

## Ćwiczenie 12

# OBRÓBKA CIEPLNA ODLEWÓW ŻELIWNYCH

### 1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami poprawy właściwości mechanicznych i technologicznych odlewów żeliwnych obrabianych w procesie obróbki cieplnej. Zakres ćwiczenia obejmuje:

- przeprowadzenie obróbki cieplnej – hartowanie próbek z żeliwa szarego o graficie płatkowym, przy różnych czasach austenitzowania,
- wykonanie pomiarów twardości metodą Brinella lub Rockwella,
- przeprowadzenie obserwacji metalograficznych próbek obrabianych cieplnie przy użyciu mikroskopów: optycznego i skaningowego mikroskopu elektronowego.

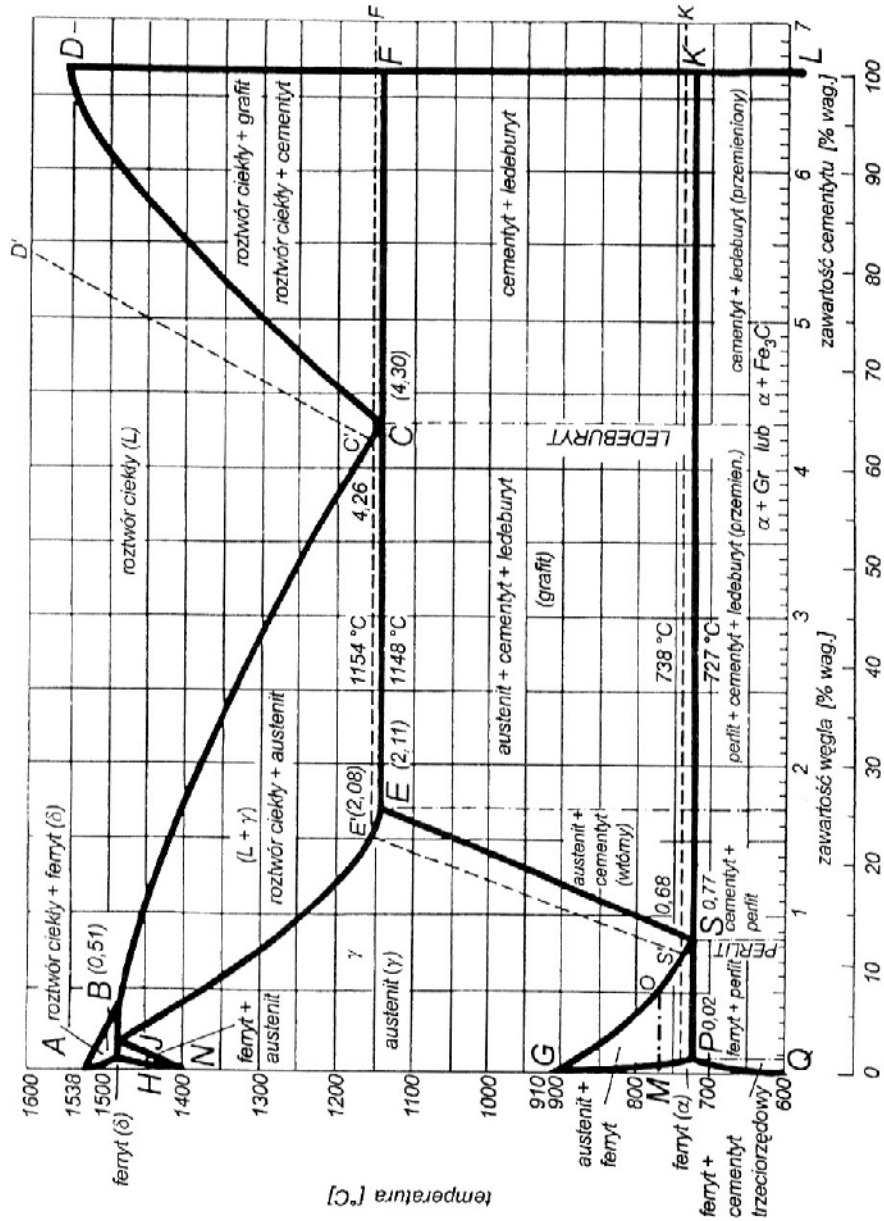
Przedstawiony zakres ćwiczenia wykracza poza przewidziany czas trwania jednego ćwiczenia laboratoryjnego, zatem prowadzący może według własnego uznania zmienić zakres ćwiczenia, pomijając lub modyfikując niektóre z wyżej wymienionych punktów.

