 <p style="text-align: center;"><b>POLITECHNIKA LUBELSKA</b> <b>WYDZIAŁ MECHANICZNY</b> <b>KATEDRA INŻYNIERII</b> <b>MATERIAŁOWEJ</b></p>	<p><b>Laboratorium Inżynierii</b> <b>Materiałowej</b> <b>ĆWICZENIE Nr 7</b></p>
<p>Akceptował: Kierownik Katedry prof. dr hab. B. Surowska</p>	<p>Opracował: dr inż. Sławomir Szewczyk</p>

I. Temat ćwiczenia: **Struktury i właściwości stali po hartowaniu i odpuszczaniu.**

II. Cel ćwiczenia: Przeprowadzenie identyfikacji struktury stali hartowanych i odpuszczanych na podstawie obserwacji mikroskopowych, poszukiwanie związków między budową strukturalną a właściwościami stali.

III. Ważniejsze pytania kontrolne:

1. Mikrostruktura stali niestopowych przed hartowaniem
2. Mechanizm przemiany martenzytycznej
3. Na czym polega istota przemiany bainitycznej
4. Klasyfikacja różnych rodzajów obróbki cieplnej
5. Sposób przeprowadzania i cel różnych rodzajów hartowania
6. Przyczyny występowania austenitu szczątkowego
7. Co to jest wykres CTPi i jak jest zbudowany
8. Co to są wykresy CTPc i jakie jest ich zastosowanie
9. Wpływ pierwiastków stopowych na przemiany przechłodzonego austenitu
10. Jakie zmiany struktury i właściwości mechanicznych zachodzą podczas odpuszczania zahartowanej stali
11. Rodzaje odpuszczania stali
12. Węgliki w stalach zahartowanych i w stalach odpuszczonych.

IV. Literatura:

1. Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2007.
2. Blicharski M.: Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT, Warszawa 2006.
3. Praca zbior. pod red. A. Werońskiego: Ćwiczenia laboratoryjne z inżynierii materiałowej. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.
4. Dobrzański L. A.: Podstawy kształtowania struktury i własności materiałów metalowych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
5. Blicharski M.: Inżynieria materiałowa, stal. WNT, Warszawa 2013.

## V. Przebieg ćwiczenia:

### 1. Materiały i urządzenia do badań

- 1.1. Komplet zglądów metalograficznych stali po hartowaniu i odpuszczaniu
- 1.2. Mikroskop metalograficzny
- 1.3. Atlas struktur
- 1.4. Instrukcja obsługi mikroskopu.

### 2. Przebieg badań

Przed rozpoczęciem ćwiczenia student obowiązkowo **zapoznaje się z zaleceniami instrukcji BHP**. Prowadzący zajęcia sprawdza opanowanie wiadomości podanych w instrukcji BHP i znajomość problematyki badawczej. Po dopuszczeniu do wykonania ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

- 2.1. Włączyć oświetlenie mikroskopu i sprawdzić jego działanie. Dobrać odpowiednie powiększenia
- 2.2. Dokonać przeglądu struktur wszystkich zglądów metalograficznych znajdujących się w komplecie i przeprowadzić ich identyfikację na podstawie atlasu struktur
- 2.3. W przypadku nierozpoznanych mikrostruktur przeprowadzić dyskusję z prowadzącym zajęcia
- 2.4. Oszacować właściwości mechaniczne stali niestopowych, z których pochodzą zglądy na podstawie ich budowy strukturalnej
- 2.5. Zamieścić w sprawozdaniu mikrostruktury stali po hartowaniu i odpuszczaniu wskazane przez prowadzącego zajęcia.

