

Progresivní strojírenské materiály

Akademický rok 2020/2021

Pavel Hanus

Jaromír Moravec

Pavel Solfronk

Petra Pazourková Prokopčáková

Cíle předmětu

seznámení se spektrem materiálů, které jsou běžně využívány ve strojírenství. Dále budou uvedeny materiály se specifickými vlastnostmi a jejich využití

Materiály budou představeny z hlediska chemického složení, struktury a mechanických vlastností, které je předurčují k vybraným použitím.

Požadavky na studenta

ústní zkouška - prokázání znalostí probíraných oblastí

Progresivní strojírenské materiály – program přednášek

- Úvod. Konstrukční (nelegované) oceli.
- Nástrojové oceli.
- Litiny a lité oceli.
- Vysoce pevnostní oceli - zjemnění zrna (mikrolegující prvky, proces vzniku a růstu zrn).
- Oceli pro automobilový průmysl (TRIP, TWIP, MARAGING, apod.).
- Speciální oceli - bórové oceli, komplexní oceli (CP steel), intersticiál free (IF) oceli – hlubokotažné.
- Speciální oceli - oceli odolné creepu, oceli pro kryogenní aplikace, nerezové a žáruvzdorné oceli.
- Speciální oceli – oceli , nerezové, žáruvzdorné a žárupevné oceli.
- Hliník a hliníkové slitiny (vytvrditelné, nevytvrditelné)
- Hořčík a jeho slitiny (slitiny tvářené a slévárenské)
- Nikl, niklové slitiny
- Titan a jeho a slitiny
- Slitiny se speciálními vlastnostmi (s nízkým bodem tání, odolností proti radiaci, tvarovou pamětí, přesným odporem, supravodivostí, atd.)

Progresivní strojírenské materiály

Literatura:

- PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2003. ISBN 80-7204-283-1.
- PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
- ABE, Fujio, Torsten-Ulf KERN a Ramaswamy VISWANATHAN, ed. *Creep-resistant steels*. Cambridge: Woodhead, 2008. Woodhead publishing in materials. ISBN 978-1-84569-178-3.
- GLADMAN, T. *The physical metallurgy of microalloyed steels*. [2nd ed.]. London: Maney, 2002. ISBN 1-902653-81-5.
- MESQUITA, R. A., Kubin. MICHAEL a Reinhold SCHNEIDER. *Tool steels: properties and performance*. Boca Raton, Fla.: CRC Press, 2016. ISBN 9781439881729.
- *Rolling of Advanced High Strength Steels*. CRC, 2017. ISBN 9781498730310.

- *Doporučená literatura:*
- *Maraging Steels*. Woodhead Publishing, 2009. ISBN 9781845696863.
- KLUEH, R. L. a Donald R. HARRIES. *High-chromium ferritic and martensitic steels for nuclear applications*. West Conshohocken: ASTM, 2001. ISBN 0-8031-2090-7.
- SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979.

Střípky z historie výroby

Kolébkou průmyslové revoluce je Anglie.

Starší dřevouhelné pece na výrobu železa postupně ustupují modernějším a ekonomičtějším pecím vyhřívaných uhlím či mnohem výhřevnějším koksem.

Věda a technika v 18. stol. způsobila masový nástup strojové velkovýroby, která nahradila do té doby převažující, ale málo efektivní ruční řemeslné výroby.

Podle dochovaných záznamů se v období mezi roky 1750 – 1800 n. l. těžba uhlí zdvojnásobila, což svědčí o výrazném vzestupu průmyslové výroby. S využitím parního stroje na pohánění vodních pump bylo možné těžít uhlí z mnohem větších hloubek a mnohem vydatnějších zdrojů. Výroba železa byla zvýšená o 200 % v důsledku válečné poptávky.

Na konci 18. století se začal zejména v Anglických textilkách, tak i ve strojírenství, ve větším měřítku uplatňovat nový zdokonalený perní stroj vynálezce a technika Jamese Watta (1736 – 1819). Provoz, jeho zdokonaleného parního stroje byl levnější, výkonnější a pracoval rovnoměrněji.

Střípky z historie výroby

Ve 40. letech 19. století následoval prudký rozvoj také v tehdejším Rakousko-Uhersku, jehož součástí byly i České země.

V roce 1779 byl postaven první litinový most na světě vedoucí přes řeku Severn u Coalbrookdalu.