### 2. WPROWADZENIE

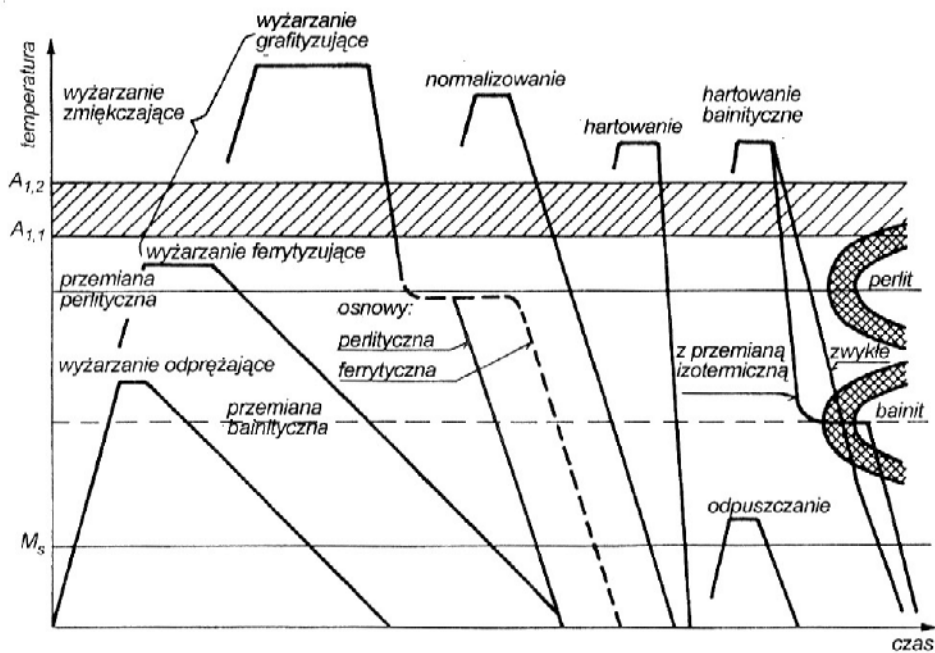
Żeliwo jest stopem technicznym, jednak przy rozważaniach nad przemianami zachodzącymi podczas obróbki cieplnej bardzo pomocnym okazuje się układ równowagi Fe-C, przedstawiony na rys. 12.1.

Do podstawowych obróbek żeliwa można zaliczyć (rys. 12.2):

- a) wyżarzanie odprężające, które ma na celu usunięcie lub zmniejszenie naprężeń odlewniczych bez zmiany struktury i właściwości mechanicznych.
- b) wyżarzanie zmiękczające – ferrytyzujące i grafityzujące. Podstawowy cel tego wyżarzania to zmniejszenie twardości, poprawa skrawalności i polepszenie właściwości plastycznych.
- c) wyżarzanie odwęglające i grafityzujące żeliwa białego – ma na celu: usunięcie cementytu przedeutektoidalnego i uzyskanie żeliwa ciągliwego.

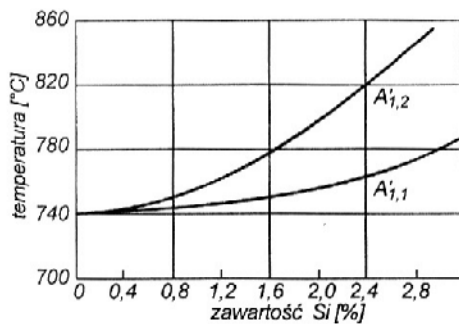


Rys. 12.1. Układ równowagi fazowej stopów Fe-C. Linie przerywane – układ Fe-C grafit



Rys. 12.2. Schematy zabiegów obróbki cieplnej żeliwa

d) hartowanie lub ulepszenie cieplne, którego celem jest: powiększenie właściwości mechanicznych i odporności na zużycie przy ścieraniu.



Rys. 12.3. Wpływ Si na położenie przedziałów równowagi temperatury przemiany eutektoidalnej w żeliwie (w/g układu stabilnego)

Żeliwo jako stop techniczny zawiera poza węglem inne pierwiastki, których obecność powoduje, iż przemiana eutektoidalna nie zachodzi w stałej temperaturze, lecz w przedziałach temperatury, których górne granice określa się symbolami  $A'_{1,2}$  i  $A_{1,2}$  (stabilny i metastabilny układ), a dolne –  $A'_{1,1}$  i  $A_{1,1}$ . Istotny wpływ na ten zakres temperatur wywiera krzem (rys. 12.3).

## 2.1. Wyżarzanie odprężające

Wyżarzanie to przeprowadza się w temperaturze niższej od  $A_1$ . Odształcenia sprężyste podczas tego wyżarzania zamieniają się w plastyczne dzięki zjawisku pełzania materiału, usuwając w efekcie naprężenia. Nagrzewanie i chłodzenie należy przeprowadzać z dużą ostrożnością, aby uniknąć dodatko-

wych naprężeń. Nagrzewanie przeprowadza się zwykle z szybkością 50-170 K/h, a ciężkich odlewów z żeliwa białego ze znacznie mniejszą ~ 5 K/h.

Zalecane są następujące temperatury wyżarzania odpężającego:

510-565°C – odlewy z żeliwa szarego niższej jakości,

565-590°C – odlewy z żeliwa szarego wysokojakościowego,

590-650°C – odlewy z żeliwa szarego wysokojakościowego, stopowego.

Czas wyżarzania w zależności od kształtu odlewu, grubości ścianek i zakresu temperatur wygrzewania przyjmuje się zwykle od 1 do 8 godzin. Chłodzenie odlewów najkorzystniej jest przeprowadzać razem z piecem, w zakresie temperatur 650-350°C nie powinno przekraczać 50 K/h. Zwykle jednak przyjmuje się, że wyjęcie z pieca odlewów z żeliwa szarego w temperaturze 400°C, a sferoidalnego 450°C, nie stwarza jeszcze niebezpieczeństwa ponownego wprowadzenia naprężeń.