### 3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno zawierać:

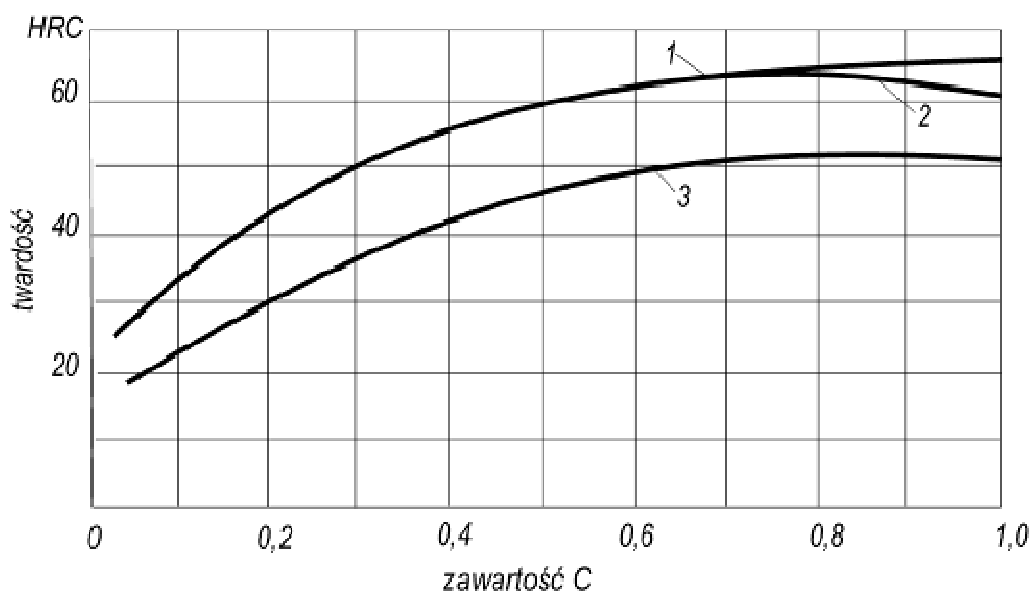
- 3.1. Cel badań, przedmiot badań, spis literatury
- 3.2. Sposób przygotowania próbek
- 3.3. Odczynniki do trawienia
- 3.4. Typ mikroskopu metalograficznego, rodzaj oświetlenia
- 3.5. Dobór powiększeń, powiększenie użyteczne
- 3.6. Rysunki obserwowanych mikrostruktur i ich opis
- 3.7. Wnioski dotyczące związków między budową strukturalną a właściwościami stali hartowanych i odpuszczanych.

### 4. Materiały uzupełniające

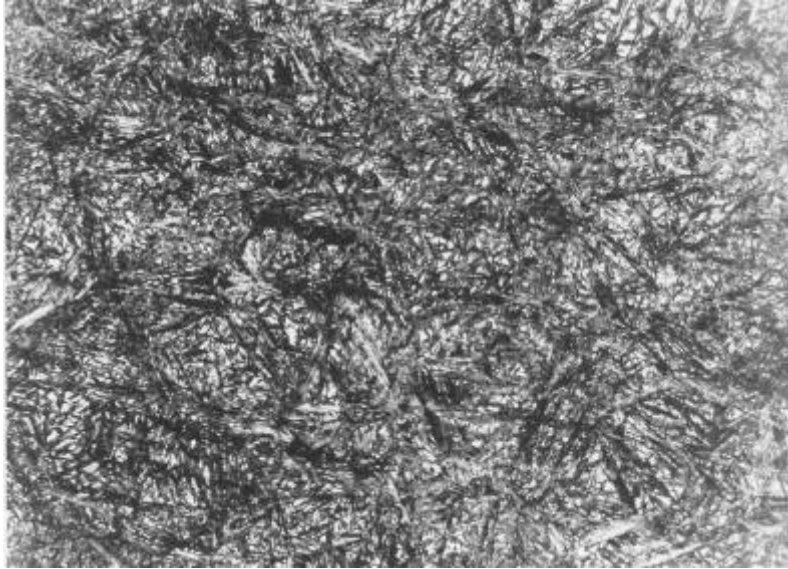
- 4.1. Tablica 1. Właściwości mechaniczne faz i składników strukturalnych stali
- 4.2. Rys.1. Wpływ zawartości węgla na twardość martenzytu
- 4.3. Atlas mikrostruktur stali po hartowaniu i odpuszczaniu (rys. 7.1÷7.12)
- 4.4. Wzór protokołu badań mikroskopowych.

