**Oceli:**

**Nelegované oceli**

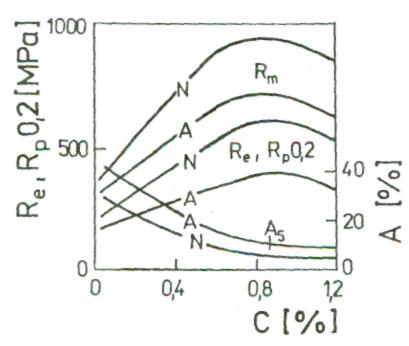
Slitiny železa **s** uhlíkem, v nichž obsah dalších prvků nepřekračuje konvenčně stanovené meze, a které lze ohřevem zcela austenitizovat, se označují jako **nelegované oceli**. Podle rovnovážného diagramu Fe-Fe3C (obr. 4-2) je při teplotě okolí mikrostruktura podeutektoidních ocelí feriticko-perlitická, u eutektoidní oceli s0,8 % C pouze perlitická a nadeutektoidní oceli (do 2 % C) jsou perliticko-cementitické. Podeutektoidní oceli se obvykle používají ke konstrukčním účelům, nadeutektoidní oceli na nástroje.

Mechanické a technologické vlastnosti **nelegovaných ocelí** ovlivňuje rozhodujícím způsobem obsah uhlíku. Zatímco pevnostní charakteristiky se srostoucím obsahem uhlíku zvyšují, plasticita a houževnatost klesají (obr. 4-13) a zhoršuje se tvařitelnost, svařitelnost i obrobitelnost. Na celkovou jakost nelegovaných ocelí mají také vliv doprovodné prvky (Mn a Si), nečistoty (S a P) a metalurgická čistota (plyny a vměstky) - kap. 4.1.1. Podle jakosti rozdělujeme nelegované oceli do tří skupin : na oceli obvyklé jakosti, jakostní a ušlechtilé (ČSN EN 10020).

*Označování* nelegovaných ocelí podle ČSN EN 10027 je alfanumerické. Základní symboly u tvářených ocelí tvoří písmeno charakterizující účel použití a tři nebo čtyři číslice udávají min. mez kluzu (např. pro oceli na konstrukce S235 či na strojní součásti E335) nebo mez pevnosti v MPa (např. pro oceli na kolejnice R0900). V označení ocelí na odlitky se předsazuje písmeno G, tedy např. GE335.

U ušlechtilých ocelí se vyznačuje obsah uhlíku v setinách % a účel použití např. C120U značí 1,20 % C, nástrojová.

***Nelegované oceli obvyklých jakostí*** nejsou určeny k tepelnému zpracování, ale mohou se žíhat (viz dále). Mají předepsaný max. obsah C (0,1 %), P a S (0,045 %) v tavbě a minimální mechanické vlastnosti v nezpracovaném nebo normalizačně žíhaném stavu (např. min. Re = 235 MPa) - viz dále, tab. 4-II. Nejsou u nich předepsány žádné další jakostní charakteristiky (např. tvařitelnost).



*Obr. 4-13 Mechanické vlastnosti*

*nelegovaných ocelí po normalizačním žíhání v závislosti na obsahu uhlíku*

***Nelegované jakostní oceli*** charakterizuje větší pečlivost při výrobě, nemají však předepsanou metalurgickou čistotu a nemusí mít rovnoměrnou odezvu na tepelné zpracování. Vzhledem k vyššímu namáhání oproti ocelím obvyklé jakosti však na ně

mohou být kladeny dodatečné požadavky např. tvařitelnost, mez kluzu při zvýšených teplotách, houževnatost aj.

Do této skupiny ocelí jsou zařazeny následující oceli:

* pro ocelové konstrukce (označené podle EN písmenem **S**) včetně ocelí pro tlakové nádoby (**P** podle EN), např. oceli S355N a P265GH v tab.4-II,
* na ploché výrobky k tažení (**H**) nebo žáropevné (**P**), např. ocel P265GH,
* se zvláštními požadavky na tvařitelnost (**D**) nebo obrobitelnost - tzv. automatové oceli, vliv síry,
* pro vytuž do betonu (**B**) a na kolejnice (**R**).

Tabulka 4-II Vybrané nelegované oceli

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Skupina ocelí | Označení | | Mechanické vlastnosti | | | Použití |
| CSN | CSN EN | **Re**  [MPa] | **Rm**  [MPa] | **A** [%] |
| obvyklé jakosti | 10370.0 11600.1 | S235 E335N | 235 335 | 360 až 510 588 až 706 | 27 14 | ocelové konstrukce strojní součásti |
| jakostní | 11418.1 11523.1 | P265GH  S355N | 265 355 | 400 až 490 470 až 630 | 29  22 | tlakové nádoby ocelové konstrukce |
| ušlechtilé | 12023.4 12050.6 12081.8 19221.4 | C15E  C45E  C75S  C120U | 295 430 1470 | 490 až 740  650 až 800  1785 až 1960  64HRC | 14 16  2 | k cementování k zušlechťování na pružiny na nástroje |

*Pozn. :* ***(1)*** *Hodnoty Re, A5 a HRC jsou minimální;* ***(2)*** *Označení ČSN: .0 = tepelně nezpracováno, .1 = normaliz. žíháno, .4 = kaleno a popuštěno při nízkých teplotách, .6 = zušlechtěno na dolní pevnost, .8 = zušlechtěno na horní pevnost;* ***(3)*** *Označení EN: (a) písmena před numerickým znakem - viz text; (b) písmena za numerickým znakem: N = normalizačně žíháno nebo řízené válcováno, E = předepsaný max. obsah síry, G = jiné charakteristiky, H = vysoké teploty, S = na pružiny, U = nástrojové*

***Nelegované ušlechtilé oceli*** mají vyšší stupeň metalurgické čistoty. Požadovaných zpracovatelských nebo užitných vlastností v zúžených mezích se dosahuje přesným stanovením chemického složení. Tyto oceli jsou většinou ***určeny k cementování či k zušlechťování nebo povrchovému kalení a mají na tepelné zpracování rovnoměrnou odezvu***.

Do této skupiny také patří oceli s požadavky:

* na *nárazovou práci* v zušlechtěném stavu nebo KV(50 °C) > 27 J (podélné vzorky),
* na *hloubku zakalené vrstvy* nebo na *povrchovou tvrdost* po kalení a případném popuštění,
* na z*vláště* *nízký obsah nekovových vměstků*,
* na *maximální obsah fosforu a síry* (< 0,025 % v hotovém výrobku),

a dále oceli pro

* jaderné reaktory s vymezením obsahu Cu < 0,10 %, Co < 0,05 %, V < 0,05 %,
* řízené válcování, obsahující mikrolegury (V, Ti, Nb),
* předpínací výztuž do betonu.