V důsledku nového vynálezu zkujňování surového železa tzv. **bessemerování** (probublávání kyslíku surovým železem) a jeho zavedení do praxe Angličanem Henry Bessemerem v polovině 50. let došlo k úspoře energie až o třetinu proti doposud používané metodě tzv. **pudlování**. (Morgan 1998) Technologie tohoto způsobu spočívala v reakci uhlíku s kyslíkem, který byl obsažen v dodávaném železe. Na tuto úpravu bessemerováním bylo nejvhodnější železo s malým obsahem fosforu.

Střípky z historie výroby

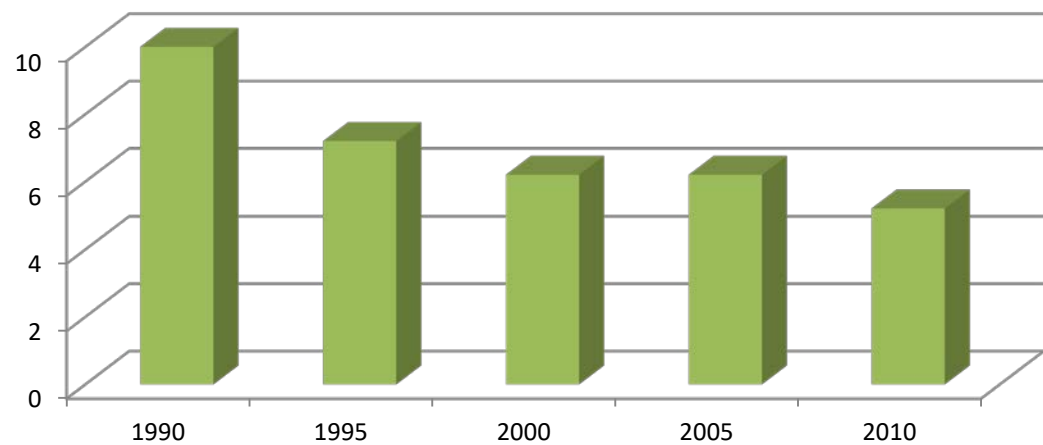
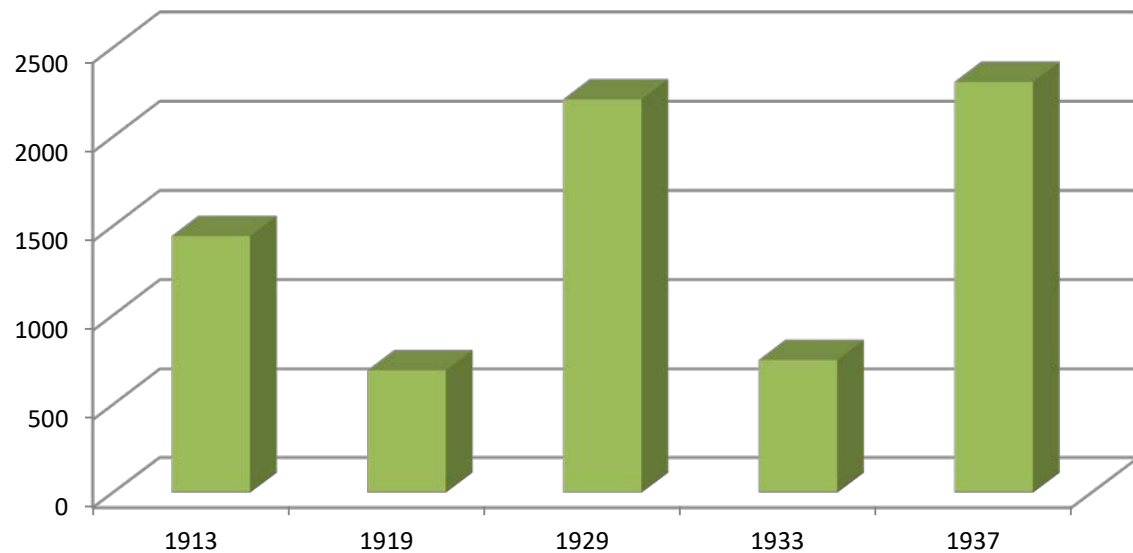
Dnešní území České republiky patřilo do rakouské poloviny státu a to do tzv. Předlitavska. Tato část Rakouské monarchie patřila bezesporu k nejprůmyslovější části oproti zaostalému a zemědělskému Uhersku. Na území tehdejšího Uherska patřila i dnešní Slovenská republika.