Tablica 1. Właściwości mechaniczne faz i składników strukturalnych stali

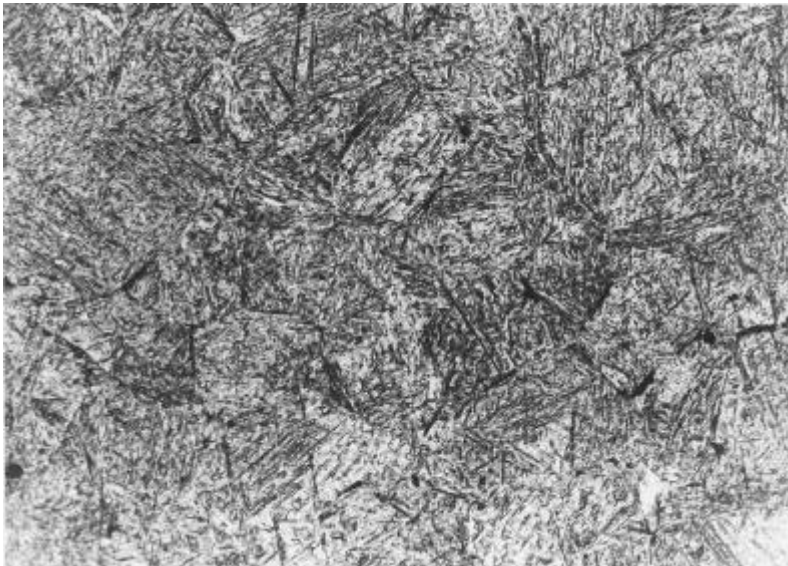
Fazy i składniki strukturalne	Twardość		Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ [MPa]	Wydłużenie $A_5$ [%]
	HBW	HRC		
Ferryt	80	-	300	40
Austenit stopowy	200	22÷25	750	50
Cementyt	-	66÷68	30	0
Grafit	1	-	20	0
Perlit	180÷250	20÷30	750	8
Perlit drobny	250÷450	30÷35	950	6
Bainit	450÷600	45÷58	1300	20
Martenzyt	-	58÷68	1800	0
Ledeburyt (przemieniony)	450	-	-	0



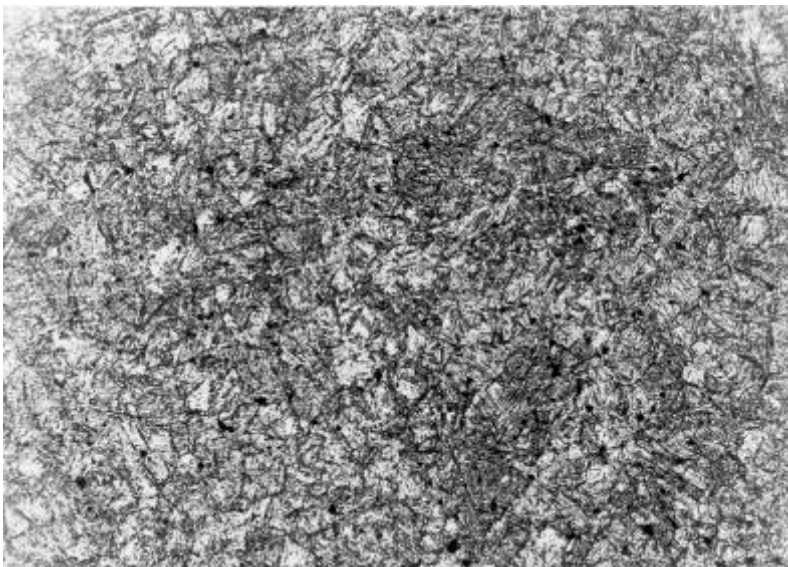
Rys.1. Wpływ zawartości węgla na twardość martenzytu: 1 – martenzyt, 2 – stal niestopowa (spadek twardości stali zawierającej powyżej 0,8% węgla jest spowodowany zwiększeniem zawartości austenitu szczytkowego), 3 – stal zawierająca 50% martenzytu