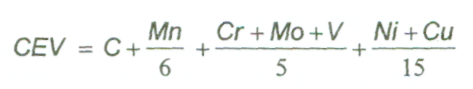
Oceli k cementování mají nízký obsah uhlíku (do 0,3 %) podle požadované pevnosti jádra po zakalení a popuštění na nízkou teplotu (tab. 4-II).

K zušlechťování a k povrchovému kalení se používají oceli se středním obsahem uhlíku (0,4 až 0,6 %), jejichž ***martensit v povrchové vrstvě je již dostatečně tvrdý, ale jejichž***

***neprokalené jádro je ještě přiměřeně houževnaté***. Povrchově kalené výrobky jsou odolné proti opotřebení.

Nelegované oceli mají malou prokalitelnost (do průměru výrobku 30 až 40 mm), což je sice vítáno při povrchovém kalení, ale je nedostatkem z hlediska zušlechťování. Prokalitelnost těchto ocelí se zvyšuje malou ***přísadou bóru*** (tisíciny %). Jestliže sezušlechtěním oceli s 0,45 % C (bez bóru) na dolní pevnost dosahuje Rm ≈ 700 MPa (tab. 4-III), potom ocel s bórem po zušlechtění na horní pevnost, tj. po popuštění na nižší teplotu, má podle průměru výrobku Rm = 1000 až 1100 MPa. Na horní pevnost se ovšem zpravidla zušlechťují jen oceli na pružiny s vysokým obsahem uhlíku, např. ocel C75S, a tedy i s vysokými pevnostními vlastnostmi. Nadeutektoidní nástrojové oceli, např. ocel C120U v tab. 4-III, mají po zakalení vysokou tvrdost, kterou však popouštěním nebo ohřevem v provozu rychle ztrácejí.

**Oceli pro řízené válcování** jsou feriticko-perlitické oceli, které obsahují jeden nebo více mikrolegujících prvků (V, Nb, Ti), vytvářejících jemné karbo-nitridy precipitující jak v austenitu, tak i ve feritu. Tyto ***precipitáty brání hrubnutí austenitického zrna*** při rozpouštěcím žíhání (1050 až 1300°C), ***zpomalují odpevňovací děje*** (zotavení a rekrystalizaci) během tváření za tepla a ***působí precipitační zpevnění ve feritu***, ke kterému dochází při ochlazování z doválcovacích teplot (obvykle mezi Ar3a Ar1) nebo při následném vysokoteplotním popouštění (navíjení) plechu. Řízené válcování je druhem vysokoteplotního tepelně-mechanického zpracování, kterým se zvyšuje mez kluzu i tažnost u ocelí jemnozrnných se zaručenou svařitelností. Ta je podmíněna nízkým obsahem uhlíku i dalších prvků, což vyjadřuje tzv. uhlíkový ekvivalent (který musí být menší než 0,45 %):



Nelegované ušlechtilé nástrojové oceli*,* určené na řezné nebo tvářecí nástroje, jsou zpravidla ***nadeutektoidní*** (tab. 4-II), tedy perliticko-cementitické, ale na ruční nástroje a nářadí nebo na cementované formy nebo měřidla se používají také ***podeutektoidní*** oceli, které jsou ekvivalentní ušlechtilým konstrukčním ocelím, a také se stejně tepelně zpracovávají. Nadeutektoidní oceli se kalí ze 740 až 780°C do vody a popouštějí se na 100 až 250°C. Jejich malá prokalitelnost brání nežádoucímu snížení houževnatosti jádra. Používají se na nástroje pro obrábění dřeva a na méně namáhané nástroje pro tváření za studena.

**Legované oceli**

**Legované jakostní oceli**

Mají úzce vymezené chemické složení na nízkém stupni legování zejména v podskupině svařitelných jemnozrnných ocelí pro ocelové konstrukce a tlakové nádoby (např. u Cr, Cu, Ni < 0,5 % pro každý prvek). Nejsou všeobecně určeny k zušlechťování nebo povrchovému kalení, ale mají vyšší minimální mez kluzu 420 nebo 460 MPa. Uvedené hodnoty se však vztahují pouze k malým průměrům nebo tloušťkám polotovarů a snižují se s rostoucími příčnými rozměry. Ocelové konstrukce vystavené působení nízkých teplot se vyrábějí z normalizačně žíhaných a vysoko-popouštěných ocelí, které mají prahovou houževnatost zaručenou do -20 °C (v podélném směru KV min. = 40 J).

Ocelové konstrukce, na které působí znečištěné městské či průmyslové atmosféry, se hotoví z jakostních ocelí nízkolegovaných prvky např. **Cr, Cu, Ni** a **P**, neboť při tomto

chemickém složení na jejich povrchu vzniká během několika let ochranný povlak a korozní úbytky jsou zanedbatelné (µm za rok). Tyto oceli, známé u nás pod označením **ATMOFIX**, se tepelně nezpracují nebo se normalizačně žíhají a mají Re min. 335 až 355 MPa.

Do skupiny legovaných jakostních ocelí také patří křemíkové oceli se zvláštními požadavky na elektrické a magnetické vlastnosti. Tyto oceli s obsahem **Si < 4,5 %** nutným k *potlačení wattových ztrát vznikajících vířivými proudy*, ale *zhoršujícím tvařitelnost*, se používají na transformátorové nebo dynamové plechy (tab. 4-III). Za tepla válcované plechy (Et) mají strukturu a vlastnosti neorientované (izotropní), kdežto za studena válcované plechy jsou buď izotropní (Ei) nebo orientované (Eo). Orientované transformátorové plechy mají texturu {110} <100>.

Tabulka 4-III Vybrané legované oceli

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Skupina ocelí | Označení | | Mechanické vlastnosti | | | Použití |
| ČSN | EN | Re  [MPa] | Rm  [MPa] | A5 [%] |
| jakostní ušlechtilé | 13220.5 Et 300-50 14220.4 14340.6 15222.5 16440.7 17240.4 17125.2 15128.5 14109.3 17436.9 19437.7 19830.7 | S420N  M300-50A  16MnCr5  35CrA16  16CrMoCu  35NiCrl4  X5CrNi 18-10  X10CrA113  14CrMoV63  100Cr6  X40MnCrl8  X190CrWV12  X8OWM0  CW6-5-4  HS6-5-1 | 420 180 590 590 520 785 190 300 360 440 790 | 590 až 740 min. 330  785  785 až 930  590 až 790  930 až 1080  490 až 690  490 až 690  490 až 690  610 až 730  980  HRC min. 60  HRC min. 62 | 20 27 10 15 18 12 50 15 17 18 15 | ocelové konstrukce dynamové plechy cement, strojní souč. nitrid, strojní souč. ocelové konstrukce zušlecht. strojní souč. nerezavějící výrobky žáruvzdorné výrobky žáropevné výrobky valivá ložiska se zvi. fyzik, vlast, nástroje rychlořezné nástroje |

