



**POLITECHNIKA LUBELSKA  
WYDZIAŁ MECHANICZNY  
KATEDRA INŻYNIERII  
MATERIAŁOWEJ**

**Laboratorium Inżynierii  
Materiałowej  
ĆWICZENIE Nr 8**

Akceptował:  
Kierownik Katedry  
prof. dr hab. B. Surowska

Opracowali:  
dr inż. Krzysztof Pałka  
dr Hanna Stupnicka

- I. Temat ćwiczenia: **Struktury i właściwości stopów o szczególnych właściwościach.**
- II. Cel ćwiczenia: Poznanie struktur stali i stopów o szczególnych właściwościach na podstawie obserwacji mikroskopowych, poszukiwanie związków między składem chemicznym a budową strukturalną i właściwościami stopów.
- III. Ważniejsze pytania kontrolne:
1. Klasyfikacja stali i stopów o szczególnych właściwościach.
  2. Główne pierwiastki stopowe i ich rola w stopach o szczególnych właściwościach.
  3. Składniki strukturalne stali oraz ich właściwości.
  4. Równoważniki chromu i niklu.
  5. Wykres Schafflera.
  6. Węglik pierwiastków stopowych w stalach – charakterystyka: rodzaje i właściwości, powstawanie, wpływ na właściwości stali.
  7. Związki międzymetaliczne – charakterystyka: rodzaje i właściwości, powstawanie, wpływ na właściwości stali.
  8. Rodzaje korozji stali.
  9. Żaroodporność, czynniki wpływające na prędkość utleniania.
  10. Żarowytrzymałość, zjawisko pełzania, metody ograniczenia zjawiska pełzania.
  11. Zastosowania stali i stopów o szczególnych właściwościach.
- IV. Literatura:
1. Blicharski M.: Inżynieria materiałowa. Stal. WNT, Warszawa 2004.
  2. Blicharski M.: Wstęp do inżynierii materiałowej. WNT, Warszawa 2006.
  3. Dobrzański L. A.: Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2006.
  4. Dobrzański L. A.: Metalowe materiały inżynierskie. WNT, Warszawa 2004.
  5. Łuksza J., Skołoszewski A., Witek F., Zachariasz W.: Druty ze stali i stopów specjalnych. WNT, Warszawa 2006.
  6. Przybyłowicz K.: Metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2003.
  7. Weroński A. (red.): Ćwiczenia laboratoryjne z inżynierii materiałowej. Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.

## V. Przebieg ćwiczenia:

### 1. Materiały i urządzenia do badań

1.1. Komplet zgładów metalograficznych

1.2. Mikroskop metalograficzny

1.3. Atlas struktur

1.4. Wyciągi z Polskich Norm – Europejskich Norm:

- PN-EN 10088 – oznaczenia i skład chemiczny stali odpornych na korozję
- PN-EN 10088-1 – oznaczenia i skład chemiczny stali żaroodpornych
- PN-EN 10302 – oznaczenia i skład chemiczny stali żarowytrzymałych
- PN-EN 10090 – oznaczenia i skład chemiczny stali zaworowych

1.5. Wykres Schafflera

1.6. Wzór protokołu badań.

### 2. Przebieg badań

Prowadzący zajęcia sprawdza 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 zgładów metalograficznych znajdujących się w komplecie i przeprowadzić ich identyfikację na podstawie atlasu struktur
- 2.3. Na podstawie składu chemicznego i wykresu Schafflera określić podstawowe struktury stali (uwzględnić zakres zawartości pierwiastków) oraz podać możliwe do utworzenia węgliki i związki międzymetaliczne
- 2.4. Dla stali odpornych na korozję określić odporność korozyjną na podstawie zaobserwowanej struktury i składników strukturalnych.

### 3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie z przeprowadzonych badań powinno zawierać:

- 3.1. Cel badań, przedmiot badań
- 3.2. Rysunki obserwowanych mikrostruktur i ich opis
- 3.3. Analizę struktury w oparciu o wykres Schafflera oraz możliwości utworzenia węglików i faz międzymetalicznych
- 3.4. Wnioski dotyczące związków między składem chemicznym a budową strukturalną i właściwościami stali stopowych.

Tablica 1: Stale odporne na korozję (wybór z PN-EN 10088:1998)

