

Ocel

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. V praxi jsou jako ocele označovány slitiny, které obsahují převážně železo, a které je možno přetvářet v další sloučeniny. Při obsazích uhlíku vyšších než 2,14 % hovoří se o litinách. Zde je uhlík vyloučen jako grafit nebo cementit. Může se vyskytovat ve více fázích (Austenit, Ferit, Perlit, Ledeburit, Cementit), které popisuje fázový binární diagram železo-uhlík.

Vlastnosti oceli

Oceli jsou nejčastěji používanými kovovými materiály. Legováním uhlíkem a dalšími prvky a kombinací tepelného a tepelně-mechanického zpracování je možno ovlivnit vlastnosti ocelí v širokém rozmezí a tak jejich vlastnosti přizpůsobit zamýšlenému použití. Strukturální složky jsou popsány v binárním diagramu železo-uhlík. Hustota oceli je 7850 kg/m^3 . Měrná tepelná kapacita oceli je cca $469 \text{ J.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$ (závisí na obsahu příměsí). Bod tání oceli je přibližně $1539 \text{ }^\circ\text{C}$.

Výroba oceli



Vysoká pec pro výrobu surového železa - Sestao, Španělsko



Ocelové hřebíky



Ocelová nádoba jaderného reaktoru

Výchozím materiálem pro výrobu ocele je zpravidla surové železo. Výroba železa probíhá ve vysoké peci redukcí oxidů železa obsažených v železné rudě. Ruda, koks a vápenec jsou vsazovány do vysoké pece a zde za vysokých teplot redukovány a taveny. Železo a struska jsou periodicky odebírány z vysoké pece a buďto odlévány do tzv. housek nebo jako tekutý kov transportovány přímo do oceláren.

Ocel vzniká odstraňováním příliš velkého množství grafitického uhlíku ze surového železa. Tento proces se v různých dobách prováděl různými způsoby. Mezi nejstarší a již překonané metody patří tzv. pudlování, při kterém se roztavené surové železo promíchávalo s hematitem (minerál Fe_2O_3) a jeho vlivem konvertoru. Síra byla odstraňována pomocí zrcadloviny obsahující mangan, což navrhl Robert Forester Mushet docházelo ke "spalování" uhlíku i dalších příměsí. Vzniklé tzv. svářkové železo se poté na ocel zpracovávalo náročnými metodami jako je cementace (dlouhodobé zahřívání tyčového železa s dřevěným uhlím) nebo kelímkový proces (tavení železa s přesným množstvím dřevěného uhlí). V polovině 19. století však již tento způsob nedokázal pokrýt stále rostoucí poptávku po oceli a hledala se jiná možnost.

V roce 1856 si nechal Henry Bessemer patentovat nový zkujňovací postup, po něm pojmenovaný jako tzv. **Bessemerování**. Provádělo se v tzv. *konvertorech* oxidací uhlíku profukováním roztaveného

železa kyslíkem nebo vzduchem. Alkalické příměsi se zachycovaly v podobě strusky na vyzdívce. Vlivem nové metody se výroba oceli významně zlevnila, například v Británii během 10 let cena klesla ze 70 na 15 liber za jednu tunu. V USA musel Andrew Carnegie přizpůsobit postup železné rudě od Hořejšího jezera a roce 1872 začal vyrábět kolejnice za 170 \$ za tunu, ale v roce 1898 se cena snížila na 17 \$ za jednu tunu. Další modifikaci zavedli roku 1897 Sidney Gilchrist Thomas a Percy Carlyle Gilchrist, když na vyzdívku konvertoru použili vápenec nebo dolomit. Tímto tzv. zásaditým způsobem bylo umožněno zpracování surového železa s vysokým obsahem fosforu, neboť veškeré kyselé příměsi včetně fosforu zreagují s vyzdívkou za vzniku zásadité strusky, která našla uplatnění jako hnojivo. Postup podle Bessemera včetně modifikací se udržel skoro až do roku 1910.

Několik let po Bessemerovu způsobu zavedl sir William Siemens (původem z Německa) tzv. Siemensův-Martinův proces zkujňování železa. Oxidace příměsí probíhala v nístějové peci, kterou lze opatřit podle typu surového železa vyzdívkou zásaditou nebo kyselou. Vytápění je na rozdíl od ostatních způsobů vnější. Siemensův-Martinův způsob vytlačil Bessemeraci díky hospodárnějšímu provozu a snadnější regulaci složení oceli.