*Pozn. : (1) Hodnoty Re a A5 jsou minimální*

*(2) Označení ČSN : .2 = žíháno, .3 = žíháno na měkko, .5 = normalizačně žíháno a*

*popuštěno, .7 = zušlechtěno na střední pevnost, .9 = tepelně zpracováno podle zvláštního*

*ujednání, ostatní číslice viz tab. 4-II.*

*(3) Označení EN : (a) písmeno před numerickým znakem : M = plechy a pásy pro elektrotechniku, X = legované oceli (jeden prvek min. 5 %), ostatní písmena viz text (b)číslice za značkami prvků: legované oceli (jeden prvek pod 5 %) : čtyřnásobek obsahu Cr, Co, Mn, Ni, Si, W a desetinásobek obsahu Al, Cu, Mo, Nb, Ti, V, Zr legované oceli (jeden prvek min. 5 %) : střední obsah leg. prvků (podle klesajícího obsahu)*

Do této skupiny se dále řadí oceli pro náročné tváření plechů za studena, které jsou legovány **B, Nb, Ti, V** či **Zr**. Tyto mikrolegující prvky vytvářejí v oceli intersticiální fáze, které brzdí rekrystalizaci austenitu při tváření oceli za tepla a způsobují vznik určitého druhu rekrystalizační textury feritu po tváření za studena. Ke zvýšení hlubokotažnosti a součinitele normálové anizotropie vede textura {111} <110 > nebo {111} <112 >.

V automobilovém průmyslu se na součásti podvozků používají jakostní oceli nízkolegované **Mn, Mo, V**, které mají dvoufázovou *feriticko-martensitickou* mikrostrukturu.

Podíl martensitu (10 až 35 %), který se získá kalením z teploty mezi Ac1 a Ac3 nebo řízeným válcováním, zabezpečuje vyšší pevnosti (600 až 700 MPa) při nižší a nevýrazné mezi kluzu a velké tažnosti.

**Legované ušlechtilé oceli**

Na zpracovatelské anebo užitné vlastnosti těchto ocelí jsou kladeny nejvyšší požadavky. Proto mají ***nízký obsah nečistot*** a jsou ***legovány různými kombinacemi přísadových prvků*** obvykle na vyšší úrovni než legované jakostní oceli.

Mezi ušlechtilé oceli patří: oceli k chemicko-tepelnému zpracování, k zušlechťování, na ocelové konstrukce, oceli korozivzdorné, žáruvzdorné, na valivá ložiska, se zvláštními fyzikálními vlastnostmi a nástrojové včetně rychlořezných (tab. 4-III).

**Oceli k chemicko-tepelnému zpracování (CHTZ)**

Chemické složení těchto ocelí je přizpůsobeno CHTZ, při kterém se povrch oceli sytí z okolního prostředí vhodnými prvky, nejčastěji uhlíkem nebo dusíkem.

**Oceli k cementování**mají nízký obsah uhlíku (do 0,3 %), který je u nelegovaných ocelí nutný k zachování houževnatosti jádra, jehož mechanické vlastnosti se významně ovlivňují legujícími prvky obvykle v kombinaci **Mn-Cr-(Ti)** nebo **Cr-Ni-(Mo)** - tab. 4-IV.

Tabulka 4-IV Mechanické vlastnosti ocelí k cementování a k nitridování

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| označení oceli podle | | max. d (t) [mm] | HV1 | Re [MPa] | Rm [MPa] | A [%] | KV [J] |
| CSN | CSN EN |  |  |  |  |  |  |
| 12023 | C16E | 100(60) |  | 300 | 500 až 750 | 14 | 45 |
| 14221.4 | 20MnCr5 | 100(60) |  | 680 | 980 | 9 | 20 |
| 15124.4 | 20CrMo4 18CrNiMo7-6 | 160 (100) 250 (160) |  | 540 | 800 až 1150 | 10 | 25 |
| (14340) | 34CrAlNi7-10 | 100 (60) | 950 | 680 | 900 až 1000 | 10 | 30 |
| 15330 | 31CrMoV9 | 250(160) | 800 | 900 | 1100 až 1300 | 9 | 25 |
| 15340 | 41CrAlMo7-10 | 250 (160) | 950 | 750 | 950 až 1150 | 11 | 25 |
| *Poznámka* | *: hodnot y mecha* | *nických vlas* | *tností js(* | *u zpravic* | *la minimální a* | *platí* | *pro oceli* |

*k cementování ve stavu zakaleném (+Q), ale pro oceli k nitridování ve stavu zušlechtěném (+QT), v obou stavech pro průměr d = 16 až 40 mm*

**Oceli k nitridování**jsou legovány zejména **Cr** a **Al**, které tvoří v povrchové vrstvě s dusíkem *tvrdé disperzní nitridy*. Nejkvalitnější konstrukční oceli mají ještě přísadu **Mo**, který potlačuje popouštěcí křehkost. Obsah uhlíku v ocelích na strojní součásti bývá 0,3 až 0,4 %, což postačuje k tomu, aby se před nitridováním mohly zušlechťovat. Pro ozubená kola se preferují oceli bez hliníku (Cr-Mo-V) -tab. 4-IV. Nitridovat lze i vhodné nástrojové oceli. Nitridováním se zvyšuje nejen odolnost proti opotřebení, ale i únavová pevnost a odolnost proti korozi.

K **nitro-cementování**se používají buď nelegované cementační oceli nebo chrómem legované oceli k cementování či zušlechťování.

**Oceli na konstrukce**

Jsou legovány **Cr, Ni** a **Mo** i dalšími prvky (Cu, Nb, ti, B) a mají nízký (0,15 %) nebo velmi nízký (0,03 %) obsah uhlíku. Jejich mikrostruktura je bainitická anebo martensitická v závislosti na tepelném zpracování. Podle diagramu IRA transformuje v těchto ocelích austenit na bainit v širokém intervalu ochlazovacích rychlostí (obr. 4-7), do

něhož spadá i ochlazování na vzduchu. Proto se tyto oceli běžně normalizačně žíhají a popouštějí na vysokou teplotu (550 až 680°C), čímž se dosahuje meze kluzu 480 až 560 MPa, u zušlechtěných ocelí až 700 MPa.