| Lp. | Znak               | Skład chemiczny, %mas. |          |          |         |           |           |           |         |   |           |    |                     |                 |           |          | Właściwości mechaniczne, [MPa] [%] |                   |                |            |
|-----|--------------------|------------------------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|---|-----------|----|---------------------|-----------------|-----------|----------|------------------------------------|-------------------|----------------|------------|
|     |                    | C (max)                | Mn (max) | Si (max) | P (max) | S (max)   | Cr        | Ni        | Mo      | W | V         | Co | Cu                  | Ti              | Al        | N        | Rm                                 | Re <sub>0.2</sub> | A <sub>5</sub> | twierdność |
| 1   | X6CrNiTi12         | 0,08                   | 1,5      | 0,7      | 0,04    | 0,015     | 10,5-12,5 | 0,5-1,5   | -       | - | -         | -  | -                   | 0,05-0,35       | -         | -        | -                                  | -                 | -              | -          |
| 2   | X6Cr13             | 0,08                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 12,0-14,0 | -         | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 550-700                            | ≥400              | ≥18            | 160-210 HB |
| 3   | X12Cr13            | 0,08-0,15              | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 11,5-13,5 | max 0,75  | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 650-850                            | ≥450              | ≥15            | -          |
| 4   | X20Cr13            | 0,16-0,25              | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 12,0-14,0 | -         | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 700-850                            | ≥500              | ≥13            | -          |
| 5   | X29CrS13           | 0,25-0,32              | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,15-0,25 | 12,0-13,5 | -         | max 0,6 | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | -          |
| 6   | X30Cr13            | 0,26-0,35              | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 12,0-14,0 | -         | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 850-1000                           | ≥650              | ≥10            | -          |
| 7   | X39Cr13            | 0,36-0,42              | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 12,5-14,5 | -         | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | ≤800                               | -                 | -              | ≤245 HB    |
| 8   | X46Cr13            | 0,43-0,50              | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 12,5-14,5 | -         | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | 52-54 HRC  |
| 9   | X50CrMoV15         | 0,45-0,55              | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 14,0-15,0 | -         | 0,5-0,8 | - | 0,1-0,2   | -  | -                   | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | 55-57 HRC  |
| 10  | X90CrMoV18         | 0,85-0,95              | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 17,0-19,0 | -         | 0,9-1,3 | - | 0,07-0,12 | -  | -                   | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | 55-57 HRC  |
| 11  | X70CrMo15          | 0,56-0,75              | 1,0      | 0,7      | 0,04    | 0,015     | 14,0-16,0 | -         | 0,4-0,8 | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | 55-58 HRC  |
| 12  | X6Cr17             | 0,08                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 16,0-18,0 | -         | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 400-630                            | ≥240              | ≥20            | ≤200 HB    |
| 13  | X3CrTi17           | 0,05                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 16,0-18,0 | -         | -       | - | -         | -  | 4(C+N)+0,15-0,80    |                 | -         | -        | 450-600                            | ≥270              | ≥20            | ≤185 HB    |
| 14  | X14CrMoS17         | 0,1-0,17               | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,15-0,35 | 15,5-17,5 | -         | 0,2-0,6 | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 650-850                            | ≥500              | ≥12            | -          |
| 15  | X3CrNb17           | 0,05                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 16,0-18,0 | -         | -       | - | -         | -  | Nb = 12C+1,0        |                 | -         | -        | 450-600                            | ≥250              | ≥20            | 130-170HB  |
| 16  | X105CrMo17         | 0,95-1,2               | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 16,0-18,0 | -         | 0,4-0,8 | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | 57-60 HRC  |
| 17  | X6CrMoNb17-1       | 0,08                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 16,0-18,0 | -         | 0,8-1,4 | - | -         | -  | Nb = 7(C+N)+0,1±1,0 |                 | -         | -        | -                                  | -                 | -              | -          |
| 18  | X39CrMo17-1        | 0,33-0,45              | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 15,5-17,5 | max 1,0   | 0,8-1,3 | - | -         | -  | -                   | -               | -         | -        | 750-950                            | ≥550              | ≥12            | -          |
| 19  | X2CrTiNb18         | 0,03                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 17,5-18,5 | -         | -       | - | -         | -  | 0,1-0,6             | Nb = 3C+0,3+1,0 |           | -        | -                                  | -                 | -              | -          |
| 20  | X2CrMoTi18-2       | 0,025                  | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 17,0-20,0 | -         | 1,8-2,5 | - | -         | -  | 4(C+N)+0,15-0,80    |                 | max 0,03  | 450-650  | ≥320                               | ≥20               | ≤200 HB        |            |
| 21  | X2CrMoTiS18-2      | 0,03                   | 0,5      | 1,0      | 0,04    | 0,15-0,35 | 17,5-19,0 | -         | 2,0-2,5 | - | -         | -  | 0,3-0,8             | -               | -         | -        | -                                  | -                 | -              | -          |
| 22  | X2CrAlTi18-2       | 0,03                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015     | 17,0-18,0 | -         | -       | - | -         | -  | Ti=4(C+N)+0,15±0,80 |                 | 1,7-2,1   | -        | -                                  | -                 | -              | -          |
| 23  | X2CrNiN18-7        | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 16,5-18,5 | 6,0-8,0   | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | 0,1-0,2  | 630-830                            | ≥330              | ≥45            | -          |
| 24  | X2CrNi18-9         | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 17,5-19,5 | 8,0-10,0  | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | max 0,11 | -                                  | -                 | -              | -          |
| 25  | X5CrNi18-10        | 0,07                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 17,0-19,5 | 8,0-10,5  | -       | - | -         | -  | -                   | -               | -         | max 0,11 | 500-700                            | ≥190              | ≥45            | ≤215 HB    |
| 26  | X10CrNi18-8        | 0,05-0,15              | 2,0      | 2,0      | 0,045   | 0,015     | 16,0-19,0 | 6,0-9,5   | max 0,8 | - | -         | -  | -                   | -               | -         | max 0,11 | 500-700                            | ≥195              | ≥40            | ≤230 HB    |
| 27  | X6CrNiTi18-10      | 0,08                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 17,0-19,0 | 9,0-12,0  | -       | - | -         | -  | 5C+0,7              | -               | -         | -        | 500-700                            | ≥190              | ≥40            | ≤215 HB    |
| 28  | X6CrNiNb18-10      | 0,08                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 17,0-19,0 | 9,0-12,0  | -       | - | -         | -  | Nb = 10C+1,0        |                 | -         | 510-740  | ≥205                               | ≥40               | ≤230 HB        |            |
| 29  | X2CrNi19-11        | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 18,0-20,0 | 10,0-12,0 | -       | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | 440-640  | ≥205                               | ≥15               | -              |            |
| 30  | X2CrNiMo17-12-2    | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 16,5-18,5 | 10,0-13,0 | 2,0-2,5 | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | 440-640  | ≥185                               | ≥25               | 130-200 HB     |            |
| 31  | X2CrNiMo17-13-3    | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 16,5-18,5 | 11,0-14,0 | 2,5-3,0 | - | -         | -  | -                   | -               | 0,12-0,22 | -        | -                                  | -                 | -              |            |
| 32  | X2CrNiMo18-15-4    | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 17,5-19,5 | 13,0-16,0 | 3,0-4,0 | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | 500-700  | ≥200                               | ≥40               | ≤215 HB        |            |
| 33  | X4CrNi18-12        | 0,06                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 17,0-19,0 | 11,0-13,0 | -       | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | 500-700  | ≥190                               | ≥15               | ≤215 HB        |            |
| 34  | X1CrNi25-21        | 0,02                   | 2,0      | 0,25     | 0,025   | 0,01      | 24,0-26,0 | 20,0-22,0 | max 0,2 | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | 470-670  | ≥200                               | ≥40               | -              |            |
| 35  | X1CrNiSi18-15-4    | 0,015                  | 2,0      | 3,7-4,5  | 0,025   | 0,01      | 16,5-18,5 | 14,0-16,0 | max 0,2 | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | 530-730  | ≥210                               | ≥40               | ≤230 HB        |            |
| 36  | X2CrNiMoN17-11-2   | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 16,5-18,5 | 10,0-12,0 | 2,0-2,5 | - | -         | -  | -                   | -               | 0,12-0,22 | 590-780  | ≥295                               | ≥40               | -              |            |
| 37  | X5CrNiMo17-12-2    | 0,07                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 16,5-18,5 | 10,0-13,0 | 2,0-2,5 | - | -         | -  | -                   | -               | max 0,11  | -        | -                                  | -                 | -              |            |
| 38  | X1CrNiMoN25-22-2   | 0,02                   | 2,0      | 0,7      | 0,025   | 0,01      | 24,0-26,0 | 21,0-23,0 | 2,0-2,5 | - | -         | -  | -                   | -               | 0,1-0,16  | 540-740  | ≥250                               | ≥40               | -              |            |
| 38  | X6CrNiMoNb17-12-2  | 0,08                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015     | 16,5-18,5 | 10,5-13,5 | 2,0-2,5 | - | -         | -  | Nb = 10C+1,0        |                 | -         | 510-740  | ≥215                               | ≥35               | ≤230 HB        |            |
| 40  | X1NiCrMoCuN25-20-7 | 0,02                   | 1,0      | 0,5      | 0,03    | 0,01      | 19,0-21,0 | 24,0-26,0 | 6,0-7,0 | - | -         | -  | 0,5-1,5             | -               | 0,15-0,25 | 650-850  | ≥300                               | ≥40               | ≤250 HB        |            |
| 41  | X3CrNiMo13-4       | 0,05                   | 1,5      | 0,7      | 0,04    | 0,015     | 12,0-14,0 | 3,5-4,5   | 0,3-0,7 | - | -         | -  | -                   | -               | min 0,02  | 650-830  | ≥520                               | ≥12               | -              |            |