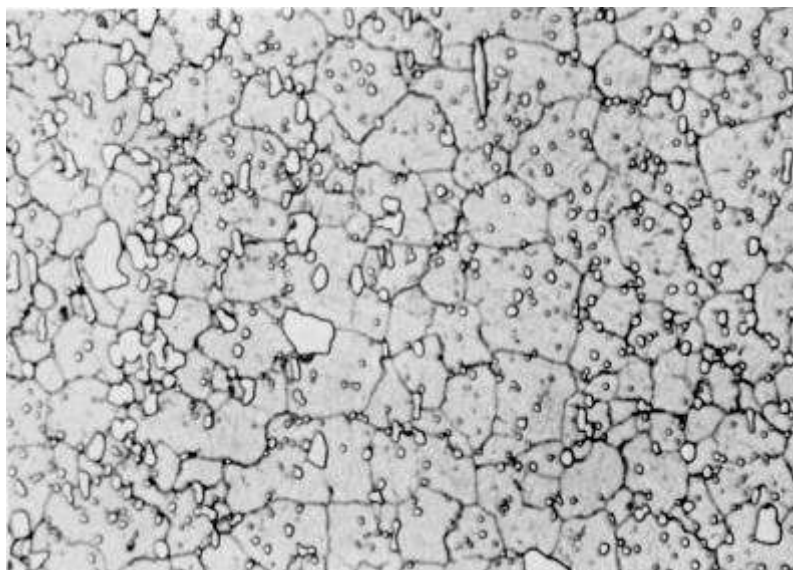
Rys. 7.1.  
Mikrostruktura zahartowanej stali eutektoidalnej ( $C = 0,8\%$ ).  
Gruboiglasty martenzyt z austenitem szczątkowym.  
Powiększenie 500x.  
Trawiono 3% nitałem.



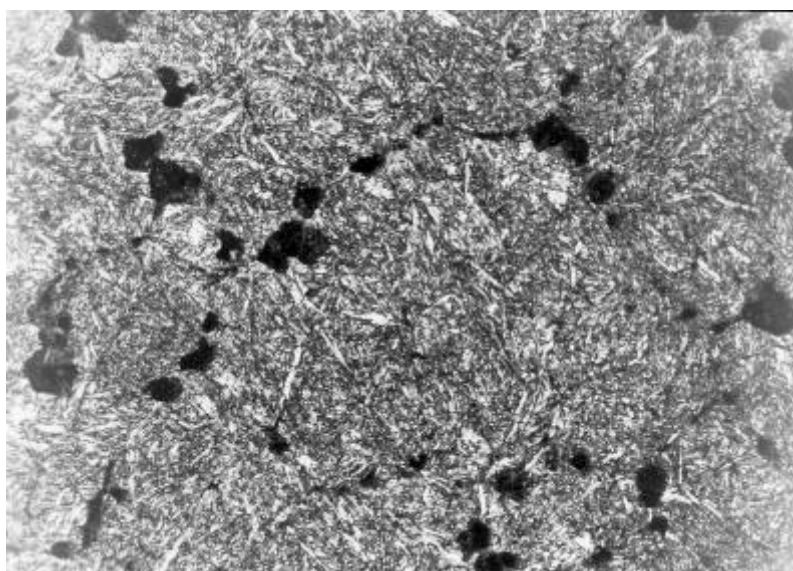
Rys. 7.2.  
Martenzytyczna struktura zahartowanej stali niestopowej gatunek C55.  
Powiększenie 500x.  
Trawiono 3% nitałem.



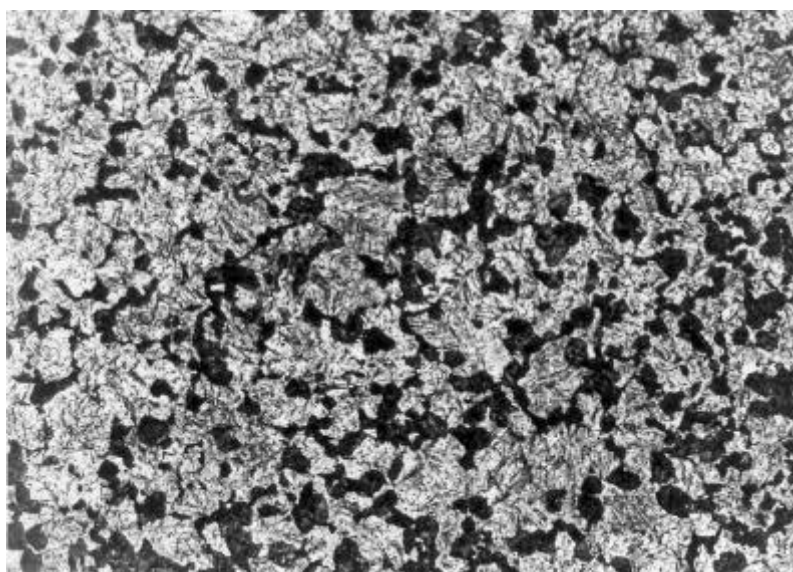
Rys. 7.3.  
Drobnoiglasty martenzyt w zahartowanej stali niestopowej o zawartości  $C = 0,5\%$ .  
Powiększenie 500x.  
Trawiono 3% nitałem.