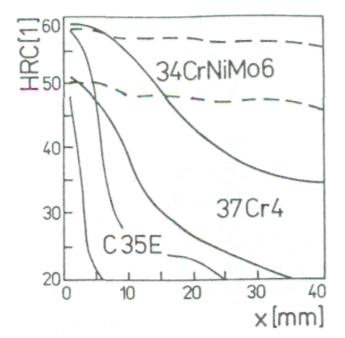
**Oceli k zušlechťování a k povrchovému kalení**

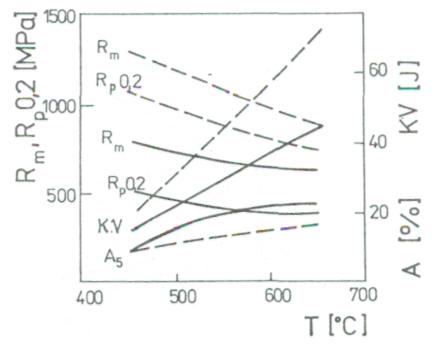
Tyto oceli charakterizuje především jejich prokalitelnost, která roste s obsahem legujících prvků (obr. 4-14), jejichž součet nepřesahuje 7 %. Obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,5 % (tab. 4-V). Legované oceli *se obvykle kalí do oleje* a po popuštění mají velkou pevnost i houževnatost (obr. 4-15). Pevnosti oceli až do 1300 MPa je úměrná životnost *při vysokocyklové únavě*, kdežto *při nízkocyklové únavě* závisí rychlost šíření mikroskopických trhlin a životnost na plasticitě oceli

Tabulka 4-V Mechanické vlastnosti ocelí ve stavu zušlechtěném *(+QT)*

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| označeni | oceli podle | max. d (t) [mm] | Re  [MPa] | Rm  [MPa] | A **[%]** | Z  **[%]** | KV  **[J]** |
| CSN | CSN EN |
| 12040 | C35E | 100(60) | 380 | 600 až 750 | 19 | 45 | 35 |
| 12060 | C55E | 100(60) | 490 | 750 až 900 | 14 | 35 | - |
| 14140 | 37Cr4 | 100(60) | 630 | 850 až 1000 | 13 | 40 | 35 |
| 15130 | 25CrMo4 | 160(100) | 600 | 800 až 950 | 14 | 55 | 50 |
| 15260 | 51CrV4 | 250(160) | 800 | 1000 až 1200 | 10 | 45 | 30 |
| 16343 | 34CrNiMo6 | 250(160) | 900 | 1100 až 1300 | 10 | 45 | 45 |
| - | 36NiCrMol6 | 250(160) | 1050 | 1250 až 1450 | 9 | 40 | 30 |
| Poznámka | : hodnoty mec | hanických vlastností jsou zpravidla mi | | | nimální | a platí pro | průměr |

d = 16 až 40 mm nebo tloušťku t = 8 až 20 mm





Obr. 4-14 (vlevo) Pásy prokalitelnosti ocelí C35E, 37Cr4 a 34CrNiMo6

Obr. 4-15 (vpravo) Vliv teploty popouštění na mechanické vlastnosti zakalené oceli C45E (plné čáry) a oceli 34CrNiMo6 (čárkovaně)

**Korozivzdorné oceli**

Odolávají především elektrochemické korozi v kapalných oxidačních prostředích, ve kterých se jejich povrch pasivuje. Podle chemického složení se dělí na chromové a chromoniklové, podle fázového složení na feritické, martensitické a austenitické s tím, že některé oceli jsou dvoufázové.

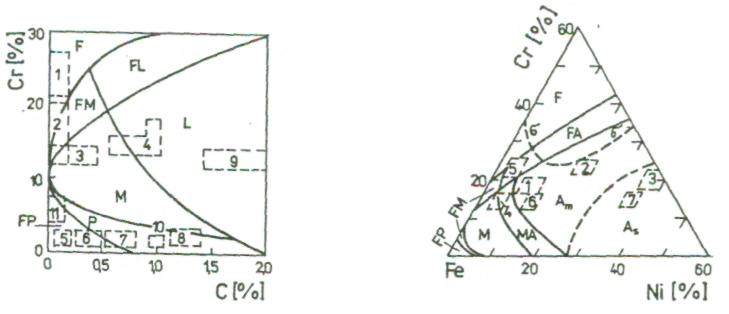
***Chromové korozivzdorné oceli***obsahují **více než 12 % Cr**, neboť při tomto složení slitin železa se skokem zvýší standardní elektrochemický potenciál (z -0,2 na +0,6 V). Na

fázové složení těchto ocelí má však vliv nejen feritotvorný chrom, ale i austenitotvorný uhlík (obr. 4-16).

***Feritické a poloferitické oceli***mají vysoký obsah **Cr (13 až 20 %)** a nízký **(do 0,15 %) nebo velmi nízký (0,03 %) obsah uhlíku**. Přísadami feritotvorného Ti nebo Nb se potlačuje hrubnutí zrna při vysokých teplotách. Jsou nekalitelné, takže jejich mechanické vlastnosti lze ovlivňovat jen tvářením za studena a rekrystalizací. *Křehnou dlouhodobým ohřevem při teplotách kolem 700 °C (fáze sigma) nebo i pomalým ochlazením teplotami v okolí 475 °C (spinoidální rozpad feritu)*. Proto se krátkodobě (0,5 h) žíhají při teplotách 750 až 850 °C a zrychleně ochlazují. V žíhaném stavu mají nízkou mez kluzu (250 až 350 MPa) a zvýšenou teplotu přechodu ke křehkému lomu (0 až 100 °C). Odolávají působení páry, zředěné HNO3 a nejsou citlivé ke koroznímu praskání.

***Martensitické a ledeburitické oceli***obsahují **0,1 až 1,0 % C** a s uhlíkem rostoucí obsah **Cr (od 12 do 18 %)**. Jsou samokalitelné, ale obvykle se kalí do oleje z vysoké teploty (1000 až 1050 °C). Nízkouhlíkové oceli se při zušlechťování popouštějí na 650 až 750 °C, ale už od 0,4 % C nejvýše na 200 °C. ***Nízkouhlíkové zušlechtěné*** oceli mají min. Rp0,2 = 420 až 500 MPa, ***vysokouhlíkové popuštěné*** oceli mají tvrdost 50 až 55 HRC. Prvé oceli se používají na součásti parních turbín, kompresorů a čerpadel, druhé na otěruvzdorné nerezavějící výrobky (měřidla, nástroje). Tyto oceli jsou obtížně svařitelné a vyžadují předehřev a ihned následující žíhání.

***Chromoniklové korozivzdorné oceli***jsou legovány **13 až 25 % Cr** a **4 až 40 % Ni** i dalšími feritotvornými (**Mo, Nb, Ti**) a austenitotvornými (**Mn, Cu**) prvky, jejichž obsah musí být vyvážený pro dosažení požadovaného fázového složení matrice (austenitická, austeniticko-martensitická, austeniticko-feritická. Fázové složení těchto ocelí lze přibližně určit podle izotermického řezu ternární soustavou Fe-Cr-Ni (obr. 4-17) nebo přesněji podle Schaefflerova diagramu, na jehož osy se nanášejí ekvivalentní obsahy Crekv a NiekV.