Sousedství s vyspělými Německými městy = nový odbyt výrobků či naopak s možností získávání zkušeností s moderními technologiemi.

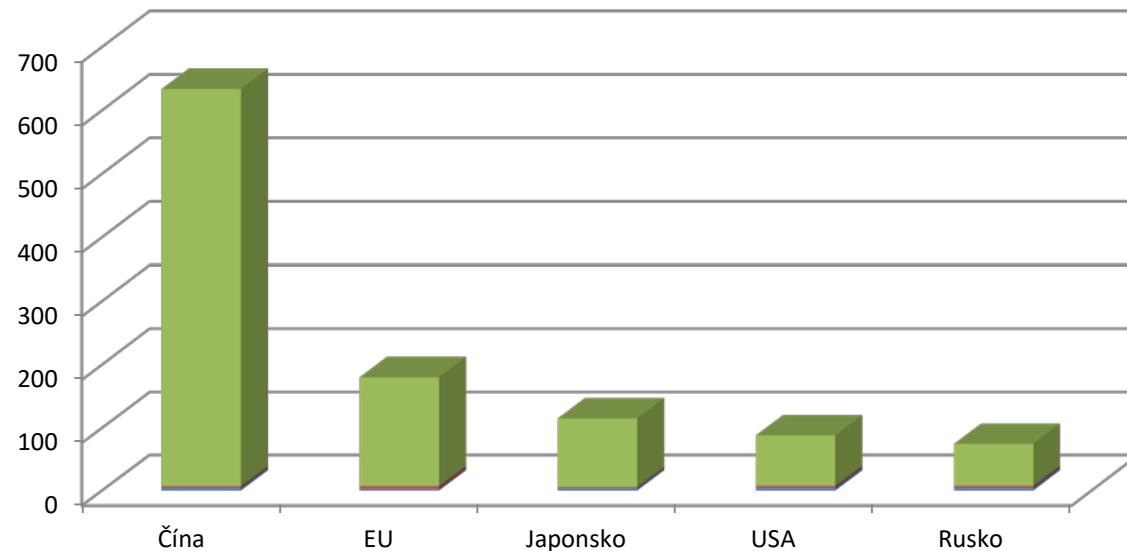
Mezi významné události v rámci Rakousko – Uherské monarchie patřilo založení Vítkovických železáren na severní Moravě v roce 1828 arcivévodou Rudolfem Janem (8. 1. 1808 – 24. 7. 1831).

Dalším významným podnikem v oblasti metalurgie v rámci Rakouské monarchie patří Třinecké železářny (1836). V roce 1839 proběhlo slavnostní zapálení první vysoké dřevouhelné pece.

Střípky z historie výroby



Výroba oceliv Československu v tisících tun.



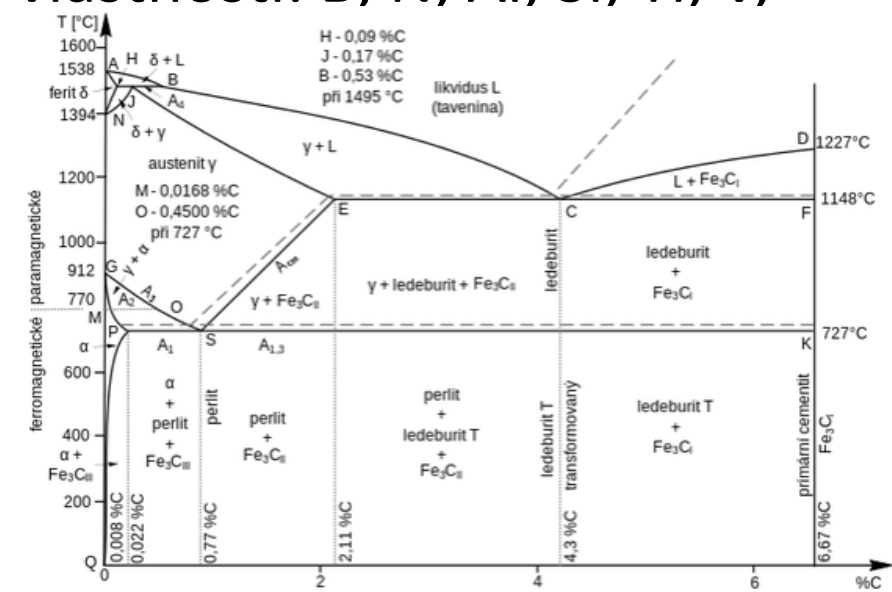
Pět největších světových výrobců oceli (v mil.t/rok) v roce 2010.