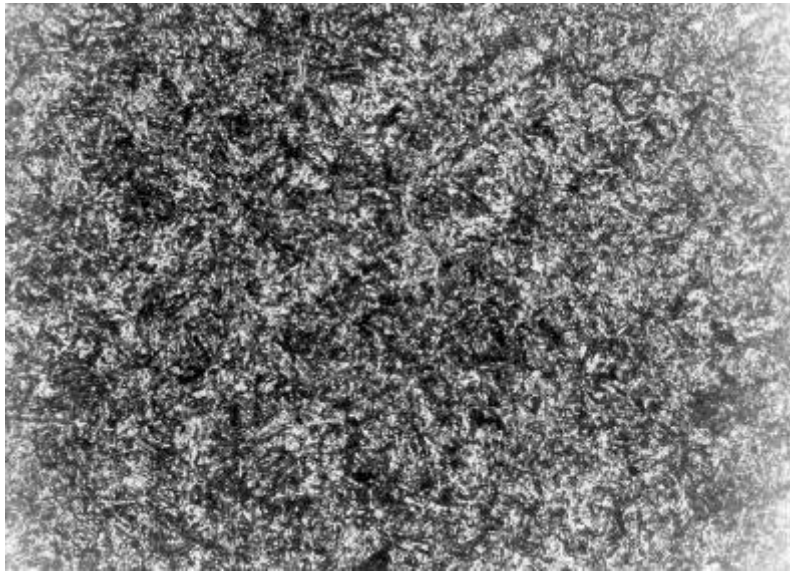
Rys. 7.4.  
Mikrostruktura zahartowanej stali szybko tnącej HS18-0-1. Skrytoiglasty martenzyt z austenitem szczątkowym oraz wydzielenia nierozpuszczonych węglików na granicach i wewnątrz ziarn. Widoczne granice ziarn byłego austenitu. Powiększenie 500x. Trawiono 6% nitaliem.



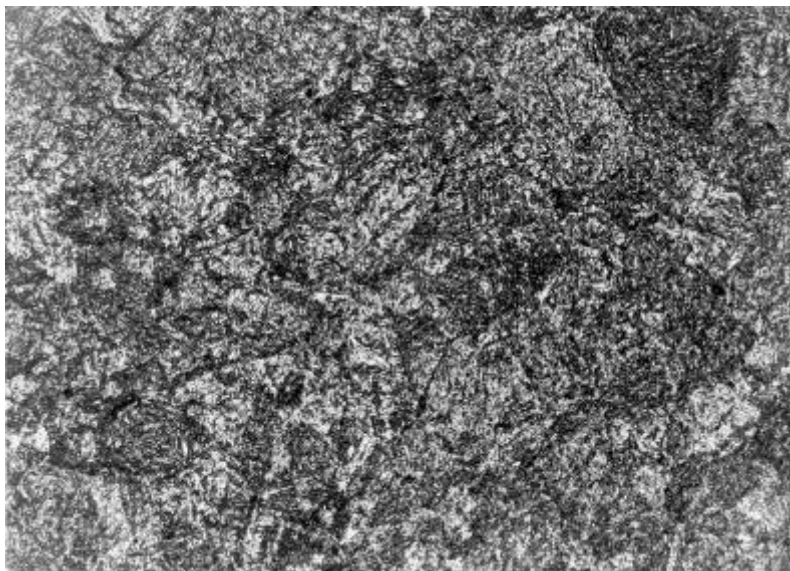
Rys. 7.5.  
Mikrostruktura zahartowanej stali gatunek C55. Martenzyt z ciemnymi wydzieleniami bainitu na graniach ziarn byłego austenitu. Powiększenie 500x. Trawiono 3% nitaliem.