Obr. 4-16 (vlevo) Chemické a fázové složení chromových ocelí ochlazených z 1100°C na vzduchu (F-feritické, M-martensitické, P-perlitické, L-ledeburitické, FM, FL-poloferitické; 1, 2, 11-žáruvzdorné, 2, 3, 4-nerezavějící, 5-k cementování, 6-k zušlechťování, 7, 8, 9-nástrojové, 10-na valivá ložiska

Obr.4-17 (vpravo) Chemické a fázové složení chromoniklových ocelí (0,1 % C) ochlazených z 1100°C do vody (F-feritické, M-martensitické, A-austenitické, FA, FM, MA-dvoufázové oceli; 1 až 5-nerezavějící oceli, 1, 6, 7-žáropevné oceli

***Austenitické oceli***mají nejlepší odolnost proti korozi v oxidačních prostředích jak v pasivním, tak i aktivním stavu. Nejrozšířenější typ 18-10 (tab. 4-VI) je úsporně legován niklem a jeho austenitická matrice je v nestabilním stavu, takže při záporných teplotách anebo plastickou deformací částečně transformuje na martensit. *S rostoucím obsahem niklu se zlepšuje stabilita austenitu i korozivzdornost oceli*. Tepelnými vlivy (při svařování, při pomalém ochlazování) mohou na hranicích zrn austenitu precipitovat karbidy Cr23C6, které jsou příčinou mezikrystalové koroze. Té lze zabránit buď velmi nízkým obsahem uhlíku (0,02 %) v oceli nebo vázáním uhlíku na jiné karbidy přísadou Ti či Nb; taková ocel se označuje za *stabilizovanou.* Odolnost austenitických ocelí proti redukčně působícím prostředím a chloridovým iontům se zlepšuje přísadou Mo, proti H2SO4 přísadou Cu. Austenitické oceli jsou nekalitelné, ale *k dosažení homogenní struktury se podrobují krátkodobému (0,5 h) rozpouštěcímu žíhání* (1100 až 1150 °C) *s ochlazením do vody*. V tomto stavu mají nízkou mez kluzu Rp0,2 kolem 200 MPa, ale velkou zásobu plasticity (malý poměr) a velkou houževnatost i při nízkých teplotách. Austenitické oceli jsou snadněji svařitelné než martensitické oceli, ale svarový kov je náchylný k praskání za horka. Jsou obtížně obrobitelné.

Tabulka 4-VI Mechanické vlastnosti vybraných korozivzdorných ocelí v tepelně zpracovaném stavu

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ČSN | CSNEN | druh skup. | max. t1) [mm] | RP0,2 [MPa] | **Rm**  [MPa] | A [%1 | KV [J] | o.m.k2) | | t.z.3) |
| d.s. | s.s. |
| 17022 | X20Crl3 | mar. | <160 | 500 | 700 | 13 | 25 | **—** | **—** | QT |
| **—** | X3CrNIMol3-4 | a.-m. | <250 | 620 | 780 | 124) | 504) | + | **—** | QT |
| 17040 | X6Crl7 | fer. | <100 | 240 | 400 | 20 | **—** | + | **—** | A |
| 17240 | X5CrNil8-10 | aus. | <250 | 190 | 500 | 354) | 604) | + | **—** | AT |
| 17248 | X6CrNiTil8-10 | aus. | <250 | 190 | 500 | 304) | 604) | + | *+* | AT |
| 17348 | XóCrNiMoTi 17-12-2 | aus. | <250 | 200 | 500 | 304) | 604) | + | *+* | AT |
| **-** | X2CrNiMoN 22-5-3 | aus.-fer | <160 | 450 | 650 | 25 | 100 | + | *+* | AT |

*Poznámky : ) max. tloušťka, ) odolnost proti mezikrystalové korozi (o.m.k.) v dodaném stavu (d.s.) nebo ve svařovaném (zcitlivělém) stavu (s.s.),3) tepelné zpracování (t.z.): kalení a popuštění (QT), žíhání (A), rozpouštěcí žíhání (AT),4) v příčném směru*

***Austeniticko-martensitické oceli***a ***austeniticko-feritické oceli***mají velmi nízký obsah uhlíku, snížený obsah **niklu (4 až 6 %)**, ale liší se obsahem **chrómu (13 až 25 %)** a dalších legur (Mo, Cu, Ti, Nb). Tyto oceli mají oproti austenitickým značně vyšší mez kluzu a oproti martensitickým lepší houževnatost a svařitelnost, ale menší strukturní stabilitu. Používají se v energetice, chemickém a potravinářském průmyslu.

**Žáruvzdorné oceli**

Odolávají především chemické korozi v plynných prostředích při vysokých teplotách (600 až 1200 °C). K omezení difúze kyslíku oxidickou povrchovou vrstvou z prostředí do oceli (kap. 3.4) obsahují **7 až 25 % Cr** a ještě přísadu **do 6 % Al** anebo **Si**.

Vzhledem k obsahu chrómu *jsou všechny nerezavějící oceli žáruvzdorné* ***do 800°C***. Podobně jako nerezavějící oceli jsou podle chemického složení i žáruvzdorné oceli chromové nebo chromoniklové a mají i podobné fázové složení matrice, tepelné zpracování i mechanické vlastnosti. ***Poloferitické a feritické chromové oceli*** (obr. 4-17) se používají na součásti odolávající žáru i v redukčním a sirném prostředí do 850°C (X10CrAlSil3 [17125]) až 1150°C (X10CrAlSi25).

***Austenitické oceli*** (obr. 4-17) jsou určeny pro oxidační prostředí a teploty 1000°C (X15CrNiSi 20-12 [17251]) až 1200°C (X6NiCrNCe35-25) v hutním a sklářském průmyslu.

**Žáropevné oceli**

Odolávají tečení a relaxaci (kap. 3.2.5 a 3.6) v rozmezí teplot 450 až 750°C, čímž navazují na pracovní rozsah *feriticko-perlitických a bainitických ocelí* pro ocelové konstrukce a vyšší teploty, jejichž rozhodující charakteristikou je mez kluzu, nikoliv **mez tečení**.

K feriticko-perlitickým ocelím patří např. ocel S355N (11523) - tab. 4-II, použitelná do teploty 350°C nebo legovaná ušlechtilá ocel C15E (12021) do 400 °C. Z legovaných ocelí sem patří ocel 16CrMoCu (15222)-tab. 4-III.

Legované ušlechtilé žáropevné oceli se podle fázového složení matrice dělí na ***feriticko-bainitické***, martensitické a austenitické. Oceli první skupiny mají nízký obsah uhlíku (do 0,3 %) a jsou legovány do 3 % Cr a do 1 *%* Mo, V, W s nejčastějšími kombinacemi Cr-V, Cr-Mo, Cr-Mo-V a Cr-Mo-V-W. Obvykle se normalizačně žíhají a popouštějí na vysoké teploty, přičemž se precipitačně zpevňují karbidy. Nejvyšší pracovní teplota je 580°C (ocel 14CrMoV6-3 [15128] - tab. 4-III). Používají se na parní potrubí a součásti parních turbín nebo na vysokotlaká zařízení v petrochemickém průmyslu.