Technická železa

- jsou komplexní slitiny – uhlík, dále jsou přítomny **doprovodné prvky**: mangan, křemík, měď, síra, fosfor,
škodlivé: síra, fosfor, kyslík, vodík, dusík.
prospěšné: mangan, křemík, hliník, měď
- Úmyslně přidávané přísady – prvky, které zlepšují vlastnosti: B, N, Al, Si, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Ta, W

Rozdělení technických slitin železa podle obsahu **uhlíku**:

- Slitiny s velmi nízkým obsahem C – téměř čistá železa
- Oceli s obsahem C do ~2 %,
- Surová železa a litiny, kde obsah uhlíku je nad 2 %



Technická železa

Nečistoty

- **Fosfor:** Horní hranice obsahu P je 0,04% (0,03 % u ušlechtilých ocelí, v litinách až 0,5%), P se rozpouští ve feritu, v bcc , nevytváří v ocelích zvláštní fáze, soustřeďuje se po hranicích zrn austenitu, zhoršuje vlastnosti -> způsobuje zkřehnutí. V železe alfa se rozpouští až do 2,8 %, avšak při 25°C je rozpustnost jen 0,015%.
- P může vytvářet samostatné fáze – fosfidy Fe_2P , FeP , FeP_2 a Fe_3P ,
- Tvorba binárního eutektika Fe- Fe_3P s teplotou tání 1050°C nebo ternární eutektikum – v případě většího obsahu C – Fe- Fe_3P - Fe_3C -> tzv. steadit (metalografický název)
- U litinových odlitků zlepšuje zabíravost, snižuje houževnatost, ovlivňují součinitel tření a zvyšuje tvrdost. Proto to je úmyslná přísada u litin na výrobu pístních kroužků, brzdových bubnů, vložek válců.
- **Síra:** Obsah síry z materiálu snižujeme prostřednictvím strusky z oxidu vápenatého CaO , část síry se vyváže na Fe, a na Mn, jako FeS a MnS – tyto sulfidy jsou snadno schopny plastické deformace za tepla. Při velké redukci jsou schopny vytvářet tzv. vlákna. U litých ocelí je sulfidů celá řada. Ojediněle jsou patrné kulovité částice spíše nepravidelné tvary, popřípadě tvar řetízků sulfidů.

Technická železa

Nečistoty

- hranice obsahu - u ocelí: 0,005-0,006

u litin: do 0,15%, ale i více

Případné eutektikum Fe-FeS na hranicích zrn austenitu zhoršuje tvařitelnost za tepla a způsobuje lámavost za červeného žáru. Zhoršení mech. vl. při dynamickém namáhání, svařitelnosti, schopnosti k cementování a zhoršuje korozní odolnost.

- **Kyslík:** nezůstává u oceli v atomární podobě, tvoří se oxidy: wüstit (FeO) – základní činitel, který umožňuje zkujňování, přebytečný FeO musí být před odlitím dezoxidován. Dezoxidační přísady: uhlík (výsledkem je neuklidněná ocel) nebo prvky s vyšší afinitou: Si, Al, Ti, Zr, Ca a vzácné zeminy. Přítomnost kyslíku v litinách není významná.

Velké množství u ocelí vede k heterogenitě po tváření, k „dřevitému lomu“.

- **Dusík:** U nízkouhlíkových ocelí se zvyšuje tvrdost, ale hodnota kluzu se snižuje. V běžně vyráběných druzích je obsah v rozmezí 0,002-0,02%. V tuhém stavu vytváří intersticiální tuhý roztok -> Fe₄N na hranicích zrn nebo na skluzových rovinách. U nízkouhlíkových ocelí určených k tváření je nepřipustný protože je příčinou děje tzv. stárnutí oceli. Stárnutí probíhá samovolně při pokojových teplotách, je podporováno deformací za studena následným ohřevem na teploty v rozsahu 200-250°C. Možnost regenerace žíháním nad ~600°C a rychlým zchlazením.

