



# PODSTAWY OBRÓBKI CIEPLNEJ STOPÓW ŻELAZA WYŻARZANIE



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



*Publikacja współfinansowana  
ze środków Unii Europejskiej  
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego*

1. POJĘCIA PODSTAWOWE
2. PRZEMIANY PRZY NAGRZEWANIU  
I POWOLNYM CHŁODZENIU STALI
3. WYŻARZANIE

# 1. POJĘCIA PODSTAWOWE

## Definicja obróbki cieplnej

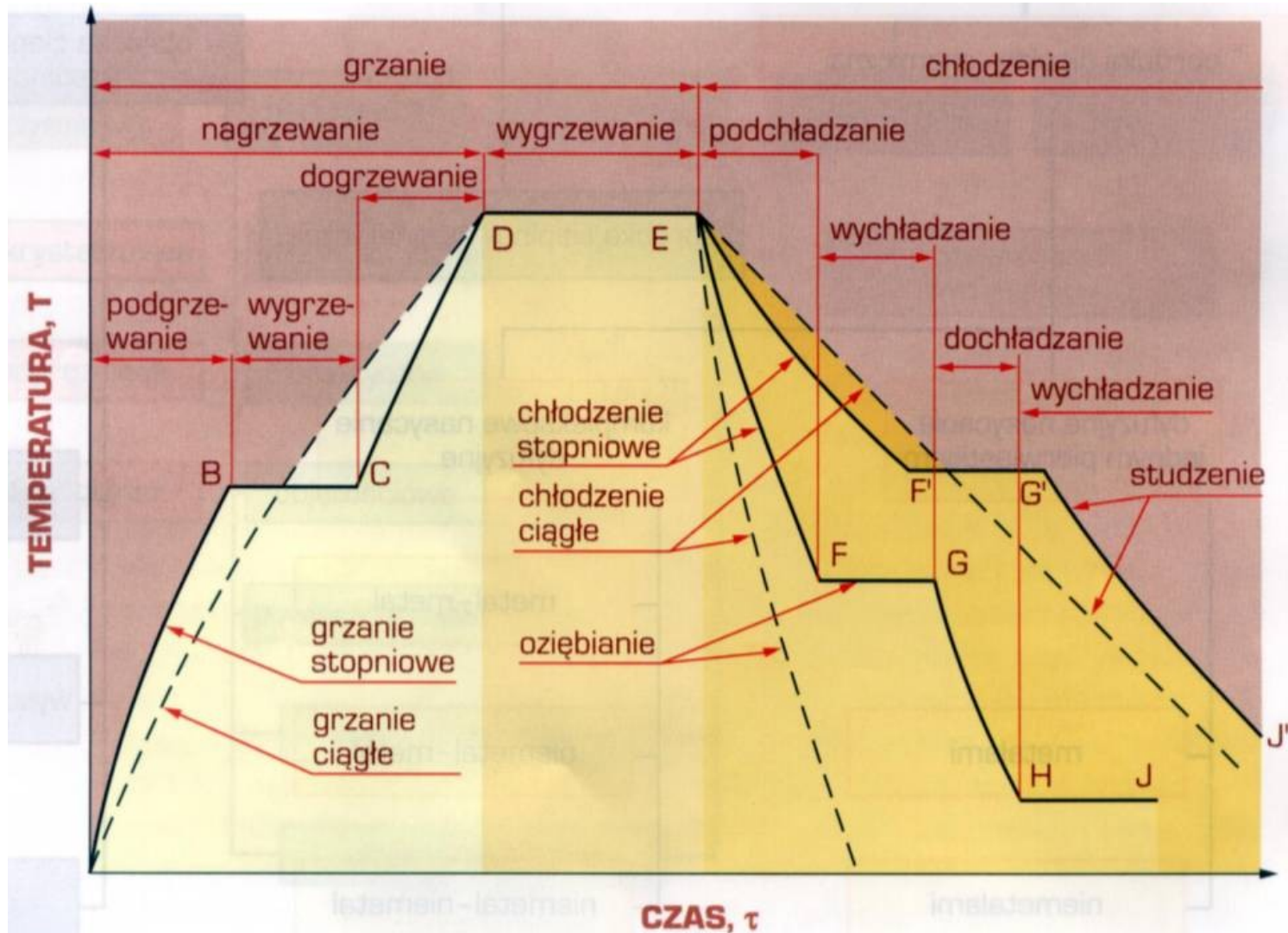
Dziedzina technologii obejmująca zespół zabiegów cieplnych powodujących zmiany struktury w stanie stałym, skutkujących poprawą właściwości metali i stopów, w wyniku działania temperatury, czasu i ośrodka.