## 2.2. Wyżarzanie zmiękczające

Celem tego wyżarzania jest doprowadzenie do całkowitego lub częściowego rozpadu cementytu. Cementyt jako termodynamicznie nietrwały składnik struktury rozpada się na ferryt (lub austenit) oraz grafit podczas długotrwałego wyżarzania żeliwa w wysokiej temperaturze.

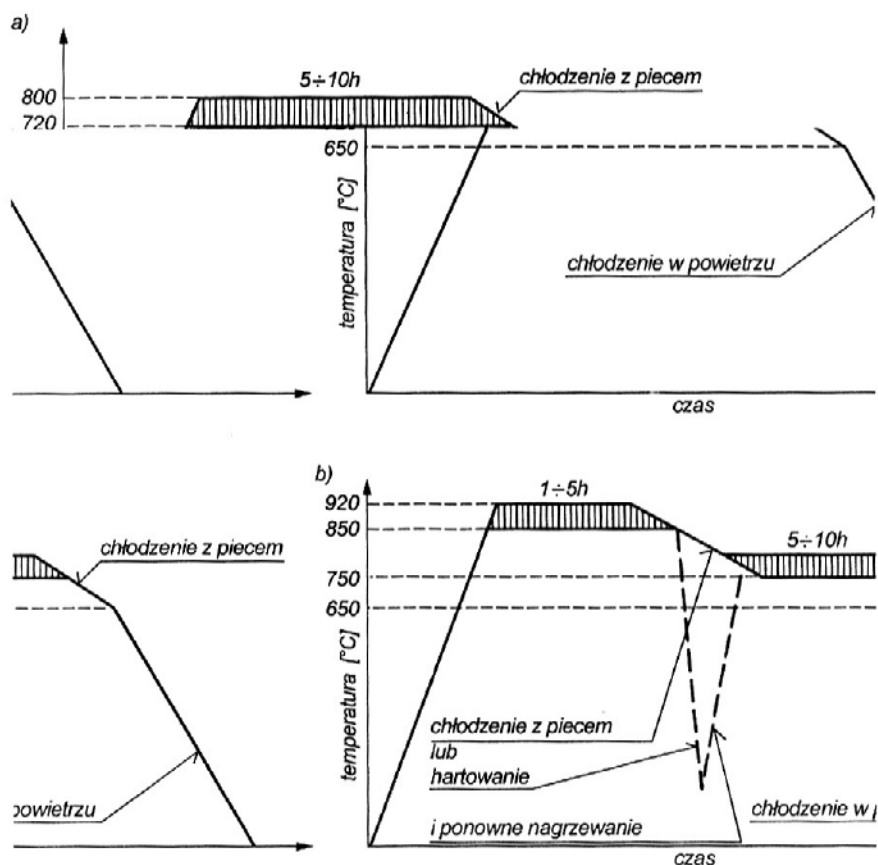
**Wyżarzanie zmiękczające ferrytyzujące** wiąże się z rozpadem cementytu eutektoidalnego i przeprowadzane jest w temperaturze tuż poniżej  $A_{1,1}$ . Czasem stosuje się również wyżarzanie powyżej temperatury  $A_{1,2}$  choć następuje wtedy najpierw austenitizowanie osnowy, a ferryt uzyskuje się w kolejnym etapie w wyniku powolnego chłodzenia odlewu w zakresie temperatury przemiany eutektoidalnej.

**Wyżarzanie zmiękczające grafityzujące**, powodujące wyeliminowanie cementytu przedeutektoidalnego, przeprowadza się powyżej temperatury  $A_{1,2}$ . Studzenie prowadzi się z różną szybkością w zależności od przeznaczenia odlewu. Odlewy, których osnowa metaliczna ma być ferrytyczna, wymagają wolnego studzenia razem z piecem, natomiast chłodzenie w powietrzu zapewnia udział perlitu w osnowie i tym samym odlew zachowuje właściwości mechaniczne przy nieznacznym obniżeniu twardości.

Wyżarzanie zmiękczające żeliwa niskostopowego i niestopowego nie powinno przekraczać temperatury 950°C z powodu możliwości nadtopienia się eutektyki fosforowej. Zbyt wysoka temperatura wyżarzania powoduje również wzrost ziarn austenitu i większą rozpuszczalność węgla w austenicie czego konsekwencją jest tendencja do perlityzacji osnowy podczas chłodzenia.

W przypadku żeliwa sferoidalnego stosowane najczęściej wyżarzanie ferrytyzujące ma nie tylko na celu zmiękczenie odlewu (poprawa skrawalności), lecz również nadanie dobrych właściwości plastycznych. Dzięki pełnej ferrytyzacji osnowy uzyskuje się takie gatunki żeliwa, jak np. Zs 37022 i Zs 40015.

Zdecydowanie lepsze właściwości plastyczne żeliw sferoidalnych można uzyskać, stosując wyżarzanie dwustopniowe rys. 12.4.



Rys. 12.4. Wyżarzanie ferrytyzujące żeliwa sferoidalnego: a) wyżarzanie jednostopniowe, b) wyżarzanie dwustopniowe

### 2.3. Wyżarzanie odwęglające i grafityzujące żeliwa białego

Warunki wyżarzania grafityzującego żeliwa białego różnią się od warunków wyżarzania odlewów z żeliwa szarego. Wyżarzanie żeliwa białego, jest istotnym zabiegiem w cyklu wytwarzania odlewów z żeliwa ciągliwego.

