

Konstrukcje metalowe

Wykład I

Wprowadzenie

Spis treści

Najważniejsze normy → #t / 3

Definicje → #t / 6

Historia → #t / 7

Materiały konstrukcyjne → #t / 24

Źródła żelaza → #t / 44

Proces wielkopiecowy i stalowniczy → #t / 50

Asortyment hutniczy → #t / 68

Budowa wewnętrzna stali → #t / 84

Ulepszenie cieplne → #t / 89

Aluminium → #t / 92

Zagadnienia egzaminacyjne → #t / 98

Najważniejsze normy

Najważniejsze normy konieczne na I stopniu studiów

Podstawy:

EN 1990

Obciążenia:

EN 1991-1-1

EN 1991-1-3

EN 1991-1-4

Konstrukcje stalowe:

EN 1993-1-1

EN 1993-1-5

EN 1993-1-8

Kontakt z innymi
materiałami:

EN 1992-1-1

EN 1996-1-1

Inne zagadnienia:

EN 1090-2

EN ISO 6520-1

EN ISO 5817

Pozostałe normy, przedstawiane lub wspomniane na wykładach:

Konstrukcje stalowe:

Obciążenia:

EN 1991-1-2

EN 1991-1-5

EN 1991-1-6

EN 1991-1-7

EN 1991-3

EN 1991-3

EN 1991-4

EN 1993-1-2

EN 1993-1-3

EN 1993-1-4

EN 1993-1-6

EN 1993-1-7

EN 1993-1-9

EN 1993-1-10

EN 1993-1-11

EN 1993-1-12

Konstrukcje stalowe:

EN 1993-2

EN 1993-3-1

EN 1993-3-2

EN 1993-4-1

EN 1993-4-2

EN 1993-4-3

EN 1993-5

EN 1993-6

Pozostałe normy, przedstawiane lub wspomniane na wykładach:

Kontakt z innymi materiałami:

EN 1992-1-1

EN 1996-1-1

Konstrukcje aluminiowe:

EN 1999-1-1

EN 1999-1-2

EN 1999-1-3

EN 1999-1-4

EN 1999-1-5

Inne problemy:

EN 1998-1

EN 1011

EN 1090-2

EN ISO 1944

EN 1337-6

ISO 2560

ISO 3580

ISO 3581

EN ISO 5817

EN ISO 6520-1

Inne problemy:

EN 10 025-2

EN 10 164

EN 13 001

EN 12 345

EN ISO 12 944

EN 14 399

EN 15 048

ISO 18 275

Definicje

Stal - stop, Fe + C + other ($C \leq 2,05 \%$, $Fe \approx 98\%$);

Żelazo – pierwiatek chemiczny Fe;

Ruda żelaza - mieszanina, $Fe \approx 25 - 70\%$ + zanieczyszczenia;

Surówka - mieszanina, $C \approx 5 \%$ zanieczyszczenia $\approx 5 \%$ $Fe \approx 90 \%$;

Żeliwo - stop, Fe + C + domieszki stopowe ($2,1\% \leq C \leq 4,3 \%$);

Staliwo – stal bez ulepszenia cieplnego;

Aluminium - stop, Al + domieszki stopowe;

Historia

Około 3 300 pne, Egipt i Mezopotamia – początek użycia żelaza z żelaznych meteorytów; żelazna broń i biżuteria;



Rys: wiedzoholik.pl

Około 2 800 pne, Mezopotamia – najstarszy przypadek użycia żelaza z rudy żelaza;

Około 1 200 pne, Królestwo Hetityckie (Azja Mniejsza) – powszechny wytop żelaza z rudy; broń i narzędzia; symboliczny początek ery żelaza;



Żelazo meteorytowe ↔
żelazo z rudy:

Różnica w składzie
izotopowym i
chemicznym stopu.

Rys: armieswiata.freehost.pl

Dymarka – ruda żelaza + węgiel, bez nadmuchu powietrza;

Wielki piec – ruda żelaza + węgiel + nadmuch powietrza;

Współczesny wielki piec – koks zamiast węgla;



Rys: wikipedia



Rys: oldindustry.org

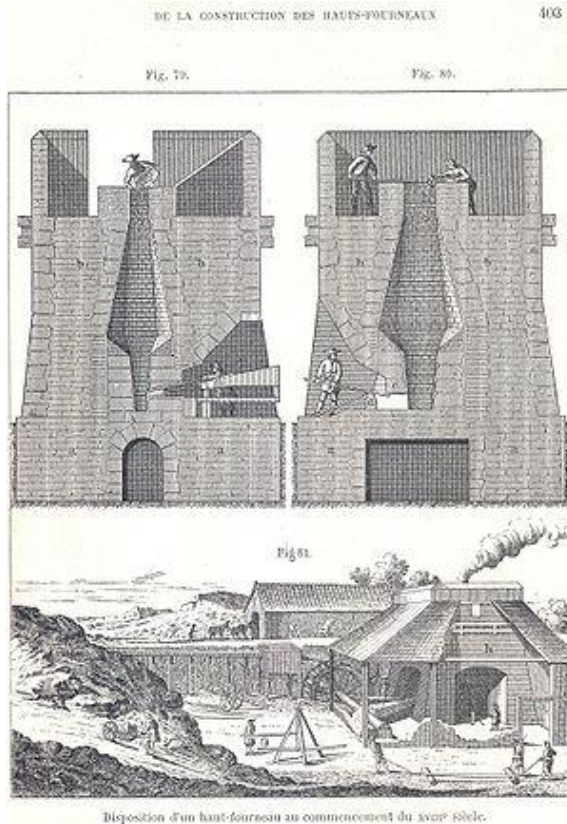


Rys: wikipedia

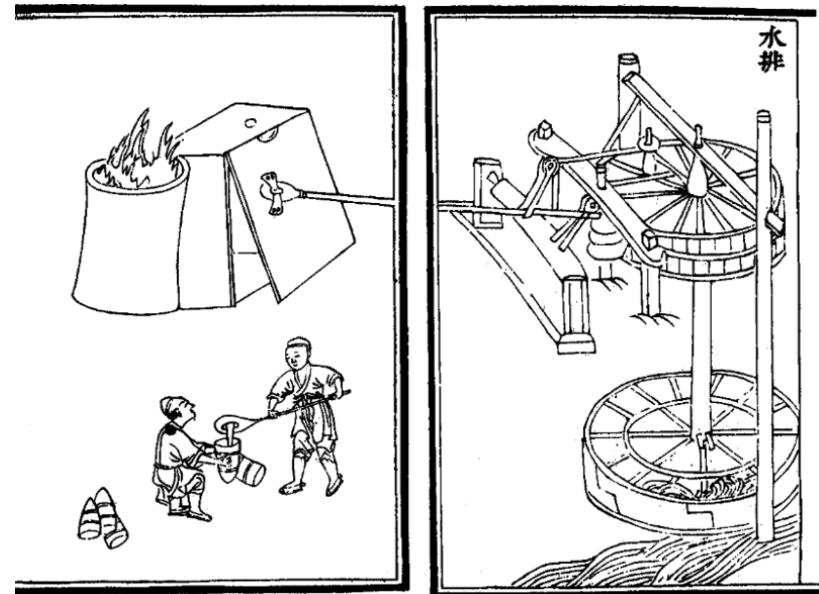
Około 50 ne, Chiny – pierwszy na świecie piec z nadmuchem;
 Około 1250 ne – pierwszy taki piec w Europie;
 1735, Anglia – pierwszy na świecie nowoczesny wielki piec;



Rys: merryfarmer.net



Rys: wow.com



Rys: wikipedia

Żelazo uzyskane z dymarki jest słabej jakości, porowate, z zanieczyszczeniami. Aby poprawić jego parametry, należy je poddać kuciu (żelazo dymarkowe → żelazo kute) przetopić je (żelazo dymarkowe → żelazo lane, żeliwo).



Rys: forumkowalskie.pl



Rys: avista.org



Rys: pinterest.com

Oprócz narzędzi i broni, z żelaza wykonywano pomniki.

Około 415 ne, Delhi – pierwsza w dziejach konstrukcja ze stali nierdzewnej, stalowa kolumna z inskrypcjami ku czci boga Wisznu i króla Ćandragupty II (375-415).

Nierdzewność monumentu jest skutkiem ubocznym naturalnego składu chemicznego rudy, z której wykonano obelisk.

Kolumnę wykonano z kutego żelaza.



Rys: wikipedia

Posągi z żelaza lanego:

Żelazna Pagoda, Ganlu, około 825;

Żelazny Lew, Cangzhou, 953;

Żelazna Pagoda, Yuquan, 1061;



Rys: panoramio.com/rheins



Rys: messagetoeagle.com

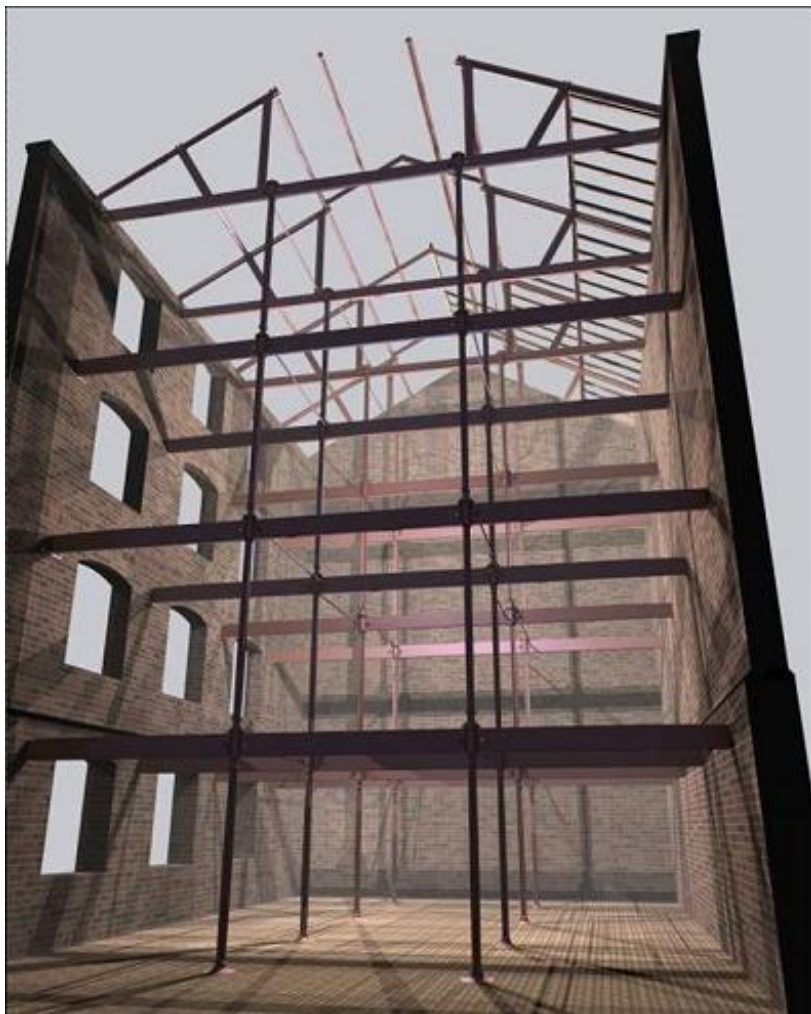


1777-1781, Coalbrookdale, England – budowa pierwszego żeliwnego mostu, uważanego za najstarszą na świecie żelazną konstrukcję. Symboliczny początek rewolucji przemysłowej.



Rys: wikipedia

1796, Ditherington Flax Mill – najstarszy budynek przemysłowy o konstrukcji żeliwnej ramowej.



Rys: 8late.wordpress.com



Rys: ironbridge.blogspot.com

Około 1825, The Commissioner's House of the Royal Naval Dockyard, Bermudy – najstarszy budynek mieszkalny o konstrukcji żeliwnej ramowej.



Rys: tripadvisor.co.uk



Rys: gotobermuda.com

1856, Anglia - Henry Bessemer opatentował konwerter; możliwa stała się masowa produkcja (5 t / 20 min) stali wysokiej jakości (odlewanie stali);



Rys: wikipedia

1889, Paryż – Wieża Eiffel’a, stalowa konstrukcja nitowana, pierwszy w dziejach obiekt wyższy niż 300 m.

Rys: wikipedia



Rys: wikipedia

Przed wynalezieniem technologii spawania, wszystkie konstrukcje były nitowane lub łączone na śruby.

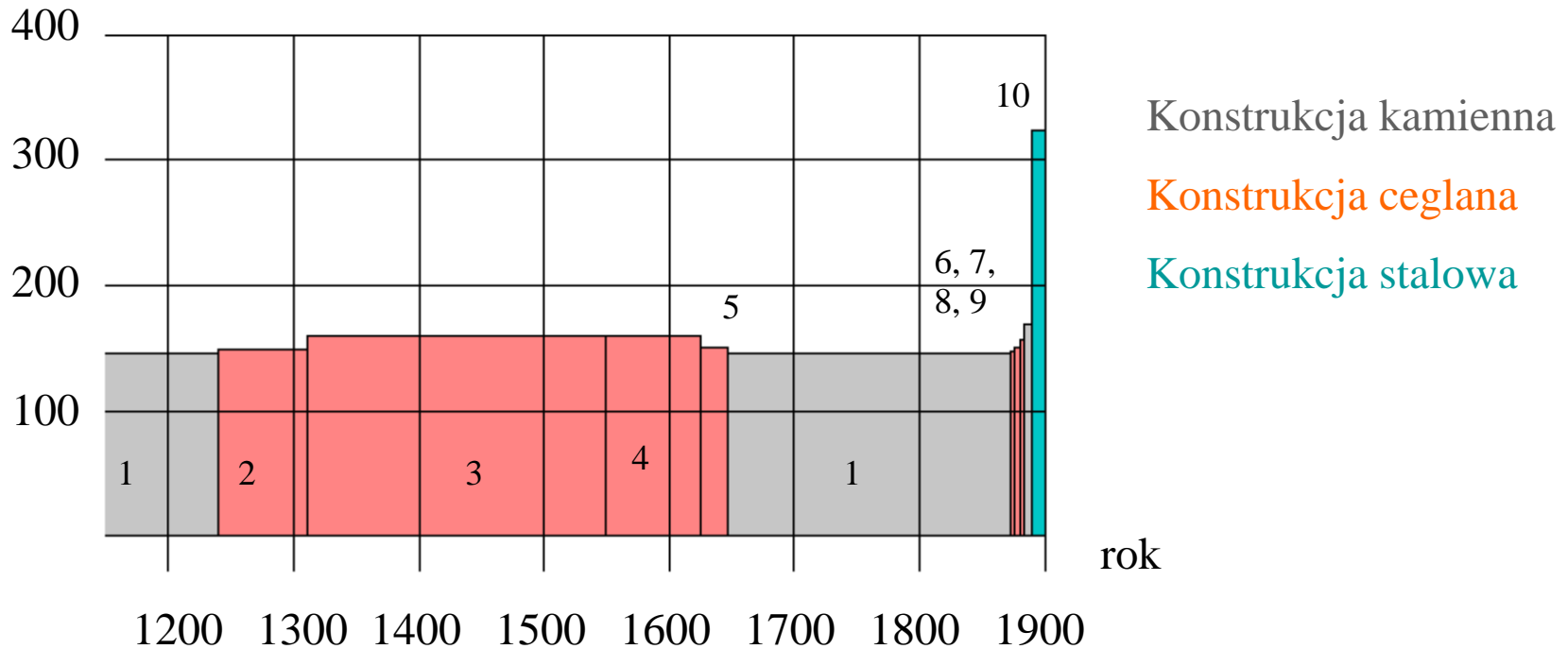


Rys: krakow.come2europe.eu

Najwyższe budowle przez wieki

wysokość [m]

Rys: Autor



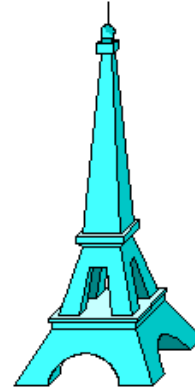
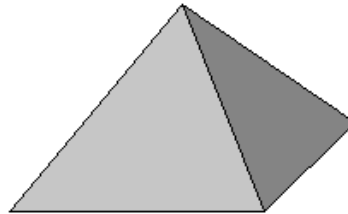
1. Piramida Cheopsa 2. Stara Katedra, Londyn 3. Katedra w Lincoln 4. Kościół Św Olafa, Tallin 5. Kościół Mariacki, Stralsund 1. Piramida Cheopsa 6. Kościół Św Mikołaja, Hamburg 7. Katedra w Rouen 8. Katedra w Kolonii 9. Obelisk Waszyngtona 10. Wieża Eiffel'a

Piramida Cheopsa i Wieża Eiffel'a

Wymiary:

podstawa 230x230 m

wysokość 146 m



Wymiary:

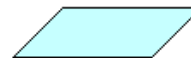
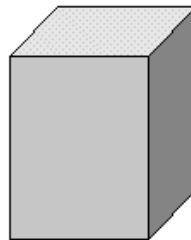
podstawa 125x125 m

wysokość 324 m

Objętość bloków
kamiennych:

podstawa 125x125 m

wysokość 165 m



Objętość stali:

podstawa 125x125 m

wysokość 0,08 m

Rys: Autor

Spawanie gazowe:

1836, Wielka Brytania - Edmund Davy odkrywa acetylen;

1862, Niemcy - Frederick Wöhler odkrywa karbid

karbid + woda → acetylen (bardzo tania metoda)

1883, Polska - Karol Olszewski i Zygmunt Wróblewski uzyskują skroplony tlen;

1894, Francja - Henryk Maisson wynajduje metodę masowej produkcji karbidu;

1901, Francja - Edmond Fouche i Charles Picard konstruuja palnik acetylenowo-tlenowy.

