawienia na powierzchni zglądu wytwarza się delikatny relief, pozostający po wypłukaniu produktów reakcji chemicznych zachodzących podczas trawienia. Do trawienia stali węglowych i żeliw najczęściej stosuje się 1-5% roztwór HNO_3 w alkoholu etylowym. Stale o większej zawartości węgla oraz żeliwa można wytrawiać również 4% alkoholowym roztworem kwasu pikrynowego. Inny rodzaj trawienia, stosowany rzadziej, ma na celu wytworzenie na powierzchni określonej fazy nalotu umożliwiającego jej identyfikację. Jako przykład można podać trawienie niektórych stali i żeliw we wrzącym alkalicznym roztworze pikrynianu sodu, podczas którego na cementycie tworzy się ciemna warstewka, umożliwiająca odróżnienie go od ferrytu. Oprócz trawienia chemicznego, niekiedy stosuje się również trawienie elektrolityczne. W stopach układu żelazo-cementyt, zależnie od zawartości węgla i od temperatury, mogą występować następujące strukturalne składniki jednofazowe: ferryt, austenit i cementyt, oraz składniki dwufazowe: perlit i ledeburyt. Na rysunku 2.3 podano wykres równowagi układu żelazo-cementyt z oznaczonymi składnikami strukturalnymi.

Ferryt jako składnik strukturalny stopów technicznych na osnowie żelaza ma zwykle budowę komórkową, której granice ziarn ujawnia się poprzez trawienie (rys. 2.4). Dłuższe trawienie nadaje poszczególnym ziarnom różne zabarwienie, zależnie od ich orientacji krystalograficznej. Czasem ferryt może mieć budowę iglastą (np. w strukturach spin).

Austenit w stalach węglowych istnieje w stanie równowagi tylko w wysokich temperaturach. Może, więc być badany metalograficznie jedynie za pomocą mikroskopu próżniowego,

wyposażonego w urządzenie do obserwacji na gorąco. Zwyczajną techniką mikroskopową bada się austenit tylko w tych stalach stopowych, w których jest on trwały również w temperaturze otoczenia. Strukturę austenityczną ujawnia się silnie działającymi odczynnikami, np. roztworem FeCl_3 i HCl lub trawieniem elektrolitycznym, np. roztworem kwasu szczawiowego. Austenit ma również strukturę komórkową, zwykle bardziej regularną niż ferryt. Charakterystyczne dla struktury austenitu jest dość liczne na ogół występowanie rekrytalizacyjnych kryształów bliźniaczych.



Rysunek.2 2. Wykres równowagi układu żelazo-cementyt z oznaczonymi składnikami strukturalnymi

Cementyt jako oddzielny składnik strukturalny występuje w stopach układu Fe-Fe₃C w postaci cementytu pierwszorzędowego (pierwotnego), cementytu drugorzędowego (wtórnego) bądź cementytu trzeciorzędowego. Cementyt pierwszorzędowy krystalizuje w stopach zawierających ponad 4,3% C, na skutek zmniejszającej się ze spadkiem temperatury rozpuszczalności węgla w ciekłym żelazie (zgodnie z linią *CD* - rys. 2.3). Występuje on w strukturach wysokowęglowych żeliw białych w postaci grubych igieł, widocznych zwykle już pod niewielkim powiększeniem. Cementyt wtórny wydziela się z austenitu na skutek zmniejszającej się ze spadkiem temperatury rozpuszczalności węgla w żelazie γ (zgodnie z linią *ES* - rys. 2.3). Jako oddzielny składnik strukturalny, cementyt wtórny występuje w

stalach o zawartości węgla przekraczającej 0,8% i zwykle ma postać siatki otaczającej poszczególne ziarna. Cementyt trzeciorzędowy wydziela się z ferrytu na skutek zmniejszającej się ze spadkiem temperatury rozpuszczalności węgla w żelazie α (zgodnie z linią PQ - rys. 2.3). Jako oddzielny składnik strukturalny może być wyraźnie zaobserwowany w strukturze stali o niewielkiej zawartości węgla, zwykle w postaci wydzielen na granicy ziaren ferrytu.

Perlit jest eutektoidalną mieszaniną dwóch faz: ferrytu i cementytu, zawierającą 0,8% węgla i tworzącą się w temperaturze 723°C zgodnie z przemianą: $\gamma_s \rightarrow \alpha_p + Fe_3C$. Dla ścisłości należy dodać, że przy ochładzaniu perlitu od temperatury 723°C do temperatury otoczenia, z ferrytu zawartego w perlicie wydziela się jeszcze pewna ilość cementytu trzeciorzędowego (zazwyczaj pomijanego z powodu nieznaczonej jego ilości). Perlit obserwowany pod dostatecznie dużym powiększeniem charakteryzuje się budową pasemkową, gdyż składa się z płytek ferrytu i cementytu ułożonych na przemian. Odległości między płytkami zmniejszają się ze wzrostem szybkości chłodzenia i jednocześnie następuje wzrost twardości struktury. Pod mikroskopem, po wytrawieniu zglądu, ziarno

perlitu jest ciemne, jakkolwiek obydwie składniki perlitu - ferryt i cementyt obserwowane oddzielnie mają jasne zabarwienie. Ciemne zabarwienie ziarna perlitu wiąże się z jego budową płytkową i sposobem oświetlenia próbki pod mikroskopem (obserwacja w świetle odbitym). Po wytrawieniu zglądu, bardziej odporne chemicznie płytki cementytu wystają ponad płytki ferrytu, a strumień świetlny padający na taką powierzchnię ulega częściowemu rozproszeniu. W wyniku tego oglądane pod mikroskopem ziarno perlitu ma zabarwienie ciemne. Właściwości mechaniczne perlitu wynoszą w przybliżeniu: $HB = 220 \div 260$, $R_m = 700 \div 800$ MPa, $A_{10} \sim 7\%$ i $KCU_2 = 40$ J/cm

Dodatek składników stopowych na ogół przesuwa punkt eutektoidalny w kierunku mniejszych zawartości węgla, obniża lub podwyższa temperaturę przemiany eutektoidalnej oraz wpływa na wzrost własności wytrzymałościowych.

Ledeburyt jest eutektyką o zawartości 4,3% C, tworzącą się z roztworu ciekłego LC w temperaturze 1147°C, zgodnie z przemianą: $LC \rightarrow \gamma_E + Fe_3C$. W temperaturze powstania ledeburyt jest, więc mieszaniną eutektyczną dwóch faz: austenitu (zawierającego 2,06% C) i cementytu. W miarę obniżania się temperatury do 723°C, z austenitu wydziela się cementyt wtórny. W temperaturze 723°C austenit przemienia się w perlit i przy dalszym obniżaniu temperatury z ferrytu zawartego w perlicie wydziela się niewielka ilość cementytu trzeciorzędowego. W związku z tym, poniżej temperatury 723°C, ledeburyt stanowi już mieszaninę perlitu i cementytu. Struktura taka nosi nazwę **ledeburytu przemienionego**. Ledeburyt przemieniony jest, więc charakterystycznym składnikiem strukturalnym żeliw białych.

2.5. Struktury stali węglowych

W temperaturze otoczenia, w zależności od zawartości węgla, struktury stali węglowych są następujące:

- Przy zawartości węgla teoretycznie nie przekraczającej 0,008%, występuje struktura ferrytyczna (rys. 2.4).
- Przy zawartości węgla 0,008-0,02%, na granicach ziarn ferrytu pojawiają się wydzielenia cementytu trzeciorzędowego. Jak już wspomniano, takie stopy nazywane są zwykle żelazem technicznym.