Rozróżnia się trzy rodzaje żeliwa ciągliwego:

- żeliwo ciągliwe białe, którego strukturę stanowi zasadniczo ferryt. Odlewy z tego żeliwa grubsze od 8 mm, mają głębiej w strukturze perlit i węgiel żarzenia,

- żeliwo ciągliwe czarne, posiadające w strukturze ferryt z węglem żarzenia i struktura ta jest w całej objętości odlewu,
  - żeliwo ciągliwe perlityczne, którego struktura różni się od struktury żeliwa ciągliwego czarnego tylko osnową, która zawiera co najmniej 80% perlitu.
- Podstawowym procesem przy wytwarzaniu żeliwa ciągliwego białego jest odwęglanie, a więc obróbka cieplno-chemiczna, natomiast przy otrzymaniu żeliwa ciągliwego czarnego i perlitycznego – grafityzacja.

### 2.3.1. Odwęglanie żeliwa białego

Odwęglanie żeliwa białego jest złożonym procesem fizykochemicznym obejmującym reakcję chemiczną atomów węgla, pojawiających się „in statu nascendi” z rozpadającym się cementytem, z cząsteczkami tlenu znajdującymi się w gazie utleniającym. Cząsteczki tlenu adsorbowane na powierzchni odlewu reagują z wydzielającym się z cementytu węglem, następuje desorpcja produktów reakcji i dyfuzja wydzielanego węgla z głębi odlewu ku powierzchni, gdzie jest on następnie utleniany.

Wyżarzanie odwęglające przeprowadza się w specjalnych mieszankach gazowych. Gotowa mieszanka gazowa wprowadzana do komory pieca oprócz CO i CO<sub>2</sub> zawiera również H<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O (parę wodną). W czasie wyżarzania odwęglającego (temperatura ~ 1000°C) nie można dopuścić do nadmiaru CO<sub>2</sub>, ponieważ poza utlenianiem węgla nastąpiłoby utlenianie żelaza, z drugiej strony ilość CO<sub>2</sub> musi być odpowiednio duża (kontrolowana) w fazie gazowej, aby proces odwęglania przebiegał bez zahamowań. Odwęglanie musi następować szybko jednak bez utleniania żelaza.

Atmosferę odwęglającą otrzymuje się również, zamykając szczelnie odlewy w pojemnikach żarzeniowych z dodatkiem rudy żelaza lub tlenkami żelaza, wygrzewając je w temperaturze 1000°C przez wiele godzin (nawet 120 h). Metoda ta jest teraz praktycznie nie stosowana.

### 2.3.2. Grafityzacja żeliwa białego

Warunki wyżarzania grafityzującego żeliwa białego mimo tej samej zasady procesu różnią się od warunków wyżarzania żeliwa szarego tym, że:

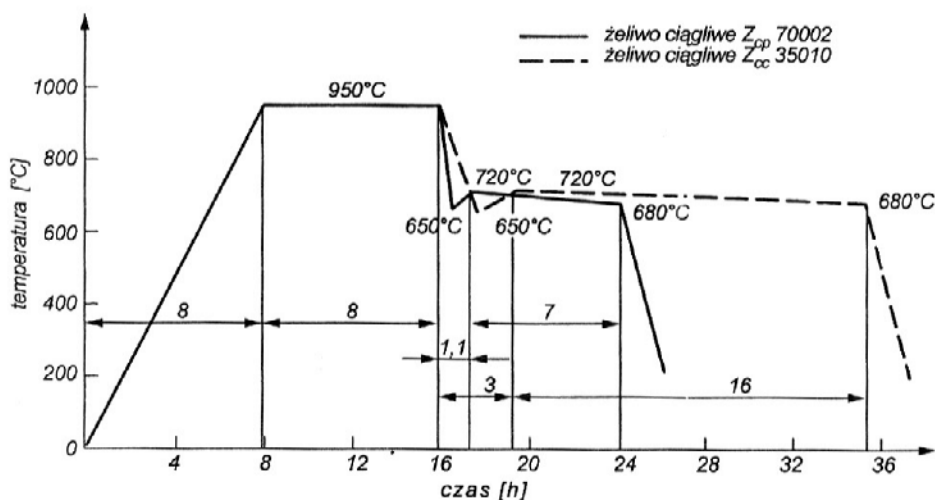
- w żeliwie białym nie ma grafitu, muszą więc powstać w nim zarodki grafitu,
- żeliwo to ma znacznie mniejszą ilość węgla, fosforu i krzemu.

Wynikają stąd istotne różnice w doborze warunków wyżarzania. Grafityzacja żeliwa białego podczas wyżarzania na czarne żeliwo ciągliwe przebiega w następujących stadiach:

- w wysokiej temperaturze 950-1050°C następuje zanik cementytu przedeutektoidalnego i krystalizacja węgla żarzenia, pod koniec tego procesu struktura odlewu składa się z austenitu nasyconego węglem i węgla żarzenia,
- podczas chłodzenia odlewu do zakresu temperatury przemiany eutektoidalnej następuje wydzielenie się węgla wzdłuż linii  $E'S'$  (rys. 12.1 wykres

- Fe-C), przy czym węgiel ten narasta na istniejących już wydzieleniach węgla żarzenia,
- następnie podczas wyżarzania w zakresie temperatury przemiany eutekoidalnej następuje przemiana austenitu w perlit lub ferryt i grafit. Wymagany jest do tej operacji drugi piec.