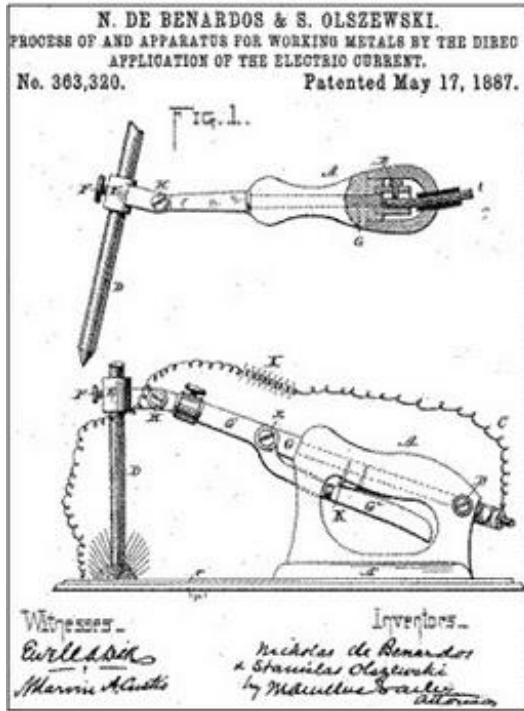


Rys: anthonycars.com



Rys: victortechologies.com

Inne metody spawania (elektryczne, termitowe)



Rys: wikipedia

1882, Rosja - Stanisław Olszewski i Mikołaj Benardos patentują spawanie łukiem elektrycznym.

1894, Niemcy - Hans Goldschmidt wynajduje metodę spawania termitem.



Rys: pl.all.biz

Więcej informacji → wyk. #16

Od II połowy XIX w do dzisiaj – współczesne konstrukcje stalowe, nitowane, śrubowane i spawane.



Rys: wikipedia



Rys: wikipedia



Rys: skyscrapercity.com

Materiały konstrukcyjne

Żelbet, beton ~35% konstrukcji

Metale ~35% konstrukcji

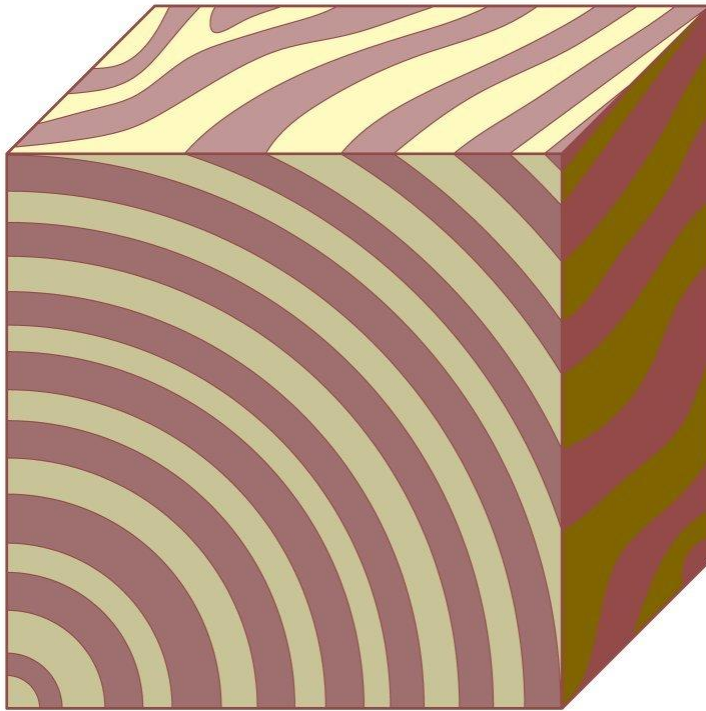
Ceramika ~25% konstrukcji

Drewno ~5% konstrukcji

Metale jako materiał konstrukcyjny:

Stal ~95% konstrukcji metalowych

Aluminium ~5% konstrukcji metalowych



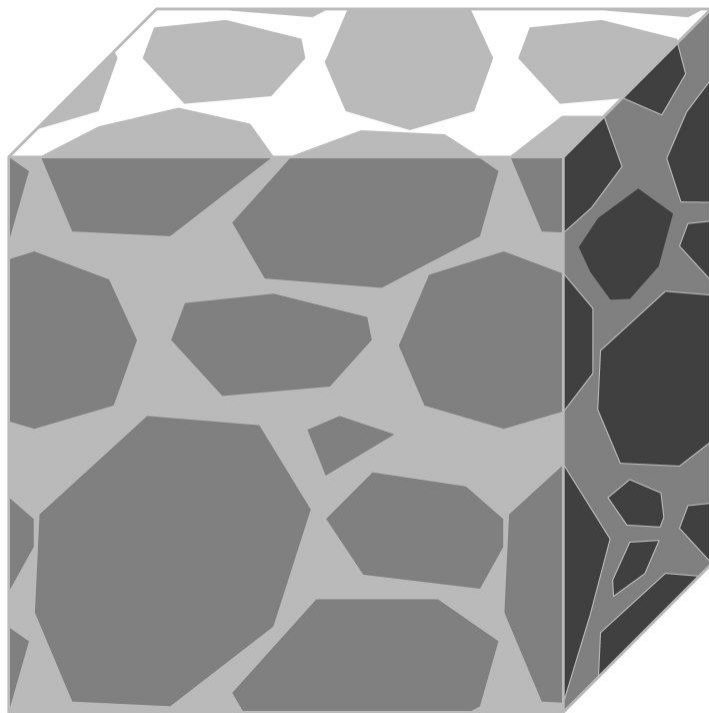
Rys: Autor



Rys: sadolin.pl

Drewno

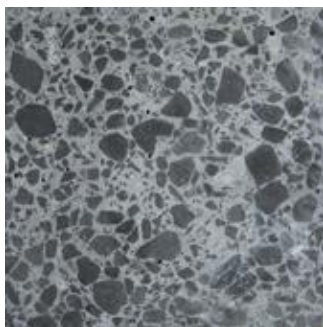
- Materiał pochodzenia biologicznego; wilgotność ma wielki wpływ na parametry mechaniczne;
- Materiał niejednorodny; wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie różnią się;
- Materiał anizotropowy; istnieją wyróżnione kierunki i płaszczyzny; wytrzymałości mierzone równoległe, prostopadłe i po stycznej do nich są różne.



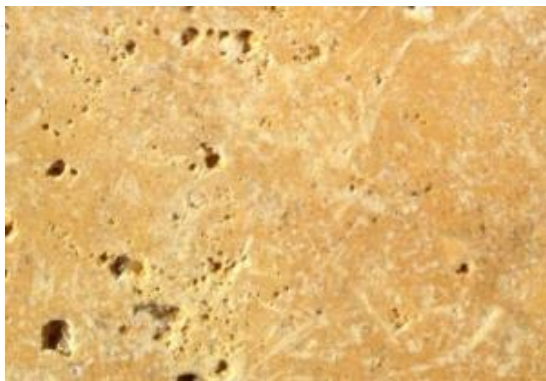
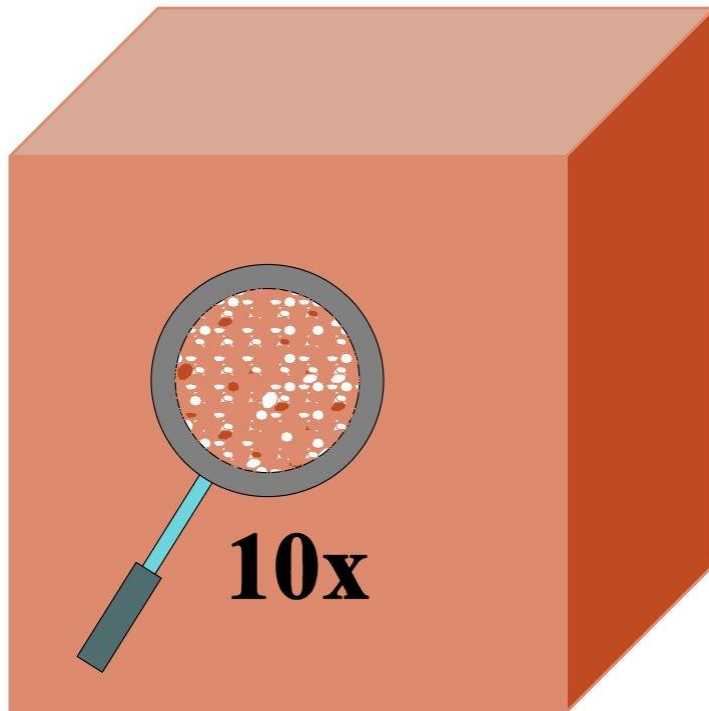
Beton

- Materiał niejednorodny; wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie różnią się;
- Materiał izotropowy; brak wyróżnionych kierunków i płaszczyzn; wartość parametrów mechanicznych nie zależy od kierunku.

Rys: Autor



Rys: swiatbetonu.pl

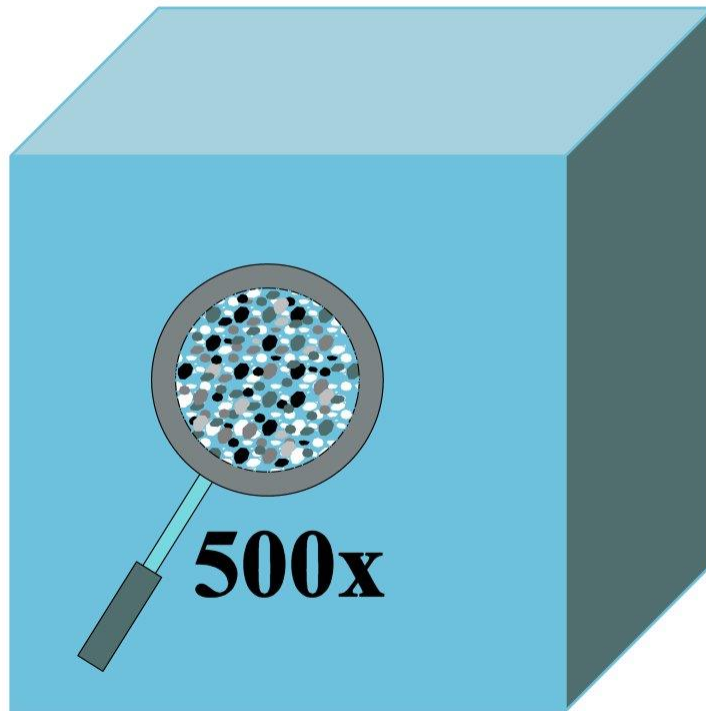


Ceramika

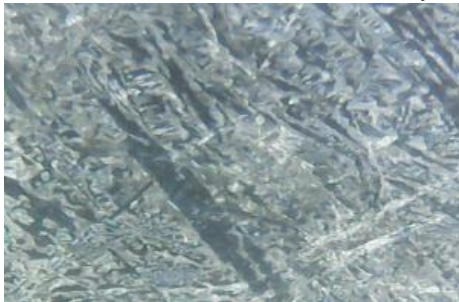
- Materiał niejednorodny; wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie różnią się;
- Materiał izotropowy; brak wyróżnionych kierunków i płaszczyzn; wartość parametrów mechanicznych nie zależy od kierunku.

Rys: Autor

Rys: duroshine.com



Rys: Autor



Metal

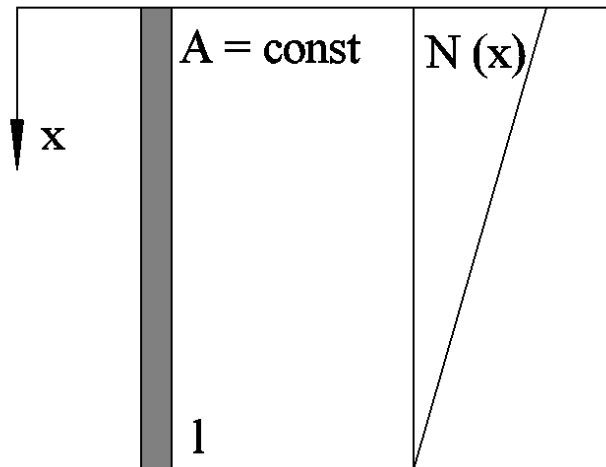
- Materiał jednorodny; wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie jest taka sama;
- Materiał izotropowy; brak wyróżnionych kierunków i płaszczyzn; wartość parametrów mechanicznych nie zależy od kierunku.