- **Vodík:** je většinou rozpuštěn intersticiálně ve feritu v atomárním stavu, má snadnou pohyblivost za běžného stavu. CH₄ - přítomnost se projevuje ve zhoršení vlastností i jako vodíková koroze po hranicích zrn – vodíková nemoc. Vytváří prasklinky.

Surová železa

Surová železa – jsou základem pro výrobu ocelí a litin

- Šedé surové železo obsahuje uhlík ve formě grafitu, proto má na lomu šedou barvu. Krystalizuje a taví se podle stabilní soustavy Fe-C.
- Bílé surové železo – patří do metastabilní soustavy. Znamená to, že obsahuje karbid železa Fe_3C , cementit. Proto má bílý a lesklý lom.



Slévárenské surové železo
Ocelářské surové železo

Výrobek	Si [%]	Mn [% max]	P [% max]	C [%]	S [% max]
Surové ocelářenské železo	Max. 1,1	1,0	0,12	3,5-4,5	0,05
Obsah P a S může být po dohodě snížený					

Výrobek	Si [%]	Mn [% max]	P [% max]	C [%]	S [% max]
Surové slévárenské železo	1,2-1,6 1,6-2,0 2,0-2,4 2,4-2,8 2,8-3,2 3,2-3,6	0,4-1,0 Pro všechny kombinace Si	0,08 Pro všechny kombinace Si	3,5-4,5 Pro všechny kombinace Si	0,04 Pro všechny kombinace Si
Obsah P a S může být po dohodě snížený					
Balení a doprava		Ingoty do 12kg volně naložené v železničních vagónech nebo kamionech			

Oceli - rozdělení

- **Ingotové oceli** určeny k dalšímu zpracování tvářením. Vyrobena ocel určená k tváření se v hutích odlévá do velkých kovových forem - kokil. Vzniklé odlitky = ingoty. Mají tvar komolých jehlanů nebo komolých kuželů.
- **Konstrukční oceli** (nelogované, legované) jsou určeny na strojní a stavební konstrukce, tedy na všechny ocelové výrobky kromě nástrojů.
- **Nástrojové oceli** určeny na výrobu obráběcích a tvářecích nástrojů, ocelových forem a dalšího výrobního zařízení.
- **Oceli na odlitky** se v hutích odlévají buď přímo do slévárenských forem - vznikají odlitky požadovaného tvaru a rozměrů, nebo do zvláštních jednoduchých forem, ze kterých jsou odlitky zvané housky předávány do sléváren k dalšímu zpracování.

Oceli - rozdělení

- **Oceli obvyklých** (běžných) **vlastností** (jakostí) jsou vyráběny jednodušším technologickým postupem v konvertorech nebo Siemens-Martinských pecích. Výrobce u těchto ocelí zaručuje pouze jejich hlavní mechanické vlastnosti, s výjimkou údaje o povoleném obsahu síry a fosforu u třídy 11 nezaručuje jejich složení.
- **Oceli ušlechtilé** jsou vyráběny náročnějším technologickým postupem, při kterém jsou přetavovány v elektrických pecích. Výrobce zaručuje jak jejich mechanické vlastnosti, tak jejich složení.

Oceli - rozdělení

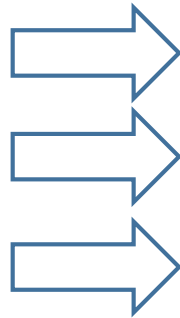
ocel – slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky, které se dostávají do oceli ze surovin nebo při výrobě.

Dle obsahu:

do 0,25 %C

od 0,25 do 0,77 %C

od 0,77 %C do 2,11 %C



nízkouhlíkové

středněuhlíkové

vysokouhlíkové

Příměsy jsou vždy přítomné

Oceli - rozdělení

Slitinové oceli – obsah Mn je alespoň 0,9 %, 0,5 % Si nebo Ni, 0,3 % Cr, 0,2 % W nebo Co, 0,1 % Mo, V nebo Ti.