Wyżarzanie odlewów z żeliwa białego w celu otrzymania żeliwa ciągliwego perlitycznego można przeprowadzić przez zastosowanie specjalnego cyklu wyżarzania (rys. 12.5).



Rys. 12.5. Wyżarzanie żeliwa białego o zawartości: 2,4% C, 1,2% Si, 0,6% Mn, 0,13% P i 0,10% S na żeliwo ciągliwe czarne  $Z_{cc}$  35010 – linia przerywana; na żeliwo ciągliwe perlityczne  $Z_{cp}$  70002 – linia ciągła

Strukturę żeliwa ciągliwego perlitycznego można również otrzymać przez zwiększenie zawartości manganu (do ok. 1,25%) lub chromu (do 0,2%) i molibdenu (do 0,6%), stosując cykl wyżarzania jak dla żeliwa ciągliwego czarnego.

Innym sposobem jest podgrzanie żeliwa ciągliwego czarnego do temperatury powyżej  $A_{c1,2}$  i następnie ochłodzenie odlewów w powietrzu.

## 2.4. Hartowanie i ulepszanie cieplne

Odlewy żeliwne hartuje się w podobny sposób jak wyroby stalowe. Austenitację przeprowadza się w temperaturze 30-100°C powyżej  $A_{c1,2}$ . W celu usunięcia naprężeń hartowniczych przeprowadza się odpuszczanie, które reguluje również właściwości mechaniczne ( $R_m$ ,  $HB$ ,  $A_5$ ) do żądanych wielkości, a ponadto powoduje przemianę austenitu szczątkowego. Żeliwa sferoidalne z reguły podlegają ulepszeniu cieplnemu.

Obecność grafitu w strukturze żeliwa zmienia kinetykę przemian podczas ulepszenia cieplnego w stosunku do stali. W przypadku stali, już po krótkim czasie wyżarzania w temperaturze nadkrytycznej zawartość węgla w austenicie jest równa całkowitej zawartości węgla w stopie. Węgiel w żelwie występuje częściowo lub całkowicie w postaci grafitu. W związku z powyższym zawartość węgla w austenicie w pierwszej fazie austenizowania jest mała i dopiero po pewnym czasie zbliża się do równowagowej. Żeliwo sferoidalne wymaga dłuższego czasu austenizowania niż żeliwo szare z grafitem płatkowym, np. czas potrzebny do nasycenia austenitu węglem wynosi 10 min w przypadku żeliwa ferrytycznego z grafitem płatkowym, i aż 80 min w przypadku żeliwa sferoidalnego.

Przy perlitycznej osnowie żeliwa nasycenie austenitu węglem odbywa się stosunkowo szybko, ponadto im większa jest powierzchnia międzyfazowa grafit-austenit, tj. im drobniejsze są wydzielenia grafitu, tym szybciej następuje nasycenie. Z drugiej strony, obecność w żelwie powierzchni międzyfazowych grafit-osnowa przyspiesza przemianę przechłodzonego austenitu. Wpływ na ten proces wywiera również stopień rozwinięcia powierzchni wydzieleni grafitu – im jest ona większa, tym wcześniej zaczyna się przemiana i tym większa jest krytyczna szybkość chłodzenia, niezbędna do powstania martenzytu, dlatego żeliwa szare wykazują mniejszą hartowność od żeliw sferoidalnych o tym samym składzie chemicznym.

Hartowność żeliw zdecydowanie poprawiają takie pierwiastki jak: Cu, Ni, Cr i Mo; najsilniej działa molibden, a chrom najslabiej. Natomiast w przypadku pierwiastków zawsze występujących w żeliwach wzrost zawartości węgla i krzemu zmniejsza hartowność, a powiększa ją wzrost zawartości manganu.

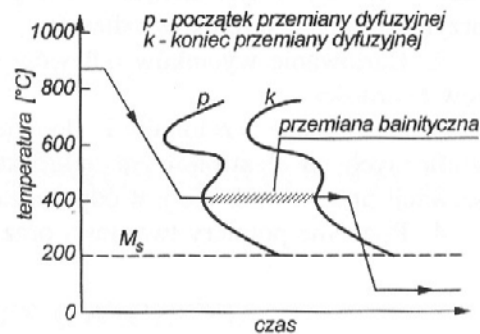
W praktyce austenizowanie odlewów prowadzi się w temperaturze 30-50°C powyżej  $A_{c1,2}$ . Czas zwykle waha się od 48 s do 2,5 min na 1 mm grubości ścianki, zależnie od składu chemicznego i struktury wyjściowej odlewu.

Zbyt szybkie nagrzewanie odlewów w początkowej fazie (zakres odkształceń sprężystych) jest niebezpieczne – grozi pęknięciami, dlatego nie należy przekraczać prędkości nagrzewania 110 K/h. Powyżej 600°C szybkość nagrzewania może być dowolna. Również szybkość chłodzenia powinna być możliwie mała, jednak większa od krytycznej. Najczęściej odlewy chłodzone są w oleju. Twardość odlewów po hartowaniu mieści się w przedziale 48-55 HRC i zależy między innymi od rozmiarów i udziału objętościowego grafitu w strukturze.