## Rodzaje obróbki cieplnej

- obróbka cieplna zwykła
- obróbka cieplno-chemiczna
- obróbka cieplno-mechaniczna
- obróbka cieplno-magnetyczna

Operacje obróbki cieplnej, np.: hartowanie, odpuszczanie, wyżarzanie, przesycanie, starzenie.

Zabiegi obróbki cieplnej, wg.: L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo WNT, Gliwice — Warszawa 2002



## Definicje zabiegów obróbki cieplnej

Nagrzewanie — ciągłe lub stopniowe podwyższanie temperatury wsadu

Wygrzewanie — wytrzymywanie wsadu w temperaturze docelowej lub pośredniej

Grzanie — nagrzewanie + wygrzewanie

Chłodzenie — ciągłe lub stopniowe obniżanie temperatury wsadu do temperatury otoczenia lub innej, określonej warunkami obróbki

- *studzenie* — powolne chłodzenie, np. z piecem lub w spokojnym powietrzu
- *oziębianie* — szybkie chłodzenie, np. w wodzie lub oleju

# Obróbka cieplna zwykła stopów żelaza

wyżarzanie

z przemianą  
fazową:  
ujednorodniające  
normalizujące  
zupełne  
zmiękczające

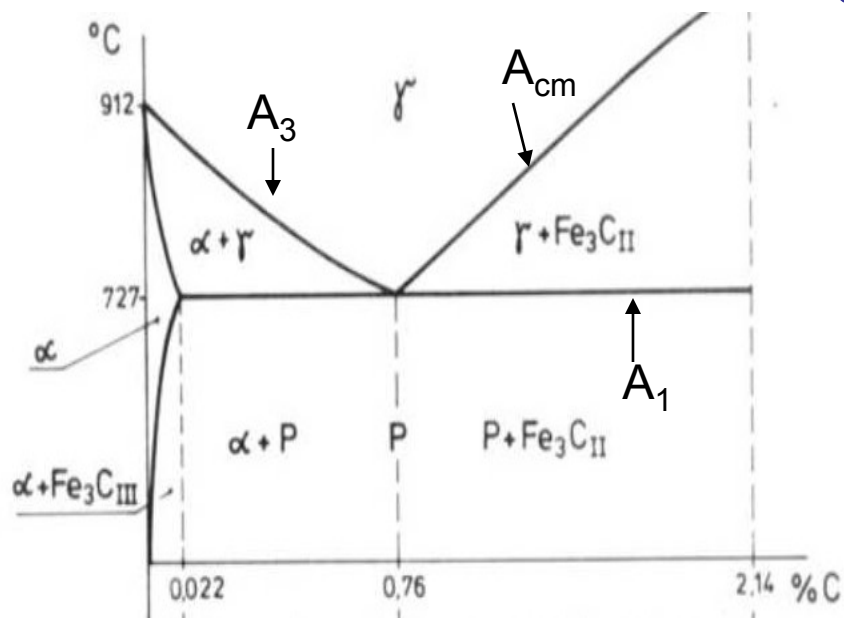
bez przemiany  
fazowej:  
rekrytalizujące  
odprężające