- Stale o zawartości do 0,8% C noszą nazwę stali podeutektoidalnych. Ich struktura składa się z dwóch składników, a mianowicie ferrytu i perlitu, przy czym w miarę wzrostu zawartości węgla w stali wzrasta zawartość perlitu w strukturze .
- Stal o zawartości 0,8% węgla ma strukturę perlityczną (rys. 3.8) i nosi nazwę stali eutektoidalnej.
- Stale o zawartości 0,8-2,06% węgla nazywają się stalami nadeutektoidalnymi i mają strukturę składającą się z perlitu i cementytu wtórnego. W miarę wzrostu zawartości węgla, wzrasta ilość cementytu w strukturze. Teoretycznie maksymalna zawartość cementytu wtórnego występuje w stali o granicznej zawartości węgla 2,06% i wynosi wtedy około 20%. Rozpatrując własności mechaniczne stali węglowych można stwierdzić, że najniższą wytrzymałość i najwyższą plastyczność w temperaturze pokojowej ma stal o strukturze ferrytycznej. W miarę wzrostu zawartości węgla, a więc również wzrostu zawartości perlitu w strukturze, rośnie wytrzymałość i twardość stali, przy jednoczesnym obniżaniu się plastyczności. Maksymalną wytrzymałość (w stanie wyżarzonym) ma stal eutektoidalna (0,8% C). Dalszy wzrost zawartości węgla powoduje podwyższanie twardości, gdyż w strukturze pojawia się cementyt wtórny, równocześnie jednak maleje efektywna wytrzymałość stali, ponieważ staje się ona mało plastyczna. Struktura stali wykazuje często charakterystyczną pasmowość, która jest wynikiem obróbki plastycznej na gorąco. Oprócz omówionych wyżej składników strukturalnych, w każdej stali występują ponadto różnego typu wtrącenia niemetaliczne. Pod względem wielkości wtrącenia te dzieli się na podmikroskopowe, mikroskopowe i makroskopowe. Oznaczanie wtrąceń niemetalicznych w stali polega na obserwacji mikroskopowej (pod powiększeniem 90÷110×) powierzchni odpowiednio reprezentatywnie pobranych i przygotowanych próbek i określeniu rodzaju, kształtu, ilości, wielkości i rozmieszczenia wtrąceń przez porównanie z ustalonymi wzorcami. Skład chemiczny i skład fazowy wtrąceń niemetalicznych można określać za pomocą mikrosondy elektronowej.

Dokładny sposób mikroskopowego oznaczania zanieczyszczenia stali wtrąceniami niemetalicznymi podaje PN-64/H-04510, która zawiera również tablicę wzorców każdego typu wtrąceń: tlenków ułożonych łańcuszkowo, tlenków ułożonych punktowo, krzemianów kruchych, krzemianów plastycznych, krzemianów i tlenków nieodkształcalnych (globularnych), siarczków, azotków tytanu i azotków aluminium.

3. Odlewnictwo

Odlewnictwem nazywamy dział technologii metali obejmujący wytwarzanie przedmiotów metalowych poprzez wypełnienie formy, mającej zewnętrzny zarys przedmiotu, ciekłym metalem. Forma może zawierać również rdzenie odtwarzające wewnętrzne kształty wykonywanego przedmiotu. Po zalaniu formy ciekłym metalem lub stopem metali następuje proces chłodzenia odlewu wraz z formą, następnie wybijanie odlewu z formy, usuwanie rdzeni, czyszczenie powierzchni odlewu, odcinanie układów wlewowych, nadlewów i zalewek, wreszcie kontrola techniczna i obróbka wykończająca. Wszystkie te skomplikowane i różnorodne procesy, mimo postępu techniki, wprowadzaniu coraz to nowych technologii, bezpieczniejszych maszyn i urządzeń oraz przyjaznych dla środowiska materiałów i surowców – stawiają odlewnictwo w grupie gałęzi przemysłu o wyższym niż przeciętny poziomie ryzyka zawodowego. W środowisku pracy występuje tu wyjątkowo duża grupa szkodliwych i niebezpiecznych czynników fizycznych, chemicznych i psychofizycznych. Do **czynników fizycznych** należą w szczególności: poruszające się maszyny, ruchome elementy urządzeń technicznych, przemieszczające się materiały i wyroby, wysokie temperatury, hałas, wibracje, promieniowanie (podczerwone, ultrafioletowe, elektromagnetyczne, jonizujące), pyły, prąd elektryczny i pola elektromagnetyczne.

Skażenia chemiczne pochodzą z materiałów i surowców w stanie wyjściowym oraz występują jako produkty reakcji zachodzących w czasie wiązania składników mas formierskich i rdzeniowych, destrukcji formy przez ciekły metal, zabiegów metalurgicznych przygotowania ciekłych metali i stopów (przetapianie złomu, rafinacja, modyfikacja itp.). W środowisku pracy odlewni można rozróżnić następujące rodzaje czynników chemicznych, w zależności od sposobu ich oddziaływania: toksyczne, drażniące, uczulające, mutagenne i rakotwórcze (udowodnione bądź prawdopodobne). Czynniki te mogą przedostawać się do organizmu ludzkiego przez drogi oddechowe, skórę i błony śluzowe oraz przewód pokarmowy. W grupie czynników psychofizycznych istotne znaczenie, z punktu widzenia warunków pracy, ma obciążenie fizyczne organizmu (statyczne lub dynamiczne). Inne niebezpieczne i szkodliwe czynniki, na jakie narażony jest pracownik, to hałas, wibracje, gazy i pyły przemysłowe, których źródłem są zarówno procesy prowadzone na jego własnym stanowisku pracy, jak i odbywające się na innych, sąsiednich stanowiskach.

3.1. Etapy procesu produkcyjnego w odlewniach

3.1.1. Wykonanie modeli i rdzennic

Do wykonywania modeli i rdzennic stosowane są różne materiały. Należą do nich drewno, metale, tworzywa sztuczne, żywice epoksydowe, gumy, silikony, gips oraz wiele innych, jak np. papier, styropian i mieszanki woskowe. Modele styropianowe po zaformowaniu nie są usuwane z wnętrza formy, lecz zalewane ciekłym metalem. W wyniku tego procesu następuje wypalanie i zgazowanie styropianu, co prowadzi do powstawania dużych ilości szkodliwych związków chemicznych, gazów i dymów. Modele woskowe usuwane są natomiast w wyniku procesu wytapiania. Do wykonywania rdzennic stosowane są takie tworzywa jak drewno, metale, tworzywa sztuczne itp. Przy wykonywaniu modeli i rdzennic mamy do czynienia z obróbką mechaniczną różnych tworzyw, tak więc zagrożenia stwarzane są przede wszystkim przez maszyny i urządzenia służące do tej obróbki.