Odlewy po hartowaniu mają znaczne naprężenia hartownicze, które należy usunąć przez odpuszczanie. Prowadzi się je w temperaturze poniżej  $A_{c1,1}$  a następnie chłodzi odlew w powietrzu. W celu zmniejszenia naprężeń hartowniczych stosuje się niekiedy hartowanie stopniowe polegające na chłodzeniu pośrednim w ośrodku (kąpiel solna lub olej) o temperaturze nieco wyższej od  $M_s$ , a następnie na chłodzeniu w powietrzu. Podobny efekt uzyskuje się przy hartowaniu izotermicznym w zakresie przemiany bainitycznej. Ten sposób



hartowania wzbudza ostatnio coraz większe zainteresowanie, szczególnie przy wytwarzaniu żeliwa sferoidalnego. Przebieg takiej obróbki ilustruje rys. 12.6. Żeliwo bainityczne, otrzymywane w wyniku hartowania z przemianą izotermiczną, posiada korzystne właściwości wytrzymałościowe i sprężyste, a stosunkowo dużą plastyczność zawdzięcza brakowi fazy węglkowej w strukturze. Jeżeli bowiem w zahartowanej stali bainit jest mieszaniną iglastego ferrytu i węgla, to w żelwie, dzięki obecności odpowiedniej ilości krzemu, składa się on z iglastego ferrytu i wysokowęglowego austenitu szczątkowego.



Rys. 12.6. Hartowanie z bainityczną przemianą izotermiczną

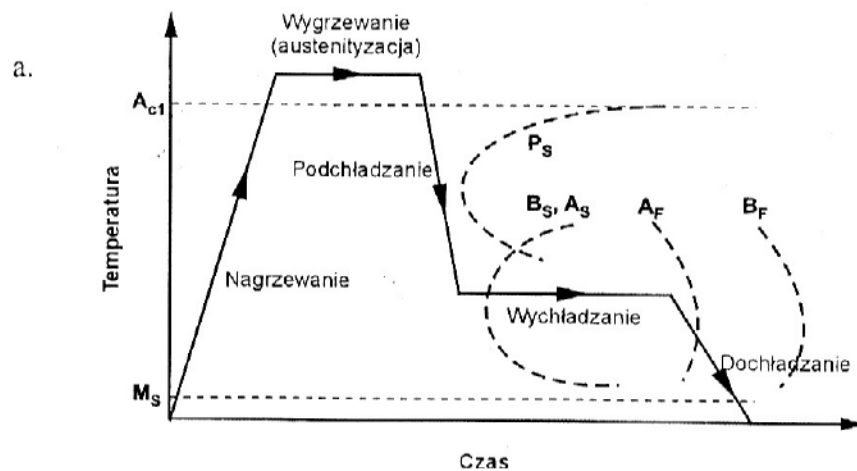
Żeliwo bainityczne uzyskuje swoją strukturę w stanie surowym (po odlewni) przez działanie takich dodatków stopowych jak Ni i Mo. Hartowanie z przemianą izotermiczną pozwala na uzyskanie podobnej struktury przy znacznie zmniejszonym zużyciu tak deficytowych pierwiastków stopowych.

Na zakończenie należy wymienić normalizowanie. Zasada tej obróbki jest identyczna jak dla stali. W przypadku żeliw normalizowanie sprzyja utwardzeniu i ujednorodnieniu struktury, przy czym często uzyskuje się perlit o małej odległości międzyplątkowej. Jeśli twardość odlewów po normalizowaniu jest zbyt duża, można je poddać obróbce zmiękczającej. Normalizowanie stosuje się powszechnie przy wytwarzaniu wyższych gatunków niskostopowego i stopowego żeliwa sferoidalnego.

