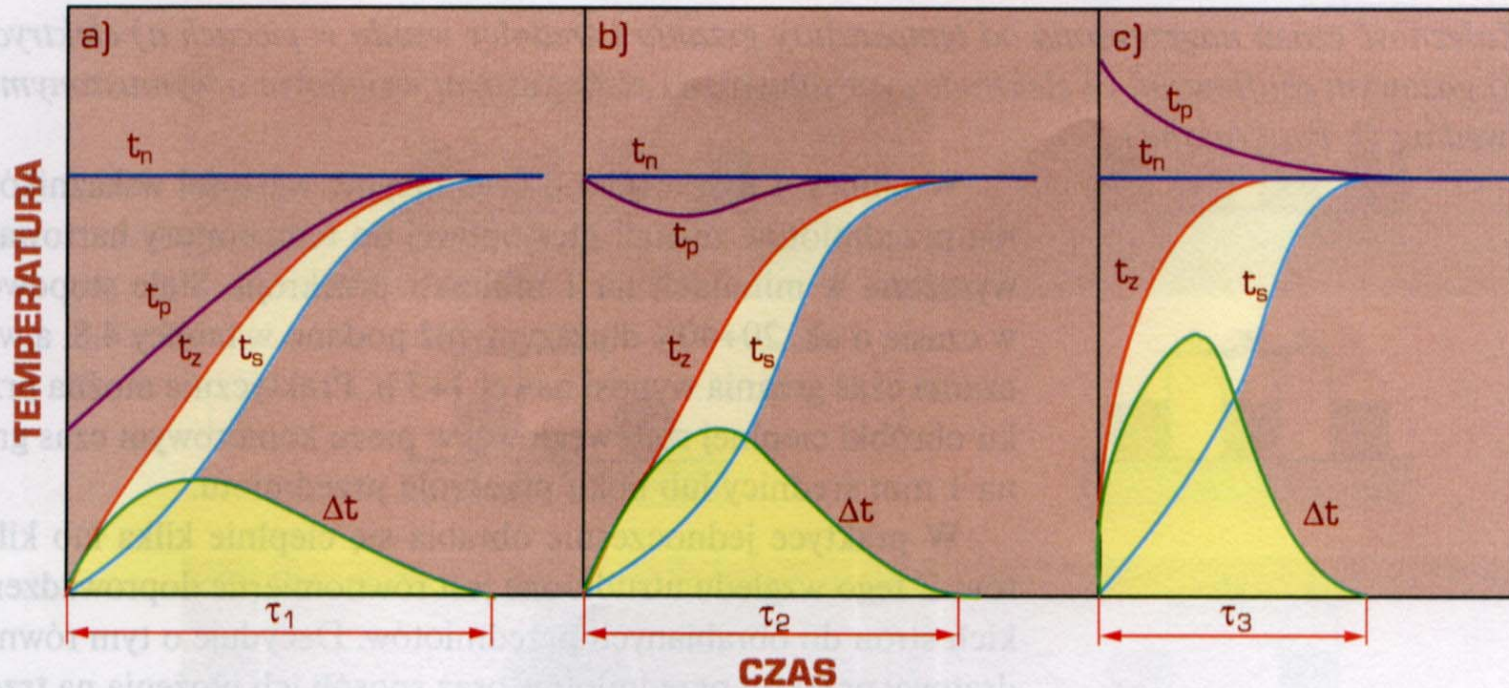


Technologia obróbki cieplnej

Grzanie i ośrodki grzejne

Grzanie: nagrzewanie i wygrzewanie



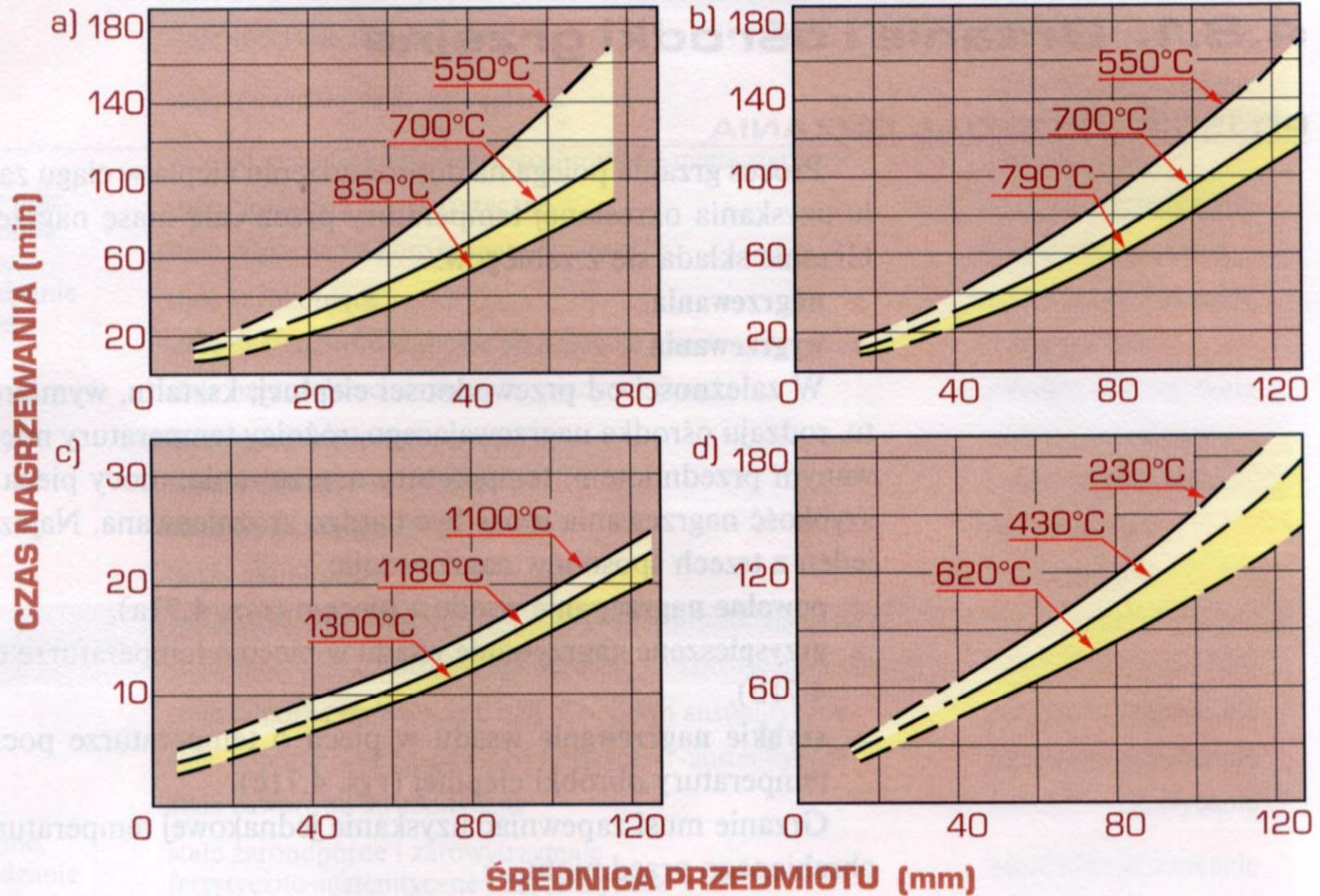
Rysunek 4.71

Schematyczne przebiegi nagrzewania a) powolnego, b) przyspieszonego, c) szybkiego;