3.1.2. Przygotowanie mas formierskich i rdzeniowych

Masą formierską (także rdzeniową) nazywa się przerobioną w określony sposób mieszaninę różnych materiałów formierskich dobranych w odpowiedniej proporcji. Technologie przygotowania mas formierskich i rdzeniowych są podobne. Przebiegają przy użyciu odpowiednich maszyn i urządzeń, które mogą pracować pojedynczo lub połączone w zespoły. Przygotowanie mas składa się zwykle z operacji suszenia, rozdrabniania, przesiewania, odpylania, segregacji, chłodzenia, dozowania, mieszania, spulchniania oraz występujących czasem dodatkowo operacji regeneracji i powlekania piasków. Spośród materiałów stosowanych na osnowę mas największe zastosowanie znajdują piaski kwarcowe, w mniejszym zakresie piaski: cyrkonowy, chromitowy, oliwinowy, magnezytowy, korundowy, glinokrzemianowy, szamotowy i węglowy. Innymi składnikami mas są materiały wiążące lub spoiwa, do których należą między innymi: glina formierska, gips, cement, szkło wodne, fosforany (najczęściej fosforan glinu), krzemian etylu, krzemionka koloidalna, alkoholany (glinu lub cyrkonu), oleje (głównie olej lniany), żywice syntetyczne (najczęściej fenolowo-formaldehydowe, mocznikowo-formaldehydowe, melaminowo-formaldehydowe, furfurylowe, poliestrowe), ług posiarzynowy, spoiwa organiczne (skrobia, melasa) i produkty smołowe. Masy formierskie, a szczególnie masy rdzeniowe, wykazują dużą szkodliwość dla otoczenia. Szkodliwość ta występuje na wszystkich stanowiskach pracy, poczynając od transportu i przygotowania surowców i materiałów wyjściowych, kończąc na wybijaniu i oczyszczaniu odlewów, a także podczas procesu regeneracji i po wywiezieniu zużytej masy

na hałdę. Zagrożenie związane jest przede wszystkim z występowaniem szkodliwych pyłów oraz gazów, także substancji żrączych i szkodliwych. W procesach przygotowania masy formierskiej występuje również wiele zagrożeń urazowych, wynikających z kontaktu z ruchomymi elementami napędu oraz częściami roboczymi maszyn i urządzeń do przygotowania i przerobu mas, zagrożenie upadkiem z pomostów obsługi urządzeń czy porażeniem prądem elektrycznym. Do wielu wypadków dochodzi zwłaszcza w czasie prac w przestrzeniach roboczych maszyn i urządzeń w wyniku braku wymaganych zabezpieczeń (np. przed niezamierzonym ich uruchomieniem) lub wykonywania pracy bez usunięcia występujących zagrożeń (np. w czasie ruchu maszyny). Do mas formierskich i rdzeniowych jako odrębną grupę należy zaliczyć powłoki (ochronne, aktywne i wzmacniające) w postaci pudrów, past lub kompozycji ciekłych, które nanosi się cienką warstwą na powierzchnię formy lub rdzenia. Do wykonywania powłok stosuje się jako osnowę składniki podobne jak do mas formierskich i rdzeniowych, ale w postaci drobnych frakcji i pyłów. Dodatkowo stosuje się także grafit, talk i łyszczki. Materiały wiążące mogą być pochodzenia organicznego i nieorganicznego. Z produkcją powłok związane są określone zagrożenia, które jednak nie występują w odlewniach, ponieważ produkcją powłok zajmują się odrębne, wyspecjalizowane przedsiębiorstwa.

3.1.3. Wykonywanie form i rdzeni

Formy lub rdzenie mogą być wykonywane ręcznie lub maszynowo. Formowanie ręczne jest stosowane w produkcji jednostkowej i małoseryjnej zarówno dla odlewów małych, jak i dużych, maszynowe zaś – w produkcji małoseryjnej i wielkoseryjnej, co polega na zmechanizowanym wykonaniu operacji zagęszczania masy i wyjmowania modelu z formy. W dużych odlewniach do wykonywania form stosowane są automaty formierskie i zautomatyzowane linie odlewnicze. Przy wykonywaniu form, oprócz zagrożeń, jakie stwarzają wibracja, hałas i zapylenie, występują również specyficzne zagrożenia urazowe. Przy wykonywaniu form piaskowych najwięcej zdarzeń wypadkowych ma miejsce w czasie następujących czynności:

- ustawianie skrzynek formierskich na płycie modelowej,
- wyjmowanie modelu z formy,
- odstawianie wykonanych form,
- oczyszczanie modelu i wykonanej formy sprężonym powietrzem.

Podczas prac należących do pierwszej grupy, oprócz zagrożeń typowych dla transportu, często dochodzi do przewrócenia na pracowników stosu skrzynek (zdarza się, że stosy są zbyt wysokie bądź niestabilne), potknięcia pracowników o formy i narzędzia, uderzenia o skrzynki itp. Również często dochodzi do zaprószenia oczu przy oczyszczaniu powierzchni modelu z resztek masy i czyszczeniu wnętrza formy przy montażu. Przy formowaniu maszynowym dochodzi do wypadków w czasie obsługi maszyn formierskich. Dotyczy to w szczególności:

- uruchamiania mechanizmu prasującego w czasie, gdy stół maszyny nie jest obciążony skrzynką formierską, a płyta prasująca jest w położeniu bocznym,
- niezamierzonego włączenia mechanizmu wstrząsania lub prasowania. Szczególne zagrożenia występują przy wykonywaniu form i rdzeni z zastosowaniem spoiw żywicznych. Pracownicy narażeni są na oddziaływanie komponentów tych spoiw na skórę i układ oddechowy. Przy wykonywaniu rdzeni specyficzną grupę stanowią urazy związane z zaprószeniem oczu wskutek wydmuchania masy z rdzennicy lub pomiędzy płytą dmuchową i rdzennicą.

3.1.4. Suszenie i utwardzanie form i rdzeni

Suszenie form i rdzeni polega na usunięciu z nich cieczy, zwłaszcza wody. Temperatura suszenia zależy od rodzaju użytego materiału wiążącego i zawiera się w przedziale 150-

600°C. W odlewniach stosowane są również masy formierskie i rdzeniowe, w których wiązanie następuje w wyniku utwardzania będącego skutkiem reakcji chemicznych zachodzących pomiędzy ich składnikami. Podczas termicznego utwardzania w temperaturze 220°C masy formierskich z żywicą nowolakową, urotropiną i stearynianem wapnia wydzielają się: tlenek i dwutlenek węgla, azot, amoniak, fenol, cyjanowodór, metan i wodór. Do odprowadzania ww. zanieczyszczeń powietrza oraz jako zabezpieczenia stosuje się urządzenia odciągu miejscowego i środki ochrony indywidualnej, w tym okulary i rękawice ochronne.

3.1.5. Montaż i zalewanie form

Montaż i zalewanie form, podobnie jak operacja wykonywania form, mogą być przeprowadzone ręcznie lub przy pomocy maszyn i automatów. Ze względu na sposób wypełniania form odlewniczych możemy mówić o grawitacyjnym wypełnianiu wnęki formy lub – w przypadku stosowania form trwałych (metalowych) – o wypełnianiu niskociśnieniowym, wysokociśnieniowym lub odśrodkowym. Proces montażu i zalewania form jest związany ze szczególnym nasileniem różnego rodzaju zagrożeń. Typowe to zagrożenia oparzeniami ciekłym metalem i narażenie na emitowane do środowiska pracy produkty termicznego rozkładu składników mas formierskich i rdzeniowych, w tym produkty reakcji chemicznych między ciekłym metalem i materiałami na powierzchni wnęki formy. Poparzenia ciekłym metalem mogą być następstwem:

- błędów wykonania formy, jej montażu i przygotowania do zalewania,
- nieprawidłowego składu mas, wykonania i przygotowania rdzeni i formy,
- niewłaściwego przygotowania lub uszkodzenia narzędzi i urządzeń do transportu metalu,
- niewłaściwej organizacji pracy itp.