označení dle obsahu legujících prvků:

do 2,5 %



nízkolegované

od 2,5 do 5 %



středně legované

od 5 % do 10 %



výše legované

nad 10 %



vysokolegované

Oceli – rozdělení

Oceli jsou na základě svého technologického určení, použití, vlastností a složení českou normou rozdělovány do tříd:

oceli	ingotové	konstrukční	běžných vlastností		Třída 10
				(strojní)	třída 11
			ušlechtilé	uhlíkové	třída 12
			slitinové	třída 13 až 17	
		nástrojové	uhlíkové		třída 19
			slitinové	nízkolegované	
	vysokolegované (rychlořezné)				
		na lité nástroje			
	na odlitky	uhlíkové			třída 26
		slitinové			třída 27 až 29

Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 10

jsou levné, dobře obrobitelné a svařitelné. V tabulce uvedené označení „stavební“ dnešní terminologie již neužívá, je zde uvedeno pouze pro názornost. Mají zaručenu pevnost, mez kluzu, tvárnost a svařitelnost. Jsou nelegované, chemické složení není předepsáno.

Používají se na součásti podružného významu, pro stavební a zámečnické užití, na kolejnice, mosty, jeřáby a podobná zařízení. Dále součásti bez nosných svarů, nýty, šrouby. Tvoří asi 80 % všech vyráběných ocelí.



Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 11

Konstrukční oceli třídy 11 jsou kvalitnější než oceli třídy 10. Výrobce mají zaručen obsah C, S a P (zhoršují vlastnosti oceli) a dalších prvků. Používají se na náročnější strojní součásti jako hřídele, čepy, ozubená kola, šrouby, matice, plechy pro zpracování tažením, bezešvé trubky, výlisky a další – předepsané mechanické vlastnosti (pevnost, mez kluzu, dynamické zatížení).

Automatová ocel – 11 110 (Rm 230-420 MPa, cementovatelná)

11 320 – Rm 280-420 MPa - k hlubokému tažení, trubky svařované z pásů, olejové chladiče transformátorů, zavlaž. Potrubí (vodovodní, vytápěcí, vtokové potrubí vodních turbín),

Např.: 11 343, 11 500, 11 600, 11 700 (min. Rm 500, 600, 700 MPa)

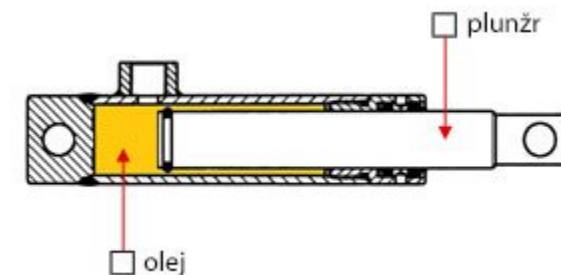
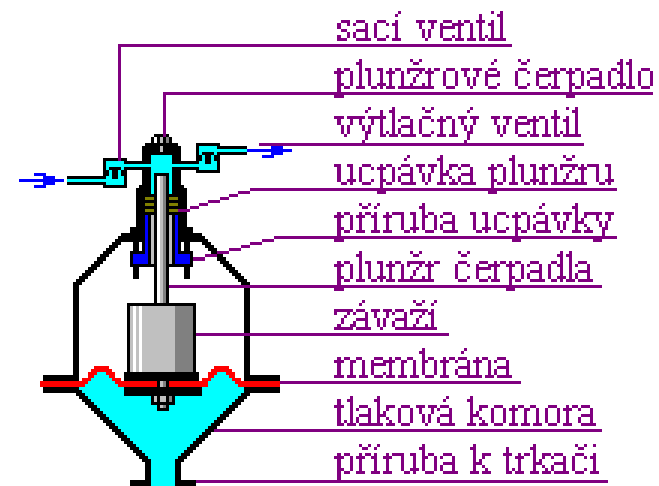


Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 12

Oceli třídy 12 patří k *ušlechtilým* ocelím. Mají zaručeno chemické složení (předepsané obsahy C, Mn, Si, P i dalších prvků). Oceli s obsahem od 0,06 do 0,2 % C se užívají k cementaci, oceli s obsahem od 0,25 do 0,7 % C k zušlechťování a oceli s obsahem od 0,4 do 0,6 % C k povrchovému kalení.

Příklad výrobků: čepy, šrouby, vačkové hřídele, ozubená a řetězová kola, ojnice, pružiny, hřídele čerpadel, turbokompresorů, klikové; pístnice, plunžry.