| Lp. | Znak               | Skład chemiczny, %mas. |          |          |         |         |           |         |         |         |   |    |         |         |             | Właściwości mechaniczne, [MPa] [%] |       |                   |                |
|-----|--------------------|------------------------|----------|----------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---|----|---------|---------|-------------|------------------------------------|-------|-------------------|----------------|
|     |                    | C (max)                | Mn (max) | Si (max) | P (max) | S (max) | Cr        | Ni      | Mo      | W       | V | Co | Cu      | Ti      | Al          | N                                  | Rm    | Re <sub>0,2</sub> | A <sub>5</sub> |
| 42  | X5CrNiCuNb16-4     | 0,07                   | 1,5      | 0,7      | 0,04    | 0,015   | 15,0-17,0 | 3,0-5,0 | max 0,6 | -       | - | -  | 3,0-5,0 | -       | Nb= 5C±0,45 | 1070-1270                          | ≥1000 | ≥10               | -              |
| 43  | X4CrNiMo16-5-1     | 0,06                   | 1,5      | 0,7      | 0,04    | 0,015   | 15,0-17,0 | 4,0-6,0 | 0,8-1,5 | -       | - | -  | -       | -       | min 0,02    | 760-960                            | ≥550  | ≥14               | -              |
| 44  | X7CrNiAl17-7       | 0,09                   | 1,0      | 0,7      | 0,04    | 0,015   | 16,0-18,0 | 6,5-7,8 | -       | -       | - | -  | -       | 0,7-1,5 | -           | ≤850                               | -     | -                 | ≤255 HB        |
| 45  | X2CrNiN23-4        | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,035   | 0,015   | 22,0-24,0 | 3,5-5,5 | 0,1-0,6 | -       | - | -  | 0,1-0,6 | -       | -           | 600-830                            | ≥400  | ≥25               | ≤260 HB        |
| 46  | X2CrNiMoN25-7-4    | 0,03                   | 2,0      | 1,0      | 0,035   | 0,015   | 24,0-26,0 | 6,0-8,0 | 3,0-4,5 | -       | - | -  | -       | -       | -           | -                                  | -     | -                 | -              |
| 47  | X2CrNiMoCuN25-6-3  | 0,03                   | 2,0      | 0,7      | 0,035   | 0,015   | 24,0-26,0 | 5,5-7,5 | 2,7-4,0 | -       | - | -  | 1,0-2,5 | -       | -           | -                                  | -     | -                 | -              |
| 48  | X2CrNiMoCuWN25-7-4 | 0,03                   | 1,0      | 1,0      | 0,035   | 0,015   | 24,0-26,0 | 6,0-8,0 | 3,0-4,0 | 0,5-1,0 | - | -  | 0,5-1,0 | -       | -           | -                                  | -     | -                 | -              |

Tablica 2: Stale żaroodporne (wybór z PN-EN 10088-1:2005)