hartowanie i odpuszczanie

Hartowanie:  
Martensytyczne  
Bainityczne  
Objętościowe  
powierzchniowe

odpuszczanie:  
niskie  
średnie  
wysokie

## 2. PRZEMIANY PRZY NAGRZEWANIU I POWOLNYM CHŁODZENIU STALI



Fragment wykresu układu równowagi Fe-Fe<sub>3</sub>C

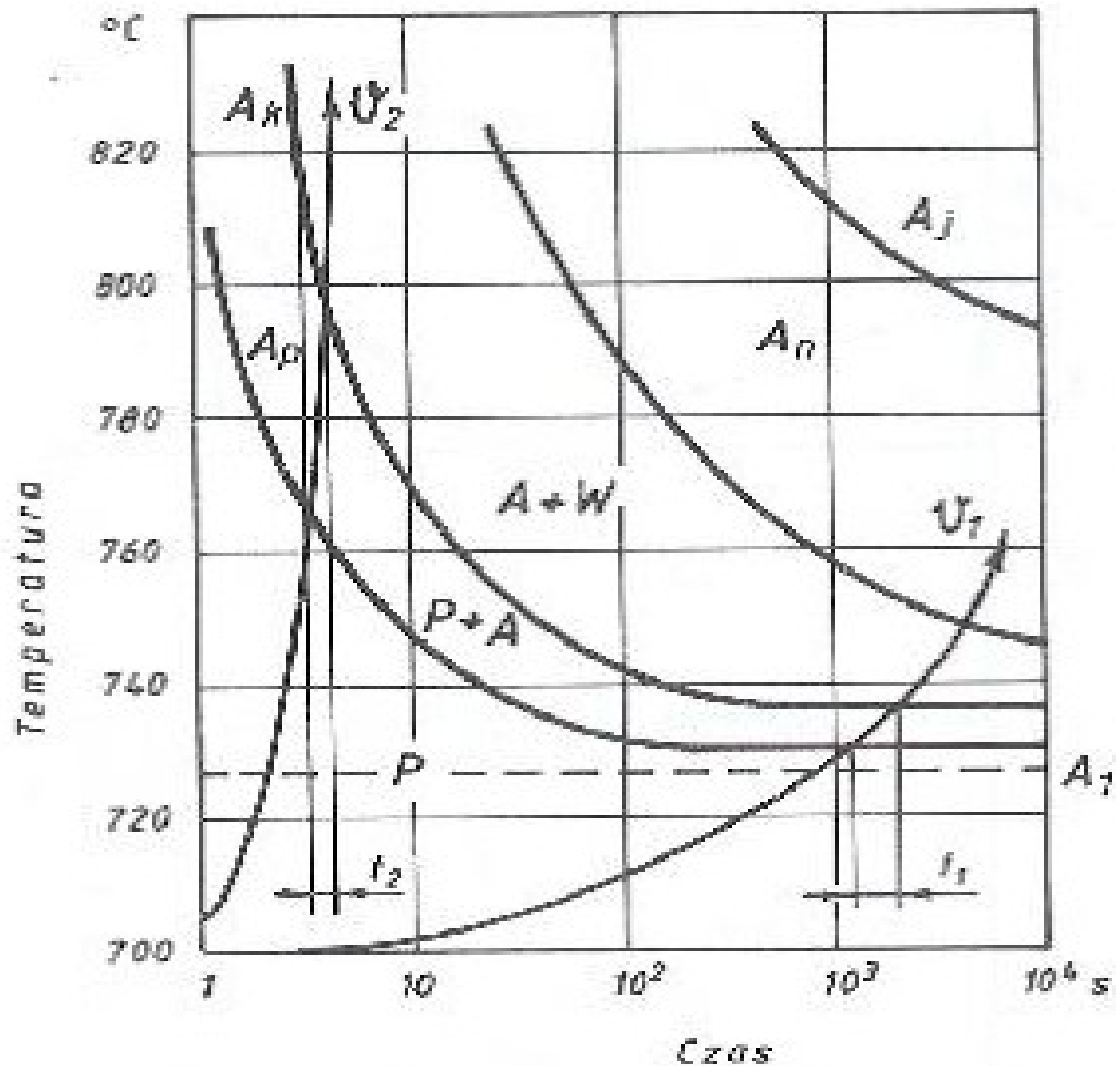
### Przykład nagrzewania stali eutektoidalnej (~0,8% C)