***Martensitické oceli***jsou odvozeny od chromových kalitelných nerezavějících ocelí pomocí karbidotvorných prvků Mo, Nb, Ti, V a W, které navíc tvoří zpevňující Lavesovy fáze. Tyto žáropevné oceli se zušlechťují a používají na součásti parních turbín do 625°C.

***Austenitické oceli***jsou převážně chromoniklové (obr. 4-17): Do 650°C lze používat nerezavějící stabilizované oceli typu **18-10** nebo za tepla vytvrzované oceli typu **13-13** resp. **17-13** s přísadami Mo a W. Vrcholnou ocelí je vytvrzovaný typ **15-35** s přísadami W, Ti, Al a B, použitelný na součásti plynových turbín do 750°C.

**Oceli na valivá ložiska**

Podle ČSN EN ISO 683-17 se dělí do pěti skupin na:

* ***prokalující oceli****,* což jsou oceli sl%Calaž2%Cr případně ještě legované Mn a Si nebo Mo, např. 100Cr6 (14109), 100CrMnSi6-4 (14209), 100CrMo7-4
* ***oceli k cementování****,* které mají 0,15 až 0,20% C a jsou legovány Cr, Mn-Cr, Cr-Mo a Ni-Cr-Mo, např. 17MnCr5 (14220), 20CrMo4 (15124), 18NiCrMol4-6
* ***oceli k indukčnímu kalení***s 0,4 až 0,7 % C nelegované nebo legované Mn, nebo Cr-Mo, např. C56E (12060), 70Mn4 (13180) 43CrMo4 (15142)
* ***korozivzdorné oceli***s 0,5 až 1,1 % C se 14 až 18 % Cr a přísadou Mo nebo V, např. X47Crl4 (17029), X108CrMol7
* ***oceli pro vysoké teploty***nejčastěji s 0,8 % C a dalšími karbidotvornými prvky Cr, Mo, V, W, např. 80MoCrV42-16, X75WCrV 18-4-1 (19824).

Na těchto ocelích je požadována vysoká metalurgická čistota, max. tvrdost HB ve stavu žíhaném a min. tvrdost HRC po zakalení (prokalitelnost).

**Oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi**

***Oceli s vysokým měrným elektrickým odporem***jsou žáruvzdorné feritické nebo austenitické. Na topné odpory do 1100 °C se používají Cr-Ni austenitické oceli typu 25-35, kdežto až do pracovní teploty 1350 °C jsou vhodné oceli s 25 % Cr a přísadou kobaltu.

***Magneticky měkké oceli***s velkým elektrickým odporem jsou jakostní oceli legované křemíkem, které se používají na dynamové a transformátorové plechy např. ocel M300-50A (tab. 4-III). Oceli s malým elektrickým odporem jsou nelegované ušlechtilé oceli s nejnižším obsahem uhlíku a všech doprovodných prvků (např. ocel 12014). K dosažení úzké hysterezní

smyčky musí ocel být hrubozrnná a bez zbytkových napětí; pak ji lze použít na relé, kotvy a jádra.

***Nemagnetické oceli***jsou vysokolegované austenitické manganové nebo Mn-Ni oceli (tab.4-IV). K dosažení velké meze kluzu (500 až 800 MPa) se přidává Cr a ocel se zpracuje rozpouštěcím žíháním a tvářením za studena. Jsou obtížně obrobitelné a používají se na bandáže rotorů turbogenerátorů, svorníky transformátorů aj.

***Oceli s určitou délkovou roztažností***jsou vysokolegované niklem (35 až 50 %) nebo niklem a kobaltem (20 až 40 %). Mají austenitickou strukturu a jejich teplotní součinitel délkové roztažnosti plynule roste s obsahem Ni, takže vhodným chemickým složením je možné dosáhnout stejného a jaký má sklo nebo porcelán. Jeho minimální hodnotu (0,5 až 2.106K) má ocel X10Ni36 (17536) známá jako **INVAR**, používaná na měřidla a bimetaly.

**Nástrojové oceli**

Legované ušlechtilé oceli obsahují většinou **0,6 až 1,3 % C** a přísady karbidotvorných prvků (**Cr, W, Mo, V**), ale i **nikl a křemík**. Tyto přísady zvyšují prokalitelnost a brzdí pokles tvrdosti s rostoucí teplotou nástroje. Podle hlavních legujících prvků se tyto oceli dělí na chromové, chromoniklové a wolframové.

***Chromové nástrojové oceli***(obr. 4-16) mají obsah chrómu odstupňován v řadě do 2 %, 5 % a 12 %. Nízkolegované perlitické oceli mají menší obsah uhlíku na nástroje pro práci za tepla nebo větší obsah uhlíku pro řezné nástroje a nástroje pro práci za studena. Tyto oceli se kalí z teplot nepřevyšujících 850 °C a popouštějí na nízké teploty (do 300 °C), což dává HRC 62. Vysokolegované ledeburitické oceli (tab.4-III a obr. 4-16) se používají na řezné nástroje (protahovací trny, střihadla) i na malé nástroje pro tváření za studena (průvlaky, závitové válce). Mají velkou prokalitelnost (až 200 mm). Kalí se a popouštějí buď 950 °C/olej a 150 °C nebo 1050 °C/olej či vzduch a 500 °C. Druhý způsob se označuje *za. popouštění na druhou tvrdost* (obr. 4-12).

***Niklochromové oceli***(do 5 % Ni, do 2 % Cr, 0,4 až 0,6 % C) se používají na nejvýše namáhané nástroje pro tváření za studena (*ražení, kalibrování*) i pro tváření za tepla (*zápustkové kování*). Zušlechťují se na sorbitickou strukturu a pevnost 1300 až 1600 MPa.

***Wolframové oceli***(do 10 % W, 0,4 až 1,4 % C) při středním legování (5 % W) a nižším obsahu uhlíku jsou vhodné pro nástroje k ražení a protlačování, při vyšším obsahu uhlíku se používají na nejvýše namáhané nástroje pro práci za tepla (*střihadla, kovadla lisů*). Kalí se z teplot kolem 1150°C a popouštějí na druhou tvrdost.

**Rychlořezné oceli**

Tyto vysokolegované ušlechtilé oceli s 15 až 30 % přísad (W, Mo, Cr, V, Co) a 0,8 až 1,3 % C jsou ledeburitické. Vedle základního typu X80WCrVl8-4-1 (19824) mají RO více variant chemického složení závislých na způsobu obrábění a obráběném materiálu. Ocel uvedená v tab. 4-III je vhodná pro houževnatější nástroje a obrobky s velkou pevností. RO se kalí z teplot 1200 až 1300 °C proudem vzduchu, olejem nebo do solné lázně (500 °C) a obvykle opakovaně popouští na druhou tvrdost (550 až 600 °C), čímž se dosahuje HRC min. 62. Břty nástrojů si zachovávají tvrdost až asi do 600 °C, což dovoluje použít vysoké rychlosti obrábění - u oceli až 80, u slitin hliníku až 400 m.min-1.