t_n - temperatura nagrzewania, t_p - temperatura pieca, t_z - temperatura powierzchni wsadu,

t_s - temperatura rdzenia wsadu, Δt - gradient temperatury

Dobór czasu grzania



Rysunek 4.72

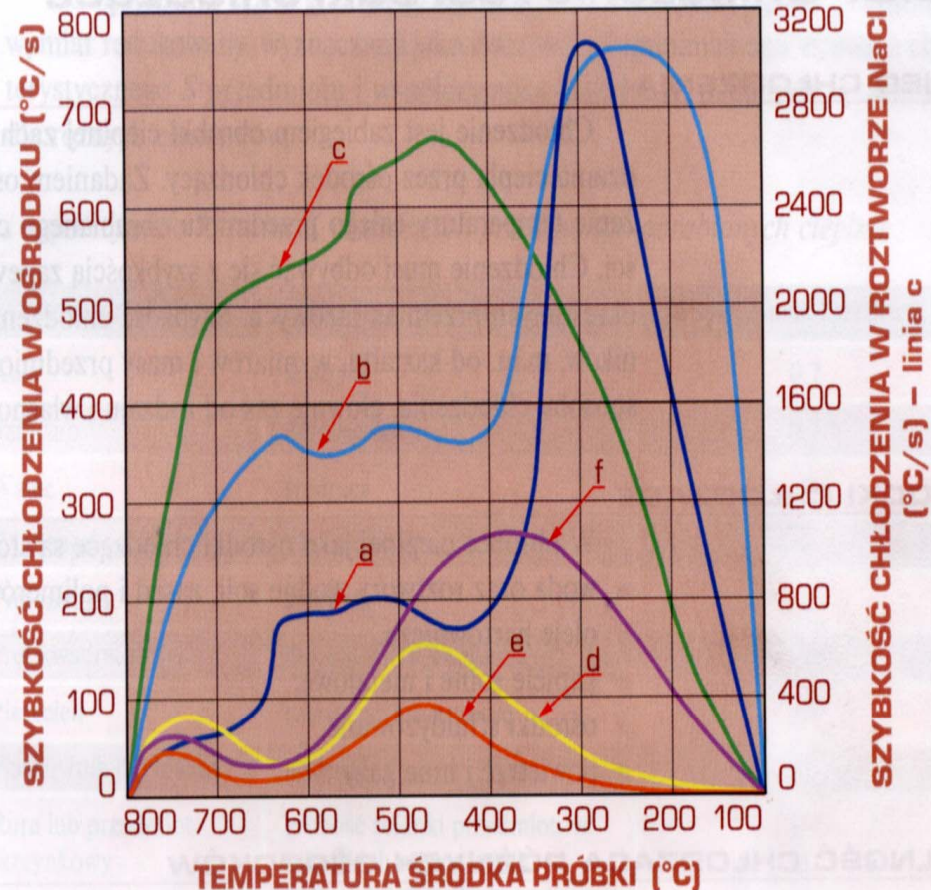
Zależność czasu nagrzewania od temperatury grzania i średnicy wsadu w piecach a) elektrycznym, b) gazowym muflowym, c) elektrodowym solnym, d) elektrycznym wglębnym o wymuszonym obiegu powietrza (według O. Pattermana)

Rodzaje ośrodków grzejnych

- Powietrze
- Ośrodki gazowe
- Złoża fluidalne
- Kąpiele solne: sole chlorkowe hartownicze (chlorki baru, sodu, wapnia oraz krzemionka lub tlenek aluminium) lub saletrzankowe (azotany sodu, potasu, azotyn sodum chromiany)
- Kąpiele metalowe: bizmut, antymon, cyna i ołów stopione

Rodzaje ośrodków chłodzących

- Woda, roztwory wodne soli, zasad, polimerów
- Oleje hartownicze
- Kąpiele solne i metalowe
- Złoża fluidalne
- Powietrze i inne gazy