#### 2.4.1. Hartowanie izotermiczne żeliwa sferoidalnego

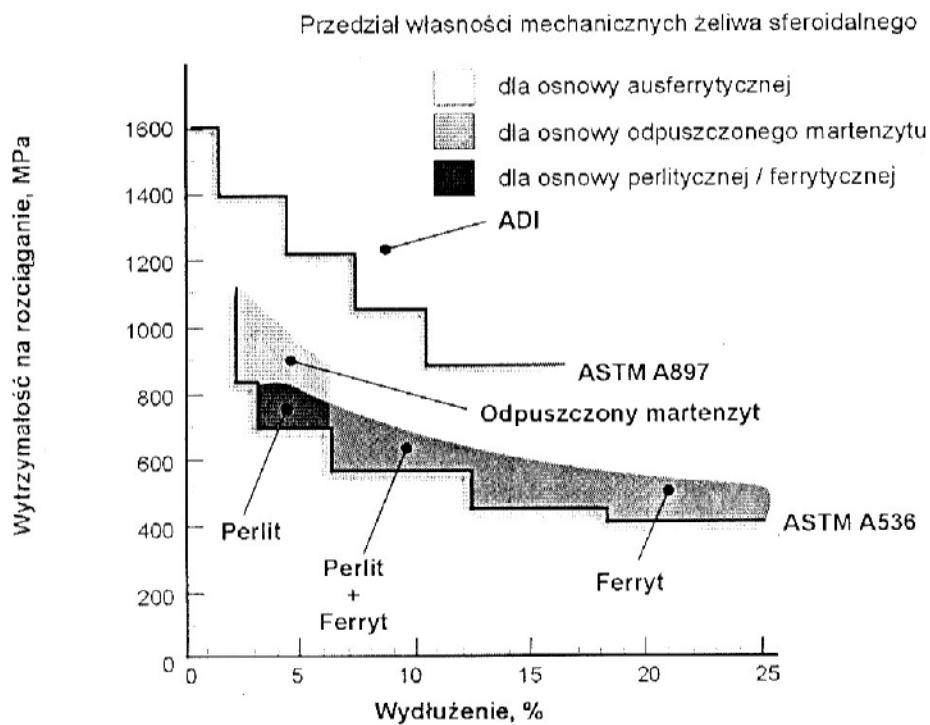
Żeliwo ADI (ang. Austempered Ductile Iron) otrzymuje się podobnie jak żeliwo sferoidalne bainityczne, tj. metodą hartowania izotermicznego żeliwa z grafitem kulkowym, często z dodatkiem niewielkiej ilości Ni, Mo lub Cu, dodanych w celu polepszenia hartowności. Tak więc, podobnie jak w wypadku żeliwa sferoidalnego bainitycznego, odlewy są poddawane austenitacji w temperaturze 815 – 950°C, która wyznacza maksymalną rozpuszczalność węgla w austenicie. Czas austenitacji zależy zarówno od temperatury, wyżarzania która determinuje współczynnik dyfuzji jak i masywności odlewu. Wzrost temperatury wyżarzania zwiększa z jednej strony maksymalną zawartość węgla w austenicie oraz skraca czas austenitacji ale równocześnie sprzyja rozrostowi ziarna. Czas wyżarzania przyjmuje się zazwyczaj od 48sek. do 2,5min. na 1mm grubości ścianki odlewu. Należy jednak uwzględnić, iż czas ten powinien być wystarczająco długi dla ujednorodnienia austenitu, tj. uzyskania jednakowej równowagowej w danej temperaturze zawartości węgla na przekroju ziaren austenitu i dlatego wynosi on około 60 – 90 minut. Po austenitacji odlewy są chłodzone do temperatury hartowania izotermicznego 230 - 400°C tak szybko aby zapobiec przemianie austenitu w perlit. W dalszej kolejności odlewy są wytrzymywane w temperaturze hartowania izotermicznego przez ściśle określony czas, celem doprowadzenia

do przemiany austenitu przechłodzonego w ferryt bainityczny. I tu pojawia się zasadnicza różnica między żeliwem sferoidalnym bainitycznym a żeliwem ADI. O ile w wypadku tego pierwszego, czas hartowania izotermicznego jest na tyle długi by doprowadzić do całkowitej przemiany austenitu w bainit, a więc mieszaninę ferrytu i węglików, o tyle w wypadku żeliwa ADI czas przemiany jest krótszy. Czas ten określa tzw. „przedział czasowy przemiany” (rys.1) (ang. processing window”), w którym musi „zmieścić się” czas przemiany austenitu przechłodzonego w mieszaninę przesyconego węglem ferrytu i austenitu, aby nie dopuścić do powstania węglików. Jak widać, zbyt krótki czas hartowania sprzyja tworzeniu pewnej ilości martenzytu. Wzrost igieł – listew ferrytu w kierunku austenitu powoduje jego przesylenie na tyle duże, że następuje stabilizacja austenitu. W rezultacie otrzymuje się mieszaninę igieł ferrytu na tle austenitu zwaną często ausferrytem lub bezwęglkowym bainitem, w którym udział austenitu może osiągać nawet do 40%. Im udział ten jest większy, czemu sprzyja wyższa temperatura hartowania izotermicznego, tym lepsze są własności plastyczne żeliwa ADI sięgające nawet 10% przy wytrzymałości na rozciąganie na poziomie 850MPa.



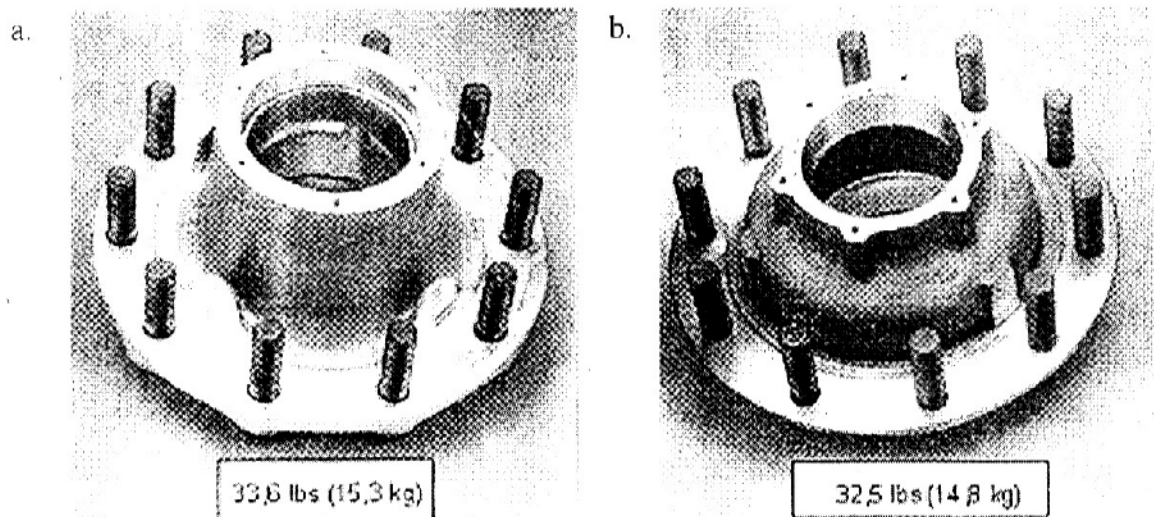
Rys.1. Schemat obróbki cieplnej żeliwa ADI