Po przekroczeniu temperatury  $A_1=727^{\circ}\text{C}$  następuje przemiana eutektoidalna dwufazowego perlitu P w austenit  $\gamma$  (austenityzowanie):  $P=(\alpha+\text{Fe}_3\text{C})\rightarrow\gamma$

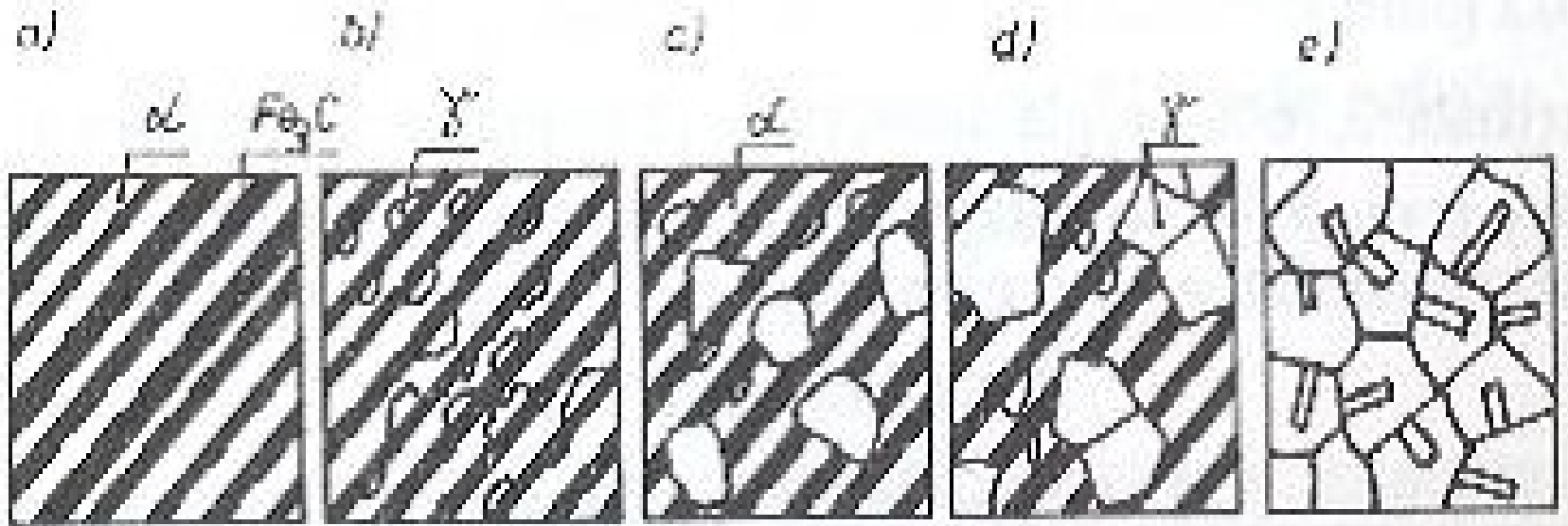
W temperaturze równowagi fazowej  $A_1$  przemiana przebiega bardzo wolno; przy rzeczywistych szybkościach nagrzewania (przegrzanie stali) przemiana przebiega w wyższej temperaturze i w krótszym czasie.

## Przemiana perlitu w austenit przy grzaniu ciągłym stali eutektoidalnej:

$A_p$ ,  $A_k$  — linie początku i końca przemiany perlitu w austenit, P — perlit, W — węgliki,  $A_n$  — austenit niejednorodny,  $A_j$  — austenit jednorodny