Metale i inne materiały

Materiał	Wytrzymałość f_y [MPa]	Ciężar własny d [kN/m ³]	Lekkość $\kappa = d / f_y$ [0,001/m]
Stal na konstrukcje ciągnowe	1 450 – 2 300 *	78,5	0,03 - 0,05
Stal wysokiej wytrzymałości	450 – 700	78,5	0,11 - 0,17
„Zwykła” stal	235 – 355	78,5	0,22 - 0,33
Aluminium	110 – 280	27,0	0,10 - 0,25
Beton	30 – 50**	25,0	0,50 - 0,83
Ceramika	5 – 20	20,0	1,00 - 4,00
Drewno	5 – 10	7,0	0,70 - 1,40

* f_u **wytrzymałość na ściskanie

Wspornik pionowy, obciążony tylko ciężarem własnym



$$N_{\max}(x) = N(0) = A l d$$

$$\sigma_{\max} = N_{\max} / A = l d$$

$$\sigma_{\max} \leq f_y$$

$$l = \max \leftrightarrow \sigma_{\max} = f_y$$



$$l_{\max} d = f_y$$

$$l_{\max} = f_y / d = 1 / \kappa$$

Materiał	l_{\max} [m]
Stal na konstrukcje ciągnowe *	18 500 - 29 300
Stal wysokiej wytrzymałości	5 900 - 9 100
„Zwykła” stal	3 000 - 4 500
Aluminium	4 000 - 10 000
Beton **	1 200 - 2 000
Ceramika **	250 - 1 000
Drewno **	700 - 1 400

* f_u

** wytrzymałość na ściskanie

		
Stal	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Wysoka wytrzymałość ◆ Wysoki stopień prefabrykacji elementów ◆ Łatwość rozbudowy obiektów istniejących ◆ Możliwość rozbiórki bez zniszczenia elementów 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Podatna na korozję ◆ Brak odporności ogniowej
Aluminium	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Pełny recykling złomu ◆ Lekkość 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Wysoki koszt materiału ◆ Brak odporności ogniowej ◆ Podatność na destrukcję termiczną ◆ Niska wytrzymałość zmęczeniowa

Przykłady konstrukcji stalowych i aluminiowych



Rys: setrometalgroup.com

Rama „lekkiej” hali stalowej, przekroje gorącowałcowane (I° studiów)

Rama „lekkiej” hali stalowej, przekroje spawane (I° studiów)



Rys: traskostal.pl

Kratownica dachowa (I° studiów)



Rys: rolstal.com

Przemysłowa konstrukcja wsporcza (I° studiów)



Rys: monta.pl

Szkielet budynku mieszkalnego (I^o studiów)



Rys: stalart.com.pl

Szkielet budynku biurowego (I^o studiów)



Rys: hale.info



Rys: atechleader.com

Szkielet budynku przemysłowego (I^o studiów)

Rama „ciężkiej” hali stalowej (II^o studiów)



Rys: stabud.eu

Estakada podsuwnicowa (II^o studiów)



Rys: zksgrzelak.eu

Szkielet wysokościowca (II^o studiów)



Rys: skyscrapercity.com



Rys: wikipedia

Silos (II° studiów)



Rys: gpd24.pl

Komin (II° studiów)



Rys: carrasquilloassociates.com



Rys: iniekt-system.pl

Rurociąg (II° studiów)

Zbiornik kulisty (II^o studiów)



Rys: wikipedia

Zbiornik cylindryczny (II^o studiów)



Rys: kbpomorze.pl

Wieża ciśnień (II^o studiów)



Rys: wikipedia

Słup elektroenergetyczny (II^o studiów)



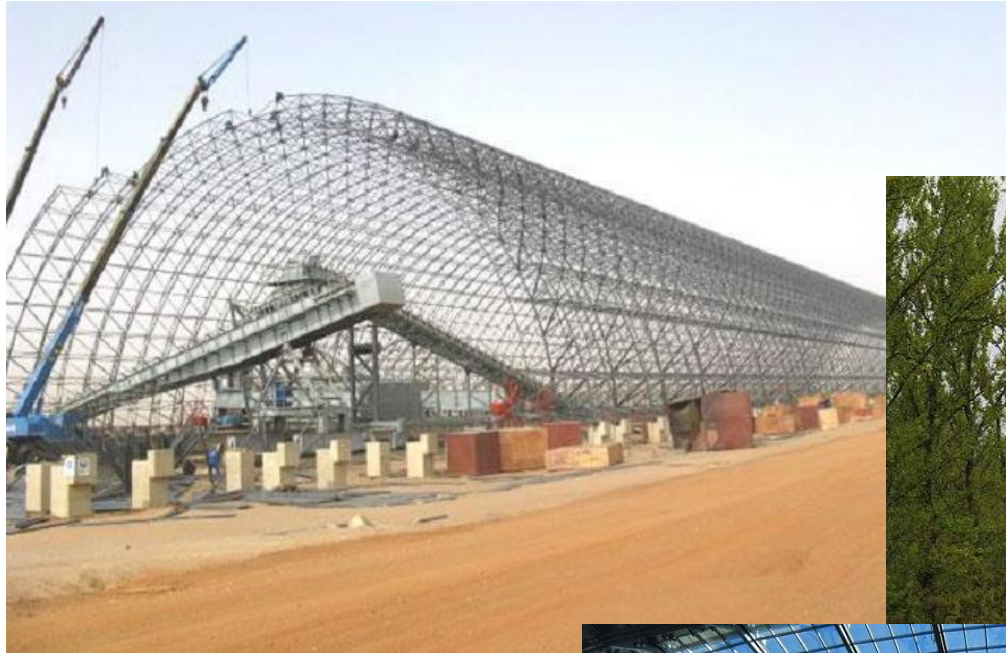
Rys: inzynieria.com



Rys: wikipedia

Maszt, wieża (II^o studiów)

Przekrycie strukturalne (II° studiów)



Rys: xzlf.en.hisupplier.com

Kolejka linowa (II° studiów)



Rys: wikipedia

Dach wiszący (II° studiów)



Rys: wikipedia

Most (I° i II° studiów)



Rys: wikipedia

Elektrownia wiatrowa



Rys: wikipedia

Platforma wydobycza



Rys: globalsources.com

Aluminium: szklarnia, Ogród Botaniczny w Krakowie



Rys: wikipedia

Przenośna konstrukcja tymczasowa



Rys: .wamat.com.pl

Maszt, wieża



Rys: e-signals.pl

Źródła żelaza

Meteory

Rudy żelaza

Konkrecje metalowe

Jądro Ziemi

Meteory: żelazne lub kamiennie-żelazne



Rys: ptmet.org.pl

Ruda: magnetyt

$(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$ + zanieczyszczenia

40% - 70% Fe



Rys: wikipedia

Rys: geopasja.p



Ruda: hematyt

(Fe_2O_3) + zanieczyszczenia

30% - 70% Fe

Ruda: syderyt

(FeCO_3) + węglany

30% - 50% Fe



Rys: wikipedia

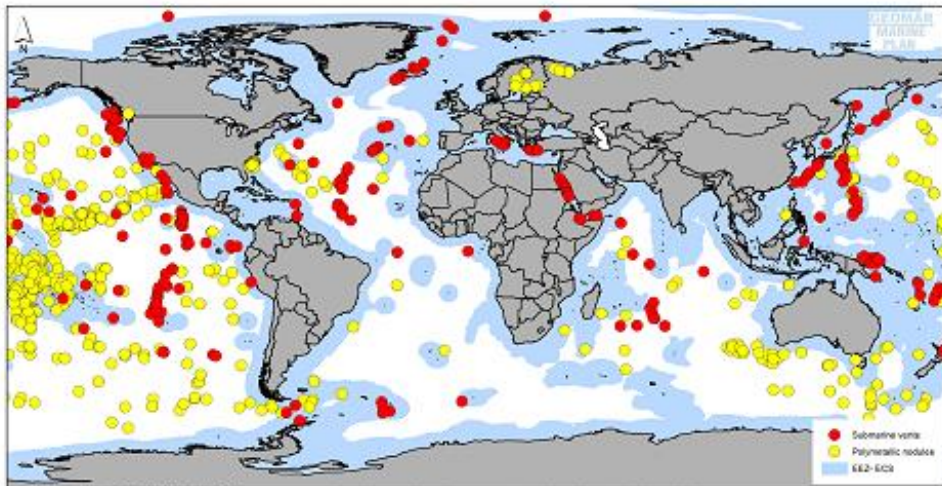
Rys: wikipedia



Ruda: limonit (ruda darniowa)

$(\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O})$ + domieszki ilaste

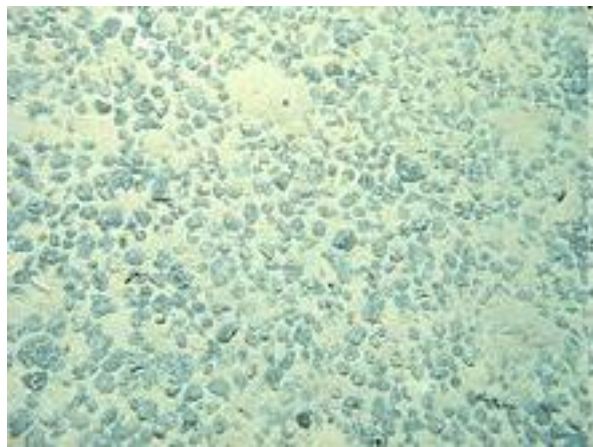
25% - 40% Fe



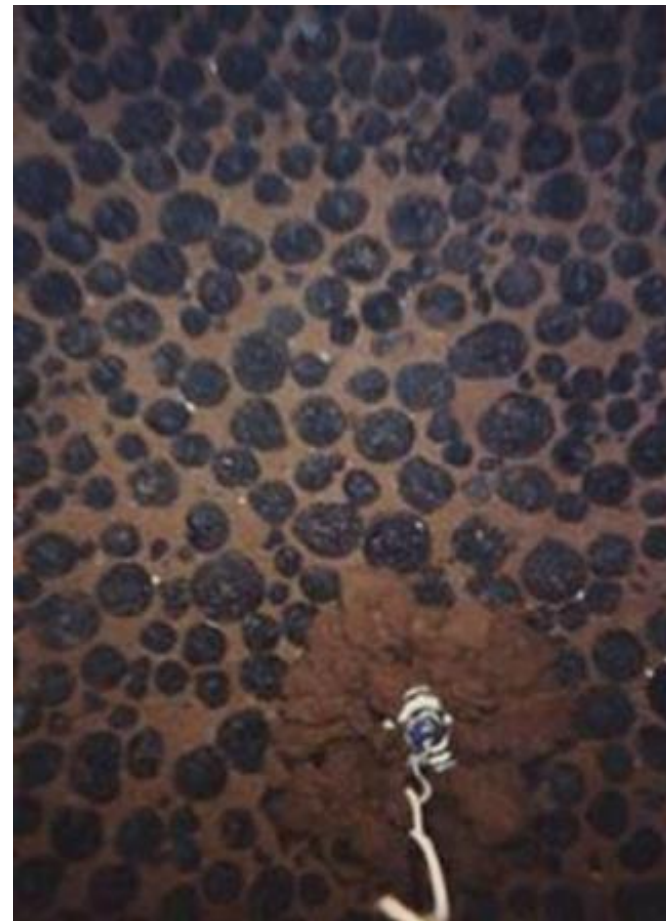
Fuente: International Seabed Authority (ISA)

Location submarine vents and polymetallic nodules

Rys: marineplan.es

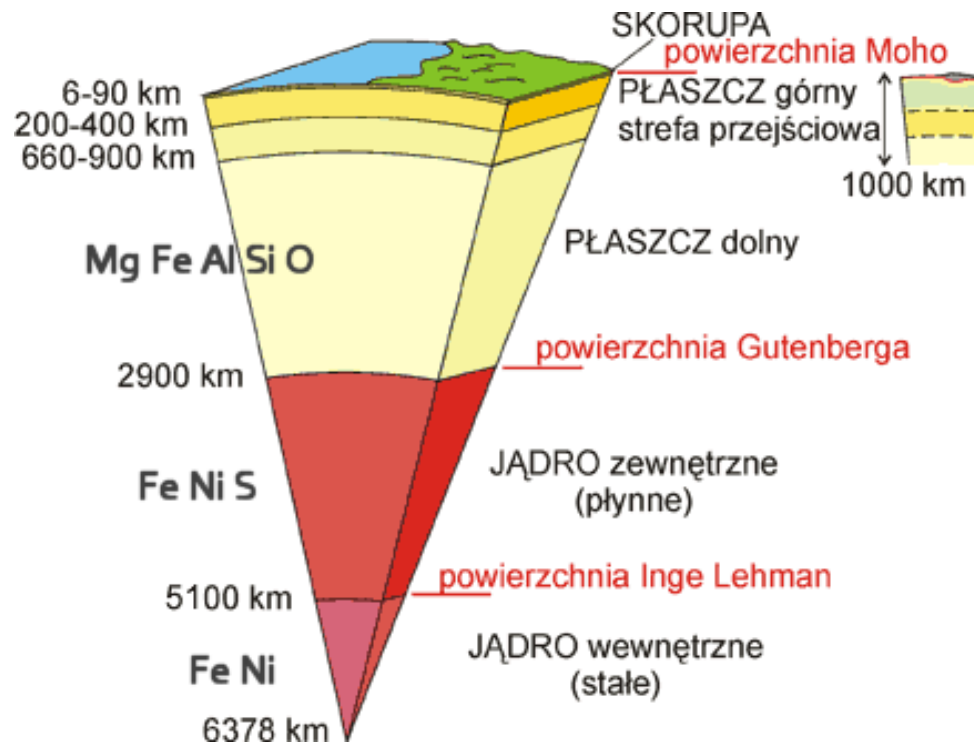


Rys: wikipedia



Rys: oldisa.mobilemedia.com.jm

Konkrecje na dnie oceanu



Rys: mikrol.republika.pl

Jądro Ziemi

Proces wielkopiecowy i stalowniczy



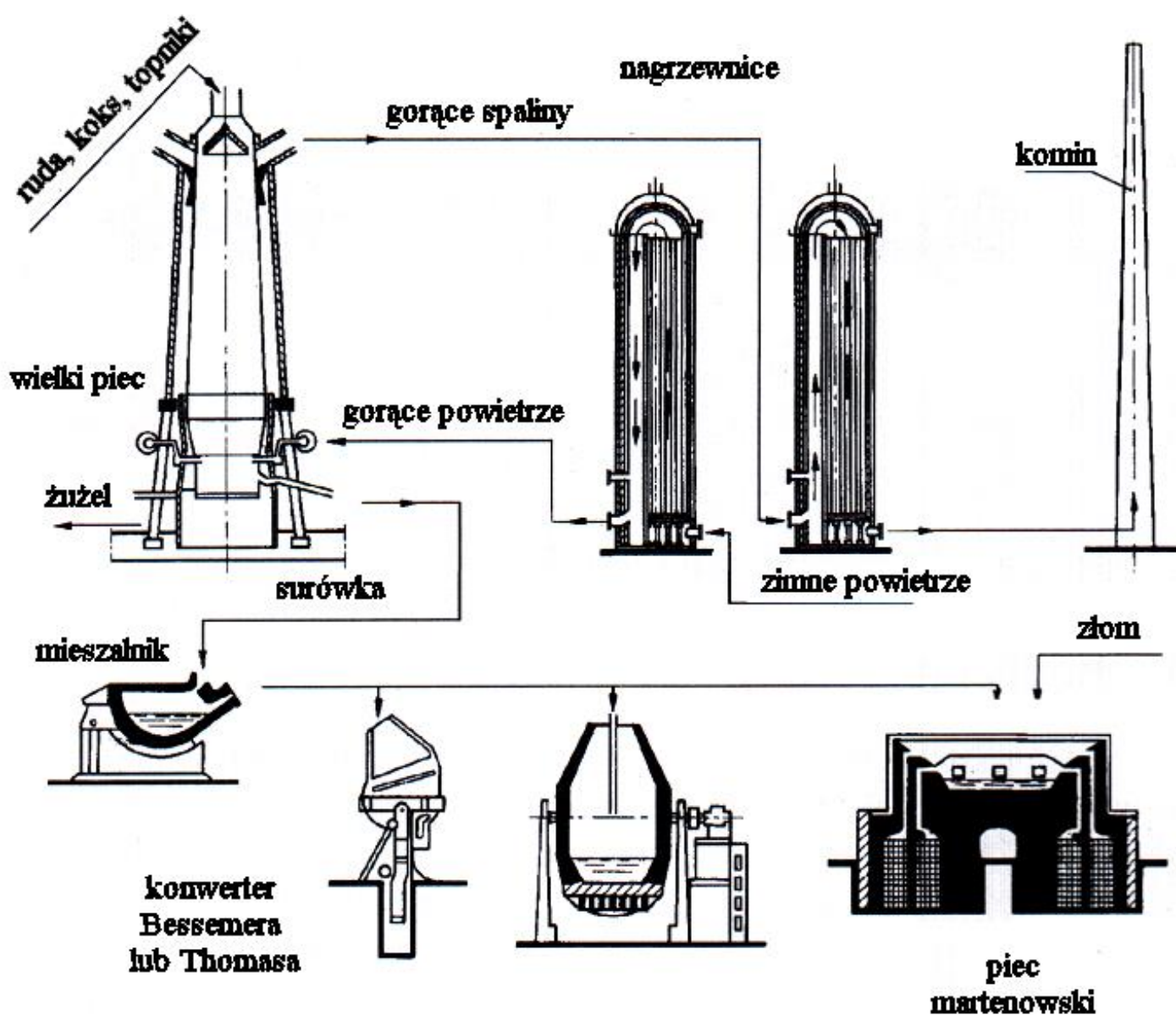
Rys: wikipedia

Krok pierwszy: wzbogacenie rudy

Spiekanie i granulowanie rudy; mechaniczne, chemiczne lub termiczne usunięcie części zanieczyszczeń.