W tym miejscu warto odnotować, iż konwencjonalne żeliwo bainityczne, a więc o osnowie metalowej składającej się z ferrytu bainitycznego i węglików ma wytrzymałość na rozciąganie 900MPa przy wydłużeniu poniżej 1%. Niższa temperatura hartowania umożliwia otrzymanie gatunków żeliwa ADI o wytrzymałości do 1600MPa i wydłużeniu do 1%. Rys.2 ukazuje własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego o różnej osnowie metalowej.



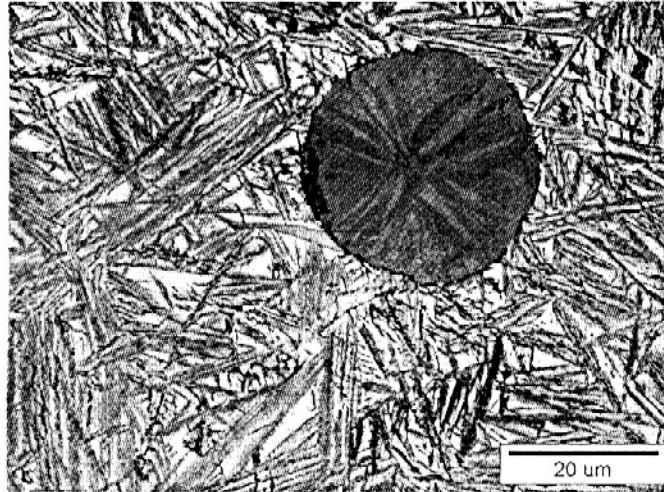
Rys.2. Własności mechaniczne żeliwa sferoidalnego o różnej osnowie metalowej

Z rys.2 wynika jednoznacznie, iż żeliwo ADI jest bezkonkurencyjne w porównaniu do innych gatunków żeliwa sferoidalnego. Rys.3 pokazuje inny przykład, który wskazuje, że żeliwo ADI może być konkurentem nawet dla odlewniczych stopów Al.



Rys.3. Porównanie masy piasty samochodu ciężarowego, wykonanej ze stopu Al. i oraz z żeliwa ADI

To unikalne skojarzenie własności wysokich wytrzymałościowych i plastycznych wynika ze szczególnej mikrostruktury osnowy metalowej żeliwa ADI, której przykład pokazano na rys.4.



Rys.4. Mikrostruktura żeliwa ADI po hartowaniu przez 90min. w temperaturze 300°C (x1500)

Z tych wyjątkowych własności mechanicznych wynika zastosowanie żeliwa ADI w przemyśle na elementy odporne na ścieranie, o wysokiej wytrzymałości zmęczeniowej, koła zębate, walki rozrządu w pojazdach samochodowych itp.

### 3. URZĄDZENIA, PRZYRZĄDY, MATERIAŁY

1. Wycinki odlewów z żeliwa ZI 250 przeznaczone do ulepszenia cieplnego.
2. Próbki metalograficzne i fragmenty przełomów z odlewów żeliwnych obrobionych cieplnie.
3. Piec laboratoryjny oporowy PESK o temp. max 1300°C.
4. Suszarka laboratoryjna o temp. max 250°C.
5. Pojemnik z olejem.
6. Uniwersalny twardościomierz Brinella-Rockwella.
7. Mikroskop optyczny metalograficzny.
8. Mikroskop optyczny stereoskopowy.
9. Elektronowy mikroskop skaningowy.

#### **4. PRZEBIEG ĆWICZENIA**

1. Przeprowadzenie obserwacji metalograficznych próbek przed i po obróbce cieplnej. W tym samym czasie prowadzona jest austenitizacja uprzednio przygotowanych wycinków odlewów.

2. Hartowanie wycinków odlewów w oleju, a następnie dokonanie pomiarów twardości.

3. Obserwacje przelomów i odpowiednio przygotowanych zglądów metalograficznych na elektronowym mikroskopie skaningowym. W czasie tych obserwacji przeprowadzane jest odpuszczanie.

4. Ponowne pomiary twardości oraz sporządzenie protokołu z badań.

#### **5. SPRAWOZDANIE**

W sprawozdaniu należy podać wyniki z pomiarów twardości wraz z wnioskami dotyczącymi czasu austenitzowania badanych wycinków odlewów. Ponadto należy podać uwagi i wnioski z przeprowadzonych obserwacji metalograficznych i fraktograficznych.

#### **L i t e r a t u r a**

1. Podrzucki C.: Żeliwo. T.I, Wyd. ZG STOP, Kraków 1991.
2. Podrzucki C., Kalata C.: Metalurgia i odlewnictwo żeliwa. Wyd. Śląsk, Katowice 1976.
3. Sakwa W.: Żeliwo. Wyd. Śląsk, Katowice 1974,
4. Prowans S.: Metaloznawstwo. PWN, Warszawa 1992.