| Lp. | Znak              | Skład chemiczny, %mas. |          |          |         |         |           |           |                |                  |                       | Właściwości mechaniczne, [MPa] [%] |                   |                |          | Max temp. pracy, °C |
|-----|-------------------|------------------------|----------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|----------------|----------|---------------------|
|     |                   | C (max)                | Mn (max) | Si (max) | P (max) | S (max) | Cr        | Ni        | Mo             | Al               | N                     | Rm                                 | R <sub>p0,2</sub> | A <sub>5</sub> | twardość |                     |
| 1   | X10CrAlSi7        | 0,12                   | 1,0      | 0,5-1,0  | 0,04    | 0,015   | 6,0-8,0   | -         | -              | 0,5-1,0          | -                     | 420-620                            | ≥220              | ≥22            | ≤192 HB  | 800                 |
| 2   | X10CrAlSi13       | 0,12                   | 1,0      | 0,7-1,4  | 0,04    | 0,015   | 12,0-14,0 | -         | -              | 0,7-1,2          | -                     | 450-650                            | ≥220              | ≥15            | ≤192 HB  | 850                 |
| 3   | X10CrAlSi18       | 0,12                   | 1,0      | 0,7-1,4  | 0,04    | 0,015   | 17,0-19,0 | -         | -              | 0,7-1,2          | -                     | 500-700                            | ≥270              | ≥15            | ≤212 HB  | 1000                |
| 4   | X10CrAlSi25       | 0,12                   | 1,0      | 0,7-1,4  | 0,04    | 0,015   | 23,0-26,0 | -         | -              | 1,2-1,7          | -                     | 520-720                            | ≥280              | ≥10            | ≤223 HB  | 1150                |
| 5   | X18CrN28          | 0,15-0,2               | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015   | 26,0-29,0 | -         | -              | -                | 0,15-0,25             | 500-700                            | ≥280              | ≥15            | ≤212 HB  | 1100                |
| 6   | X3CrAlTi18-2      | 0,04                   | 1,0      | 1,0      | 0,04    | 0,015   | 17,0-18,0 | -         | -              | 1,7-2,1          | Ti:<br>0,2+4(C+N)±0,8 | 500-650                            | ≥280              | -              | ≤200 HB  | 1000                |
| 7   | X15CrNiSi25-4     | 0,1-0,2                | 2,0      | 0,8-1,5  | 0,04    | 0,015   | 24,5-26,5 | 3,5-5,5   | -              | -                | 0,11                  | 600-850                            | ≥400              | ≥16            | ≤235 HB  | 1100                |
| 8   | X6CrNiSiN25-9-10  | 0,04-0,08              | 1,0      | 1,0-2,0  | 0,045   | 0,015   | 18,0-20,0 | 9,0-11,0  | -              | Ce:<br>0,03±0,08 | 0,12-0,2              | 600-800                            | ≥290              | ≥40            | ≤210 HB  | 1050                |
| 9   | X15CrNiSi20-12    | 0,2                    | 2,0      | 1,5-2,5  | 0,045   | 0,015   | 19,0-21,0 | 11,0-13,0 | -              | -                | 0,11                  | 55-750                             | ≥230              | ≥30            | ≤223 HB  | 1000                |
| 10  | X9CrNiSiN25-11-2  | 0,05-0,12              | 1,0      | 1,4-2,5  | 0,045   | 0,015   | 20,0-22,0 | 10,0-12,0 | -              | Ce:<br>0,03±0,08 | 0,12-0,2              | 650-850                            | ≥310              | ≥40            | ≤210 HB  | 1150                |
| 11  | X12CrNi23-13      | 0,15                   | 2,0      | 1,0      | 0,045   | 0,015   | 22,0-24,0 | 12,0-14,0 | -              | -                | 0,11                  | 500-700                            | ≥210              | ≥35            | ≤192 HB  | 1000                |
| 12  | X25CrMnNiN25-9-7  | 0,2-0,3                | 8,0-10,0 | 1,0      | 0,045   | 0,015   | 24,0-26,0 | 6,0-8,0   | -              | -                | 0,2-0,4               | 850-1050                           | ≥500              | ≥25            | ≤311 HB  | 1150                |
| 13  | X8CrNi25-21       | 0,1                    | 2,0      | 1,5      | 0,045   | 0,015   | 24,0-26,0 | 19,0-22,0 | -              | -                | 0,11                  | 500-700                            | ≥210              | ≥35            | ≤192 HB  | 1050                |
| 14  | X15CrNiSi25-21    | 0,2                    | 2,0      | 1,5-2,5  | 0,045   | 0,015   | 24,0-26,0 | 19,0-22,0 | -              | -                | 0,11                  | 550-750                            | ≥230              | ≥30            | ≤223 HB  | 1150                |
| 15  | X10NiCrAlTi32-21  | 0,12                   | 2,0      | 1,0      | 0,03    | 0,015   | 19,0-23,0 | 30,0-34,0 | -              | 0,15-0,6         | Ti: 0,15±0,6          | 450-680                            | ≥170              | ≥30            | ≤192     | 1100                |
| 16  | X6NiCrNbCe32-27   | 0,04-0,08              | 1,0      | 0,3      | 0,02    | 0,01    | 26,0-28,0 | 31,0-33,0 | Nb:<br>0,6±1,0 | max 0,025        | Ce:<br>0,05±0,1       | 500-750                            | ≥180              | ≥35            | ≤223 HB  | 1150                |
| 17  | X12NiCrSi35-16    | 0,15                   | 2,0      | 1,0-2,0  | 0,045   | 0,015   | 15,0-17,0 | 33,0-37,0 | -              | -                | 0,11                  | 55-750                             | ≥230              | ≥30            | ≤223 HB  | 1100                |
| 18  | X10NiCrSi35-19    | 0,15                   | 2,0      | 1,0-2,0  | 0,03    | 0,015   | 17,0-20,0 | 33,0-37,0 | -              | -                | 0,11                  | 500-650                            | ≥270              | ≥40            | ≤200 HB  | 1100                |
| 19  | X10NiCrSiNb35-22  | 0,15                   | 2,0      | 1,0-2,0  | 0,03    | 0,015   | 20,0-23,0 | 33,0-37,0 | -              | -                | 0,11                  | 500-650                            | ≥270              | ≥40            | ≤200 HB  | 1100                |
| 20  | X6NiCrSiN25-35-25 | 0,04-0,08              | 2,0      | 1,2-2,0  | 0,04    | 0,015   | 24,0-26,0 | 34,0-36,0 | -              | Ce:<br>0,03±0,08 | 0,12-0,2              | 650-850                            | ≥300              | ≥40            | ≤210 HB  | 1170                |

Tablica 3: Stale żarowytrzymałe (wybór z PN-EN 10302:2003)