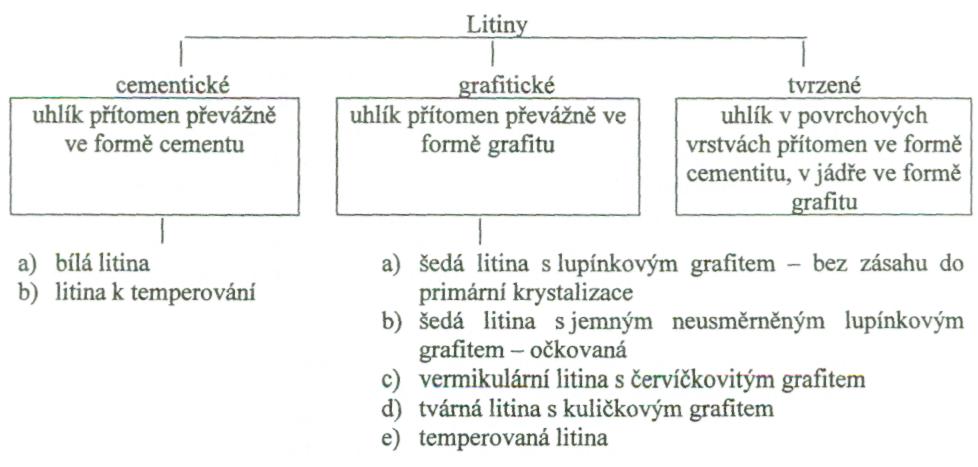
**Litiny**

Slitiny železa s uhlíkem, mající vyšší obsah uhlíku než je jeho maximální rozpustnost v austenitu, většinou nazýváme surovými železy a litinami (výjimku tvoří ledeburitické oceli).

Litiny se vyrábějí přetavováním vhodných surových želez a kovového odpadu ve slévárenských pecích - nejčastěji v kuplovnách. Určujícími charakteristikami litin jsou mechanické a technologické vlastnosti, které závisejí jak na chemickém složení, tak na struktuře. Ve srovnání s ocelemi obsahují litiny více uhlíku a současně i více doprovodných prvků (Mn, Si, P, S).

**Základní rozdělení litin** je určeno způsobem krystalizace. Podle metastabilní soustavy železo - karbid železa krystalizují ***litiny cementické, bílé***, podle stabilní soustavy železo - grafit ***litiny grafitické, tj. šedé a tvárné***.

Schéma rozdělení litin je následující:



**Bílá litina**

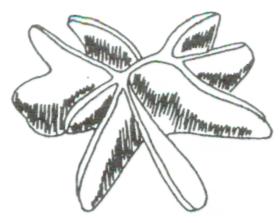
Bílá litina je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky tuhnoucí metastabilně (soustava Fe-Fe3C), v níž množství uhlíku přesahuje 2,1%. Má bílý lom. Obvykle obsah uhlíku bývá 2,4 až 4,5%, křemíku 0,3 až l,6%,manganu 0,4 až 1%. Bílé litiny se vyznačují vysokou tvrdostí (350 až 500 HB) a dobrou odolností proti abrazivnímu opotřebení, avšak současně jsou značně křehké a špatně obrobitelné. To omezuje jejich větší přímé použití ve strojírenství. V praxi se nejčastěji užívají podeutektické bílé litiny. Zhotovují se z nich mlecí desky, koule drtičů, lopatky metacích kol mechanických tryskačů apod. Pro zvětšení odolnosti proti opotřebení se někdy přidává chrom (do 2% u nelegovaných a nízkolegováných litin, od 11% do 28% u vysokolegovaných litin) nebo se kombinuje chrom s niklem (1,5 až 10% Cr, 3 až 6,5% Ni). Otěruvzdorné litiny shrnuje norma ČSN EN 12513. Litiny se označují buď značkou, která obsahuje u těchto litin údaj o minimální tvrdosti, nebo číselně. Příklady označení jsou uvedeny v tab. 4-VII.

Tab. 4-VII Příklad označování otěruvzdorných litin

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **označení matriálu** | | **Tvrdost podle Vickerse HV min.** | **Poznámka** |
| **značkou** | **číselně** |
| EN-GJN-HV350 | EN-JN2019 | 350 | nízkolegovaná litina, 2% Cr |
| EN-GJN-HV550 | EN-JN2039 | 550 | chrom-niklová litina  3 až 5,5% Ni, 1,5 až 3% Cr |
| EN-GJN-HV600 | EN-JNJ2049 | 600 | chrom-niklová litina  4,5 až 6,5% Ni, 8 až 10% Cr |
| EN-GJN-HV600(XCr11) | EN-JN3019 | 600 | vysokolegovaná chromová litina 11 až 14% Cr |
| EN-GJN-HV600(XCr23) | EN-JN3049 | 600 | vysokolegovaná chromová litina 23 až 28% Cr |

**Šedá litina**

Šedá litina je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky, v níž množství uhlíku přesahuje 2,1% a převážná část uhlíku je vyloučena jako lupínkový grafit. Obvyklé složení šedých litin bývá: 2,8 až 3,6% C, 1,4 až 2,8% Si, 0,5 až 1% Mn, 0,2 až 0,6% P, max. 0,15% S.



Krystalizace šedých litin probíhá podle stabilní soustavy železo-grafit. U podeutektických šedých litin, které tvoří většinu používaných šedých litin, začíná krystalizace vylučováním dendritických krystalů austenitu ztaveniny. Při eutektické teplotě se zbylá tavenina přemění v grafitové eutektikum (směs grafitu a austenitu), mající tvar buněk (obr. 4-18). Množstvím a velikostí eutektických buněk je dána velikost a uspořádání grafitových útvarů v litině.

Obr. 4-18 Eutektická buňka v šedé litině

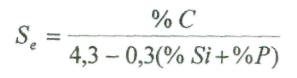
Při malém přehřátí taveniny nad teplotou likvidu a pomalém ochlazování vznikají hrubé, málo rozvětvené lupínky grafitu. Větší přehřátí a rychlé ochlazování vede ke vzniku drobnějších různě zprohýbaných lupínků grafitu. Tvar a velikost grafitových útvarů je ovlivňována i přísadami. Se zjemňováním grafitu roste pevnost šedé litiny. Struktura šedé litiny závisí i na způsobu překrystalizace (eutektoidní přeměny). Ta může v závislosti na rychlosti ochlazování a chemickém složení proběhnout buď podle soustavy stabilní, nebo metastabilní. Pokud probíhá krystalizace a překrystalizace v celém rozsahu podle stabilní soustavy, je matrice šedé litiny tvořena grafitovým eutektoidem, v němž zcela převládá ferit. Hovoříme proto o feritické základní hmotě v níž je uložen eutektický (a přesně i eutektoidní) grafit.