Rys: wikipedia



Rys: Łubiński M, Filipowicz A, Żółtowski W, "Konstrukcje metalowe", Arkady 2000

Materiały wsadowe:

Granulowana ruda – źródło żelaza i tlenu;

Koks – źródło węgla i ciepła;

Wapień – topnik; w wysokiej temperaturze przechodzi w stan ciekły, tworząc środowisko dogodniejsze dla reakcji chemicznych; zatrzymuje w sobie zanieczyszczenia z rudy i popioły z koksu → szlaka, zużel.



Rys: feeco.com

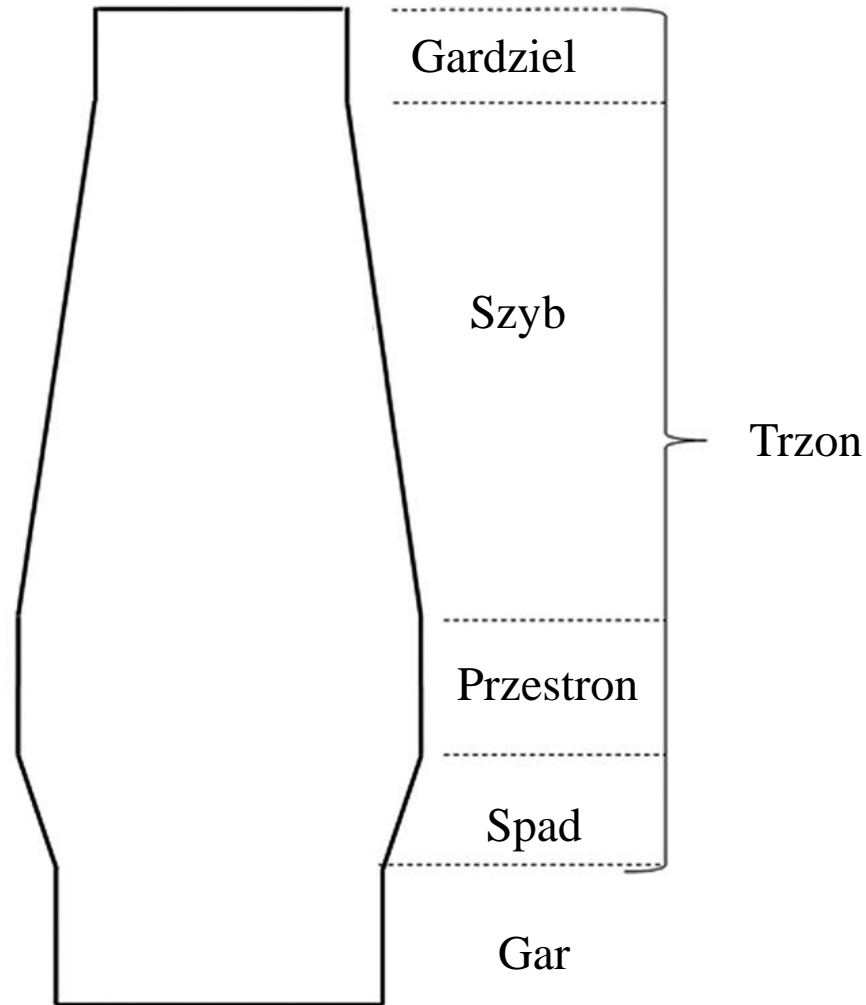


Rys: carbonotech.com



Rys: usedstonecrushers.com

Części wielkiego pieca



Rys: asmedigitalcollection.asme.org

Materiały wsadowe

Gorący gaz wielkopiecowy

Gorący gaz wielkopiecowy

Materiały wsadowe wędrują w dół



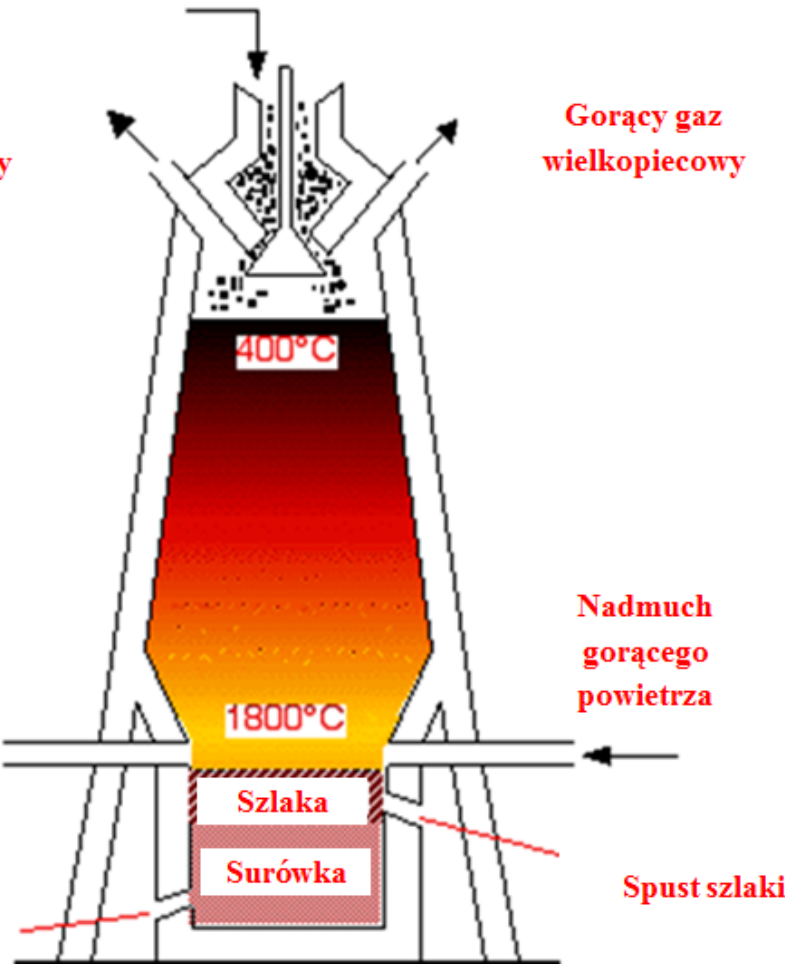
Nadmuch gorącego powietrza

Nadmuch gorącego powietrza

Ciepło i gazy wędrują do góry

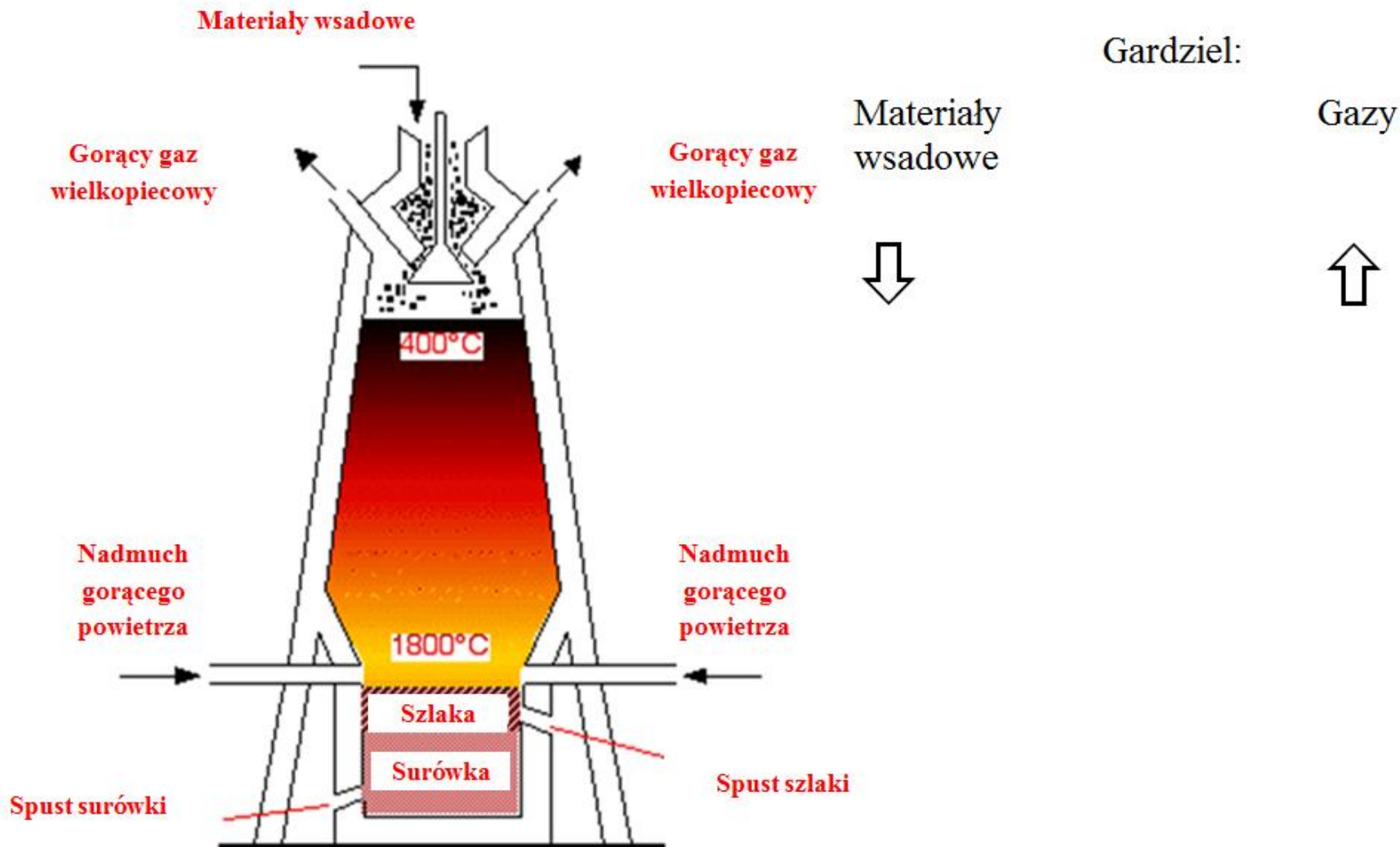


Spust surówki



Spust szlaki

Rys: practicalmaintenance.net



Rys: practicalmaintenance.net

Materiały wsadowe

Gorący gaz wielkopiecowy

Gorący gaz wielkopiecowy

Górna część szybu:

Materiały wsadowe

Gazy



Odparowanie wilgoci

Materiały wsadowe

Ciepło, CO₂



Nadmuch gorącego powietrza

Nadmuch gorącego powietrza

400°C

1800°C

Szlaka

Surówka

Spust surówki

Spust szlaki

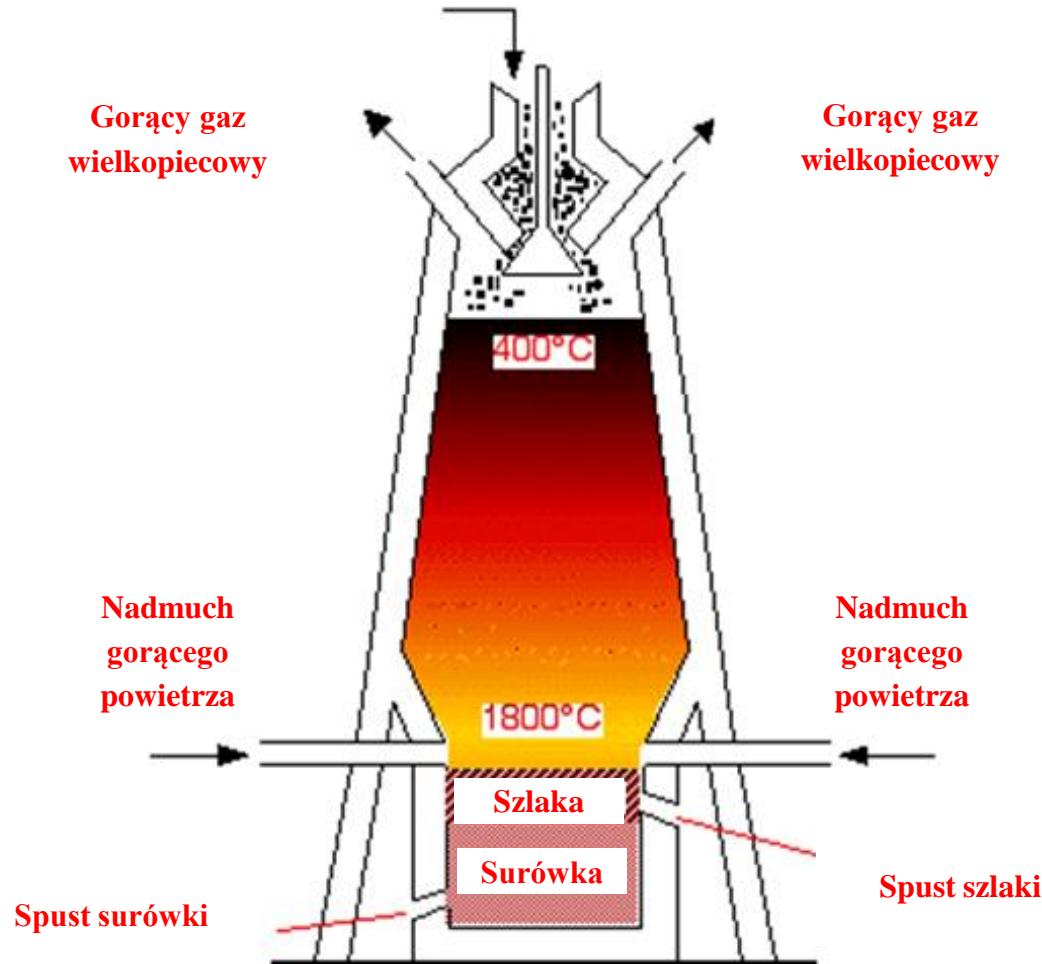
Rys: practicalmaintenance.net

Materiały wsadowe

Gorący gaz wielkopiecowy

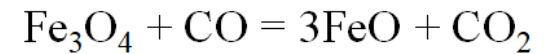
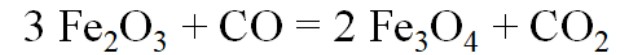
Gorący gaz wielkopiecowy

Dolna część szybu:



Materiały wsadowe

Ciepło, CO₂



FeO, C, topnik,
zanieczyszczenia

Ciepło, CO



Rys: practicalmaintenance.net

Materiały wsadowe

Gorący gaz wielkopiecowy

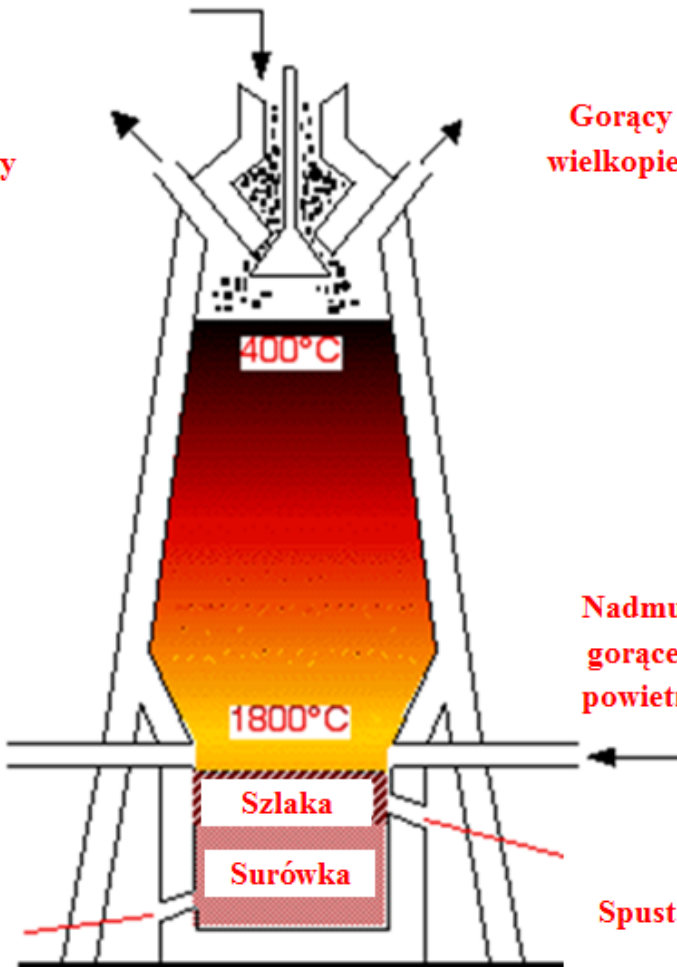
Gorący gaz wielkopiecowy

Nadmuch gorącego powietrza

Nadmuch gorącego powietrza

Spust surówki

Spust szluki

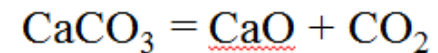
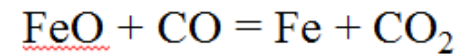
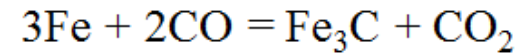
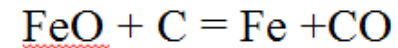
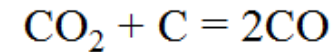


Rys: practicalmaintenance.net

Przestrzeń:

FeO, C, topnik,
zanieczyszczenia

Ciepło, CO



FeO, C, CaO,
zanieczyszczenia

Ciepło, CO₂



Materiały wsadowe

Spad:

Gorący gaz wielkopiecowy

Gorący gaz wielkopiecowy

400°C

Nadmuch gorącego powietrza

Nadmuch gorącego powietrza

1800°C

Szlaka

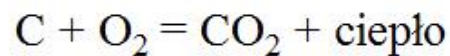
Surówka

Spust surówki

Spust szlaki

FeO, C, CaO,
zanieczyszczenia

Ciepło, CO₂



ciecz

powietrze



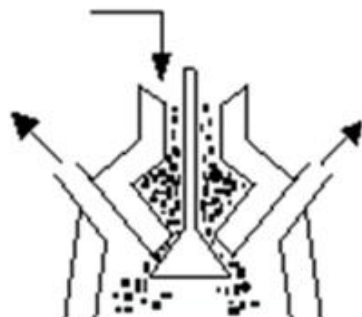
Rys: practicalmaintenance.net

Materiały wsadowe

Gar:

Gorący gaz wielkopiecowy

Gorący gaz wielkopiecowy



400°C

Nadmuch gorącego powietrza

Nadmuch gorącego powietrza

1800°C

Szlaka

Surówka

Spust surówki

Spust szlaki

ciecz



Separacja grawitacyjna na ciekłą surówkę i ciekłą szlakę

Rys: practicalmaintenance.net

Produkty wielkiego pieca:

Surówka

Szlaka

Gazy



Rys: nowaautorska.com



Rys: veooz.com

Następny krok: konwerter lub piec martenowski

Gorący tlen lub gorące powietrze wypala resztki zanieczyszczeń (świeżenie surówki)



Rys: wikipedia



Rys: uas.su

Konwertery:

- Bessemera: kwaśna wykładzina wewnętrzna, świeżenie gorącym powietrzem, przeznaczony dla rudy z małą ilością fosforu;
- Thomas: zasadowa wykładzina wewnętrzna, świeżenie gorącym powietrzem, przeznaczony dla rudy z dużą ilością fosforu;
- Marten (piec martenowski): świeżenie gorącym tlenem (brak azotu), możliwość recyklingu dużych ilości złomu;



Rys: freedfromtime.wordpress.com



Rys: slaskie.naszemiasto.pl



Rys: newsnow.gy/business

Produkt: wlewki

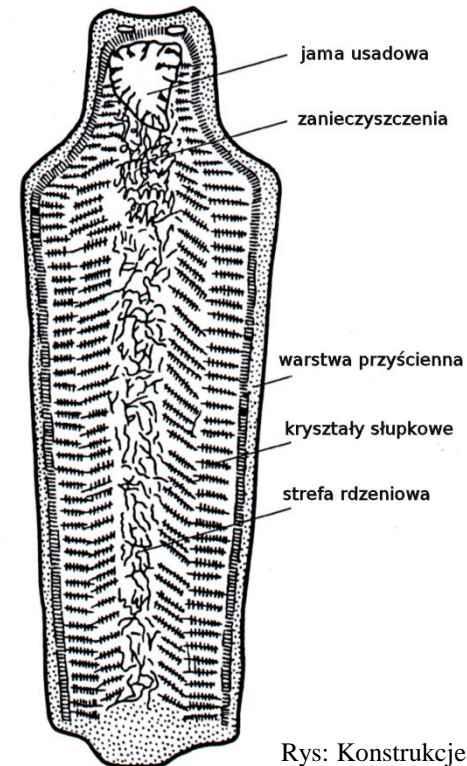
Podczas krzepnięcia stali, gazy i zanieczyszczenia są spychane do środka i górnej części wlewka. Część z zanieczyszczeniami jest następnie odcinana i ponownie przetapiana. Pozwala to na pozbycie się kolejnej porcji zanieczyszczeń.



Rys: luzhenmin.diytrade.com



Rys: spaceflight.esa.int

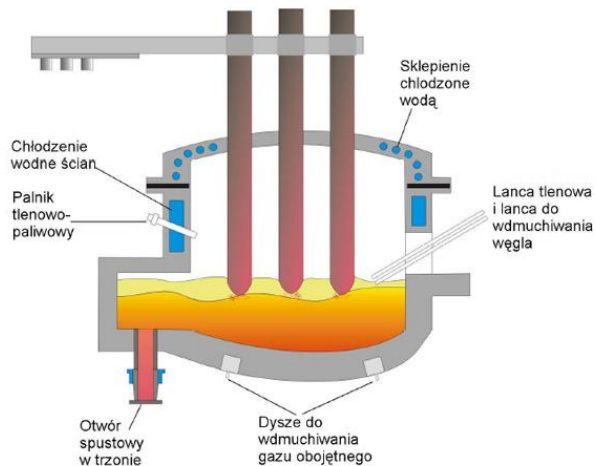


Rys: Konstrukcje stalowe, K. Rykaluk,
Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne
Wrocław 2001

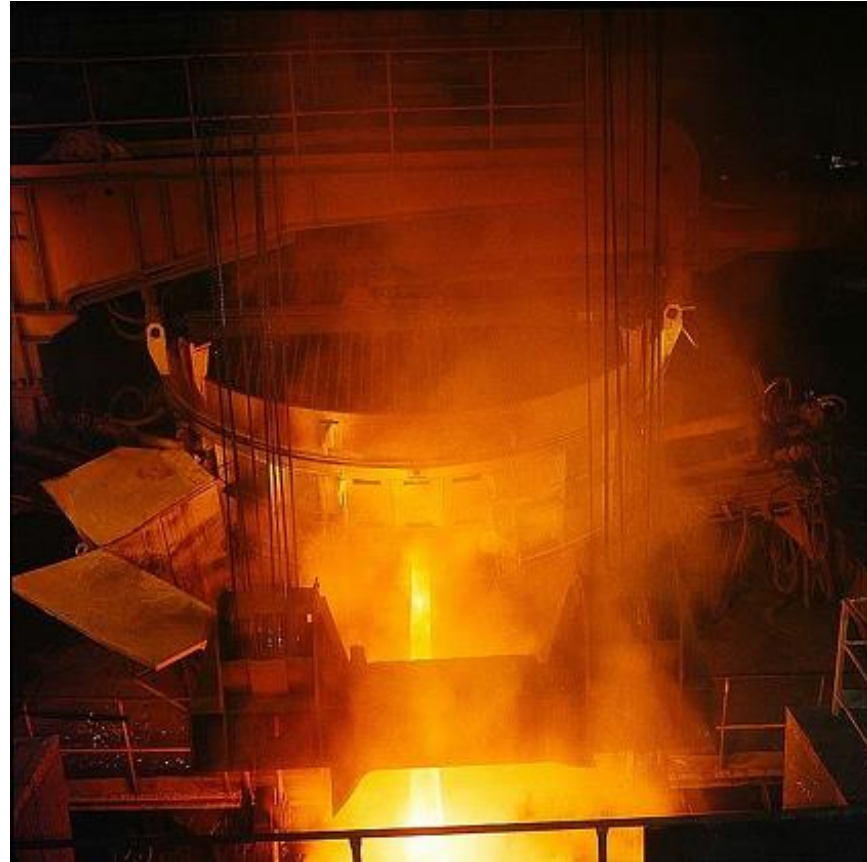
Następny krok: piec łukowy

Wlewki są przetapiane; dodaje się domieszki stopowe w celu poprawienia parametrów stali

Domieszki stopowe → wyk. #2



Rys: bamax.com.pl



Rys: wikipedia

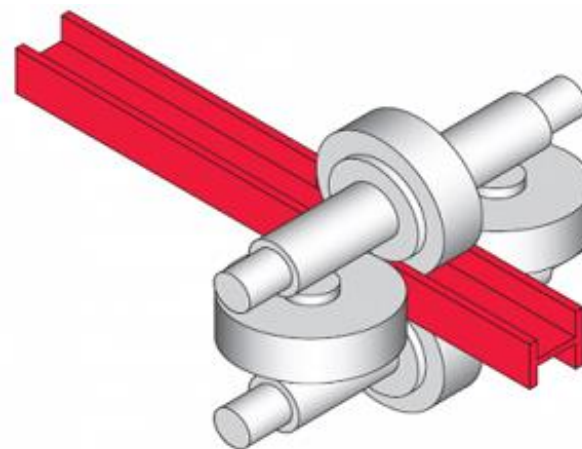
Ostatni krok: z pieca łukowego stal trafia do walcowni.



Rys: wd-bearing.com



Rys: wd-bearing.com



Rys: steelconstruction.info

Asortyment hutniczy

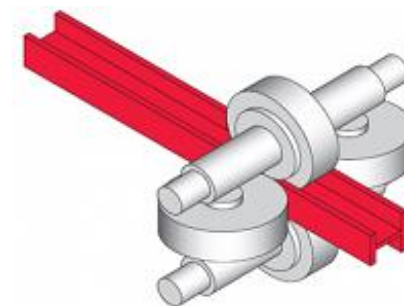
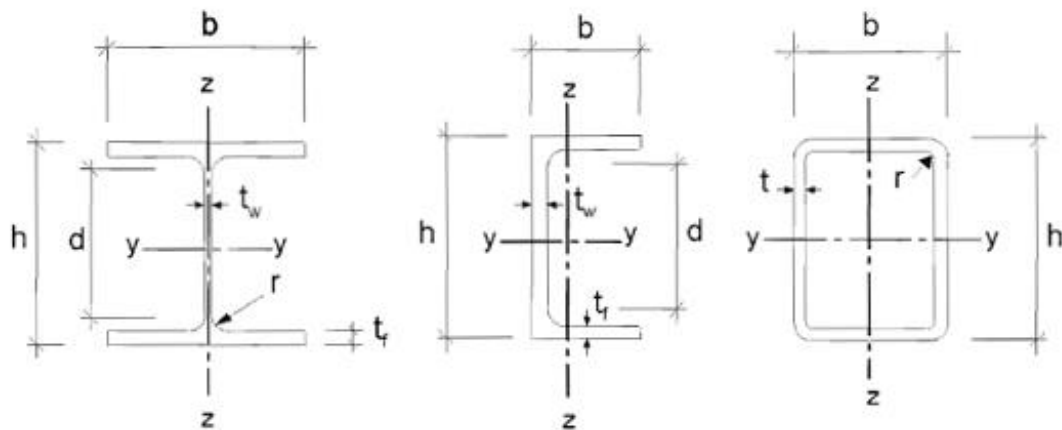
Kształtowniki gorącowałcowane

Kształtowniki zimnogięte

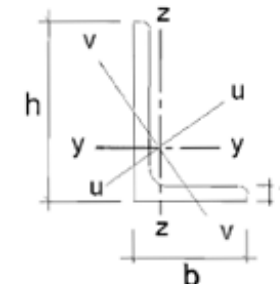
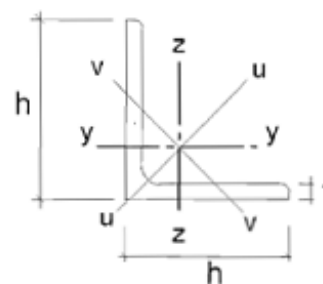
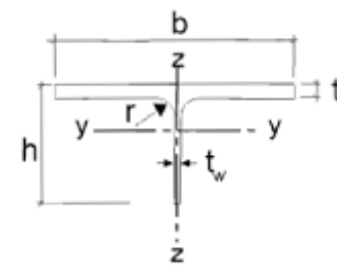
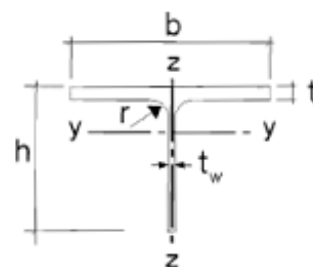
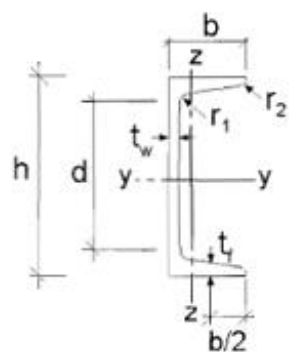
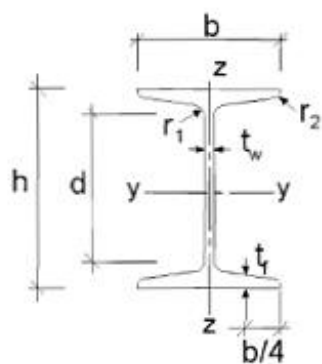
Profile spawane