Schemat etapów przemian perlitu w austenit:

a) ziarno perlitu = płytki ferrytu  $\alpha$  + płytki cementytu  $\text{Fe}_3\text{C}$

b) utworzenie zarodków austenitu  $\gamma$  w płytkach ferrytu  $\alpha$

c-d) rozrost zarodków austenitu i stopniowe rozpuszczanie cementytu w austenicie

e) drobne ziarna austenitu

## Procesy podczas dalszego nagrzewania:

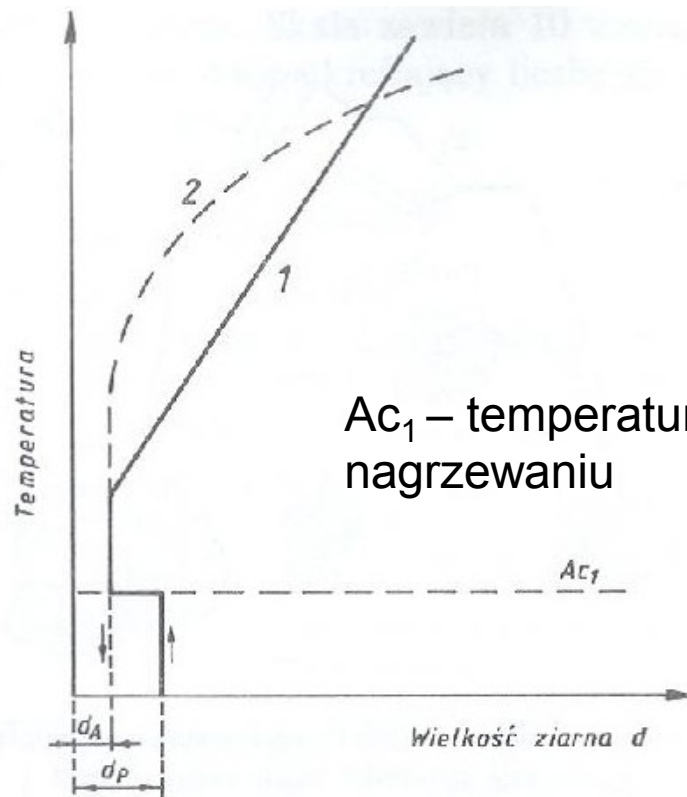
- wyrównanie na drodze dyfuzji zawartości węgla w całej objętości
- rozpuszczenie faz trudniej rozpuszczalnych (azotków, węglikoazotków)
- rozrost ziaren austenitu w wyniku pochłaniania ziaren mniejszych przez większe

## Stale mogą charakteryzować się:

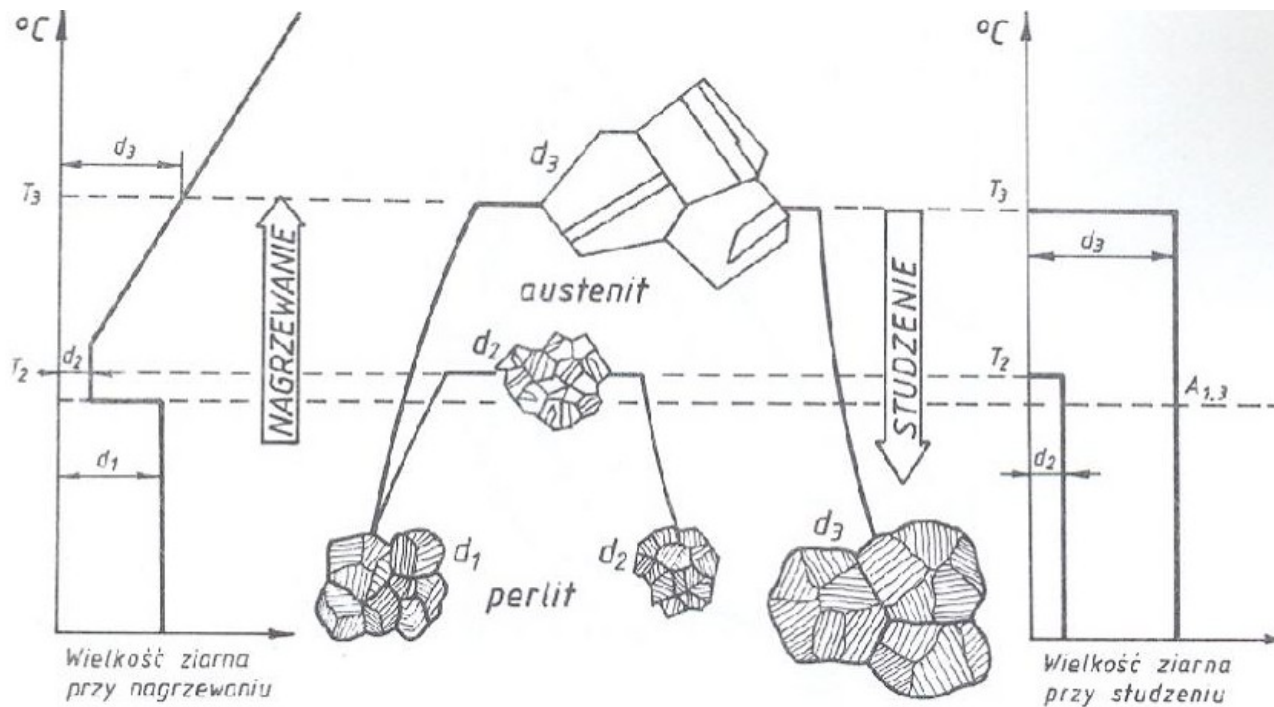
- w przybliżeniu liniowym wzrostem wielkości ziarna austenitu wraz z temperaturą wygrzewania powyżej  $A_1$  (1);
- małą skłonnością do rozrostu ziarna (2); w stalach odtlenionych aluminium rozrost ziaren hamują dyspersyjne wydzielenia azotków i tlenków usytuowanych na granicach ziaren.