Rysunek 4.74

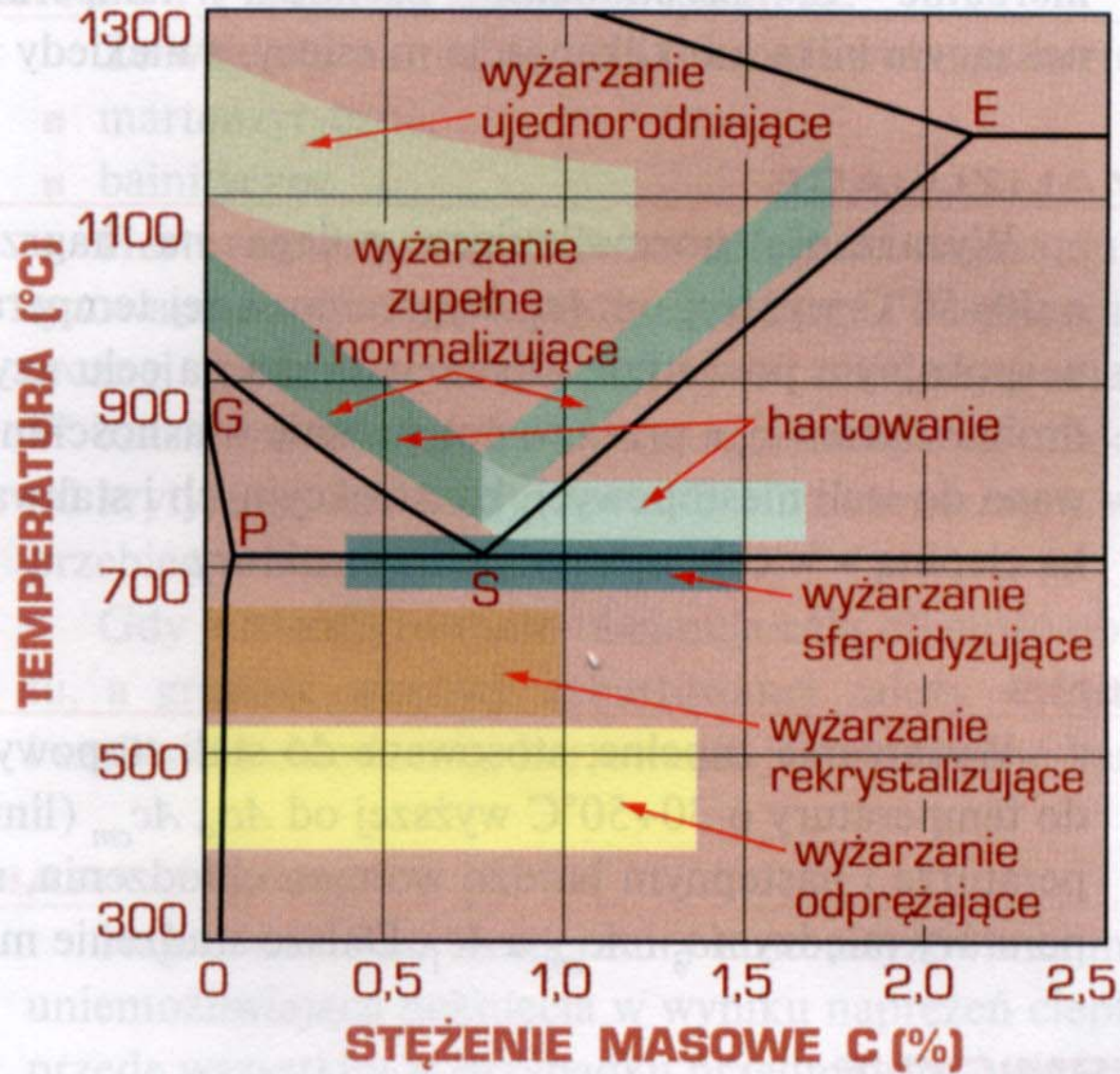
Zdolność chłodząca: a) wody spokojnej, b) wody z cyrkulacją, c) 15% wodnego roztworu NaCl, d) oleju hartowniczego OH-70 świeżego, e) oleju hartowniczego OH-70 eksploatowanego przez 7 miesięcy, f) emulsji wodno-olejowej zawierającej 10% oleju

Wyżarzanie: nagrzanie stali do określonej temperatury, wygrzanie i studzenie w celu uzyskania struktury zbliżonej do stanu równowagi

- Ujednorodniające: dla wlewków stalowych w celu ograniczenia niejednorodności spowodowanej mikrosegregacją i likwacją
- Rekrytalizujące: usuwa umocnienie zgniotowe umożliwiając obróbkę plastyczną na zimno
- Odprężające: usuwa naprężenia odlewnicze, spawalnicze, ciepłne (stabilizujące do 150 C – zapewnienie niezmienności wymiarowej; sezonowanie – w temperaturze pokojowej)
- Normalizujące: uzyskanie jednorodnej struktury drobnoziarnistej, do stali niestopowych i staliw
- Zupełne: do stali stopowych
- Izotermiczne: odmiana wyżarzania zupełnego do stali stopowych (patentowanie – do drutów)
- Sferoidyzujące (zmiękczone): zapewnia dobrą skrawalność i udarność, prowadzi do otrzymania sferoidytu

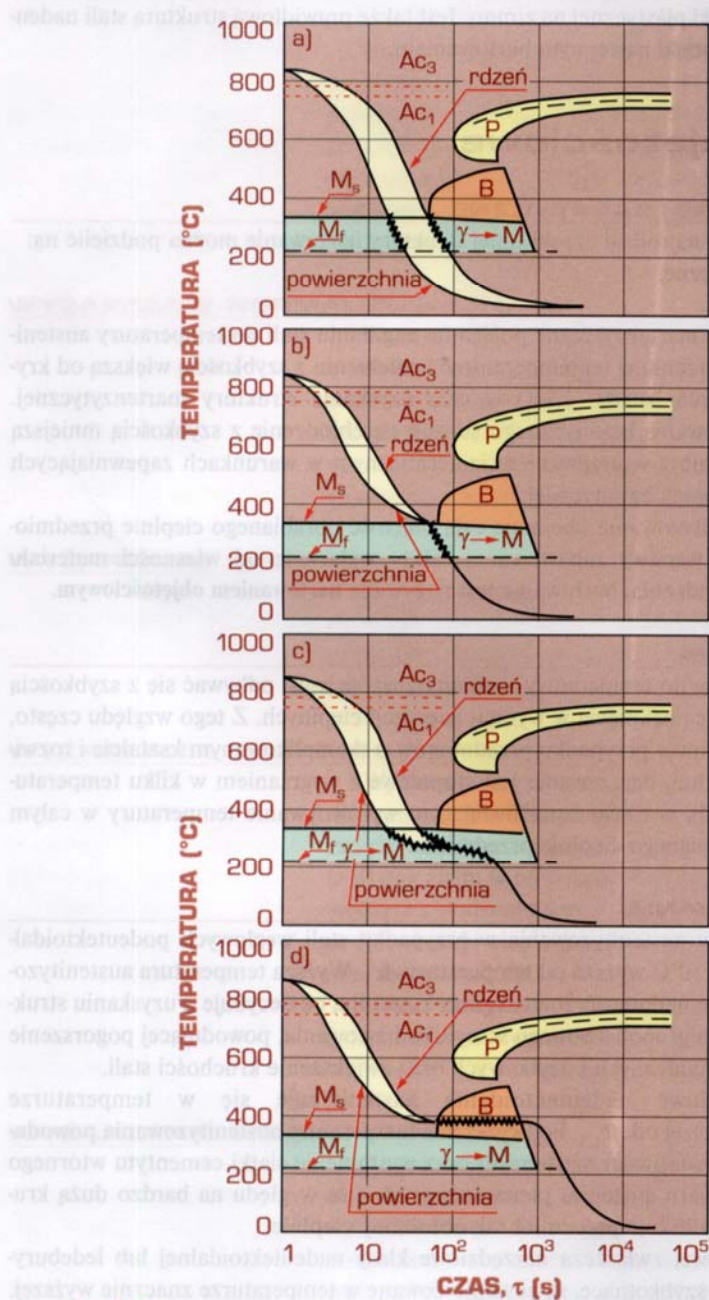
Rysunek 4.75

Fragment wykresu Fe-Fe₃C z zaznaczonymi zakresami temperatury wyżarzania i hartowania stali węglowych



Hartowanie objętościowe

- Martenzytyczne ciągle
- Martenzytyczne stopniowe
- Bainityczne ciągle
- Bainityczne izotermiczne
- Nagrzewanie powolne
- Temperatura austenitzowania 30-50 C pow. Ac_{1,3} dla stali węglowych nadeutektoidalnych, pow. Ac₃ dla stali podeutektoidalnych