Inne wyroby

Przekroje gorzocowalcowane

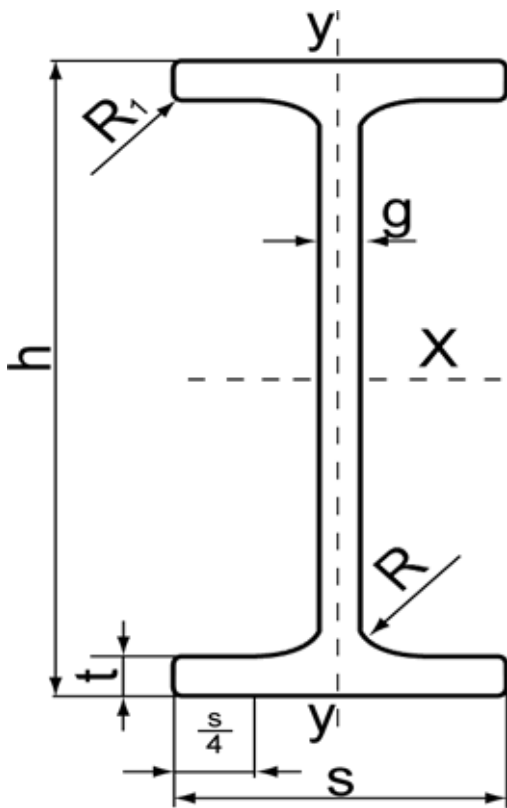


Rys: steelconstruction.info



EN 1993-1-1 fig 1.1

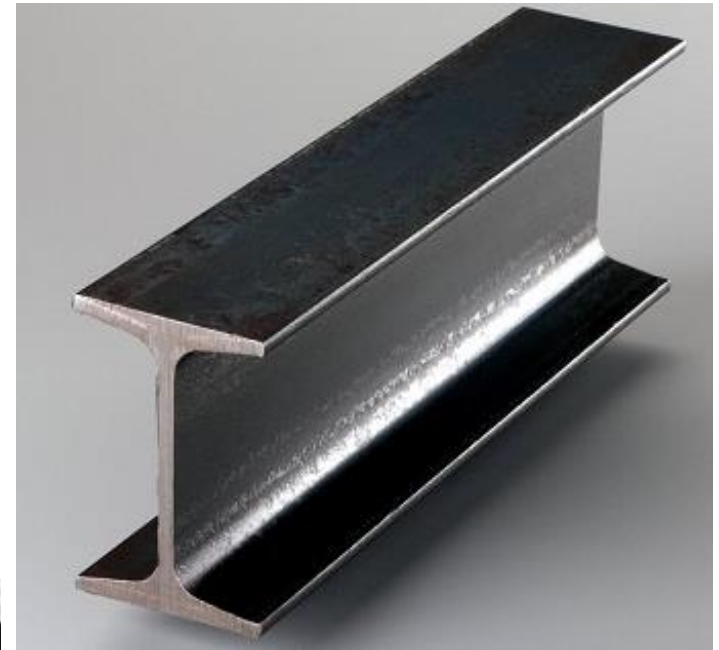
Dwuteowniki



Rys: centrozlom.com.pl



Rys: tradekorea.com

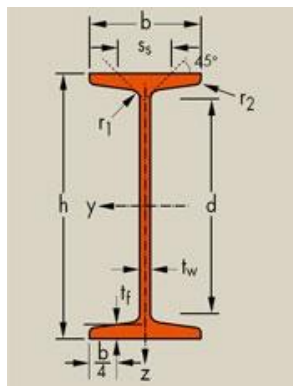


Rys: discountsteel.com

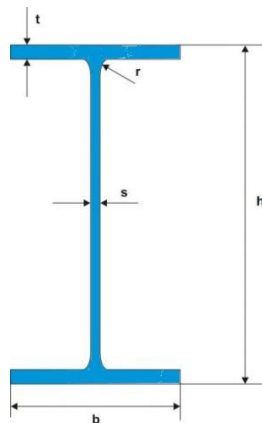
Produkowane są w dwu głównych odmianach, o nazwach nawiązujących do kształtu przekroju:

I H

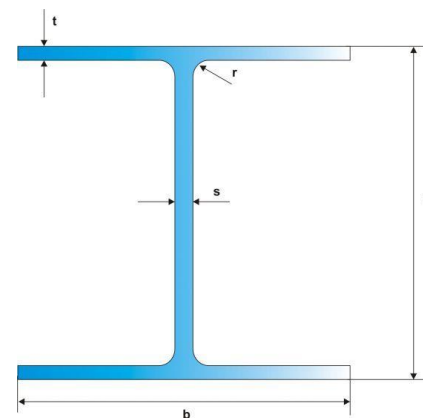
Rys: optimax.pl



IP



HE



IPN

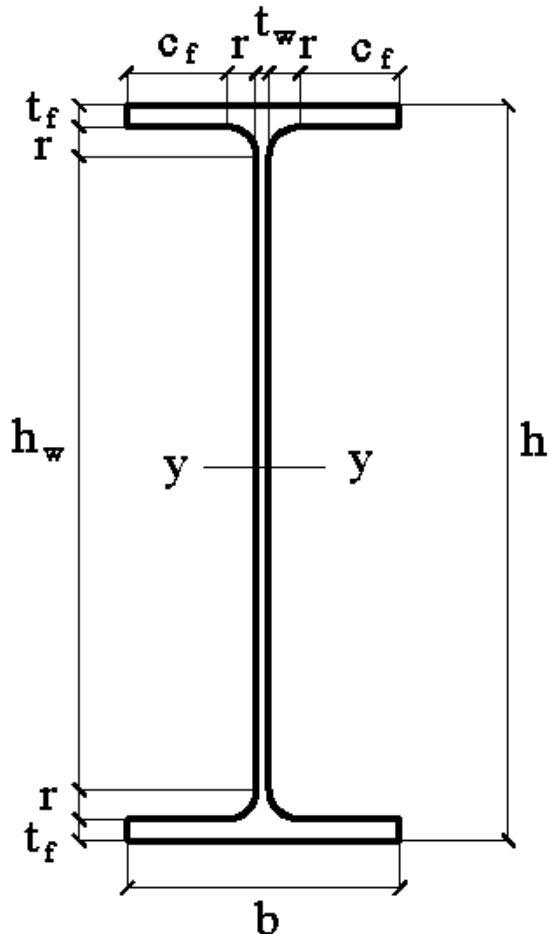
IPE, IPE-A, IPE-AA IPE-O

HEB, HEA, HEAA, HEM

Rys: hmsteel.pl

Rys: hmsteel.pl

Rys: Autor



IPN $h \rightarrow h$ [mm]

IPE $h \rightarrow h$ [mm]

HEB $h \rightarrow h$ [mm]

h (IPE-O) > h (IPE) > h (IPE-A) > h (IPE-AA)

h (HEM) > h (HEB) > h (HEA) > h (HEAA)

h (IPN 200) = h (IPE 200) = h (HEB 200) = 200 mm

h (IPE-O 200) = 202 mm

h (IPE-A 200) = 197 mm

H (IPE-AA 200) = 196,4 mm

h (HEM 200) = 220 mm

h (HEA 200) = 190 mm

h (HEAA 200) = 186 mm

Ceowniki



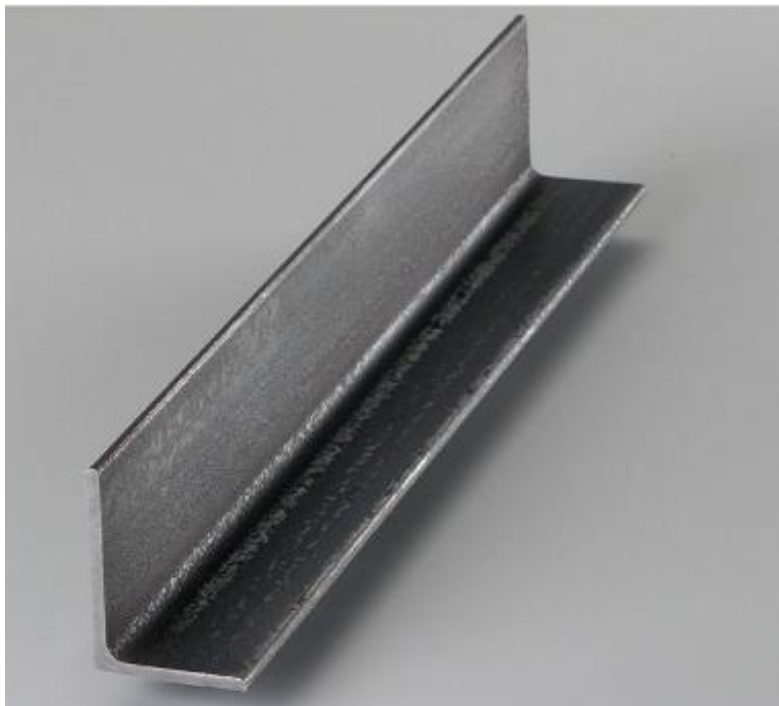
Rys: elezsteel.com



Rys: mastersteel.com



Rys: edconsteel.com.au

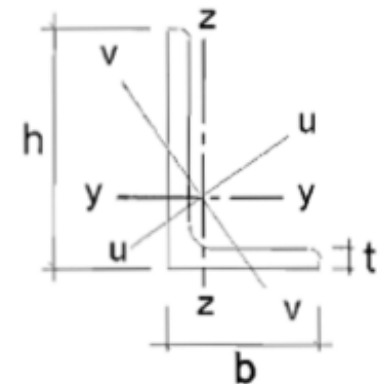
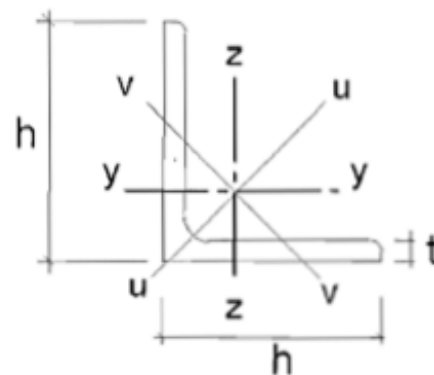


Rys: discountsteel.com

Kątowniki

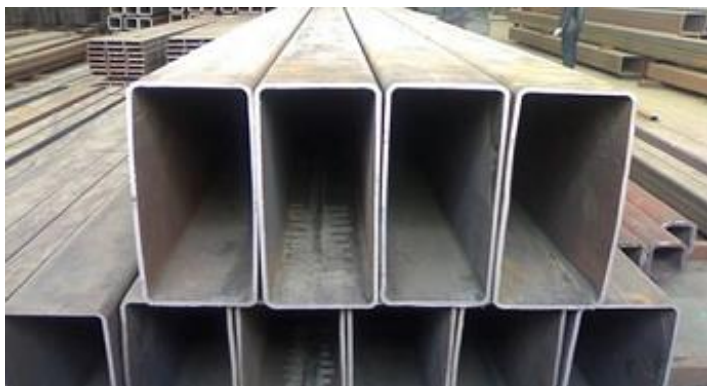


Rys: mastersteel.com



EN 1993-1-1 fig 1.1

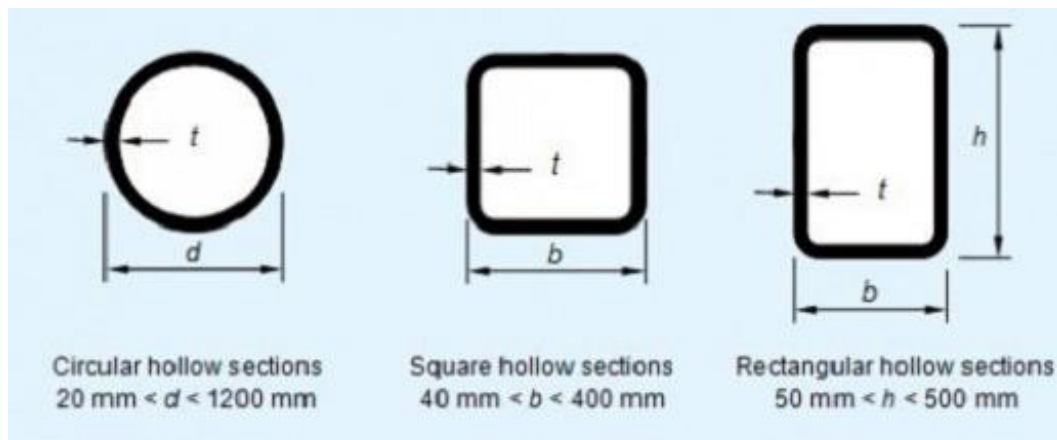
Rury okrągłe, rury prostokątne



Rys: sunnysteel.com



Rys: pulhamsteels.co.uk



Rys: steelconstruction.info

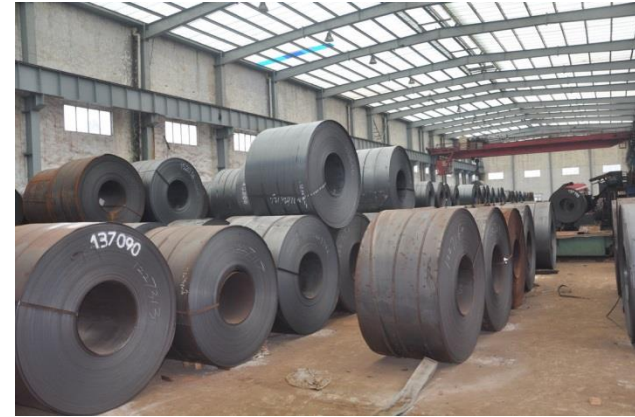
Płaskie wyroby walcowane:

Bednarka (t = 1-5 mm; s = 20-85 mm)



Rys: steelstrap.en.ecplaza.net

Blacha w zwojach



Rys: threadedstainlesssteelpipe.com

Płaskownik (t = 6-55 mm; s = 20-150 mm)



Rys: corten.com

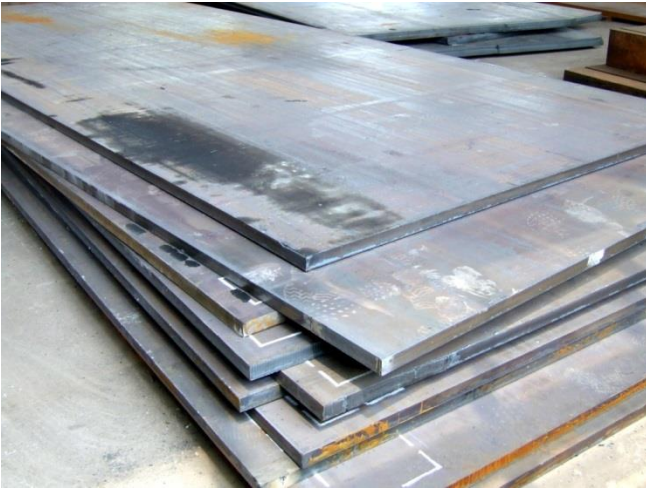
Blacha w arkuszach



Rys: corten.com

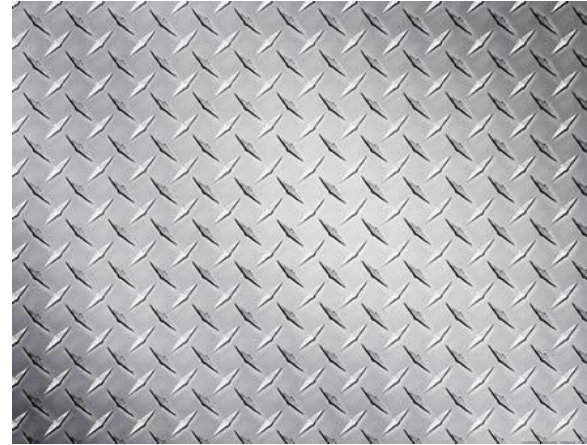
Blacha w arkuszach:

Płaska



Rys: corten.com

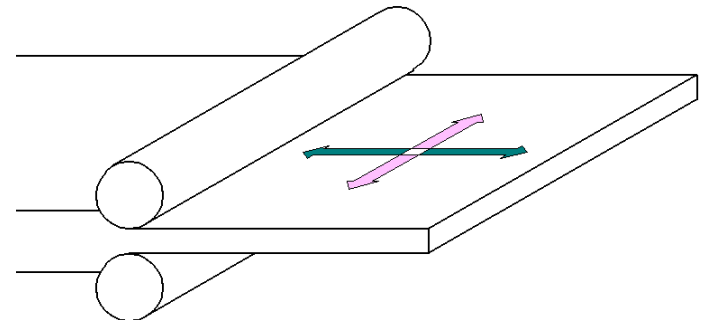
Żeberkowa



Rys: checker-plate.com

Blacha płaska:

- cięta ze zwojów;
- walcowana w jednym kierunku;
- walcowana dwukierunkowo (blacha uniwersalna).