Schemat rozrostu ziaren austenitu pod wpływem temperatury w stali gruboziarnistej (1) i drobnoziarnistej (2)

$d_A$  — średnica ziarna austenitu,  $d_P$  — średnica ziarna perlitu



# Schemat zmian wielkości ziarna podczas nagrzewania i chłodzenia w zakresie przemian perlit-austenit-perlit



Wielkość ziarna austenitu decyduje o wielkości ziarna stali po ochłodzeniu. Zachowanie drobnego ziarna austenitu skutkuje drobnoziarnistością stali w temperaturze otoczenia i lepszymi właściwościami mechanicznymi, zwłaszcza udarnością i granicą plastyczności. Grube ziarno poprawia skrawalność i hartowność.

## Mechanizm przemiany austenitu w perlit przy powolnym chłodzeniu (studzeniu):

- po przekroczeniu temperatury  $A_{r1}$  (temperatura  $A_1$  przy chłodzeniu) na granicach ziaren austenitu powstają zarodki cementytu;
- zarodki cementytu rozrastają się w głąb ziaren austenitu, tworząc płytki prostopadłe do granic ziaren;
- austenit otaczający płytki cementytu ubożeje w węgiel i przemienia się w ferryt w postaci płytek po obu stronach cementytu;
- nadmiar węgla z powstającego ferrytu dyfunduje do otaczającego austenitu, co umożliwia tworzenie nowych zarodków cementytu.

Przy powolnym chłodzeniu powstający perlit składa się z płytek wyraźnie rozróżnialnych przy obserwacji na mikroskopie świetlnym — perlit o małym stopniu dyspersji.

Ze wzrostem szybkości chłodzenia obniża się temperatura przemiany i wzrasta liczba zarodków cementytu. Perlit cechuje coraz większe rozdrobnienie — dyspersja i większa twardość.