Błędy wykonania formy i jej montażu:

- wytworzenie na powierzchni podziału szczeliny (przestawienie elementów formy – możliwe przy złym stanie technicznym omodelowania, skrzynek), przez którą w trakcie zalewania może przedostawać się metal; jako zabezpieczeń często używa się w takich przypadkach past uszczelniających,
- brak zabezpieczenia formy przed działaniem ciśnienia metalostatycznego, powodującego uniesienie formy i wyciek metalu przez powierzchnie podziału; zjawisku temu zapobiega się najczęściej przez użycie klamer i obciążników form,
- istotne znaczenie ma dobór odpowiedniej wielkości skrzynek formierskich i prawidłowe usytuowanie elementów układu wlewowego, co zapobiega wymyciu masy i wypłynięciu metalu na zewnątrz formy; zetknięcie metalu z wilgotną ścianką skrzynki może wywołać wybuch grożący poparzeniem. W przypadku nadmiernej wilgotności form lub rdzeni, zastosowania masy o niskiej przepuszczalności (nadmierne zagęszczenie masy, zbyt drobne frakcje piasku, nadmiar spoiwa itp.) i braku odpowietrzeń może dojść do powstania dużej ilości gazów, które z powodu braku możliwości przedostania się do atmosfery mogą doprowadzić do wyrzucenia metalu z formy. Niewłaściwe przygotowanie lub uszkodzenie narzędzi i urządzeń do transportu metalu stwarza zagrożenie niebezpiecznymi zdarzeniami, takimi jak:
- rozpryski metalu wskutek niewysuszenia i niewygrzania kadzi lub łyżki, przepalenia płaszcza kadzi lub łyżki, uszkodzenia zatyczki i mechanizmu zatyczkowego w kadzi,
- wylanie ciekłego metalu z kadzi suwnicowych i innych naczyń, np. w wyniku uszkodzenia lin, haków, uchwytów kadzi.

Inne możliwe przyczyny zdarzeń wypadkowych to:

- napełnianie ponad normę kadzi i łyżek do transportu ciekłego metalu,

- brak wystarczająco szerokich doświadczeń i przejść do stanowisk zalewania form,
- wprowadzenie bezpośrednio do kadzi nienależycie wysuszonych i wygrzanych dodatków stopowych, modyfikatorów itp.

Jako środki ochrony indywidualnej przed oparzeniami stosowana jest odpowiednia do rodzaju zagrożeń odzież ochronna, buty, okulary ochronne i ochrony głowy. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zastosowania w odlewnictwie spoiw organicznych, bazujących na żywicach (m.in. fenolowo-formaldehydowych, furfurylowych, mocznikowo-formaldehydowo-furfurylowych). W grupie tych technologii największe znaczenie ma fenolowy proces Ashland cold-box, proces mrówczanowy (MF-proces, Betaset), proces CO₂ (m.in. Novanol) lub SO₂ (m. in. Hardox). W czasie termicznego rozkładu materiałów stosowanych na rdzenie w procesie cold-box występuje emisja substancji toksycznych, w tym: tlenku węgla, cyjanowodoru, amoniaku, fenolu, formaldehydu, benzenu i toluenu. W warunkach kontaktu ciekłego metalu z formą ilość zanieczyszczeń gazowych wielokrotnie przekracza zarówno NDS, jak i NDSCh. Analizy zanieczyszczeń emitowanych w czasie zalewania form ciekłym metalem wykazują, że wydzielające się pyły zawierają na swej powierzchni zaadsorbowane cząsteczki związków organicznych. Stwierdzono obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA), charakteryzujących się oddziaływaniem mutagennym i kancerogennym. Najbardziej znanym związkiem z tej grupy jest benzo(a)piren (NDS równe 2 µg/m³) o udowodnionym działaniu rakotwórczym. Żyvice oraz produkty lotne wydzielające się podczas procesów w odlewnictwie są odpowiedzialne za wszelkiego rodzaju zmiany alergiczne, działanie drażniące oczu i górnych dróg oddechowych. Kilkunastoletnie obserwacje i badania lekarskie pracowników zatrudnionych w warunkach narażenia na działanie żywic fenolowo-formaldehydowych wykazały statystycznie znaczący wzrost zachorowań na raka płuc. Poważne zagrożenia stwarzają materiały ze znaczną zawartością węgla, w tym nawęglacze, reduktory, powłoki ochronne na formy, zasyпки smarujące, spoiwa do mas, nośniki węgla błyszczącego. Pod wpływem kontaktu z ciekłym metalem o temperaturze rzędu 1300°C zachodzą procesy pirolizy, w wyniku czego do otoczenia wydzielają się związki organiczne, jak węglowodory alifatyczne, aromatyczne i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), a ponadto organiczne związki tlenu, siarki i azotu. Jako zabezpieczenia przed szkodliwym oddziaływaniem emitowanych czynników stosowane są urządzenia do usuwania tych zanieczyszczeń z miejsca powstawania. Często są to te same urządzenia, które są przeznaczone do usuwania pyłów. Najbardziej pożądane jest jednak ograniczanie emisji zanieczyszczeń przez zmianę rodzaju i udziału komponentów w spoiwach oraz zmiana zawartości spoiw w masach. Specyficzna grupa zagrożeń urazowych występuje podczas zalewania form metalowych (odlewanie kokilowe i ciśnieniowe). Najczęściej do wypadków dochodzi w wyniku zetknięcia ciekłego metalu z wilgocią lub zanieczyszczeniami na powierzchni wnęki formy (np. przedostanie się smaru z elementów napędowych). Sytuacje takie mogą mieć miejsce zwłaszcza wówczas, kiedy napełnienie kokili metalem następuje bez jej odpowiedniego wygrzania (do temperatury 150-200°C). Występujące w takich przypadkach gwałtowne rozpryski metalu doprowadzają zwykle do ciężkich obrażeń ciała. Niedomknięcie formy (wytworzenie nadmiernej szczeliny na powierzchni podziału formy) lub brak zabezpieczenia przed przemieszczeniem się pod wpływem ciśnienia metalu ruchomych części formy prowadzi do wycieku metalu przez powierzchnię podziału. Zagrożenia poparzeniem ciekłym metalem w czasie zalewania kokil mogą mieć również miejsce w przypadku użycia niewymuszonych rdzeni piaskowych (skutki podobne jak w formach piaskowych), napełnienia ponad normę łyżek do zalewania, używania niewysuszonych i niewygrzanych łyżek, zgarniaczek do żużla i innych narzędzi. Przy odlewaniu kokilowym czynności szczególnie uciążliwe to: wyciąganie rdzeni, otwieranie połówek kokil oraz usuwanie odlewu z formy. W wyniku działania sił związanych ze skurczem wykonanie tych prac wymaga użycia znacznych sił, co stwarza

zagrożenie nadmiernym obciążeniem fizycznym pracownika. Jako zabezpieczenia stosuje się środki ochrony indywidualnej (np. okulary, buty, rękawice i fartuchy ochronne). W celu ograniczenia wysiłku fizycznego stosuje się mechanizację (np. mechaniczne otwieranie kokil, wyjmowanie z formy za pomocą wypychaczy do odlewów).