Rysunek 4.76

Krzywe oziębiania podczas hartowania objętościowego stali 41Cr4 na tle wykresów CTP

a) hartowanie martenzytyczne zwykłe, b i c) hartowanie martenzytyczne stopniowe, d) hartowanie bainityczne z przemianą izotermiczną (według W. Lutego); γ - austenit, P - perlit, B - bainit, M - martenzyt

Hartowanie powierzchniowe

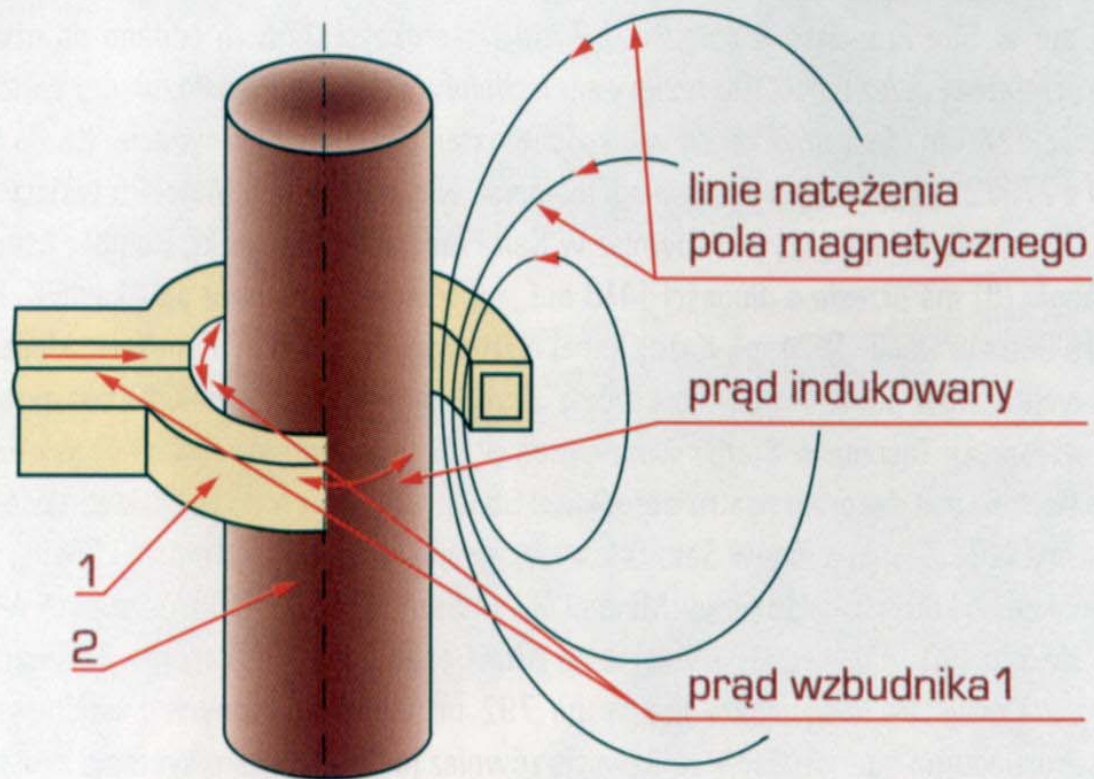
- Indukcyjne
- Płomieniowe
- Laserowe kąpielowe
- Kontaktowe
- Elektrolityczne
- Impulsowe

Rysunek 4.77

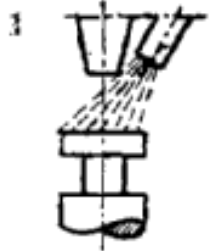
*Schemat nagrzewania
indukcyjnego wałka we
wzbudniku jednozwojowym*

1 - wzbudnik,

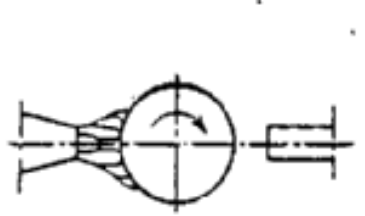
2 - nagrzewany wałek



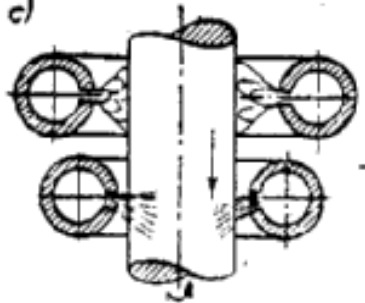
a)



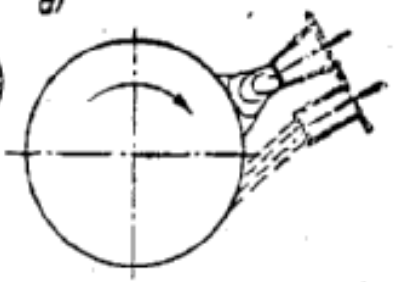
b)



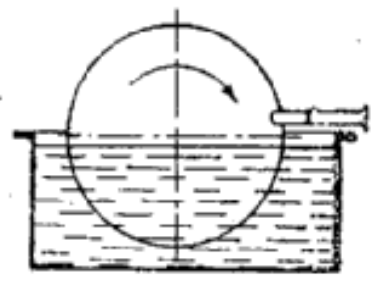
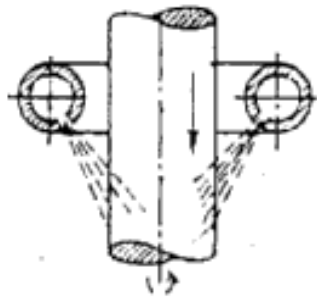
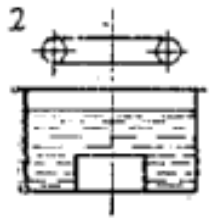
c)



d)