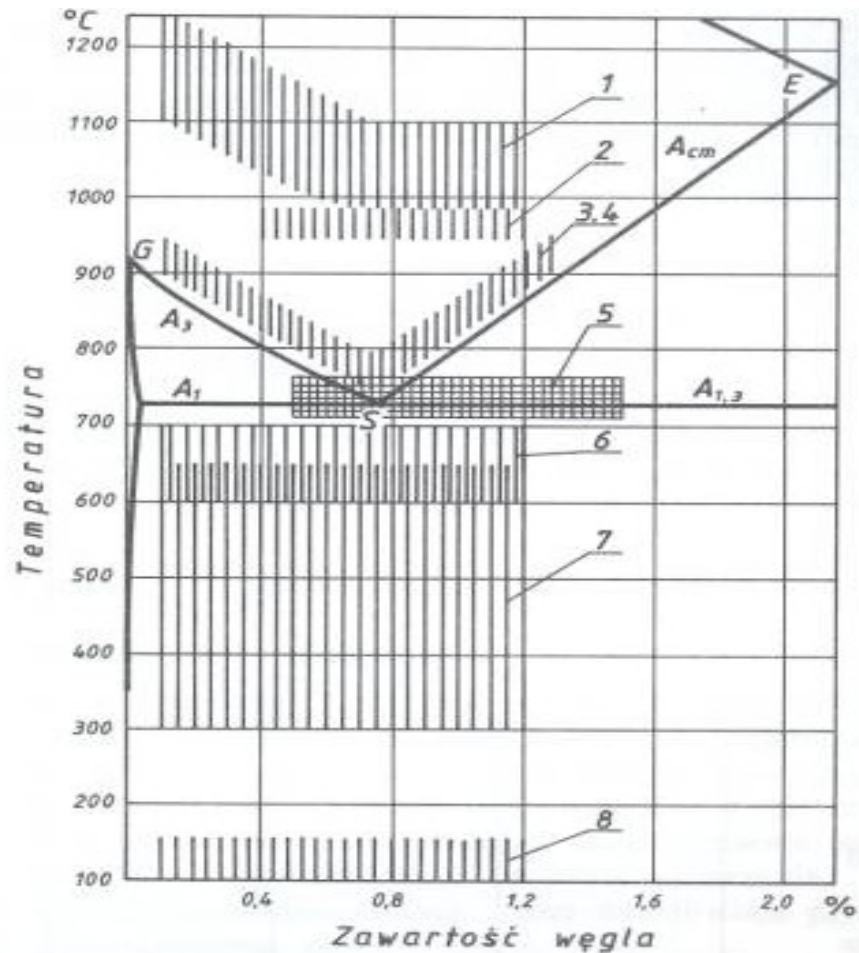
### 3. WYŻARZANIE

Rodzaje wyżarzania stopów żelaza

Wyżarzanie	Stale	Staliwa	Żeliwa z grafitem
ujednorodniające	+	+	-
normalizujące	+	+	+
zupełne	+	+	+
sferoidyzujące	+	+	-
rekrytalizujące	+	-	-
odprężające	+	+	+

## Zakresy temperatur wyżarzania stali na tle wykresu równowagi fazowej Fe-Fe<sub>3</sub>C:

- 1) ujednorodnianie,
- 2) przegrzewanie,
- 3,4) normalizowanie, wyżarzanie zupełne,
- 5) zmiękczenie,
- 6) rekrytalizowanie,
- 7) odprężanie,
- 8) stabilizowanie