3.1.6. Wybijanie odlewów z form i usuwanie rdzeni z odlewu

Wybijanie odlewów z form polega na usunięciu masy z odlewem ze skrzynki formierskiej, oddzieleniu resztek masy od odlewu, a następnie usunięciu rdzeni. Czynności te wykonuje się najczęściej, stosując wypychanie statyczne, kraty wibracyjne lub wieloczynnościowe bębny do wybijania. Usuwanie rdzeni z odlewów może się odbywać metodą wibracyjną lub w oczyszczarkach wodnych za pomocą strumienia wody. Wybijanie odlewów jest jednym z najbardziej uciążliwych procesów technologicznych w odlewni – towarzyszy mu wydzielanie się dużej ilości pyłu, przy czym zawiera on blisko 70% SiO₂, pary wodnej oraz znacznych ilości ciepła, wibracja urządzeń powoduje unoszenie i rozprzestrzenianie się pyłu w całej hali, a hałas urządzeń do wybijania osiąga poziom nawet do 110 dB.

3.1.7. Oczyszczanie i wykańczanie odlewów

Po wybiciu odlewów z form następnym etapem jest oczyszczenie i wykańczanie odlewów oraz oddzielenie układów wlewowych i nadlewów. Podczas oczyszczania odlewów stosowane są następujące metody: oczyszczanie w bębnach obrotowych lub wibracyjnych, strumieniowo-wodne, wirnikowo-śrutowe, chemiczne, elektrochemiczne, ultradźwiękowe i cieplne. Wykańczanie powierzchni odlewów rozpoczyna się od usunięcia układu wlewowego i zasilającego oraz usunięcia zalewek i nierówności. Zabiegi te mogą być wykonane ręcznie różnymi sposobami: odbicie młotkiem lub odłamanie, odcięcie przecinakiem pneumatycznym, lub mechanicznie przy użyciu różnego rodzaju pił i szlifierek (tarczowych lub taśmowych), obcinarek mimośrodowych lub pras śrubowych. Stosowane jest również obcinanie płomieniowe, łukowo-gazowe i plazmowe. Czynności te należą do najbardziej pracochłonnych, uciążliwych, szkodliwych dla zdrowia i niebezpiecznych procesów odlewniczych. Towarzyszą im hałas, wibracja, zapylenie itp. oraz wiele zagrożeń urazowych, w szczególności przy usuwaniu układu wlewowego i nadlewów oraz oczyszczaniu powierzchni odlewów.

Pracownicy narażeni są na **urazy** m.in. przez:

- zetknięcie z będącymi w ruchu ostrymi narzędziami (skaleczenia, amputacje urazowe itp.),
- uderzenie przez narzędzia oraz przez przemieszczające się odlewy (np. urazy kończyn),
- odpryski metalu i wióry (urazy oczu),
- zetknięcie z przedmiotami i materiałami o podwyższonej temperaturze, jak: gorące odlewy, części robocze narzędzi, rozgrzane odpryski metalu i wióry itp.

Wśród **przyczyn zagrożeń** można wymienić:

- brak osłon i innych urządzeń zabezpieczających,
- brak zabezpieczenia obrabianych przedmiotów przed zmianą położenia (w tym przed upadkiem ze stołów roboczych). Powierzchnie odlewów, po usunięciu elementów układu wlewowego i nadlewów, często wymagają dodatkowej obróbki, w tym usunięcia drobnych nierówności czy pozostałości po układzie wlewowym. Do wykonywania tych prac stosuje się szlifiereki; szczególnie istotne jest osłonięcie tarczy szlifiereki i zachowanie odpowiedniego luzu między powierzchnią roboczą tarczy i podpórką obrabianych detali, co zabezpiecza przed skutkami rozerwania tarczy i wyrwaniem obrabianego detalu. Poważne zagrożenia stwarzają pyły powstające w

czasie szlifowania, np. podczas szlifowania wyrobów ze stopów aluminium, magnezu i tytanu istnieje zagrożenie wybuchem.

Podstawowe sposoby zabezpieczania przed zagrożeniami wypadkowymi przy oczyszczaniu odlewów to:

- używanie sprawnych maszyn i urządzeń oraz narzędzi,
- stosowanie środków ochrony indywidualnej (okularów, fartuchów, hełmów i rękawic ochronnych oraz ochron słuchu).

3.1.8. Kontrola jakości odlewów

Kontrola jakości odlewów polega na przeprowadzaniu badań określających gwarantującą bezpieczeństwo pracy przydatność użytkową wyrobu. Badania te wykonuje się za pomocą różnych metod, są to np.: badania ultradźwiękowe, radiologiczne (promieniowaniem jonizującym: rentgenowskim i gamma), magnetyczne, prądami wirowymi i wiele innych. Zagrożenia występują szczególnie w związku z promieniowaniem jonizującym – może ono spowodować nieodwracalne skutki dla zdrowia pracowników (stwierdzone jest zwiększenie występowania nowotworów i innych schorzeń). Narażenie na tego rodzaju promieniowanie powinno być ograniczone do minimum.

3.2. Topienie metali

Przygotowanie ciekłego metalu (stopu) do zalewania form polega na stopieniu wsadu, przegrzaniu go do odpowiedniej temperatury oraz dokonaniu zabiegów podnoszących jakość ciekłego metalu (rafinacja, modyfikacja, sferoidyzacja). Do topienia metali w odlewniach znajdują zastosowanie różne rodzaje pieców, przy których doborze należy mieć na względzie nie tylko właściwości technologiczne stopu oraz koszty ekonomiczne procesu przygotowania ciekłego metalu, ale również jego wpływ na środowisko pracy. Używane są: piece tyglowe na paliwo ciekłe i gazowe, piece płomienne, piece elektryczne (oporowe, indukcyjne tyglowe i kanałowe, łukowe), żeliwiaki oraz inne piece niekonwencjonalne stosowane rzadziej (np. próżniowe różnych odmian). Topienie i przygotowanie metalu (stopu) do zalania formy stwarzają szereg **zagrożeń na wszystkich etapach tego procesu**, takich jak: remont lub naprawa wykładziny komory roboczej, ładowanie pieca, prowadzenie wytopu, wykańczanie i spust metalu z pieca.