V roce 1952 byl v Rakousku zaveden tzv. zásaditý kyslíkový konvertorový proces, který spolu se svými modifikacemi vytlačil méně ekonomický Siemensův-Martinův způsob. Je také méně časově náročný a proto patří k nejběžnějším v průmyslu výroby oceli. Hlavní princip je profukování proudem čistého kyslíku vysouvatelnými ocelovými tryskami skrz roztavené surové železo. Nečistoty přítomné tvoří se zásaditou vyzdívkou pece strusku, která se odstraňuje vylitím (nakloněním) konvertoru.

V roce 1878 si nechal William Siemens patentovat metodu zkujňování železa v elektrické peci, při kterém se železo taví účinkem tepla vznikajícího přímo průchodem elektrického proudu surovým železem, nebo nepřímo vznikem elektrického oblouku nad povrchem železa. Tento energeticky náročnější způsob se používá při výrobě slitinových a vysoce kvalitních ocelí.

V současnosti se nejvíce používá některý ze zásaditých kyslíkových konvertorů, často se také pracuje v Siemens-Martínových pecích, popř. v elektricky vytápěných pecích. Celý proces zpracování železa na ocel je pečlivě řízen tak, aby výsledný produkt obsahoval pouze požadované množství uhlíku. Pro výrobu běžných typů ocelí se obsah uhlíku obvykle snižuje pod 1,5 %. Získaná tzv. nelegovaná neboli měkká ocel je poměrně měkká a snadno se mechanicky zpracovává (tažení, kování, ohýbání atd.). Mechanické vlastnosti se dají dále upravovat tepelným zpracováním, například kalením (zahřátím do červeného žáru a prudkým zchlazením vodou nebo minerálním olejem) nebo popouštěním (zahřátím na 200 - 300 °C a pomalým chlazením). Slouží k výrobě drátů, plechů, hřebíků a podobných produktů.

Další zkvalitnění vyrobené oceli se dosahuje legováním, tedy přidavky definovaných množství jiných kovů za vzniku slitiny. Tzv. nízkolegované oceli obsahují maximálně 5 % legovacích kovů, vysoce legované oceli mohou mít i přes 30 % kovů jiných než železo.[zdroj?] Hlavními prvky pro legování ocelí jsou nikl, chrom, vanad, mangan, wolfram, kobalt a ve speciálních aplikacích ještě mnoho dalších. Po oduhličení a přisazení legujících prvků je tavenina odlévána do ingotů v kokilách nebo kontinuálně odlévána. Takto vyrobený polotovár je potom výchozím materiálem pro další zpracování válcováním nebo kování. Rozlišujeme tzv. uklidněné a neuklidněné oceli. U uklidněných ocelí je rozpuštěný kyslík vázán přísadou hliníku (Al) nebo křemíku (Si). Existuje více než 2000 různých druhů ocelí s přesně definovaným složením a mechanickými vlastnostmi jako je pevnost, tvrdost, chemická odolnost a řada dalších.

V současné době je ocel vyráběna převážně v tzv. integrovaných hutních provozech, kde je koncentrována celá výroba od surového železa přes ocelárnu a válcovnu až k hotovému polotovaru.

Rozšířeny jsou i tzv. minioceřárny, kde je ocel vyráběna z ocelového odpadu v elektrických pecích a odlévána v kontinuálním lícím zařízení na bramy, sochory apod. Ocelové polotovary jsou dále zpracovány ve válcovnách na drát, plech, nosníky, kolejnice, profily, které jsou široce používány v průmyslu, ve stavebnictví jako součást železobetonu nebo ke konstrukci skeletů výškových budov a věží (Eiffelova věž nebo Petřínská rozhledna), elektrárenských turbín, nádob jaderných reaktorů a mnoho mnoho dalších. Část polotovarů slouží jako výchozí materiál pro výrobu výkovků v kovárnách.

Největší výrobci oceli

V roce 2008 bylo na světě vyrobeno 1 329 milionů tun. Zdaleka nejvíce oceli bylo vyrobeno v Číně - 500,5 milionů tun, tedy 37,6 % světové produkce. Pokud považována za celek, druhá byla Evropská Unie jako celek - 198,6 (15 %); v rámci států EU pak byl nejvíce oceli vyrobeno v Německu - 45,8 (tedy skoro čtvrtina produkce EU). Z celosvětového hlediska pak dalšími bylo Japonsko a Spojené státy americké. Pro srovnání České republiky bylo vyrobeno 6,4 milionů tun, což jí zařadilo do první třicítky producentů.