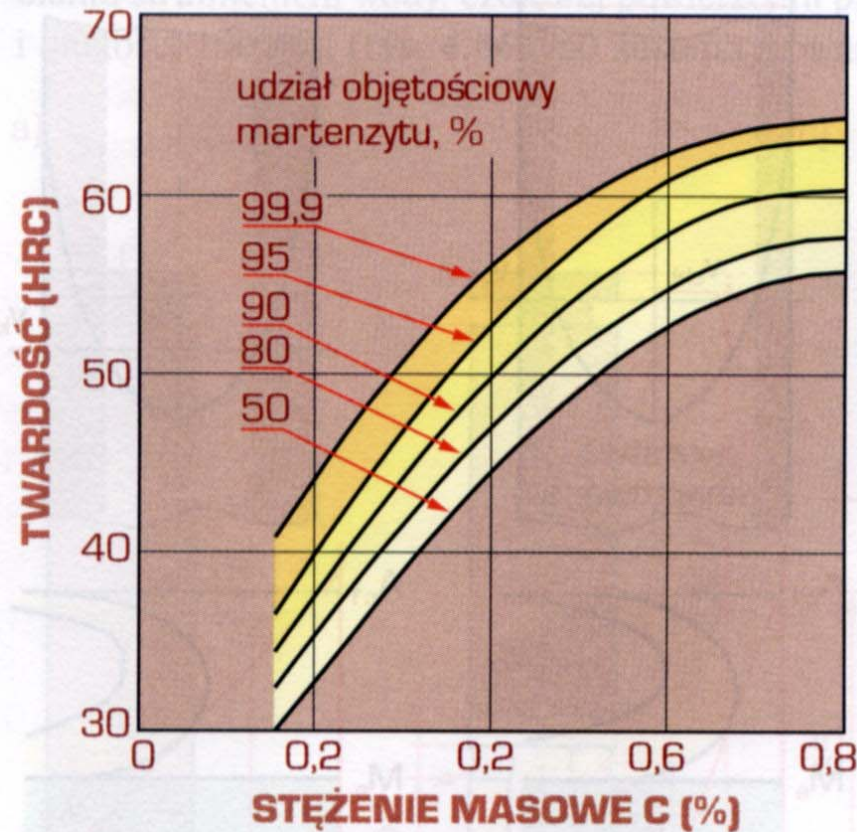
2



Hartowność

- Zależność przyrostu twardości w wyniku hartowania od warunków austenitzowania i szybkości chłodzenia
- Decydują: utwardzalność oraz przehartowalność

Utwardzalność: podatność stali na hartowanie, miarą której jest zależność największej możliwej do uzyskania po hartowaniu twardości od warunków austenityzowania



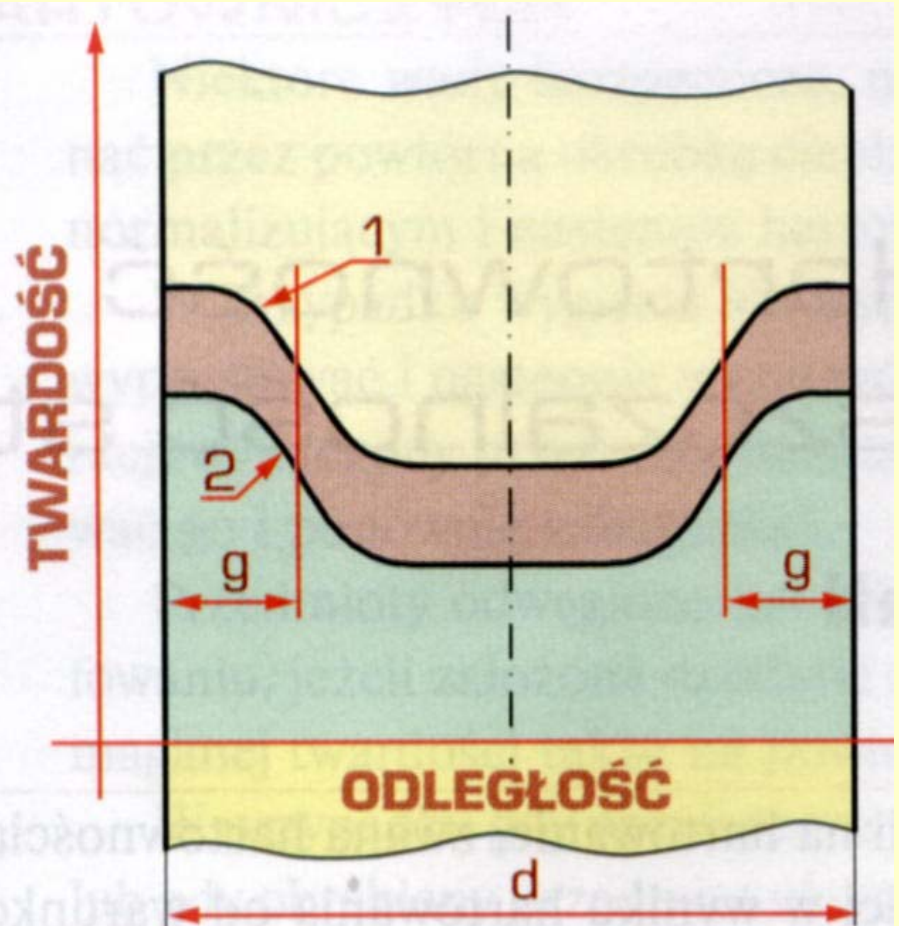
Rysunek 4.83

Wpływ stężenia węgla na twardość stali zahartowanej o różnym udziale martenzytu w strukturze (według J.M. Hodge'a i M.A. Orehoskiego)

Przechartowalność: podatność stali na hartowanie jako zależność przyrostu twardości od szybkości chłodzenia