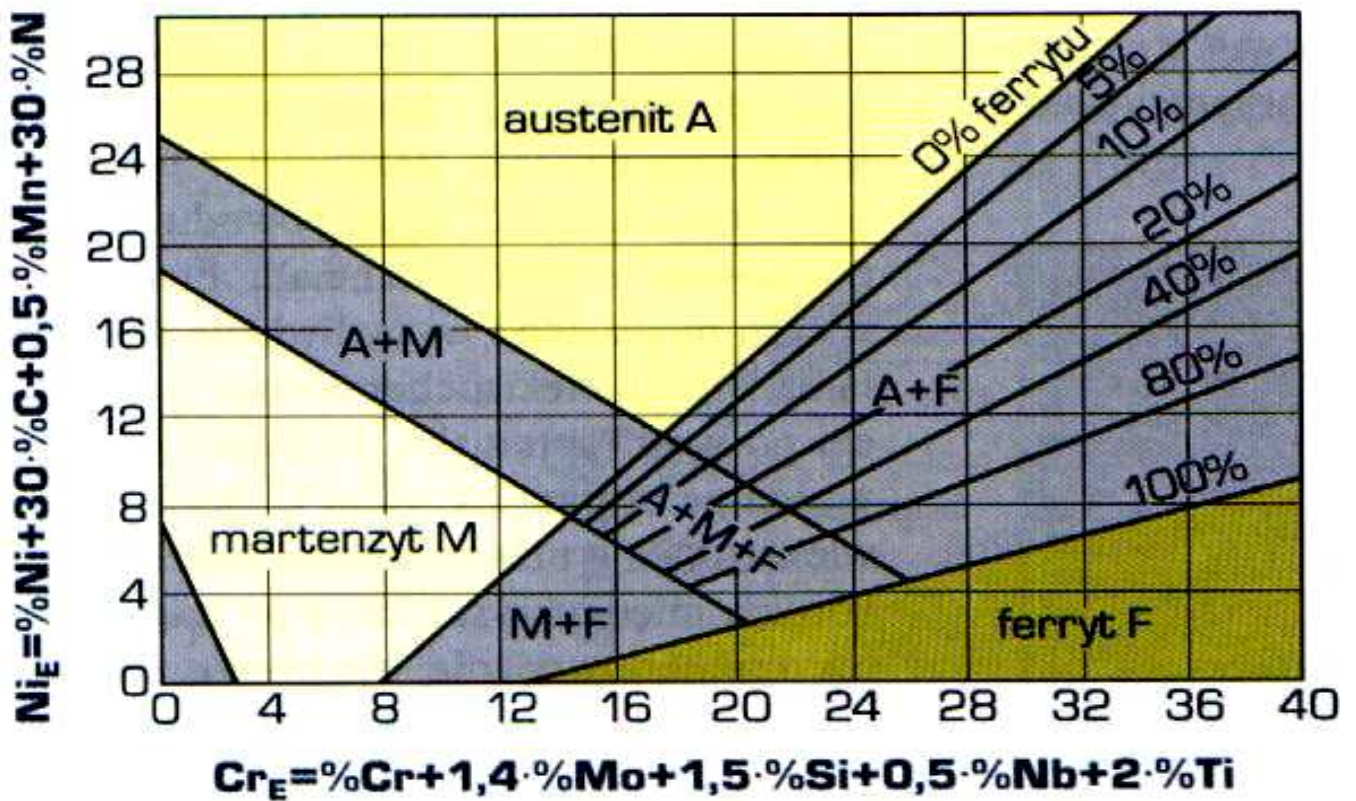
| Lp. | Znak             | Skład chemiczny, %mas. |          |          |         |         |           |          |           |         |           |               |             |         |            | Właściwości mechaniczne, |           |           |       |                                |                                |
|-----|------------------|------------------------|----------|----------|---------|---------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|---------------|-------------|---------|------------|--------------------------|-----------|-----------|-------|--------------------------------|--------------------------------|
|     |                  | C (max)                | Mn (max) | Si (max) | P (max) | S (max) | N         | Al       | Cr        | Mo      | Ni        | Nb            | V           | W       | Co         | B                        | Rm [MPa]  | Rp0.2 [%] | A [%] | R <sub>1000N</sub> 650°C [MPa] | R <sub>1000N</sub> 650°C [MPa] |
| 1   | X11CrMoWVNb9-1-1 | 0,09-0,13              | 0,3-0,6  | 0,1-0,5  | 0,02    | 0,01    | 0,05-0,09 | max 0,04 | 8,5-9,5   | 0,9-1,1 | 0,1-1,4   | 0,06-0,1      | 0,18-0,25   | 0,9-1,1 | -          | 0,0005-0,005             | 620-850   | ≥450      | ≥19   | 66                             | 82                             |
| 2   | X20CrMoWV12-1    | 0,17-0,24              | 0,3-0,8  | 0,1-0,5  | 0,025   | 0,015   | -         | -        | 11,0-12,5 | 0,8-1,2 | 0,3-0,8   | -             | 0,2-0,35    | 0,4-0,6 | -          | -                        | 700-950   | ≥500      | ≥14   | 29                             | 40                             |
| 3   | X8CrNiNb16-13    | 0,04-0,1               | 1,5      | 0,3-0,6  | 0,035   | 0,015   | -         | -        | 15,0-17,0 | -       | 12,0-14,0 | 10C±1,2       | -           | -       | -          | -                        | 510-710   | ≥195      | ≥35   | 78                             | 103                            |
| 4   | X12CrNiWTiB16-13 | 0,07-0,15              | 1,5      | 0,5      | 0,035   | 0,015   | -         | -        | 15,5-17,5 | -       | 12,5-14,5 | -             | Ti=0,4±0,7  | 2,5-3,0 | -          | 0,0015-0,006             | 500-750   | ≥230      | ≥30   | 109                            | 135                            |
| 5   | X8CrNiMoVNb16-13 | 0,04-0,1               | 1,5      | 0,3-0,6  | 0,035   | 0,015   | 0,06-0,14 | -        | 15,5-17,5 | 1,1-1,5 | 12,5-14,5 | 10C±1,2       | 0,6-0,85    | -       | -          | -                        | 540-740   | ≥255      | ≥30   | 128                            | 157                            |
| 6   | X6CrNiWNbN16-16  | 0,04-0,1               | 1,5      | 0,3-0,6  | 0,035   | 0,015   | 0,06-0,14 | -        | 15,5-17,5 | -       | 15,5-17,5 | 10C-1,2       | -           | 2,5-3,5 | -          | -                        | 540-740   | ≥250      | ≥30   | 113                            | 147                            |
| 7   | X8CrNiMoNb16-16  | 0,04-0,1               | 1,5      | 0,3-0,6  | 0,035   | 0,015   | -         | -        | 15,5-17,5 | 1,6-2,0 | 15,5-17,5 | 10C-1,2       | -           | -       | -          | -                        | 530-690   | ≥215      | ≥35   | 108                            | 137                            |
| 8   | X6CrNiMoTiB17-13 | 0,04-0,08              | 2,0      | 0,75     | 0,035   | 0,015   | -         | -        | 16,0-18,0 | 2,0-2,5 | 12,0-14,0 | Ti: 5C±0,8    | -           | -       | -          | 0,0015-0,006             | 530-730   | ≥205      | ≥35   | 118                            | 152                            |
| 9   | X8CrCoNiMo10-6   | 0,05-0,12              | 0,3-1,3  | 0,1-0,8  | 0,025   | 0,015   | 0,035     | -        | 9,8-11,2  | 0,5-1,0 | 0,2-1,2   | 0,2-0,5       | 0,1-0,4     | max 0,7 | 5,0-7,0    | 0,005-0,015              | 1000-1140 | ≥850      | ≥10   | -                              | 265 600°C                      |
| 10  | X12CrCoNi21-20   | 0,08-0,16              | 2,0      | 1,0      | 0,035   | 0,015   | 0,1-0,2   | -        | 20,0-22,5 | 2,5-3,5 | 19,0-21,0 | 0,75-1,25     | -           | 2,0-3,0 | 18,5-21,0  | -                        | 690-900   | ≥300      | ≥30   | 154                            | 217                            |
| 11  | X5NiCrAlTi31-20  | 0,03-0,08              | 1,5      | 0,7      | 0,015   | 0,01    | -         | 0,2-0,5  | 19,0-22,0 | -       | 30,0-32,5 | max 0,1       | -           | -       | Cu max 0,5 | Ti 0,2-0,5               | 500-750   | ≥170      | ≥30   | 78                             | 91                             |
| 12  | X8NiCrAlTi32-21  | 0,05-0,1               | 1,5      | 0,7      | 0,015   | 0,01    | -         | 0,2-0,65 | 19,0-22,0 | -       | 30,0-34,0 | Ti: 0,25-0,65 | Cu: max 0,5 | -       | -          | -                        | 500-750   | ≥170      | ≥35   | 59 700°C                       | 73 700°C                       |