4. Zjawiska i procesy leżące u podstaw odkształceń plastycznych

Podstawy odkształceń plastycznych: wskaźniki odkształcenia, warunki plastyczności, prawo płynięcia plastycznego, praca odkształcenia plastycznego. Mechanizm odkształceń plastycznych i mechanizm umocnienia odkształceniowego. Zjawiska towarzyszące odkształceniom plastycznym, naprężenia własne, anizotropia właściwości plastycznych, włóknistość, tekstura. Czynniki wpływające na opór plastyczny i plastyczność materiału. Odkształcalność graniczna. Zjawisko lokalizacji odkształceń plastycznych. Tarcie w procesach obróbki plastycznej. Obróbka cieplna materiałów odkształconych. Tłoczenie: informacje o przebiegu cięcia, gięcia i kształtowania wytłoczek. Kucie i prasowanie: charakterystyka kucia swobodnego i matrycowego, specjalne sposoby kucia, wpływ kształtu odkuwki materiału na przebieg procesu technologicznego. Walcowanie: podstawowe elementy teorii walcowania, walcowanie prętów, blach taśm i rur. Ciągnięcie: wiadomości ogólne, ciągnięcie prętów i rur. Wyciskanie: przebieg procesu, rodzaje i sposób wykonywania części wyciskanych. Polimery pochodzenia naturalnego, polimery syntetyczne: metody otrzymywania polimerów syntetycznych, struktura cząsteczkowa polimerów, postacie konformacyjne. Typy budowy makrocząsteczek, masa cząsteczkowa, stopień polimeryzacji, zjawisko poldispersji, struktura krystaliczna, stany fizyczne polimerów, krzywe

termomechaniczne. Zachowanie polimerów w próbie jednoosiowego rozciągania, pełzanie i relaksacja naprężeń, izochronowe krzywe odkształcenie - naprężenie, modele reologiczne. Technologiczny podział tworzyw sztucznych, podstawowe gatunki i ich właściwości fizyczne, chemiczne, mechaniczne i inne. Charakterystyka stanu plastyczno-płynnego: ciecze lepkie i lepkosprężyste, efekt Weissenberga i efekt Barusa. Podstawowe właściwości technologiczne tworzyw sztucznych: płynność, skurcz, czas utwardzania. Podział metod przetwórstwa: metody obróbki formującej i metody obróbki wykończeniowej. Podstawy procesu uplastyczniania: uplastycznianie tłokowe, ślimakowe, mieszane, tarczowe. Charakterystyka metod obróbki formującej: prasowania, wytłaczania i formowania wtryskowego. Charakterystyka metod obróbki wykończeniowej: termoformowanie, łączenie, dzielenie, obróbka powierzchniowa, niskociśnieniowe formowanie laminatów.

SPAWALNICTWO

Spawanie gazowe polega na łączeniu części przez stapianie krawędzi materiałów ciepłem płomienia gazowego. Proces ten wykonuje się z dodawaniem drutu jako spoiwa, który stapia się w płomieniu jednocześnie z krawędziami łączonego metalu. Tylko cienkie blachy można spawać bez dodatku spoiwa, stapiając odpowiednio wywinięte krawędzie blach. Płomień gazowy uzyskuje się w wyniku spalania mieszanki gazu palnego i tlenu w palniku spawalniczym. Podstawowym gazem palnym, stosowanym w spawaniu gazowym metali, jest acetylen. Najważniejsze cechy płomienia acetylenowo-tlenowego, które wyróżniają go spośród innych płomieni gazowych to przede wszystkim:

- wysoka temperatura płomienia, sięgająca 3100 °C,
- duża szybkość spalania,
- korzystny rozkład temperatury w płomieniu,
- dwustopniowy charakter spalania, dający możliwość regulowania charakteru płomienia od nawęglającego przez neutralny do utleniającego,
- redukujący charakter oddziaływania powstających produktów spalania,
- łatwa regulacja i wizualna kontrola jakości płomienia,
- najmniejsze zużycie jednostkowe tlenu.

Wysoka temperatura płomienia pozwala na szybkie stapianie krawędzi metali, i przez to prowadzenie spawania z dużą prędkością, a redukujący charakter płomienia skutecznie chroni ciekły metal przed szkodliwym wpływem powietrza z otoczenia.

Inne gazy palne, takie jak metan (CH_4), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), wodór (H_2), gaz ziemny, dają w mieszaninie z tlenem płomień o niższej temperaturze, a charakter ich chemicznego oddziaływania na ciekły metal jeziorka spawalniczego jest przeważnie utleniający. Płomienie tych gazów rzadko są stosowane do spawania, natomiast z powodzeniem są w innych procesach takich jak lutowanie, podgrzewanie, cięcie i inne. Ponadto gazy te wymagają większych ilości tlenu do spalania niż acetylen. Proces spawania gazowego jest trudny do zmechanizowania i dlatego jest on wykonywany wyłącznie metodą ręczną. Spawanie gazowe należy do najstarszych metod spawania. Jego dynamiczny rozwój na początku XX wieku poprzedziły osiągnięcia, takie jak uruchomienie przemysłowej wytwórni acetyleny w 1892 r. w Kanadzie, skroplenie tlenu w 1902 r. przez Carla von Linde oraz opracowanie palnika do spawania, jako bezpiecznego urządzenia do spalania mieszaniny tych gazów, przez francuza Charles Picarda w 1901 r. Chociaż obecnie metoda ta nie ma istotnego znaczenia dla wytwarzania konstrukcji spawanych, to ze względu na dużą uniwersalność zastosowania płomienia gazowego i prostotę urządzeń należy wciąż do powszechnie wykorzystywanej. Do materiałów niezbędnych w procesie spawania gazowego należą gazy techniczne, spoiwa i topniki.

GAZY STOSOWANE W PROCESIE SPAWANIA GAZOWEGO

WYTWARZANIE I WŁAŚCIWOŚCI ACETYLENU

Acetylen (C_2H_2) jest gazem palnym, wytwarzanym w urządzeniach zwanych wytwornicami acetylenowymi, podczas reakcji karbidu (węglika wapnia CaC_2) i wody wg reakcji:



Podczas reakcji powstaje acetylen i wapno (wodorotlenek wapnia), które jest wykorzystywane w rolnictwie i budownictwie jako wapno po karbidowe. Reakcja karbidu z wodą jest egzotermiczna, a powstające ciepło reakcji musi być odebrane przez wodę chłodzącą. Acetylen jest lżejszy od powietrza. Jego ciężar właściwy w warunkach normalnych wynosi 1,17 kg/m³. Jest gazem bezbarwnym, nietoksycznym, lecz działającym usypiająco. Zanieczyszczenia amoniakiem (NH_3), fosforowodorem (PH_3) oraz siarkowodorem (H_2S), nadają mu lekki eteryczny zapach. Gaz ten jest bardzo nietrwałym węglowodorem, ulegającym łatwo wybuchowemu rozkładowi powyżej ciśnienia 0,18 MPa. Z tego względu sprężanie gazowego acetyleny powyżej 0,15 MPa jest niebezpieczne i zabronione odpowiednimi przepisami. Acetylen tworzy z powietrzem oraz tlenem mieszanki wybuchowe w bardzo szerokich granicach (2,3-82% z powietrzem i 2,3-93% z tlenem). Największą siłę 20 wybuchu ma mieszanina zawierająca 15% acetyleny, dlatego spawanie gazowe powinno odbywać się w warunkach dobrej wentylacji. Acetylen wykazuje także duże powinowactwo chemiczne do miedzi, srebra i rtęci, tworząc z nimi wybuchowe związki zwane acetylenkami. Z tego względu materiały na instalacje i osprzęt do acetyleny nie mogą zawierać więcej niż 65% miedzi oraz 25% srebra. Acetylen rozpuszcza się bardzo dobrze w niektórych cieczach, np. w wodzie i acetonie (C_3H_6O), i w stanie rozpuszczonym nie ulega wybuchowemu rozkładowi. Dobrą rozpuszczalność acetyleny C_2H_2 w acetonie (w warunkach normalnych w 1 litrze acetonu rozpuszcza się 23% acetyleny) stosuje się do transportowania i magazynowania acetyleny w butlach stalowych pod ciśnieniem do 2 MPa w warunkach normalnych.