Rysunek 4.84

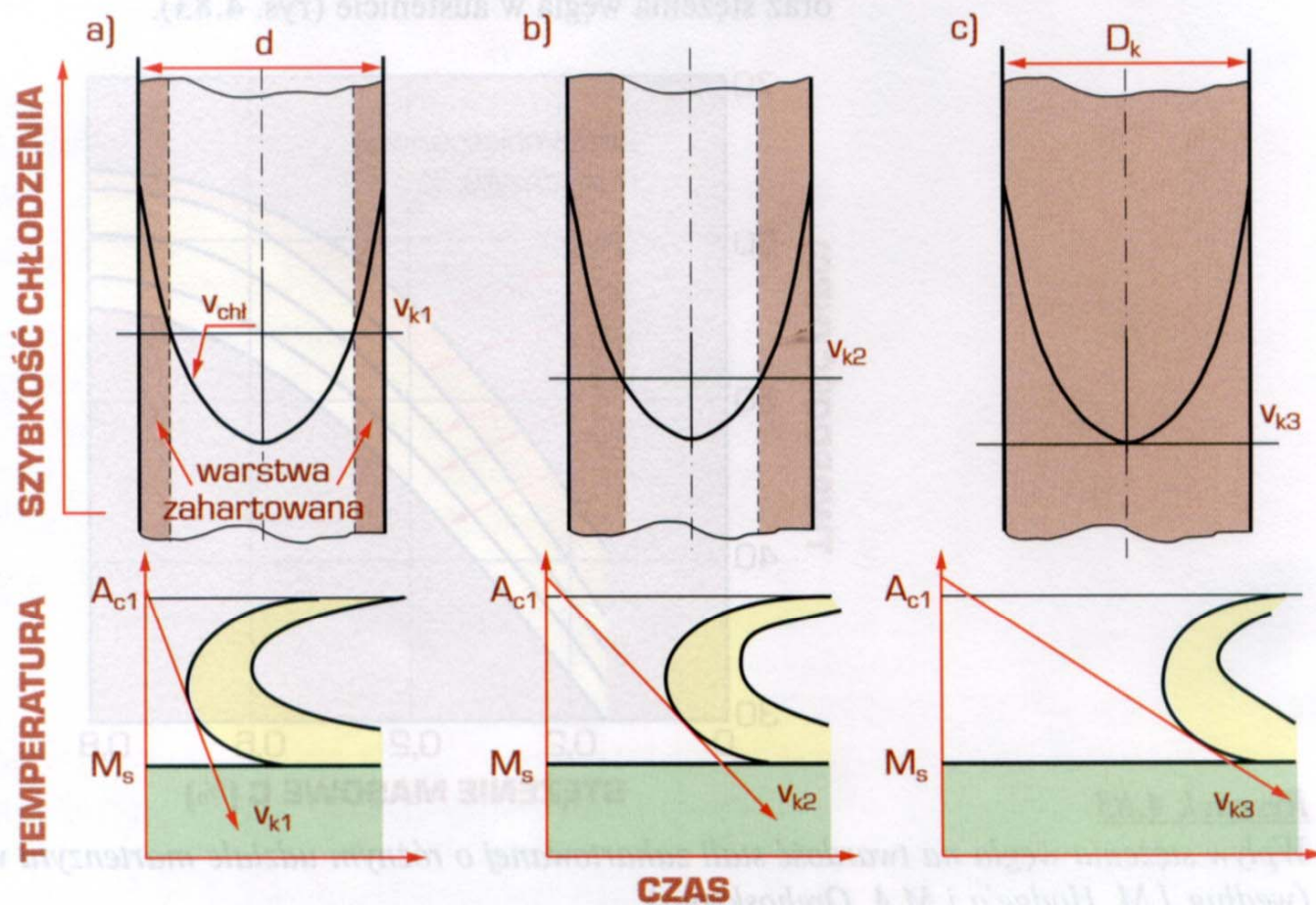
Schemat rozkładu twardości na przekroju prętów o jednakowej średnicy z dwóch stali o tej samej przechartowalności, lecz różnej utwardzalności, 1 - stal węglowa o stężeniu C większym niż w stali 2, 2 - stal niskostopowa



Średnica krytyczna: średnica pręta, w którym po zahartowaniu w ośrodku o określonej intensywności chłodzenia w osi przekroju poprzecznego uzyskuje się strukturę złożoną z n % martenzytu

Rysunek 4.85

Schemat zależności grubości warstwy zahartowanej w pręcie o średnicy d od krytycznej szybkości chłodzenia różnych stali o hartowności:
a) małej, b) średniej,
c) dużej

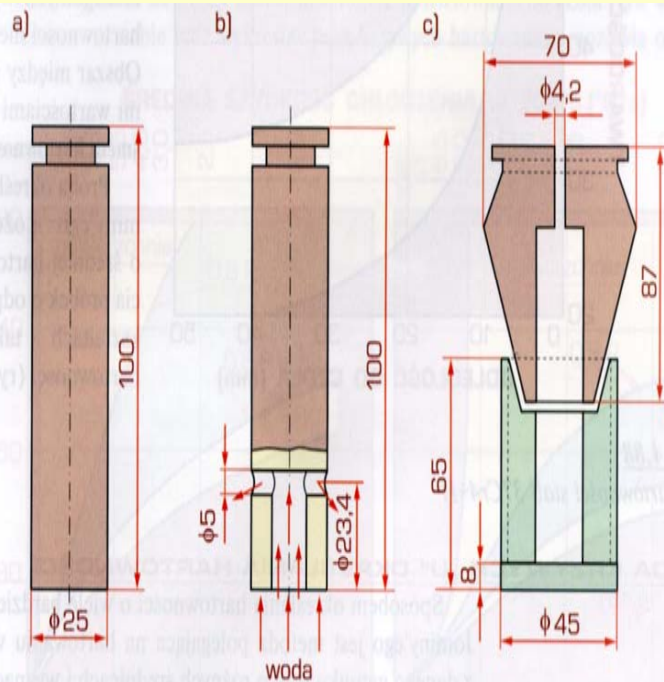


Współczynnik intensywności chłodzenia

Tablica 4.11
Orientacyjne wartości współczynnika intensywności chłodzenia H dla różnych ośrodków chłodzących

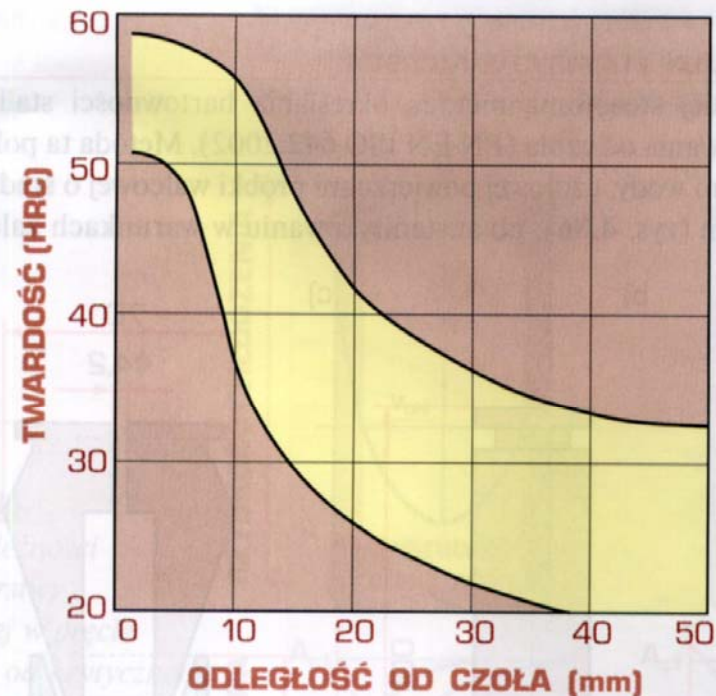
Ruch ośrodka względem przedmiotu	Wartość współczynnika H dla:			
	wodnego roztworu NaCl	wody	oleju	powietrza
Żaden	2	1	0,3	0,02
Mały	2,2	1,3	0,4	
Średni		1,5	0,5	
Silny	5	2	0,8	0,05
Gwałtowny	7,5	4	1,1	
Natrysk		10	1,5	