Tablica 4: Stale zaworowe (wybór z PN-EN 10090:2001)

| Lp. | Znak             | Skład chemiczny, %mas. |          |          |         |         |           |          |         |         |         |              |              |                | Właściwości mechaniczne, |           |       |            |                |                   |                                |
|-----|------------------|------------------------|----------|----------|---------|---------|-----------|----------|---------|---------|---------|--------------|--------------|----------------|--------------------------|-----------|-------|------------|----------------|-------------------|--------------------------------|
|     |                  | C (max)                | Mn (max) | Si (max) | P (max) | S (max) | Cr        | Ni       | Mo      | W       | V       | Ti           | Al           | Nb             | Rm [MPa]                 | Rp0.2 [%] | A [%] | twor- dość | Rm 650°C [MPa] | Rp0.2 650°C [MPa] | R <sub>1000N</sub> 650°C [MPa] |
| 1   | X45CrSi9-3       | 0,4-0,5                | 0,6      | 2,7-3,3  | 0,04    | 0,03    | 8,0-10,0  | max 0,5  | -       | -       | -       | -            | -            | -              | 900-1100                 | 700       | 14    | 266-325 HB | 170            | 120               | 40                             |
| 2   | X40CrSiMo10-2    | 0,35-0,45              | 0,8      | 2,0-3,0  | 0,04    | 0,03    | 9,5-11,5  | max 0,5  | 0,8-1,3 | -       | -       | -            | -            | -              | 900-1100                 | 700       | 14    | 266-325 HB | 220            | 180               | 40                             |
| 3   | X85CrMoV18-2     | 0,8-0,9                | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,03    | 16,5-18,5 | -        | 2,0-2,5 | -       | 0,3-0,6 | -            | -            | -              | 1000-1200                | 800       | 7     | 296-355 HB | 230            | 170               | 52                             |
| 4   | X55CrMnNiN20-8   | 0,5-0,6                | 7,0-10,0 | 0,25     | 0,045   | 0,03    | 19,5-21,5 | 1,5-2,75 | -       | -       | -       | -            | N: 0,2-0,4   | -              | 900-1150                 | 550       | 8     | 28 HRC     | 490            | 230               | 160                            |
| 5   | X53CrMnNiNbN21-9 | 0,48-0,58              | 8,0-10,0 | 0,45     | 0,045   | 0,03    | 20,0-22,0 | 3,25-4,5 | -       | -       | -       | N: 0,38-0,5  | C+N: min 0,9 | Nb+Ta: 2,0-3,0 | 950-1150                 | 580       | 8     | 30 HRC     | 510            | 280               | 215                            |
| 6   | X50CrMnNiNbN21-9 | 0,45-0,55              | 8,0-10,0 | 0,45     | 0,045   | 0,03    | 20,0-22,0 | 3,5-5,5  | -       | 0,8-1,5 | -       | N: 0,4-0,6   | -            | Nb+Ta: 1,8-2,5 | 950-1150                 | 580       | 12    | 30 HRC     | 550            | 285               | 220                            |
| 7   | X53CrMnNiN21-9   | 0,48-0,58              | 8,0-10,0 | 0,25     | 0,045   | 0,03    | 20,0-22,0 | 3,25-4,5 | -       | -       | -       | N: 0,35-0,5  | -            | -              | 950-1200                 | 580       | 8     | 30 HRC     | 500            | 270               | 200                            |
| 8   | X33CrNiMnN23-8   | 0,28-0,38              | 1,5-3,5  | 0,5-1,0  | 0,045   | 0,03    | 22,0-24,0 | 7,0-9,0  | max 0,5 | max 0,5 | -       | N: 0,25-0,35 | -            | -              | 850-1100                 | 550       | 20    | 25 HRC     | 470            | 210               | 200                            |
| 9   | X85CrMoV18-2     | 0,8-0,9                | 1,5      | 1,0      | 0,04    | 0,03    | 16,5-18,5 | -        | 2,0-2,5 | -       | 0,3-0,6 | -            | -            | -              | 1000-1200                | 800       | 7     | 296-355 HB | 230            | 170               | 52                             |

$$Cr_E = \%Cr + 1,4 \cdot \%Mo + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb + 2 \cdot \%Ti$$

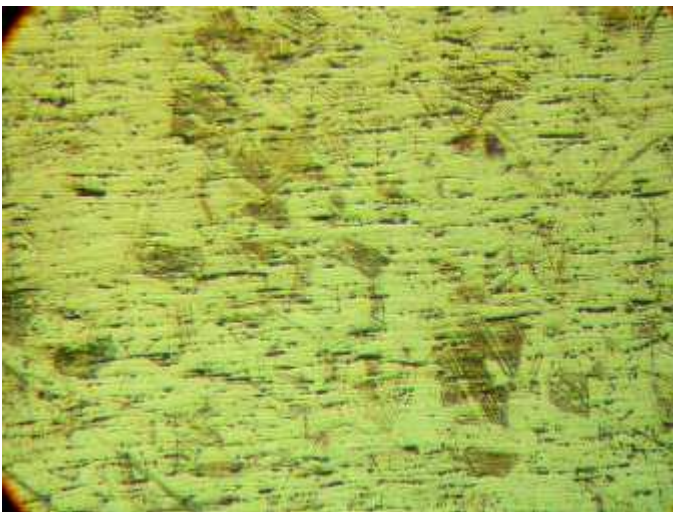
$$Ni_E = \%Ni + 30 \cdot \%C + 0,5 \cdot \%Mn + 30 \cdot \%N$$



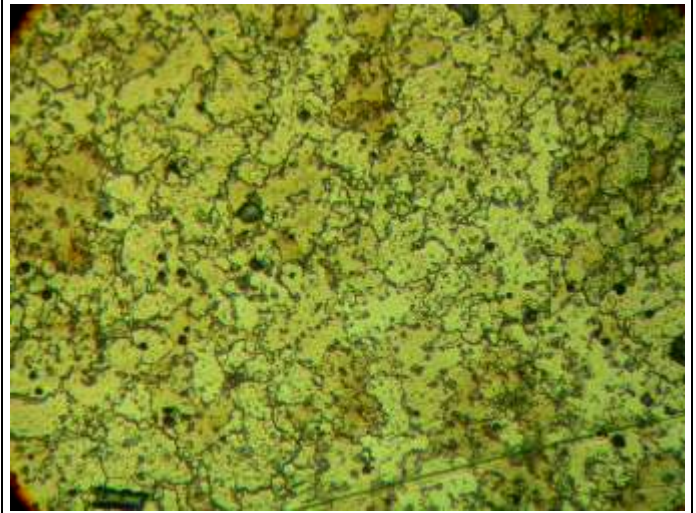
Rys. 1: Wykres Schafflera [4]