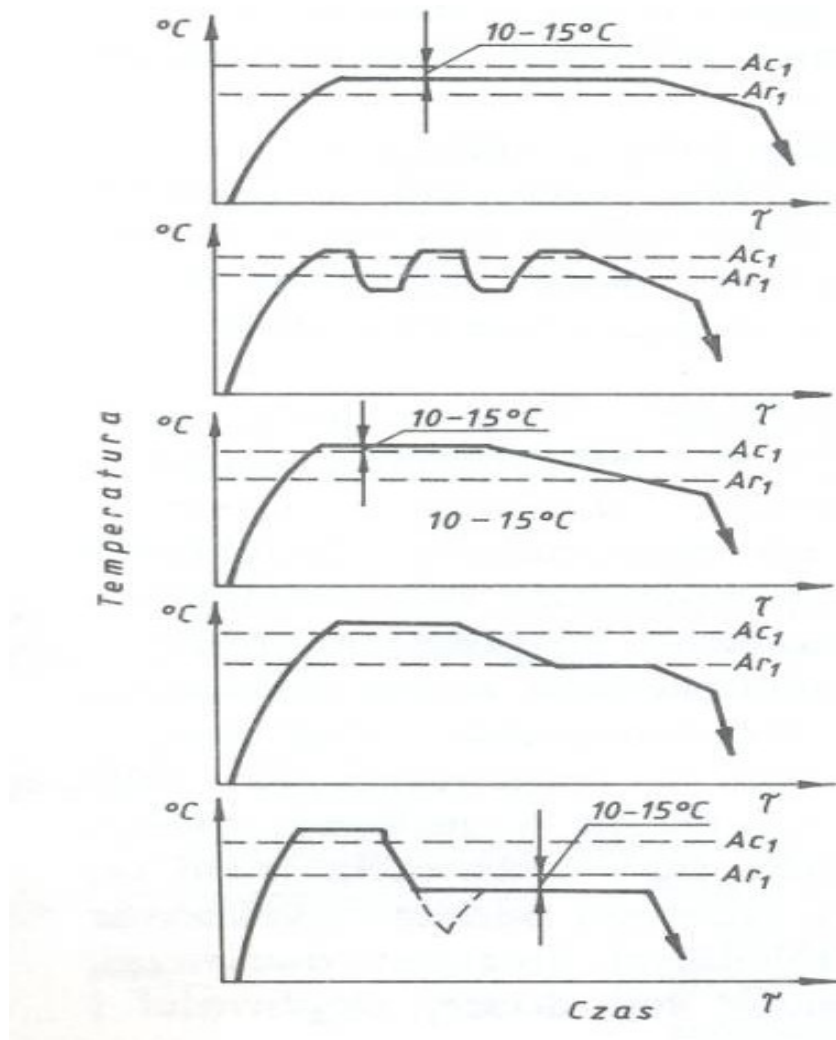


- **Wyżarzanie ujednorodniające**: po kilkudziesięciogodzinnym wygrzewaniu chłodzenie w spokojnym powietrzu, obróbka stosowana głównie dla wlewków stalowych przed obróbką plastyczną w celu ograniczenia niejednorodności spowodowanej mikrosegregacją składu chemicznego.
- **Wyżarzanie normalizujące**: po krótkim wygrzewaniu chłodzenie w spokojnym powietrzu, obróbka stosowana w celu uzyskania jednorodnej struktury drobnoziarnistej oraz poprawy właściwości mechanicznych wyrobów przegrzanych lub niewłaściwie obrobionych cieplnie oraz nadania jednakowej struktury i właściwości wyrobom stalowym w produkcji seryjnej (normalizacja).
- **Wyżarzanie zupełne**: po wygrzewaniu chłodzenie w piecu, stosowane dla stali stopowych, w których może mieć miejsce przemiana martenzytyczna przy chłodzeniu na powietrzu.
- **Wyżarzanie sferoidyzujące** (zmiękczające): zapewnia strukturę sferoidytu (cementyt kulkowy w osnowie ferrytu), a w konsekwencji zmniejsza twardość i ułatwia obróbkę plastyczną na zimno stali konstrukcyjnych i poprawia skrawalność, a w wypadku stali narzędziowych — stosowane przed hartowaniem zmniejsza kruchość.



# Przebieg różnych sposobów wyżarzania sferoidyzującego

Czas — kilka do kilkunastu godzin



- **Wyżarzanie rekrytalizujące**: stosowane do elementów stalowych po zgniole na zimno, usuwa niepożądane skutki umocnienia, tj. kruchość. Wyżarzanie rekrytalizujące wykorzystuje się zarówno do stali po zakończeniu obróbki plastycznej, jak też jako wyżarzanie międzyoperacyjne, dla umożliwienia dalszej obróbki plastycznej na zimno. Po wygrzewaniu w czasie kilku godzin chłodzenie w spokojnym powietrzu.

- **Wyżarzanie odprężające**: stosuje się do gotowych wyrobów, w których pozostały naprężenia własne po obróbce plastycznej na zimno, odlewaniu, spawaniu, hartowaniu. Naprężenia własne są szkodliwe, ponieważ mogą być przyczyną odkształceń wyrobów, a współdziałając z naprężeniami zewnętrznymi w czasie pracy elementu, mogą przyczynić się do jego przedwczesnego zniszczenia. Po wygrzewaniu w czasie kilku godzin chłodzenie w spokojnym powietrzu.