Metoda Jominy`ego określania hartowności



Rysunek 4.86

Próbki do badania hartowności metodą chłodzenia od czoła dla stali o krytycznej szybkości chłodzenia
a) średniej (według PN-EN ISO 642:2002), b) małej (według A. Randaha i K. Vettera),
c) dużej (według A. Rose i L. Rademachera)

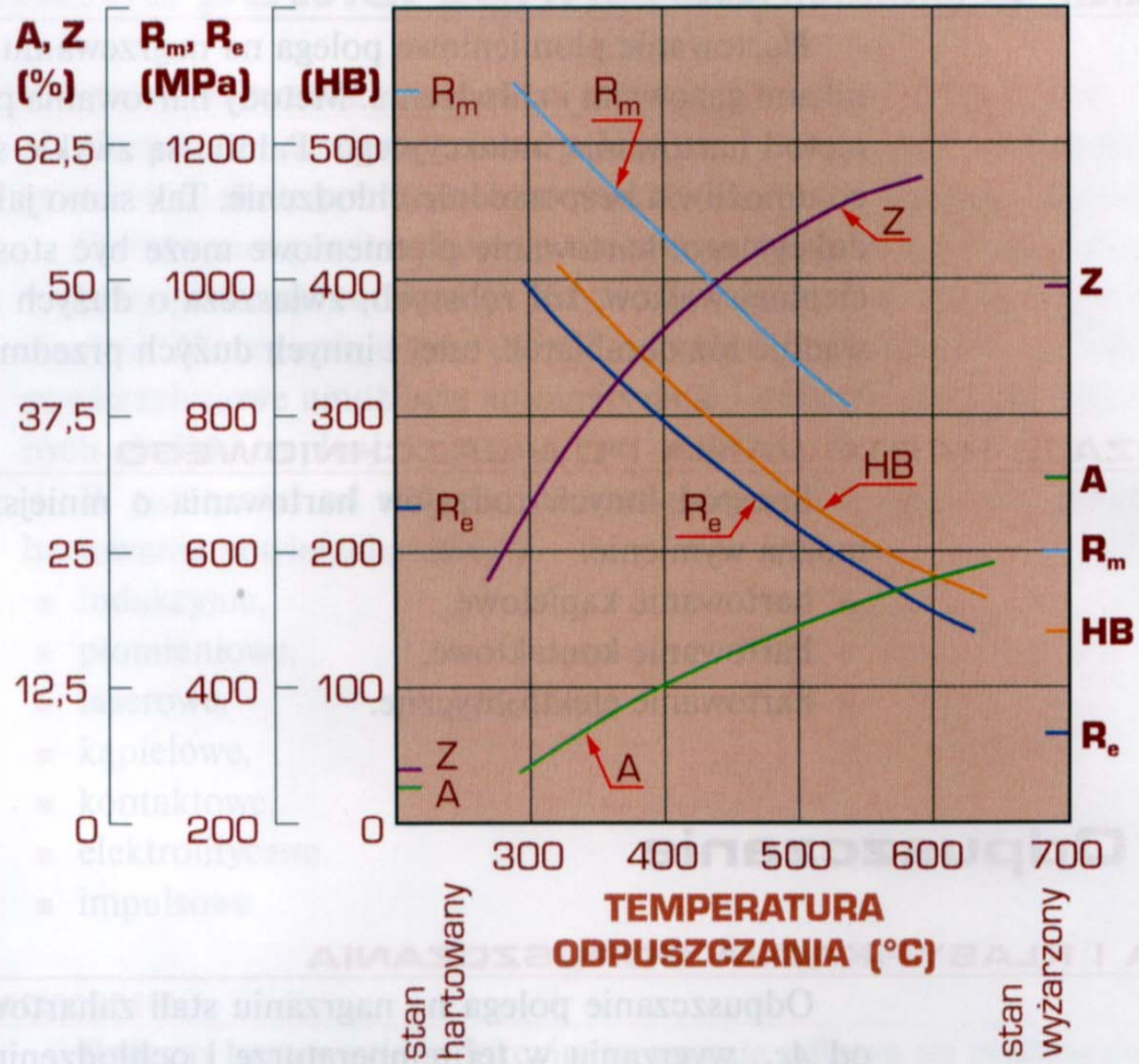


Rysunek 4.88

Pasmo hartowności stali 37Cr4+H

Odpuszczanie

- Niskie: 150-200 C do narzędzi, sprężyn, sprawdzianów w celu usunięcia naprężeń hartowniczych z zachowaniem dużej twardości, wytrzymałości i odporności na ścieranie
- Średnie: 250-500 C do sprężyn, resorów, matryc, prowadzi do niewielkiego spadku twardości przy zachowaniu dużej wytrzymałości i sprężystości
- Wysokie: 500-650 C, ma na celu osiągnięcie wysokiego stosunku R_e do R_m