## Atlas struktur stali stopowych



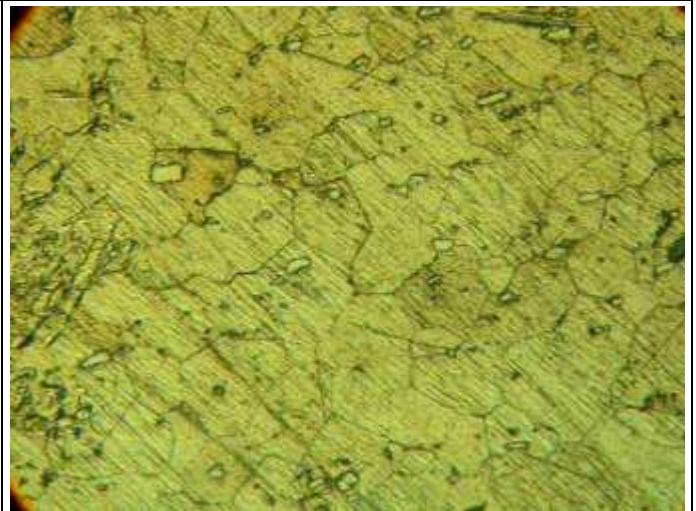
Mikrostruktura stali X12Cr13 po walcowaniu i wyżarzaniu. Widoczne ziarna ferrytu z węglkami, duże zanieczyszczenie wtrąceniami niemetalicznymi. Trawiono nitałem, pow. 250x



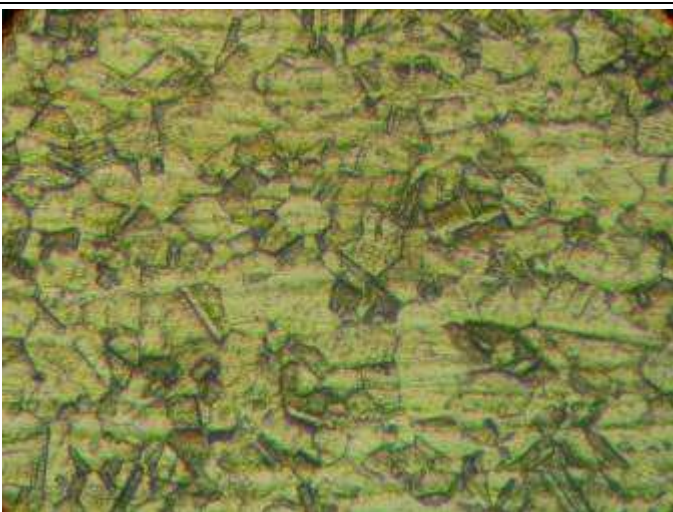
Mikrostruktura stali X20Cr13 po wyżarzaniu. Jasne ziarna ferrytu i duża ilość węglków. Trawiono nitałem, pow. 250x



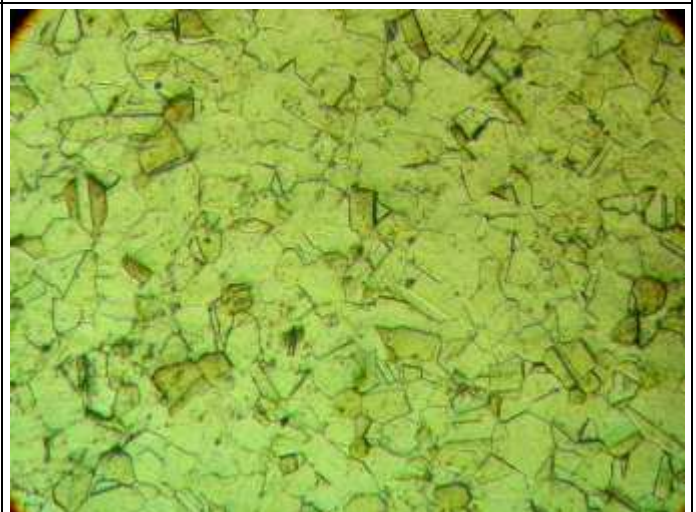
Mikrostruktura stali X10CrTi25. Widoczne jasne ziarno ferrytu z węglkami oraz pasma wtrąceń niemetalicznych. Trawiono wodą królewską, pow. 250x



Mikrostruktura stali żaroodpornej X10CrAlSi25. Widoczna struktura ferrytyczna. Trawiono  $\text{HFxHNO}_3$ , pow. 150x

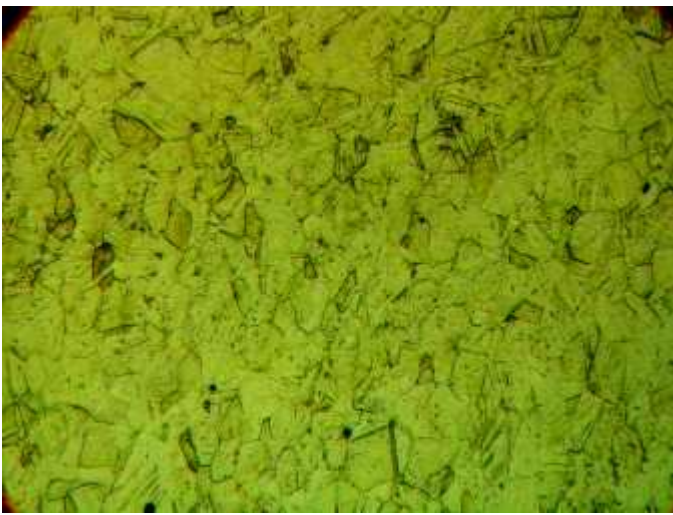


Mikrostruktura stali X10CrNi18-8 po przesycaniu. Widoczne charakterystyczne ziarna austenitu z bliźniakami. Trawiono  $\text{HFxHNO}_3$ , pow. 250x