Pořadí	Země	Mil.t/rok	% světové produkce	Pořadí	Země	Mil.t/rok	% světové produkce
1	Čína	550,5	37,6	10	Itálie	30,5	2,3
-	Evropská Unie (27)	198,6	14,9	11	Turecko	26,4	2,0
2	Japonsko	118,7	8,9	12	Taiwan	20,2	1,5
3	USA	91,5	6,9	13	Španělsko	19,1	1,4
4	Rusko	68,5	5,2	14	Francie	17,9	1,3
5	Indie	55,1	4,1	15	Mexiko	17,6	1,3
6	Jižní Korea	53,5	4,0	16	Kanada	15,1	1,1
7	Německo	45,8	3,5	17	Anglie	13,5	1,0
8	Ukrajina	37,1	2,8	18	Belgie	10,9	0,8
9	Brazílie	33,7	2,5	19	Írán	10,0	0,7

V roce 2007 patřily mezi největší producenty oceli tyto společnosti:

Pořadí	Název	Země	Mil.t/rok
1	ArcelorMittal	Globální	116,4
2	Nippon Steel	Japonsko	35,7
3	JFE Holdings	Japonsko	34,0
4	POSCO	Jižní Korea	31,1
5	Baosteel	Čína	28,6

Druhy ocelí

V současné době je vyráběno asi 2500 druhů ocelí. V normách (ČSN, DIN, atd.) jsou oceli rozděleny do skupin jednak podle chemického složení, jednak podle struktury a mechanických a fyzikálních vlastností.

Podle chemického složení jsou oceli rozdělovány do následujících skupin:

Nelegované oceli

Zvané také uhlíkové oceli. Obsah legujících prvků je nižší než je maximální tabelovaná hodnota pro daný prvek (Pro většinu prvků je tento maximální hmotnostní podíl kolem 2 %). Mechanické vlastnosti uhlíkových ocelí lze modifikovat tepelným (žíhání, kalení, popouštění), tepelně-mechanickým a tepelně-chemickým (cementace a nitridace) zpracováním.

Nízkolegované oceli

Obsah legujících prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5 %. Mají podobné vlastnosti jako oceli nelegované, ale jsou vhodné pro tepelné zpracování. Tepelným zpracováním je u nich možno ovlivnit mechanické vlastnosti. Se stoupajícím obsahem uhlíku stoupá i tvrdost po kalení. A to až do obsahu 0,85 % C. S vyšším obsahem C se už tvrdost dále nezvyšuje.

Vysoce legované oceli

Obsah legujících prvků je vyšší než 5 %. Kombinací legujících prvků se dosahuje potřebných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností.

Rozdělení podle oblastí použití

Podle oblasti použití lze oceli rozdělit do následujících skupin:

Konstrukční oceli – jsou zpravidla nelegované oceli používané ve strojírenství, stavbě budov apod.

Automatové oceli – jsou oceli s přísadou síry (kolem 2 %), olova a případně manganu (kolem 1 %), který váže síru na MnS. Dosahují dobré obrobitelnosti s kvalitním povrchem při veliké řezné rychlosti a snadné lámavosti třísky při obrábění.

Betonářské oceli – na armovací drát nebo tyče ve stavebním průmyslu. Většinou nelegované nebo nízko legované ocele (např. ČSN 420139, ČSN EN 10080).

Oceli na pružiny – „pérová ocel“ nebo též „pružinová ocel“, musí vykazovat dobré statické a dynamické vlastnosti a musí mít vysokou únavovou životnost. Vhodné jsou zde nelegované oceli s vyšším obsahem uhlíku a oceli slitinové se zvýšeným obsahem manganu a chromu (např. ČSN 412041 nebo ČSN 14260).

Ocel k cementování – do této skupiny patří oceli s nízkým obsahem uhlíku, které mají i po kalení dobré plastické vlastnosti. Vysoké tvrdosti povrchu se dosahuje obohacením povrchových vrstev uhlíkem před kalením. (např. ČSN 412023, 412024, 412030, ...)