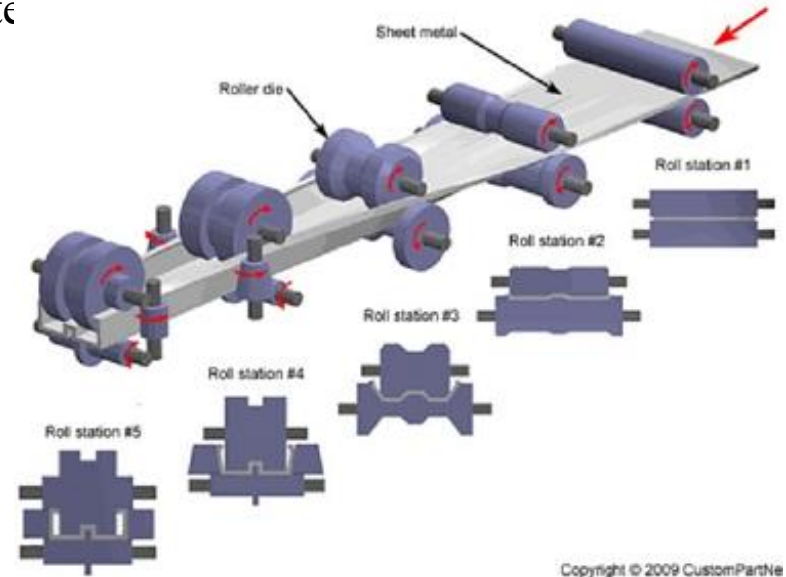


Rys: Autor

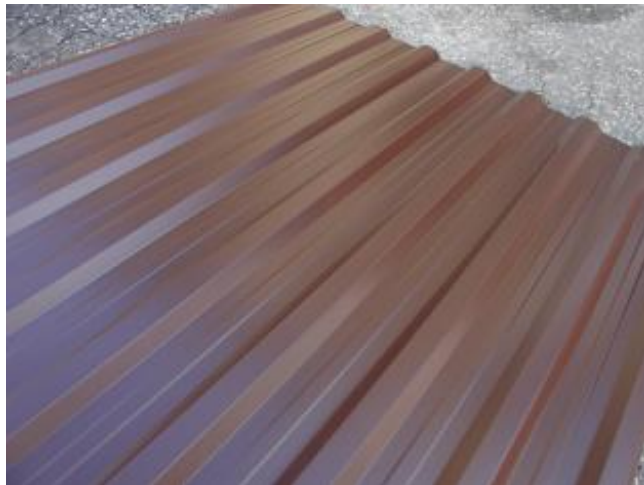
Profile zimnocięte



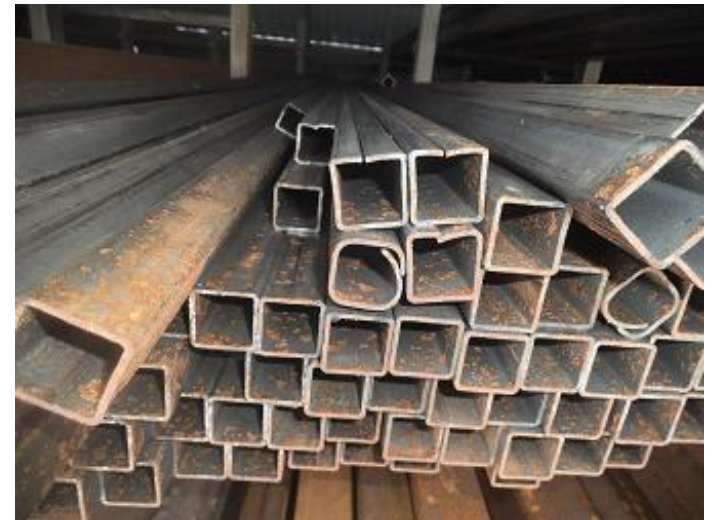
Rys: dachyb2b.pl



Rys: cnc.info.pl



Rys: amarodachy.pl



Rys: gramet-stal.pl

Profile spawane



Rys: steelconstruction.info



Rys: britannica.com

Blachownice (dwuteowniki spawane)



Rys: savvats.com.ua



Rys: cedricbodeengineering.com



Rys: steelconstruction.info

IKS, HKS – pierwsza litera stosowana analogicznie do nazewnictwa goracowalcowanych

Blachownice ze środnikiem falistym



Rys: hxssvic.en.ec21.com



Rys: hera.org.nz



Rys: builtconstructions.in

Belki ażurowe



Rys: steelconstruction.info/



Rys: steelconstruction.info



Inne wyroby

śruby, nity, sworznie, nakrętki, podkładki, liny...



Rys: ventia.pl



Rys: rivetsonline.com



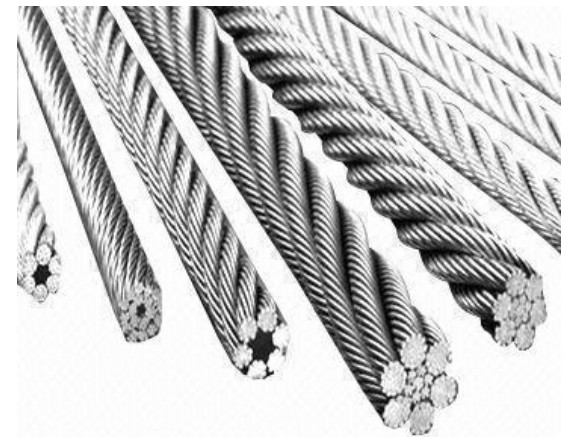
Rys: ferredo-poznan.com.pl



Rys: rofix.pl



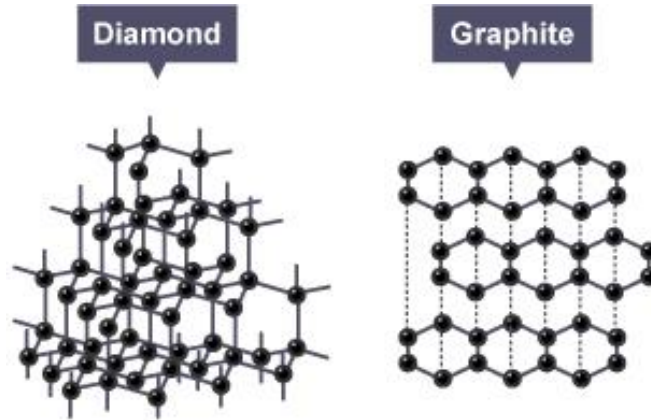
Rys: robotmesh.com



Rys: globalsources.com

Budowa wewnętrzna stali

Alotropia – istnienie różnych odmian jednego izotopu pierwiastka chemicznego, o odmiennych właściwościach fizycznych lub chemicznych. Przykład: węgiel – grafit, diament.



Żelazo:

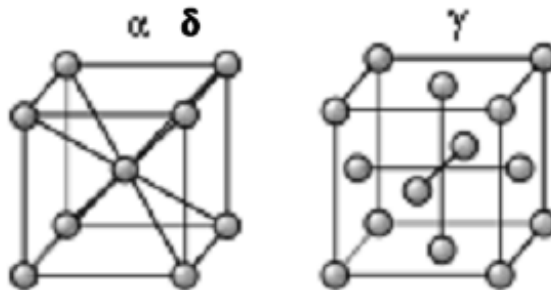
Rys: socratic.org

Rys: wiadomości.wp.pl

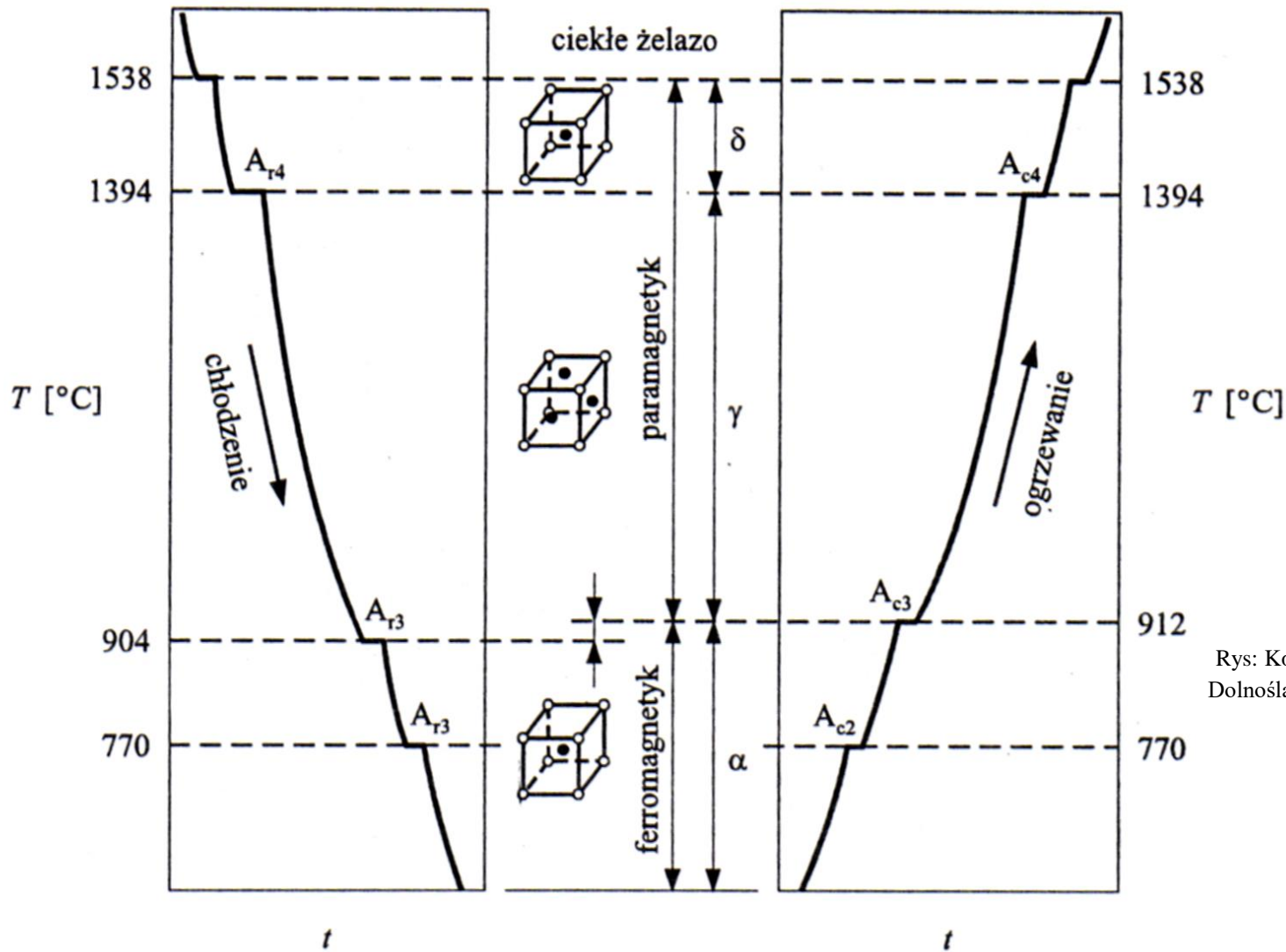
α 0,286 nm

δ 0,293 nm

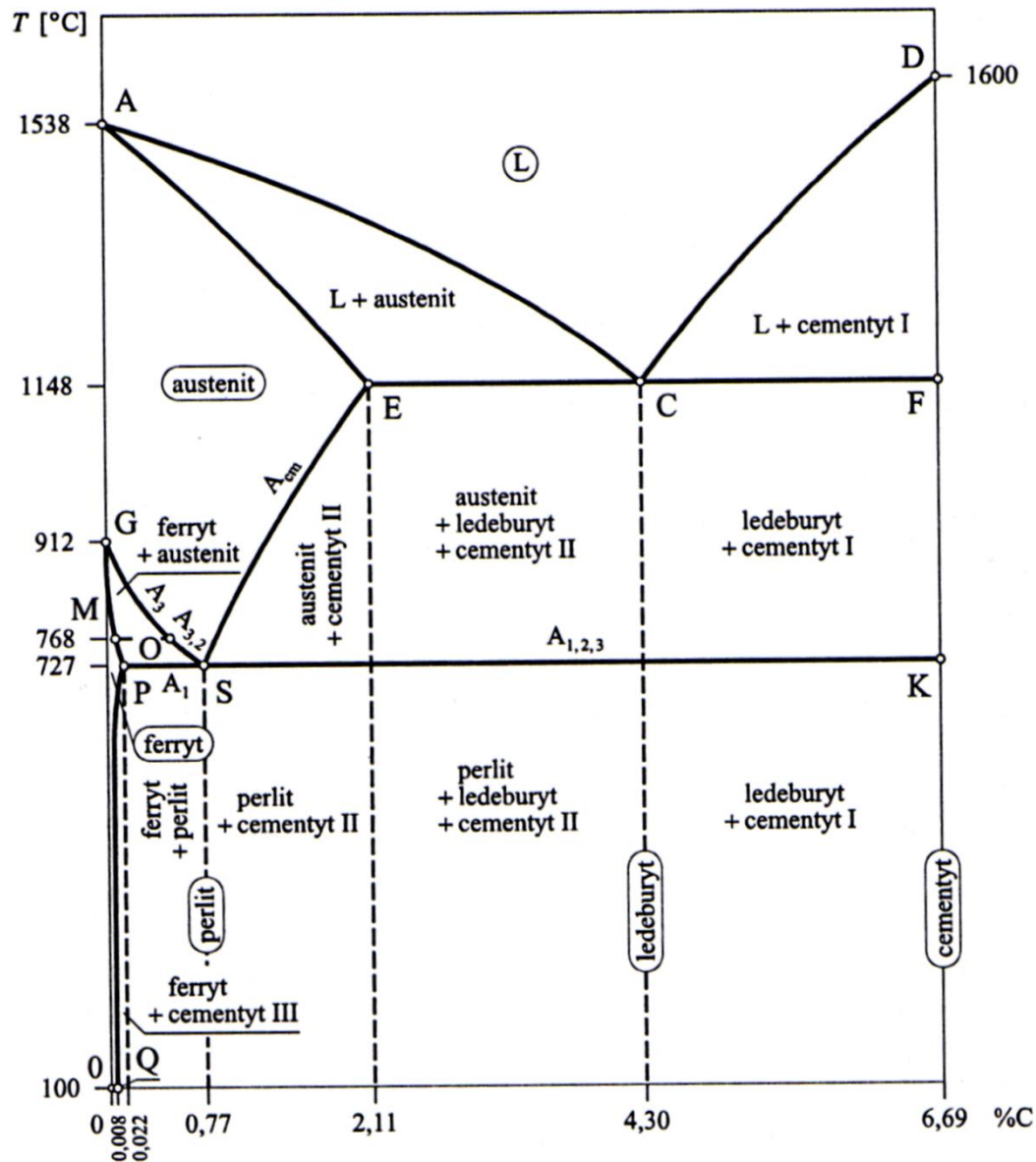
γ 0,365 nm



Rys: wikipedia



Rys: Konstrukcje stalowe, K. Rykaluk,
Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne
Wrocław 2001



Rys: Konstrukcje stalowe, K. Rykałuk,
 Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne
 Wrocław 2001

Ferryt - α -Fe + C (roztwór stały)

Austenit - γ -Fe + C (niestabilny roztwór stały, stopniowo przekształca się w bainit, martenzyt lub sorbit)

Cementyt - Fe_3C

Ledeburyt = austenit + cementyt

Perlit = ferryt + cementyt

Martenzyt - α -Fe + C (właściwości mechaniczne inne niż ferryt)

Bainit – podobny do perlitu

Sorbit – podobny do perlitu

Sferoidyt – kulki cementytu w perlicie

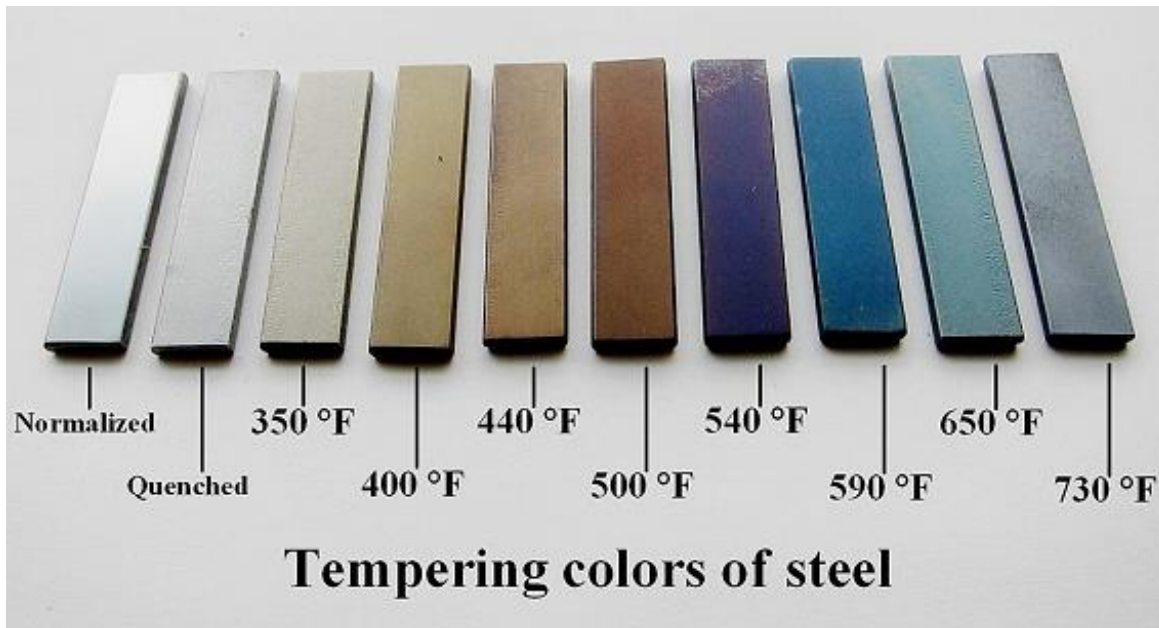
Odmiana	Właściwości mechaniczne
Ferryt	Duża wytrzymałość, wysoka plastyczność
Austenit	Bardzo duża wytrzymałość, bardzo wysoka plastyczność
Cementyt	Wysoka twardość, duża kruchość
Ledeburyt	Wysoka twardość, duża kruchość
Perlit	Im drobniejsza struktura krystaliczna, tym wyższa wytrzymałość i twardość
Martenzyt	Bardzo wysoka twardość, kruchość zbyt wysoka dla materiału konstrukcyjnego
Bainit	Duża kruchość, średnia plastyczność i wytrzymałość
Sorbit	Duża wytrzymałość, wysoka plastyczność
Sferoidyt	Wytrzymałość i plastyczność najniższa spośród wszystkich odmian

Najlepsza kombinacja dla stali konstrukcyjnej: wysoka wytrzymałość, duża plastyczność, duża twardość, bardzo niska kruchość.