WYTWARZANIE I WŁAŚCIWOŚCI TLENU

Tlen (O_2) jest gazem podtrzymującym palenie. Jest bezbarwny, pozbawiony smaku i zapachu. Tlen jest nieco cięższy od powietrza – w warunkach normalnych jego ciężar właściwy wynosi 1,43 kg/m³ (powietrze 1,29 kg/m³). Na skalę techniczną tlen otrzymuje się poprzez skraplanie i destylację powietrza. Oziębione do temperatury ok. -200 °C i skroplone powietrze wolno ogrzewa się w celu odparowania azotu (-196 °C) i oddzielenia go od tlenu, który pozostaje w stanie ciekłym do temperatury -183 °C. Tlen, po odparowaniu, jest tłoczony sprężarkami do butli tlenowych pod ciśnieniem 15 MPa. W strumieniu sprężonego tlenu tłuszcze, oleje i smary zapalają się samoczynnie. Zaolejenie lub zatłuszczenie reduktora lub innych części armatury stykającej się z tlenem pod ciśnieniem większym niż 3 MPa prowadzi do groźnego w skutkach samozapłonu i wybuchu butli. Dlatego zabrania się smarowania i konserwacji urządzeń instalacji tlenowych wszelkiego rodzaju smarami, a jedynie wodą destylowaną.

URZĄDZENIA DO SPAWANIA GAZOWEGO

Typowe stanowisko do spawania gazowego przedstawia rys. 1.2. Stanowisko składa się z dwóch butli ze sprężonymi gazami, reduktorów, węży spawalniczych, palnika oraz bezpieczników zabezpieczających przed cofaniem płomienia do butli.

BUTLE DO GAZÓW TECHNICZNYCH

W butlach do gazów technicznych przechowuje się gazy w stanie sprężonym, gazy rozpuszczone pod ciśnieniem oraz gazy skroplone. W butlach na gazy sprężone magazynuje się tlen, azot, argon, powietrze, wodór itp. Butle na gazy rozpuszczone przeznaczone są przede wszystkim do acetyleny. Natomiast takie gazy jak propan, butan i ich mieszaniny przechowuje się w butlach w stanie skroplonym.

BUTLE ACETYLENOWE

Butle acetylenowe są malowane na kolor kasztanowy. Wszystkie butle do przechowywania acetylenu są wypełnione wewnątrz masą porowatą, nasyconą acetonem. Rozpuszczanie C_2H_2 w acetonie oraz obecność masy porowatej, pozwala na przechowywanie acetylenu w butlach pod ciśnieniem do 2 MPa w warunkach normalnych. Masa porowata zapobiega wybuchowemu rozpadowi acetylenu oraz przyspiesza rozpuszczanie i odparowanie acetylenu z acetonu. W typowej butli acetylenowej, o pojemności 40 dm³, porowata masa zajmuje ok. 20% objętości, aceton w ilości 12 kg zajmuje ok. 40% objętości, a rozpuszczony acetylen zajmuje ok. 30% objętości, resztę stanowi przestrzeń bezpieczeństwa. Z jednej butli można pobierać do 1 m³ C_2H_2 na godzinę. Większy pobór powoduje porywanie przez acetylen acetonu, co pogarsza właściwości płomienia, a tym samym efekty spawania. Dopuszczalny przepisami ubytek acetonu z butli wynosi 0,4 kg. Zmniejszająca się ilość acetonu w butli zwiększa groźbę jej wybuchu. Z tego też powodu nie wolno eksploatować butli acetylenowych w pozycji leżącej. Nie należy też opróżniać butli całkowicie z acetylenu, lecz zaleca się pozostawić nadciśnienie ok. 0,2 MPa. Podczas spawania na butli powinien zawsze znajdować się klucz do zaworu, aby w razie niebezpieczeństwa cofnięcia się płomienia można było szybko zamknąć zawór.

BUTLE TLENOWE

Butle tlenowe są malowane na kolor błękitny. Tlen magazynuje się w butlach stalowych pod ciśnieniem 15 MPa. W pełnej 40-litrowej butli pod ciśnieniem 15 MPa znajduje się ok. 6 m³ tlenu. Tlen w butli zawiera niewielkie ilości zanieczyszczeń w postaci wody, azotu i gazów szlachetnych. Przy pobieraniu tlenu z butli, ze względu na obniżenie temperatury przy rozprężaniu gazu, może nastąpić skroplenie i zamarzanie pary wodnej zawartej w tlenie, nie należy więc pobierać go więcej niż 20 m³/h. Butli tlenowych nie wolno opróżniać całkowicie. Pozostawione niewielkie nadciśnienie tlenu ma na celu zabezpieczenie butli przed zapowietrzeniem, wilgocią z atmosfery lub innymi zanieczyszczeniami z zewnątrz.

REDUKTORY

Gazy znajdujące się w butlach nie mogą być bezpośrednio użyte do zasilania palnika z uwagi bardzo wysokie ciśnienie. Poza tym, w miarę opróżniania butli, ciśnienie gazu spada, co zmuszałoby spawacza do ciągłej regulacji płomienia. Dlatego między butlę a palnik instaluje się reduktor, którego zadaniem jest obniżenie ciśnienia gazu z butli do ciśnienia roboczego i utrzymanie stałego ciśnienia gazu w palniku, niezależnie od ciśnienia panującego w butli. Zwykle, za reduktorem, ciśnienia gazów zasilające palnik, zależnie od rodzaju palnika, wynoszą:

- tlenu 0,2-0,6 MPa,
- acetylenu 0,01-0,08 MPa.

Działanie reduktora polega na współpracy zaworu redukcyjnego z gumową przeponą oraz układu sprężyn. Po ustawieniu żądanego ciśnienia roboczego gazu reduktor działa automatycznie. Otwarcie zaworu butlowego powoduje przepływ gazu łącznikiem do komory wysokiego ciśnienia zamykanej zaworem redukcyjnym. Trzpień grzybka zaworu opiera się o gumową membranę w komorze niskiego ciśnienia. Ciśnienie robocze gazu ustala się przez wkręcanie śruby nastawczej. Sprężyna regulacyjna podnosi wówczas przeponę, która jednocześnie podnosi grzybek zaworu redukcyjnego otwierając szczelinę w zaworze dla przepływu gazu z komory wysokiego ciśnienia do komory niskiego ciśnienia i dalej do palnika. Gdy spawanie zostanie na chwilę przerwane wzrasta ciśnienie gazu w komorze niskiego ciśnienia i przepona ugina się w dół, a sprężynka pomocnicza (3), naciskając na zaworek redukcyjny, powoduje jego zamknięcie i odcięcie dopływu gazu z butli. Manometry wskazują ciśnienia gazu w butli i ciśnienie robocze. Niekiedy zamiast manometru niskiego ciśnienia występuje rotometr, wskazujący ilościowy przepływ gazu np. w l/min. 23 Reduktory do różnych gazów mogą różnić się sposobem przyłączenia do butli. Na przykład do butli acetylenowej reduktor mocuje się za pomocą jarzma, natomiast do butli tlenowej za pomocą króćca z nakrętką.

WEŹE SPAWALNICZE

Reduktory łączy się z palnikiem acetylenowo-tlenowym za pomocą elastycznych węży spawalniczych. Są to węże ciśnieniowe wykonane ze specjalnej gumy odpornej na działanie węglowodorów i tlenu, zaopatrzone w płócienne przekładki, w celu zwiększenia ich wytrzymałości. Węże te wytrzymują ciśnienie robocze do ok. 2 MPa, a ulegają rozerwaniu przy ok. 6 MPa. Węże do tlenu mają kolor błękitny, a do acetyleny czerwony. Średnica węży wynosi 4-20 mm.