Ocel pro elektrotechnické plechy – pro výrobu jader transformátorů a točivých strojů musí mít charakteristické magnetické vlastnosti, ale současně také schopnost k technologickému zpracování.

Těmto účelům nejlépe vyhovují oceli s obsahem 1 až 4,5 % křemíku (Si) a s minimálním obsahem uhlíku a dalších doprovodných prvků.

- **Hlubokotažné** ocele – jsou používány na výrobu hlubokotažných plechů. Plechy musí vykazovat především dobré plastické vlastnosti. Tyto oceli jsou nízkouhlíkové s minimálním obsahem doprovodných prvků. Zlepšení mechanických vlastností a jejich stability se dosahuje mikrolegováním hliníkem, titanem, vanadem, borem, zirkoniem a niobem. Jsou to zejména materiály pro karosářské plechy. (např. ČSN 412009)

Ocel k zušlechtování – oceli se středním obsahem uhlíku, které se po kalení popouštějí na vyšší teploty, aby se dosáhlo vysoké houževnatosti při zachování dobré pevnosti. (např. ČSN 412042, 412050, 412051, 412052...) Tyto oceli, jako materiál, lze také koupit už zušlechtěné. Ve třídě oceli, za tečkou, mají číslo 6, 7, 8. Např.: 12040.6. Zušlechtěné oceli jsou pevnější, ale lze je ještě obrábět - soustružit, frézovat apod. (oproti kaleným ocelím, které lze už jen brousit). Zušlechtěná ocel je částečně houževnatá. Zušlechtování je zvláštní způsob kalení, při kterém nám nejde o tvrdost oceli, ale o zvýšení pevnosti v tahu na mm². Tím může být pak výrobek lehčí (např. ojnice a spojnice u parní lokomotivy atd).

- **Korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné** oceli – Jsou vysocelegované oceli, legované především chromem a niklem. Chrom vytváří na vzduchu pasivní vrstvu oxidu chromitého, která brání další korozi. Nikl zvyšuje odolnost v agresivních prostředích (například kyselin). Korozivzdorné oceli se dělí do čtyř hlavních skupin - martenzitické, feritické, austenitické a austeniticko-feritické. Nejběžnější, austenitické, jsou nemagnetické.
- **Nástrojové** oceli – jsou obyčejné uhlíkové, středně legované a vysocelegované ocele, nebo-li ocele rychlořezné (jsou samokalitelné) s vyšším až vysokým obsahem uhlíku a používají se na výrobu nástrojů a forem. Označují se číslem 19xxx. (např. ČSN 19855 - Nástroje na těžko obrobitelné materiály a pro nejvyšší výkony, zejména nože na kovy, vrtáky, zápichové nože, frézy, nástroje na ozubení a pod.) Ocel uhlíková a ocel rychlořezná dosáhne při kalení stejné tvrdosti, ale: ocel uhlíková drží tvrdost ostří (břítu) cca do 240 °C, s další teplotou začíná měknout. Ocel rychlořezná drží ostří do 600 °C, v tom je její hlavní význam. Umožňuje mnohem rychlejší obrábění a proto se jí říká rychlořezná. Tato ocel se začala vyrábět už před 1. světovou válkou. Poznámka: Jako Damascénská ocel je označován materiál na výrobu šavlí, mečů ap. Je znám svou vysokou pružností a pevností. Tento materiál však není jedním druhem oceli, ale sestává z různých druhů oceli, které jsou svařeny v ohni a kováním (spojování materiálu za tepla).

Recyklování

Ocel se recykluje již víc než 150 let a to hlavně z ekonomických důvodů. Je totiž levnější ocel recyklovat, než těžit železnou rudu a vynakládat finance na výrobu „nové“ slitiny. Finanční nároky výroby nové slitiny jsou ve srovnání s náklady na recyklaci obrovské. Recykluje se také proto, že ocel během procesu recyklace neztrácí žádné ze svých vlastností. Je to nejvíce recyklovaný materiál v Severní Americe. Energie ušetřená recyklováním oceli snižuje roční spotřebu energie průmyslu až o 75 %. Toto procento představuje množství energie dostačující k zásobování 18 milionů rodin po dobu jednoho roku. Recyklováním jedné tuny oceli se ušetří 1100 kg železné rudy, 630 kg uhlí a 55 kg vápence. V roce 2005 bylo recyklováno 76 milionů tun oceli.