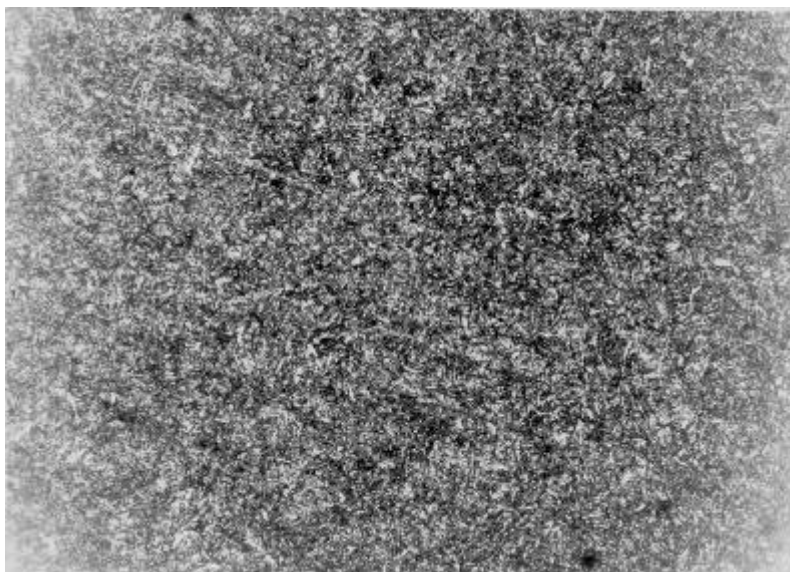
Rys. 7.6.  
Struktura martenzytyczno-bainityczna w stali niestopowej o zawartości C = 0,7%. Powiększenie 300x. Trawiono 3% nitaliem.



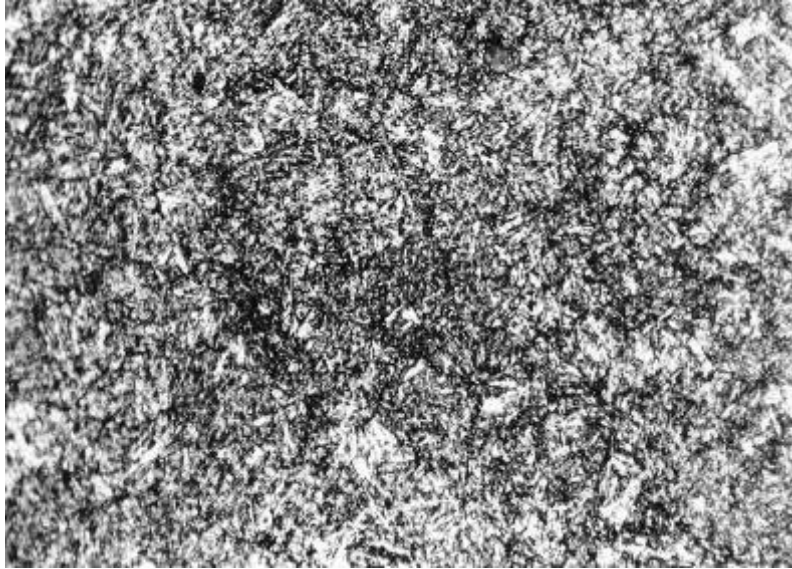
Rys.7.7.  
Stal konstrukcyjna stopowa do ulepszenia cieplnego gatunek 42CrMo4, po przemianie bainitycznej (bainit górny).  
Powiększenie 500x.  
Trawiono 3% nitałem.



Rys.7.8  
Stal niestopowa gatunek C55 po niskim odpuszczaniu w temperaturze 250°C. Martenzyt niskoodpuszczony.  
Powiększenie 500x.  
Trawiono 3% nitałem.