Właściwości mechaniczne → wyk. #2

Ulepszenie cieplne

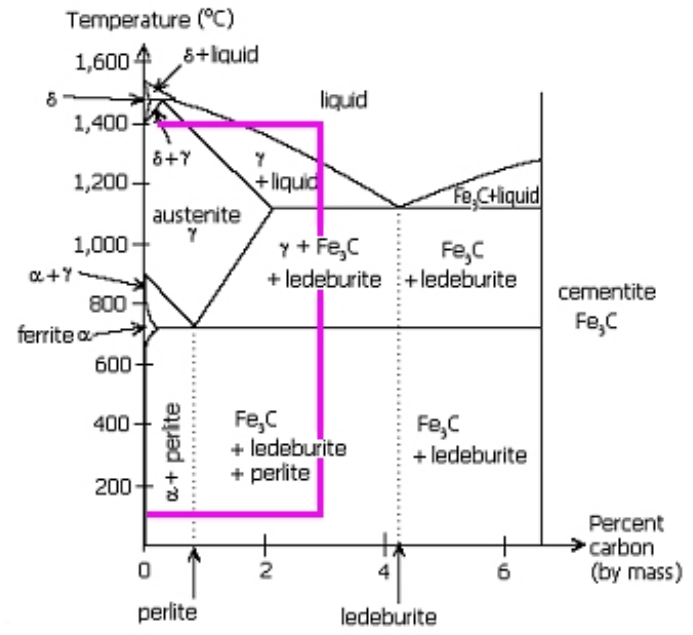
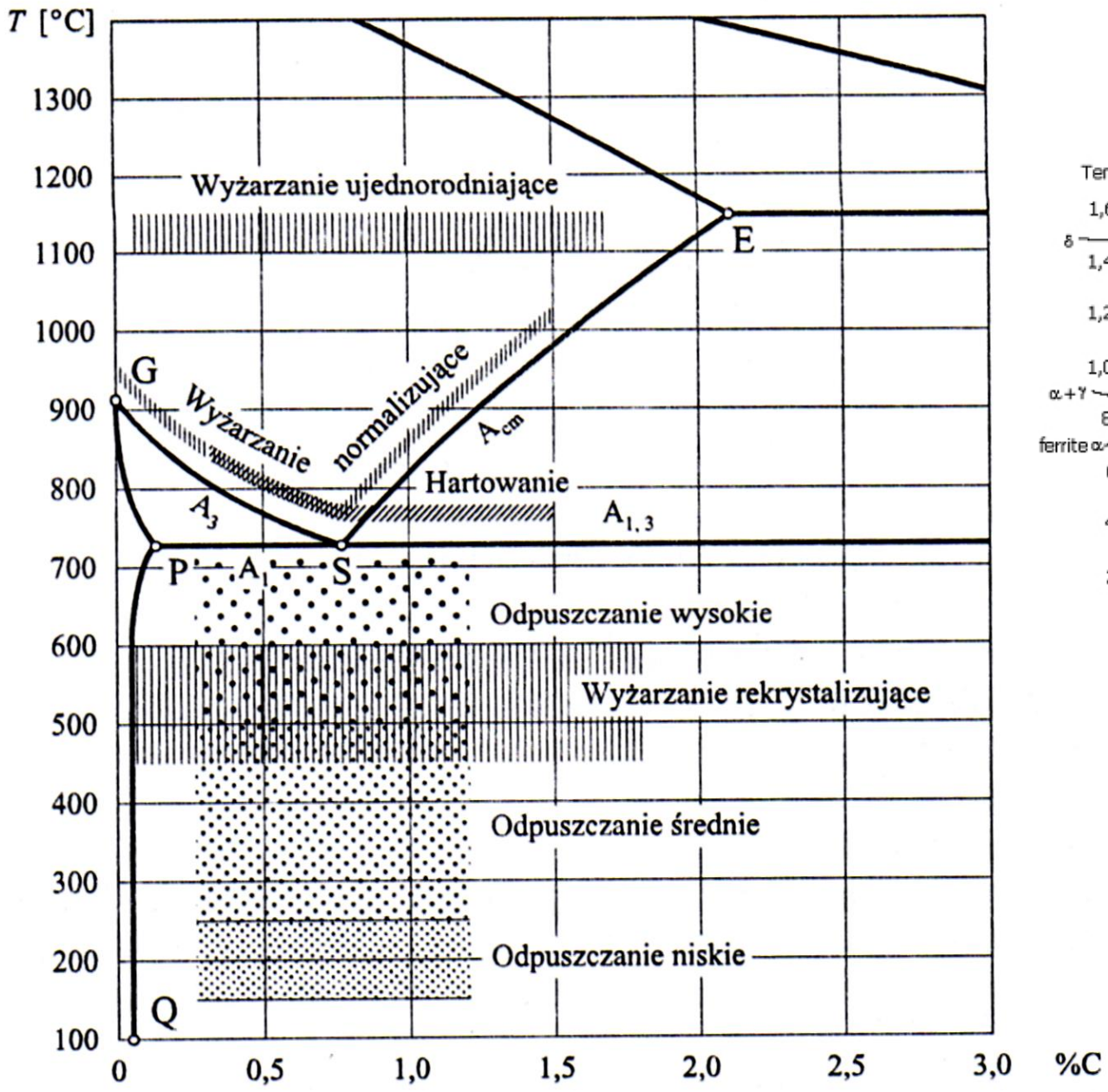
Zmiana właściwości mechanicznych przez kontrolowane ogrzewanie i oziębianie. Prowadzi do zmiany struktury wewnętrznej przez rekrytalizację. Tempo zmian temperatury jest bardzo istotne. Efektem ubocznym może być zmiana koloru powierzchni.



Rys: wikipedia



Rys: wikipedia



Rys: wikipedia

Rys: Konstrukcje stalowe, K. Rykałuk,
Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne
Wrocław 2001

Wyżarzanie – podgrzanie elementu do wysokiej temperatury, utrzymanie jej przez kilkanaście godzin, bardzo wolne ochłodzenie;

- ◆ Wyżarzanie ujednorodniające: jednorodna struktura wewnętrzna (chemiczna i krystaliczna), ujednorodnienie cech wytrzymałościowych w całej objętości materiału;
- ◆ Wyżarzanie normalizujące: rozdrobnienie struktury krystalicznej, wzrost wytrzymałości;
- ◆ Wyżarzanie rekrytalizujące: redukcja naprężeń resztkowych

Hartowanie – podgrzanie elementu do wysokiej temperatury, utrzymanie jej przez kilkanaście godzin, błyskawiczne ochłodzenie: zwiększenie twardości i kruchości

Odpuszczanie – podgrzanie elementu do wysokiej temperatury, utrzymanie jej przez kilkanaście godzin, bardzo wolne ochłodzenie;

- ◆ Odpuszczanie wysokie: wysoka wytrzymałość, obniżenie twardości;
- ◆ Odpuszczanie średnie: wysoka wytrzymałość, wysoka plastyczność, obniżenie twardości;
- ◆ Odpuszczanie niskie: redukcja naprężeń resztkowych po hartowaniu, redukcja kruchości, podniesienie twardości

Więcej informacji → wyk. #2

Aluminium

Ruda aluminium:

Boksyt, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 50% Al



Rys: wikipedia

Topnik:

Kriolit, $\text{Na}_3 \text{Al F}_6$

Rys: web.natur.cuni.cz

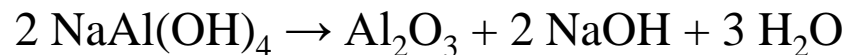
Zmieszanie boksytów

Proces Bayera:

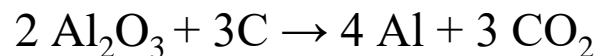


(temperatura 240 °C, ciśnienie 3,5 MPa)

Kalcynacja (spiekanie w temperaturze 1250 °C)



Proces Halla–Héroulta (elektroliza w ciekłym kriolicie, temperatura 900 °C)





Rys: web.natur.cuni.cz

Stal	Aluminium
Rudy żelaza, węgiel (koks) i wapień są minerałami w miarę pospolitymi	Kriolit jest bardzo rzadkim minerałem
Temperatury w wielkim piecu i w czasie kalcynacji są porównywalne	
Nie ma potrzeby prowadzenia operacji pod ciśnieniem	Do procesu Bayera potrzebne są dodatkowe odczynniki chemiczne i reaktor ciśnieniowy
W obu przypadkach potrzebna jest energia elektryczna (piec łukowy, elektroliza)	
Procesy termiczne nie muszą być precyzyjnie sterowane	Procesy ciśnieniowo-termiczne muszą być bardzo precyzyjnie sterowane



Rys: uas.su

Efekt: aluminium jest > 5 x droższe niż "zwykła" stal.

Podobnie jak w przypadku stali, dla aluminium potrzebne są domieszki stopowe.

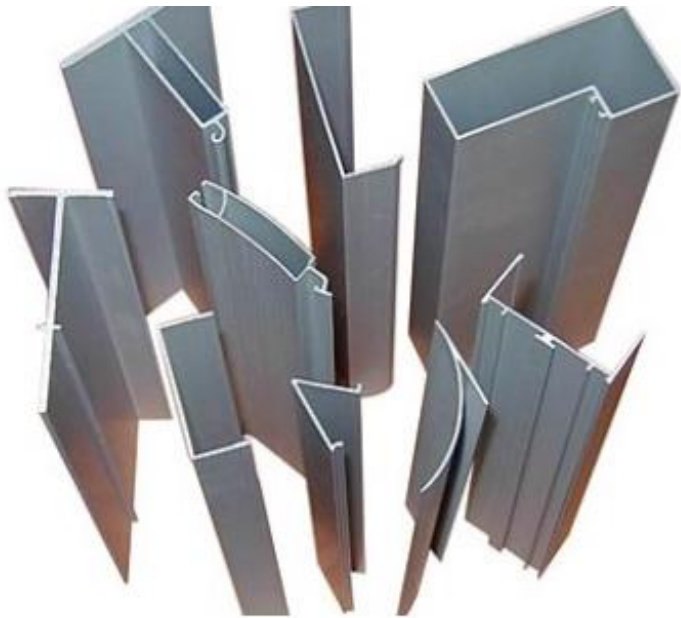
Domieszki stopowe → wyk. #2

W przypadku aluminium w grę wchodzi bardzo specyficzny typ ulepszenia cieplnego, zwany starzeniem. Można dzięki niemu podwyższyć parametry mechaniczne aluminium nawet dwukrotnie.

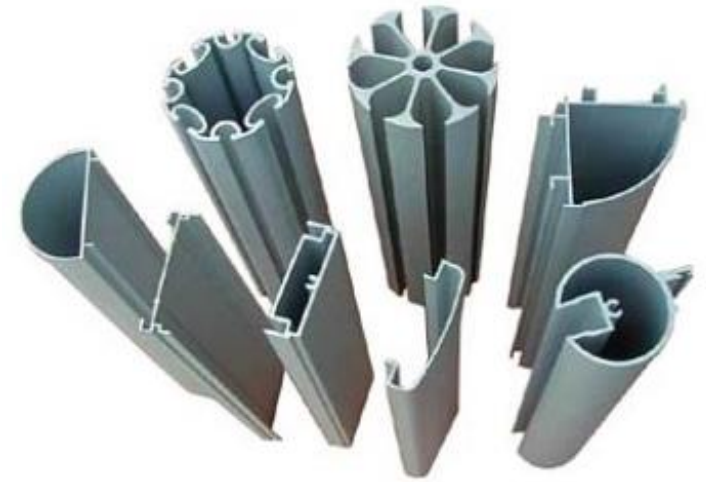
Każda niekontrolowana akcja termiczna (pożar, spawanie) całkowicie niszczy efekty starzenia. Destruktywne skutki oddziaływania termicznego w przypadku stali nie są aż tak wielkie. W przypadku spawania aluminium bardzo ważna jest strefa bezpośredniego oddziaływania temperatury (heat affected zone, HAZ).

Starzenie, HAZ → wyk. #2

Profile aluminiowe



Rys: aluminum-profiles.com



Rys: aluminum-profiles.com



Rys: ecvv.com



Rys: isel.com

Aluminium w budownictwie używane jest głównie do prac wykończeniowych: stolarki okiennej i drzwiowej, systemów szklanych fasad, płyt warstwowych, paneli okładzinowych.



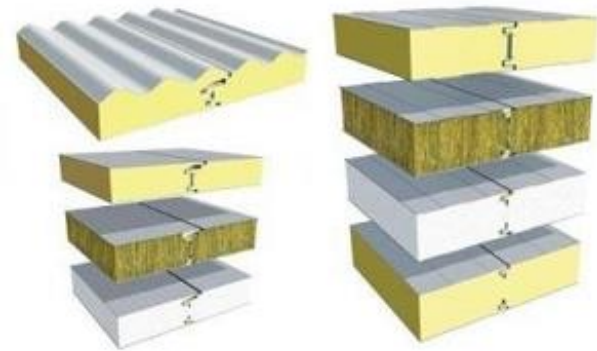
Rys: titon.co.uk



Rys: elewacje-stalowe.pl



Rys: budvar.lodz.pl



Rys: steelprofil.pl



Rys: ekbud.lublin.pl

Zagadnienia egzaminacyjne

Definicje: stali, staliwa, żeliwa

Proces wielkopiecowy, materiały wsadowe, produkty wielkiego pieca

Definicje: ulepszania cieplnego, wyżarzania, hartowania, odpuszczania

Dziękuję za uwagę

© 2025 dr inż. Tomasz Michałowski,

tmichal@pk.edu.pl