BEZPIECZNIKI

Bezpieczniki ceramiczne najczęściej montowane są na wylocie reduktora gazowego. Zawierają filtr wstępny (dla gazów palnych), zawór zwrotny i zaporę płomieniową. Chronią one reduktory i butle gazowe zasilające palniki przed skutkiem cofnięcia płomienia i powrotnego przepływu gazu.

PALNIKI ACETYLENOWO-TLENOWE

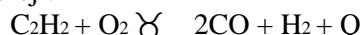
Palnik do spawania gazowego powinien spełniać następujące zadania:

- zapewnić bezpieczne spalanie acetyleny w tlenie,
- utrzymywać stałą wydajność cieplną płomienia o określonych właściwościach fizykochemicznych,
- nadawać płomieniowi odpowiedni kształt,
- odpowiednio kierować płomień w miejsce spawania.

W palniku następuje dokładne zmieszanie gazów, po czym mieszanina tych gazów spala się u wylotu palnika. Zależnie od zasady działania palniki gazowe dzieli się na inżektorowe i bezinżektorowe. Do spawania gazowego są stosowane najczęściej palniki inżektorowe (smoczkowe) zasilane gazami o różnym ciśnieniu. Mają one łatwą regulację płomienia i są łatwe w obsłudze. Najistotniejszym elementem palnika jest tzw. inżektor (smoczek), do którego środkowym przewodem dopływa tlen pod ciśnieniem 0,2-0,4 MPa, większym od ciśnienia acetyleny. Inżektor służy do zassania odpowiedniej ilości acetyleny do komory mieszania przez przepływający z dużą prędkością i pod większy ciśnieniem tlen. Wielkość palników spawalniczych określa się wydajnością przepływającego w nim acetyleny w jednostce czasu (dm³/h). Wydajność palnika można regulować przez wymianę nasadek oraz przez regulację zaworami na rękojeści palnika. Palniki tego typu mają wydajność od 40 do 2000 dm³ C₂H₂/h. W palnikach bezinżektorowych (rys. 1.5) mieszanie gazów następuje wewnątrz korpusu palnika lub na zewnątrz palnika. Palniki z wewnętrznym mieszaniem gazów są zasilane gazami o jednakowym ciśnieniu i wymagają stosowania tzw. reduktorów równoprężnych. Palniki takie pracują bardzo stabilnie w zakresie wydajności 1-1000 dm³/h C₂H₂. Są one często wykorzystywane do precyzyjnego spawania drobnych części, np. w pracach jubilerskich.

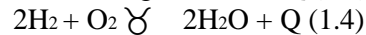
PŁOMIEŃ ACETYLENOWO-TLENOWY

Płomień acetylenowo-tlenowy składa się z trzech charakterystycznych stref spalania: jądra płomienia, strefy odtleniającej i kity płomienia. Pierwsza strefa, zwana jądrem płomienia, powstaje z mieszaniny C₂H₂ + O₂ wypływającej z palnika i ma kształt ostro zarysowanego, jasno świecącego stożka. Jaskrawo świecące jądro płomienia jest wynikiem obecności na jego powierzchni rozżarzonych cząstek węgla, powstających z rozpadu C₂H₂ w temperaturze wyższej niż 300 °C. Druga strefa, zwana odtleniającą (redukującą), przylega bezpośrednio do jądra płomienia. Na powierzchni świecącego stożka, w bardzo cienkiej warstwie, następuje pierwszy etap spalania acetyleny w tlenie przy ich stosunku objętościowym 1:1 wg reakcji:



Towarzyszy tej reakcji wydzielanie dużej ilości ciepła, a temperatura gazów dochodzi do 3100 °C. W wyniku reakcji spalania pierwotnego acetyleny powstają gazy palne CO, H₂ i H o bardzo silnych właściwościach redukujących, mających podstawowe znaczenie metalurgiczne dla procesu spawania. Powstające produkty reakcji spalania pierwotnego są wypychane siłą podmuchu poza jądro, tworząc w ten sposób drugą strefę płomienia o długości do kilkunastu mm, zwaną też strefą redukującą. Strefa ta ma barwę błękitną i jest słabo widoczna. Trzecia strefa, zwana kitą płomienia, powstaje wskutek

przenikania powietrza do płomienia na drodze turbulencji i dyfuzji. W strefie tej zachodzi drugi etap spalania, w którym powstałe w reakcji pierwotnej tlenek węgla oraz wodór spalają się z tlenem z powietrza, wg reakcji:



Kita płomienia ma kolor lekko różowy. Temperatura panująca w tej strefie jest o wiele niższa niż w strefie redukującej. Powstające w wyniku spalania gazy dwutlenek węgla oraz para wodna, które nie mają już zdolności odtleniających. W tej strefie występuje też azot, który jest składnikiem powietrza. W praktyce spawalniczej rozróżnia się trzy rodzaje płomienia acetylenowo-tlenowego, w zależności od stosunku ilościowego obu gazów:

- normalny (neutralny, redukujący),
- nawęglający,
- utleniający.

Prawidłowo wyregulowany płomień normalny nie może zawierać ani nadmiaru acetylenu ani tlenu, a objętościowy stosunek tych gazów powinien, wg założeń teoretycznych, wynosić 1:1. Praktycznie jednak zużycie tlenu jest nieco większe i stosunek gazów wynosi 1:1,2. O właściwym wyregulowaniu płomienia neutralnego świadczą wyraźne ostre zarysy jasno świecącego stożka oraz lekkie białe migotanie na jego wierzchołku. Przedstawiony na rys. 1.6 płomień gazowy jest płomieniem normalnym, zwanym też neutralnym lub redukującym. Płomień neutralny stosuje się do spawania stali niestopowych i niskostopowych, miedzi oraz żeliwa. Płomień nawęglający powstaje z nadmiaru acetylenu podawanego do palnika. W wyniku reakcji spalania pierwotnego w drugiej strefie płomienia, pozostaje nadmiar węgla niespalonego w tlenie. Rozżarzone cząsteczki wolnego węgla przenikają do strefy redukującej, nadając jej jasny świecący kolor na większej długości niż stożek płomienia. Temperatura w tej części płomienia jest nieznacznie niższa niż w płomieniu normalnym. Płomień nawęglający stosuje się do spawania aluminium oraz do napawania stali. Płomień utleniający powstaje przy nadmiarze podawanego do palnika tlenu. Odznacza się krótkim jądrem i smukłą kitą. Ze wzrostem ilości tlenu płomień staje się coraz bardziej hałaśliwy. W drugiej strefie płomienia pojawiają się utleniające składniki gazowe CO_2 i H_2O , a nawet nadmiar tlenu. Płomień utleniający jest stosowany do spawania mosiądzów i lutospawania stali ocynkowej.

.METODY I TECHNIKI SPAWANIA GAZOWEGO

W spawaniu acetylenowo-tlenowym stosuje się trzy zasadnicze metody:

- spawanie w lewo,
- spawanie w prawo,
- spawanie w górę.

Poszczególne metody różnią się sposobem ustawienia i prowadzenia palnika, sposobem podawania spoiwa, usytuowaniem spoiny w przestrzeni oraz zakresem grubości spawanych części.