Rys.7.9  
Stal gatunek C55 po odpuszczaniu średnim w temperaturze 450°C. Struktura martenzytu odpuszczonego, drobne cząstki cementytu w iglastym ferrycie.  
Powiększenie 500x.  
Trawiono 3% nitałem.

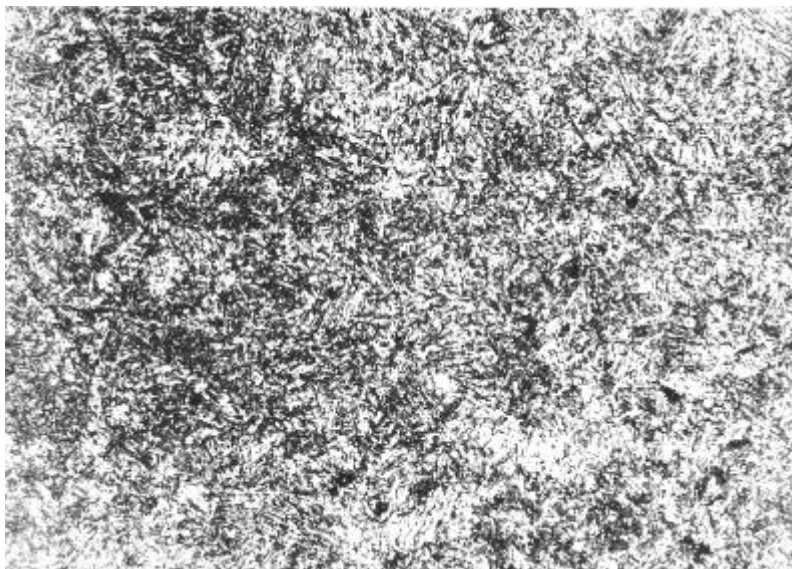


Rys.7.10

Mikrostruktura stali sprężynowej gatunek 51CrV4 po odpuszczaniu średnim w temperaturze 450°C. Struktura martenzytu odpuszczonego.

Powiększenie 500x.

Trawiono 3% nitaliem.

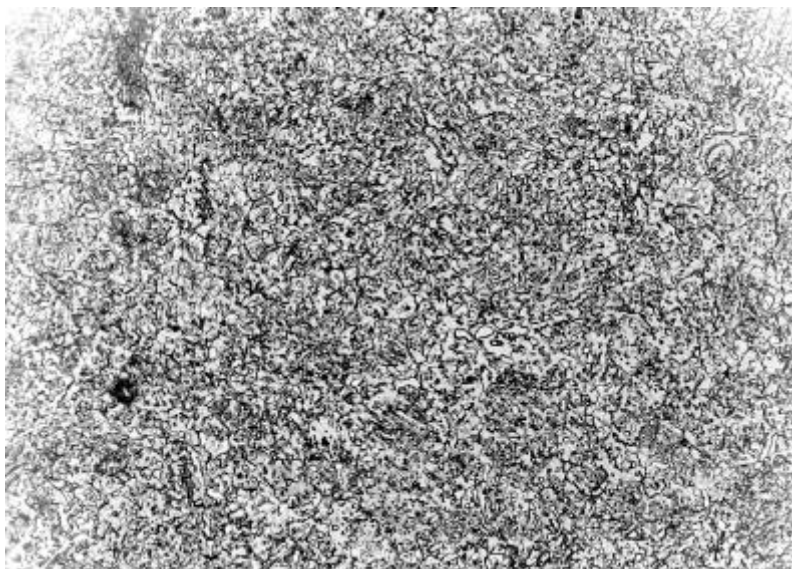


Rys.7.11

Stal niestopowa o zawartości C = 0,7%, po wysokim odpuszczaniu w temp. 600°C. Mieszanina drobnych cząstek cementytu i zrekrytalizowanego ferrytu – sorbit.

Powiększenie 500x.

Trawiono 3% nitaliem.



Rys.7.12

Sferoidyt w stali niestopowej o zawartości C = 0,9%, uzyskany przez wyżarzenie uprzednio za hartowanej stali w temp. 700°C. Sferoidalne wydzielenie cementytu w osnowie ferrytycznej.

Powiększenie 500x.

Trawiono 3% nitaliem.