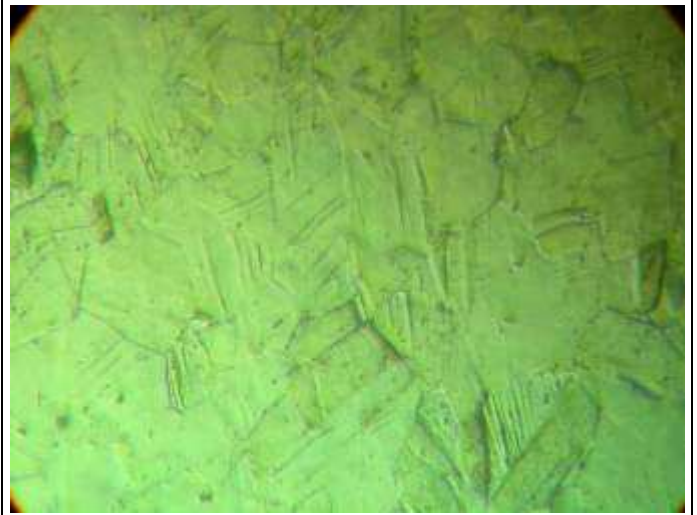


Mikrostruktura stali X2CrNiMo17-12-2 po przesycaniu. Widoczne charakterystyczne ziarna austenitu z bliźniakami. Trawiono wodą królewską, pow. 250x

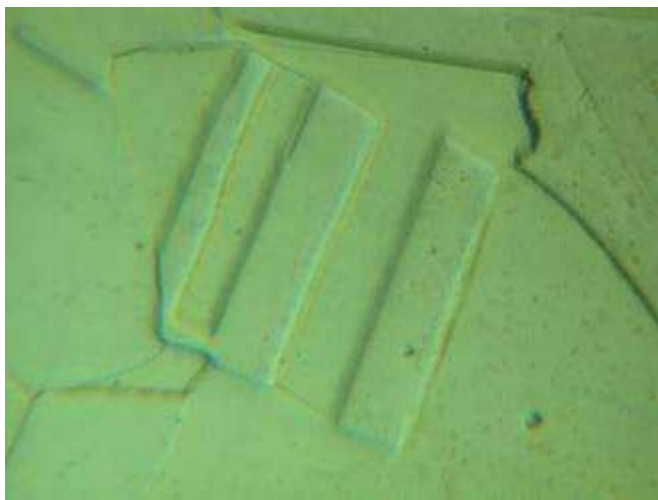




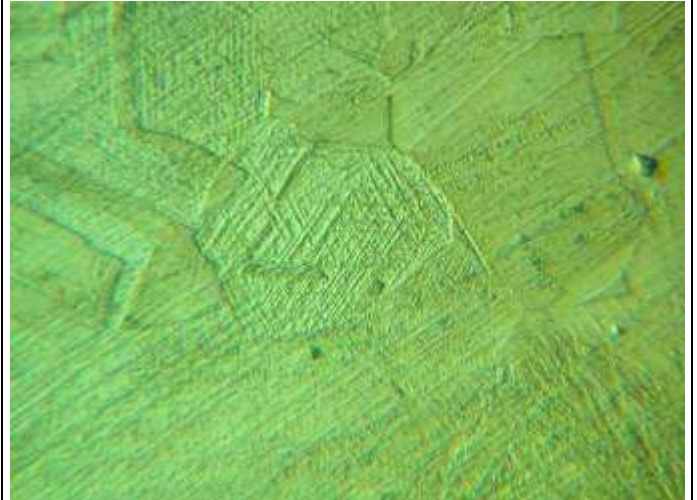
Mikrostruktura stali X10CrNi18-8 po przeróbce plastycznej na zimno. Widoczne zniekształcone ziarna austenitu oraz pasma poślizgu. Trawiono wodą królewską, pow. 250x



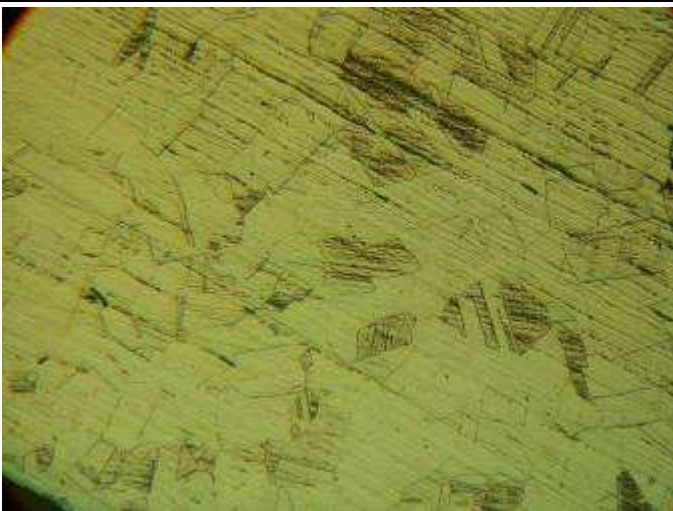
Mikrostruktura stali X2CrNi17-12-2 po przeróbce plastycznej na zimno. Widoczne zniekształcone ziarna austenitu oraz pasma poślizgu. Trawiono wodą królewską, pow. 400x



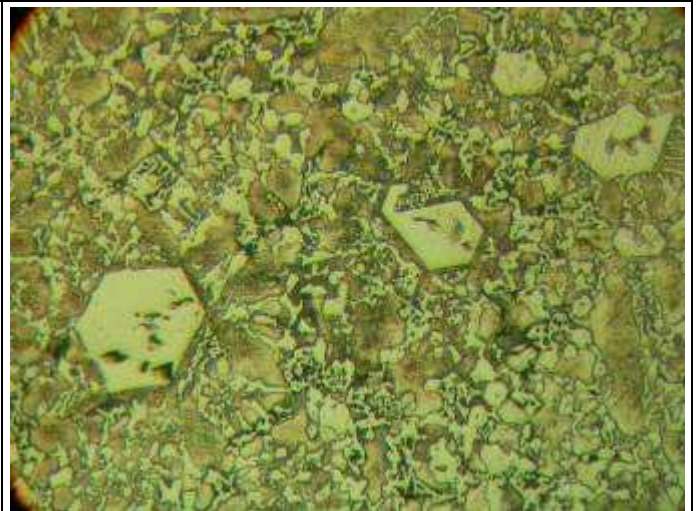
Mikrostruktura stali X2CrNiMo17-12-2 po przesycaniu. Widoczne charakterystyczne ziarna austenitu z bliźniakami. Trawiono wodą królewską, pow. 1000x



Mikrostruktura stali X2CrNiMo17-12-2 po przeróbce plastycznej na zimno. Widoczne pasma poślizgu w ziarnach. Trawiono wodą królewską, pow. 600x



Mikrostruktura stali X12Mn12 po walcowaniu i przesycaniu. Widoczne ziarna austenitu z bliźniakami rekryształizacji. Trawiono  $\text{HFxHNO}_3$ , pow. 125x



Mikrostruktura steli – stop na bazie kobaltu. Widoczne kryształy roztworu stałego w osnowie stopowej. Trawiono wodą królewską, pow. 250x