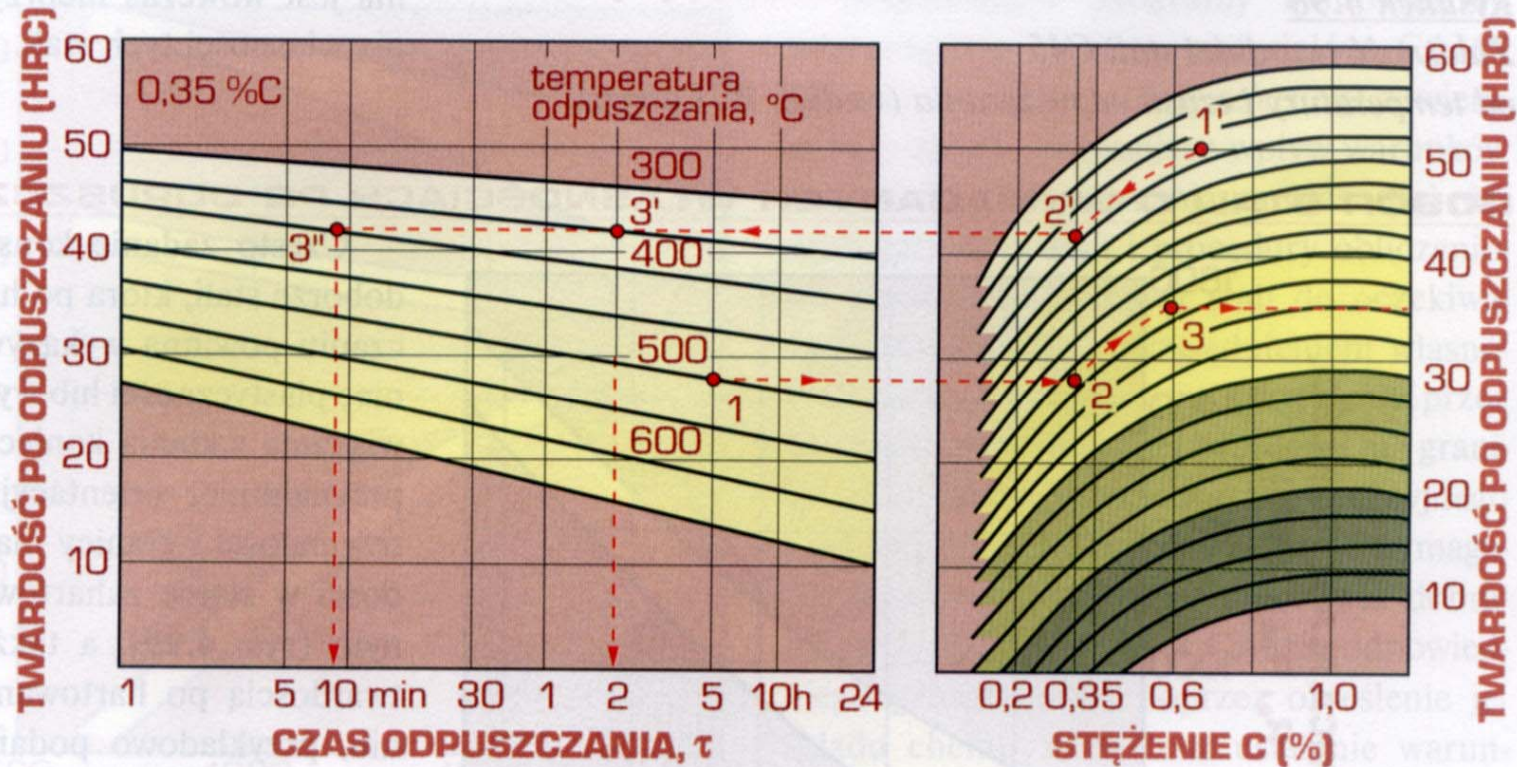
Rysunek 4.78

Wpływ temperatury odpuszczania na własności mechaniczne zahartowanej stali zawierającej 0,4% C

Odpuszczalność

- Zależność twardości od temperatury odpuszczania przy stałym czasie
- Zależy od struktury stali po hartowaniu

Rysunek 4.97
Nomogram
do określania
twardości
stali węglowych
w zależności
od warunków
odpuszczania
(według A.P.
Gulajewa)



Struktury stali odpuszczonych

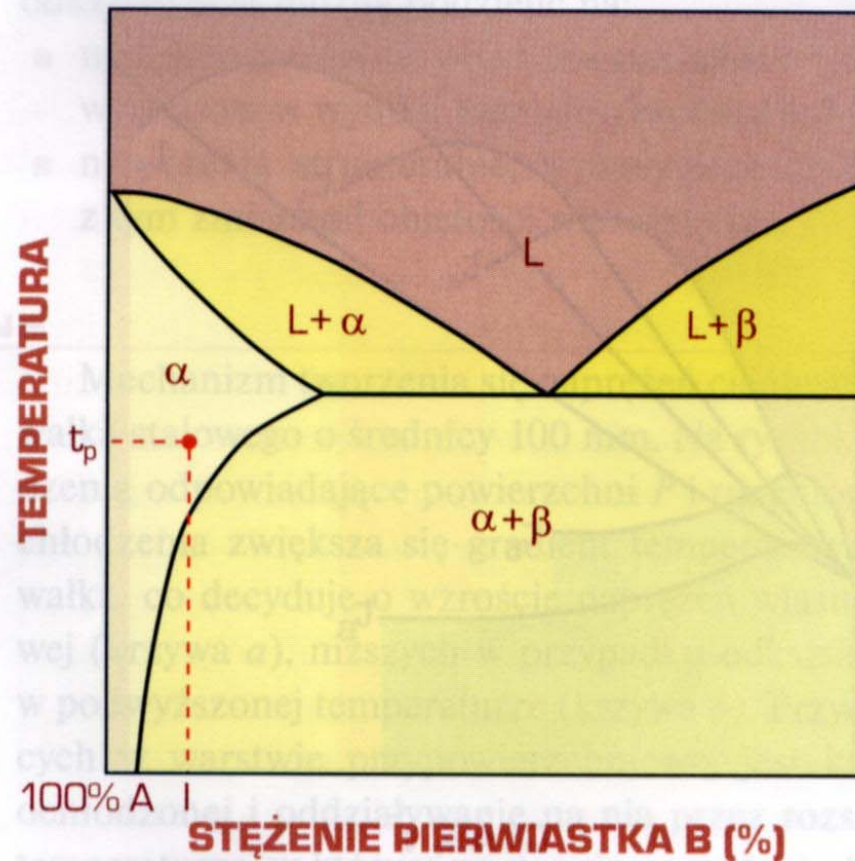
- Niskie: martenzyt niskoodpuszczony – mieszanina martenzytu tetragonalnego z dyspersyjnymi węglkami ϵ i austenitem szczątkowym
- Średniodopuszczony – małe odkształcenie tetragonalne i dyspersyjne wydzielania cementytu
- Wysokoodpuszczony – nie przesycony węglem, mała gęstość dyslokacji, skoagulowane wydzielania cementytu, brak austenitu szczątkowego, w stalach stopowych węgliki stopowe

- Hartowanie i niskie odpuszczanie – utwardzanie cieplne
- Hartowanie i wysokie odpuszczanie – ulepszenie cieplne
- Miara skuteczności ulepszenia cieplnego – stosunek R_e/R_m

Obróbka podzerowa

- Wymrażanie: chłodzenie stali bezpośrednio po hartowaniu do temperatury poniżej 0 C, wychłodzenie i ogrzanie do temperatury pokojowej
- Umożliwia zmniejszenie ilości lub usunięcie austenitu szczytkowego
- Tylko dla narzędzi pomiarowych i sprawdzianów

Utwardzanie wydzieleniowe: przesycanie i starzenie



Rysunek 4.79

Fragment układu równowagi z ograniczoną zmiennością rozpuszczalności składnika B i składnika A

Definicje przesycania i starzenia

- Przesycanie: nagrzanie stopu do temp. 30-50 C powyżej krzywej granicznej rozpuszczalności i szybkie schłodzenie do temperatury pokojowej; stop uzyskuje metastabilną strukturę jednofazową
- Starzenie: nagrzanie stopu przesyconego do temperatury niższej od granicznej rozpuszczalności, wygrzanie i studzenie; wzrost własności wytrzymałościowych; wydzielanie się faz, przy przestarzeniu koagulacja wydzieleni; starzenie naturalne i sztuczne; najczęściej stopy Al-Zn-Mg-Cu, Al-Li