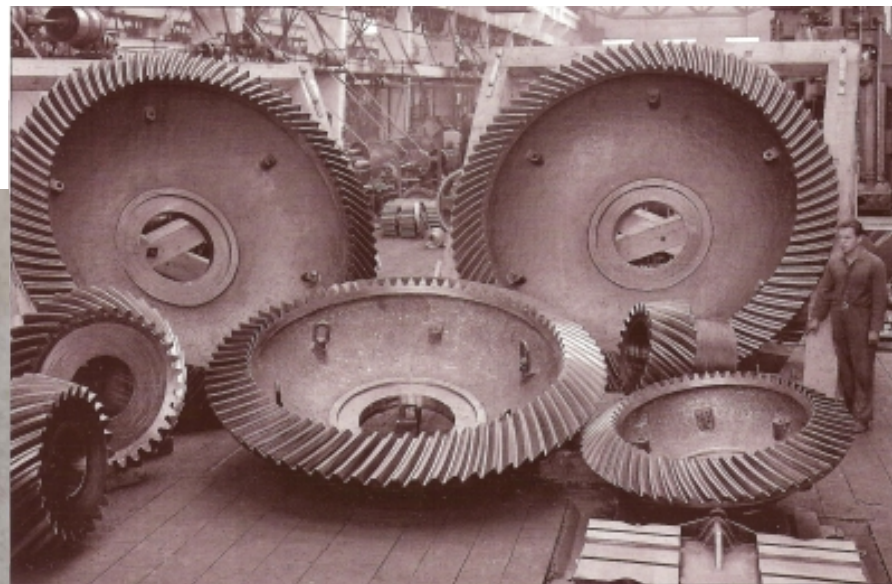
12 020 – měřidla a nástroje – kalibry, trny, frézy na dřevo



Píst (plunžr) paletového vozíku

Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 13 nízkolegované

jsou legovány Mn, -Si a Mn-V.
Užívají se na středně namáhané součásti s vyšší odolností proti opotřebení (ozubená kola, šneky, pružiny šroubové – listové - kuželové). Patří sem například pružinové oceli s obsahem asi 1,5 % Si a transformátorové oceli s obsahem až 4,6 % Si, které vykazují nízké ztráty vířivými proudy.



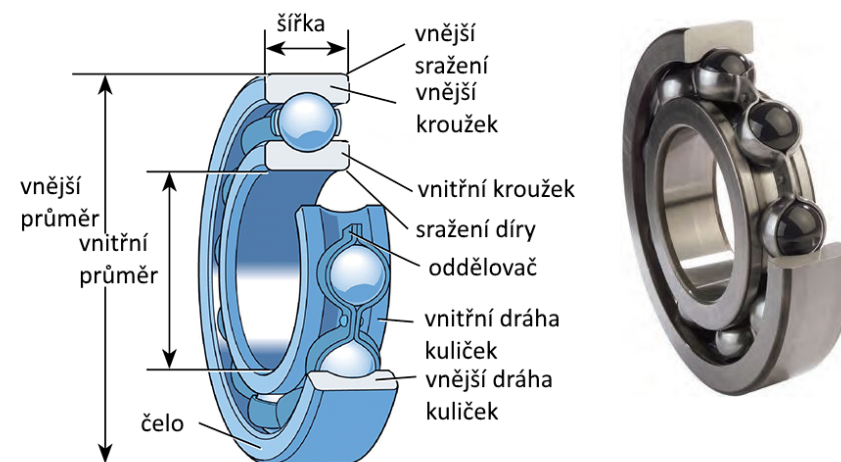
kuželová hypoidní soukolí s frézovanými zuby, větší kola o průměru 3,3 m

Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 14 nízkolegované

jsou legovány Cr, -Al, -Mn a -Si. Jsou dobře prokalitelné, některé lze je cementovat, jiné nitridovat, jiné a povrchově kalit, jsou tvrdé a odolné proti otěru. Mají široké použití pro namáhané součásti, jako například ozubená kola - 14 220, hřídele, valivá ložiska - 14 109.