V poslední době se každým rokem zrecykluje asi třičtvrtě z celkové roční produkce oceli. U některých druhů ocelových produktů je tento poměr ještě vyšší. Například v letech 2004 a 2005 bylo

zrecyklováno 97,5 % tyčí a plátů z konstrukční oceli. Výztužných ocelových tyčí bylo zrecyklováno asi 65 % z jejich celkové roční produkce. Konstrukční ocel tak typicky obsahuje asi 95 % recyklovaného materiálu. Oproti tomu lehčí typ oceli, jako je ocel válcovaná, obsahuje „pouze“ 30 % recyklovaného materiálu.

Ocelové tyče se vyrábí ve standardizovaných velikostech a tak se při jejich výrobě vyprodukuje jen velmi málo odpadu (tento odpad je samozřejmě recyklovatelný). Na průměrně velký dvoupodlažní dům se spotřebuje množství oceli přirovnatelné k 6 zrecyklovaným autům. Na stejný dům s dřevěnou konstrukcí by padlo asi 40 - 50 stromů.

Celosvětová poptávka po oceli neustále roste. Přestože zatím bylo oceli vyprodukováno obrovské množství, většina je stále v oběhu. Nejběžnější ocelové produkty určené k recyklování jsou plechovky, automobily, různá zařízení a ocel ze zbouraných budov. Můžeme odhadnout, že průměrné zařízení se skládá z 65 % z oceli. Auta obsahují asi 66 % oceli a železa.

Ocel je možné recyklovat v ocelárnách metodou oxidace v kyslíkových konvertorech. Většinou se však recykluje tavením v elektrických obloukových pecích (pro výrobu oceli s nízkým obsahem uhlíku) nebo v indukčních pecích (pro výrobu vysoce legovaných železných slitin).

Využití oceli

Ocel, tak jako dříve se využívá pro nosné konstrukce staveb. Navíc díky oceli poskytujeme stavbě výrazný architektonický prvek.

Nejlepší vlastností oceli je její vysoká pevnost, což ji předurčuje pro velmi namáhané a velkorozponové prvky. Ocel se využívá pro nosné konstrukce staveb, ať již průmyslových hal či architektonicky náročných staveb. Využívá se též při stavbě mostů, lávek či různých typů schodišť. Pro její estetické vlastnosti je také vyhledávána u řady umělců.

Aby bylo dosaženo potřebných kvalit, bývají do ocelových konstrukcí začleněna různá táhla a pružiny. Konstrukce jsou pak směsí různých materiálů, kombinují se s betonovými, dřevěnými či skleněnými prvky.

Projektanti se snaží navrhovat průmyslové haly úsporně a přitom využívat ocel s vyšší třídou pevnosti. Ocelové konstrukce se uplatňují především u komplikovanějších a tvarově složitějších staveb. Při ocelovém skeletu budovy však musí projektant vyřešit tepelnou ochranu ocelové konstrukce proti požáru; ohřeje-li se ocel na 500 °C, klesne její pevnost na polovinu. Velké pozitivum je především vysoká variabilita a přizpůsobivost těchto konstrukcí. To je hlavní důvod toho, že většina moderních a architektonicky složitějších staveb je právě z ocelových konstrukcí. Ocel se také plně využívá pro technologické stavby, jako jsou mosty a podpůrné konstrukce pro technologie.

Největší výhodou ocel představuje při rekonstrukcích, při doplňování konstrukcí nebo jejich zesilování nebývá většinou žádný problém. A navíc je ocelová konstrukce plně recyklovatelná, což je velké pozitivum.

Literatura

- Jaroslav Jech: Tepelné zpracování oceli, SNTL 1969

- KURZ TECHNOLOGOV TEPELNÉHO SPRACOVANIA, ČSVTS Bratislava 1981
- UŠLECHTILÉ NÁSTROJOVÉ OCELI POLDI,SONP Kladno 1985
- ocel 12040 ČSN 412040 ze 25.10.1976 a ze 1.7.1990
- GREENWOOD, N. N; EARNSHAW, A. *Chemie prvků II.* 1. čes. vyd. Praha : Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9. S. 1320–1374.
- Doc. Dr. Ing. Dalibor Vojtěch - Kovové materiály, Vydavatelství VŠCHT Praha 2006