KULIČKOVÉ LOŽISKO



Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 15 nízkolegované

jsou legovány Mo, -Mn, -Cr, Cr-V, Cr-W, Mn-Cr-V, Cr-Mo-V, Cr-Si-Mo-V, Cr-Mo-V-W. Mají vysokou pevnost – až 1200MPa, mez kluzu – až 850MPa, mez tečení, dobře odolávají korozi a jsou dobře prokalitelné. Jsou vhodné k zušlechťování, některé k povrchovému kalení, jiné k cementaci nebo nitridaci Užívají se na velmi namáhané součásti jako například ozubená kola, klikové hřídele výkonných motorů, torzní tyče, tlakové nádoby, bezešvé trubky, nápravy, vahadla ventilů, energetická zařízení pracující za zvýšených teplot.



Vahadlo ventilů

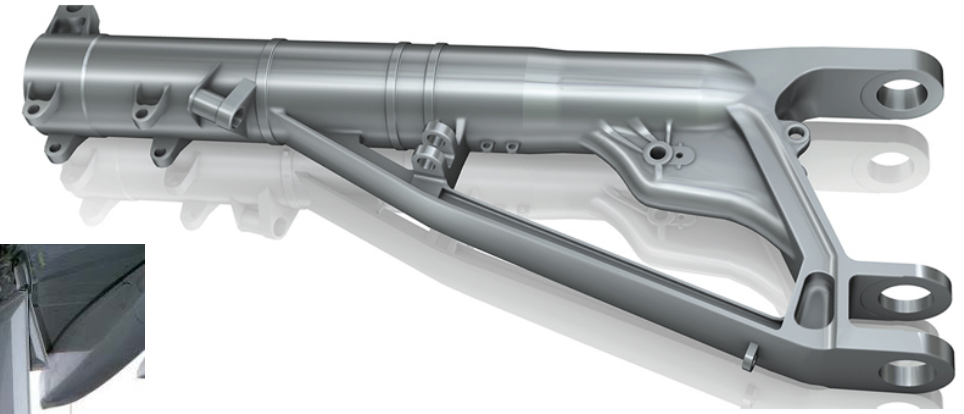


Pístní čepy

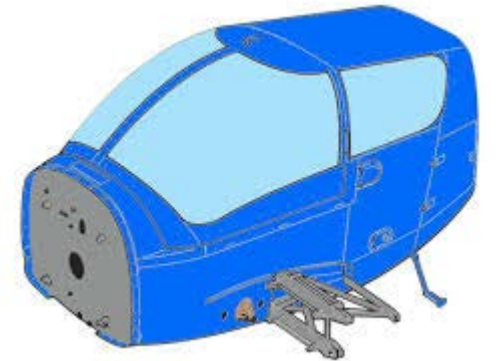
Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 16 nízkolegované a středně legované

jsou legovány Ni a Cr, -Mo, -V, -Mn, -W. Mají vysokou pevnost, mez kluzu, houževnatost, jsou dobře prokalitelné. Jsou vhodné pro cementaci a zušlechťování. Svě dobré vlastnosti si udržují i při nízkých teplotách. Jsou vhodné pro vysoce namáhané součásti.

Např.: kloubové hřídele, pístní čepy a pastorky (16 240), podvozky letadel, závěsy křídel, šrouby (16 532)



Podvozková noha



Závěs křídla

Konstrukční oceli – dle ČSN - tř. 17 středně legované a vysokolegované

jsou vysoce legované zejména Ni (až 70 %) a Cr, dále Mo, Ti a Mn. Jsou velmi odolné proti žáru, korozi a otěru. Užívají se pro silně namáhaná zařízení vystavená vyšším provozním teplotám (oceli žáruvzdorné a žárupevné pro kalicí a žíhací pece, formy pro lisování skla, energetická zařízení a pod.), silně agresivnímu koroznímu prostředí (oceli korozivzdorné pro potravinářský a chemický průmysl, zdravotnictví) a pro součásti vystavené otěru při velkém zatížení (funkční části bagrů, drtičů, mlýnů na kámen a uhlí a pod.). Nejznámější je ocel označovaná jako 18/8, obsahující 18 % Cr a 8 % Ni. Některé z ocelí této třídy mají zcela specifické fyzikální vlastnosti. Příkladem je ocel s obsahem 35 až 36 % Ni, nazývaná invar, jejíž součinitel tepelné roztažnosti je prakticky nulový ($0,5 \cdot 10^{-6}$; pro srovnání: běžná ocel má součinitel tepelné roztažnosti $12 \cdot 10^{-6}$).