Šedou litinu nelze považovat za pouhou binární slitinu Fe-C. Musíme vždy uvážit i vliv dalších prvků, hlavně křemíku (ternární slitina Fe-C-Si). Z těchto důvodů neprobíhá eutektoidní přeměna při konstantní teplotě, ale v rozmezí teplot označovaných A11, A12 (obdobně probíhá přeměna eutektická).

Proběhne-li překrystalizace šedé litiny úplně, nebo zčásti podle metastabilní soustavy, je struktura tvořena perlitickou, nebo feriticko-perlitickou základní hmotou, v níž jsou opět uloženy lupínky grafitu.

Kromě grafitu, feritu a perlitu bývá ve struktuře šedých litin přítomen tvrdý a křehký fosfid železa jako složka fosfidového eutektika. Navíc se mohou jako samostatná fáze vyskytnout i útvary cementitu a sulfidy. Strukturu a vlastnosti šedých litin významně ovlivňují i doprovodné prvky, z nichž největší význam mají křemík, mangan, síra a fosfor.

Pro posouzení vlivu obsahu uhlíku, křemíku a fosforu na strukturu litin byly vypracovány empirické vzorce, určující tzv. stupeň eutektičnosti Se. Podle nich lze posoudit, bude-li daná litina podeutektická nebo nadeutektická. Pro stupeň eutektičnosti platí:



Při Se = 1 je litina eutektická, při Se < 1 je litina podeutektická, při Se > je litina nadeutektická.

Šedá litina (ČSN EN 1561) je nejrozšířenějším slévárenským materiálem. Rozlišujeme šedé litiny s lupínkovým grafitem, nelegované a legované, které se navzájem liší mechanickými vlastnostmi. Minimální mez pevnosti v tahu Rm nelegováných litin vzrůstá od 100 do 350 MPa (litiny ČSN 422410 až 422435, dle ČSN EN EN-GJL-100 až EN-GJL-350) Přehled šedých litin a jejich označování je patrný z Tab. 4-VIII.

Tab. 4-VIII Označování a vlastnosti šedých litin

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Označení litiny** | | | **Pevnost**  **v tahu Rm**  **[MPa]** | Tvrdost HB 30 | | **Struktura matrice** |
| **značkou** | **číselně** |  | **min.** | **max.** |
| **dieCS** | **SIEN** | **dle CSN** |
| EN-GJL-100 | EN-JL1010 | 42 2410 | 100-200 |  |  | ferit + (perlit) |
| EN-GJL-HB155 | EN-JL2010 |  |  |  | 155 |  |
| EN-GJL-150 | EN-JL1020 | 42 2415 | 150-250 |  |  | ferit + perlit |
| EN-GJL-HB175 | EN-JL2020 |  |  | 100 | 175 |  |
| EN-GJL-200 | EN-JL1030 | 42 2420 | 200-300 |  |  | perlit + ferit |
| EN-GJL-HB195 | EN-JL2030 |  |  | 120 | 195 |  |
| EN-GJL-250 | EN-JL1040 | 42 2425 | 250-350 |  |  | perlit + ferit |
| EN-GJL-HB215 | EN-JL2040 |  |  | 145 | 215 |  |
| EN-GJL-300 | EN-JL1050 | 42 2430 | 300-400 |  |  | perlit (očkovaná litina) |
| EN-GJL-HB235 | EN-JL2050 |  |  | 165 | 235 |  |
| EN-GJL-350 | EN-JL1060 | 42 2435 | 300-400 |  |  | perlit (očkovaná litina) |
| EN-GJL-HB255 | EN-JL2060 |  |  | 185 | 255 |  |

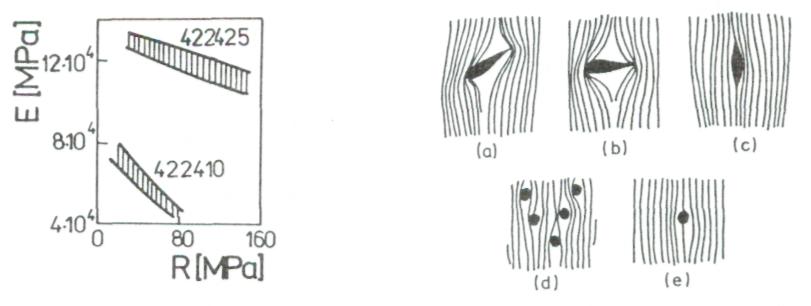
Mechanické vlastnosti šedé litiny jsou nejvýrazněji ovlivňovány strukturou základní hmoty, tvarem, velikostí a rozložením grafitu. Značná pozornost se proto věnuje vztahům mezi strukturou, složením a vlastnostmi litiny.

Pro většinu účelů je požadována šedá litina s perlitickou základní hmotou. S rostoucím obsahem feritu a poklesem obsahu perlitu v základní hmotě klesá pevnost a tvrdost litiny. Přítomnost volného cementitu v šedé litině je nežádoucí (roste křehkost, klesá obrobitelnost).

Při použití litiny jako konstrukčního materiálu je třeba uvážit, že ve srovnání s ocelí má litina menší pevnost v tahu, krůtu i ohybu, přičemž pro ní platí, že Rmo = (1,5 až 2) Rm. Má minimální, prakticky nulovou tažnost, rázovou houževnatost a tvařitelnost. Zvýšení tažnosti (asi 2%) a houževnatosti dosahují tzv. houževnaté litiny s lupínkovým grafitem, vyráběné z čistých surovin v elektrických pecích. Tyto litiny mají houževnatou základní

hmotu s minimálními pnutími bez sulfidů a oxidů. Tím se částečně snižuje nepříznivý vliv lupínků grafitu. Pevnost v tlaku je u šedé litiny asi trojnásobkem pevnosti v tahu, tvrdost odpovídá hodnotám pro ocel (HEN 180 až 270). Modul pružnosti v tahu není konstantní, s rostoucím napětím klesá (obr. 4-19). Obvykle se pohybuje v rozmezí 0,6.105 až 1,6.105 MPa. Příznivou vlastností šedé litiny je velmi dobrá schopnost útlumu a nízká citlivost litiny k účinkům vrubů. To umožňuje používání šedé litiny při cyklickém namáhání. Mez únavy šedé litiny je však relativně nízká . Dobré kluzné vlastnosti povolují použití šedé

litiny pro vzájemně se troucí součásti. Použití šedé litiny jako konstrukčního materiálu v případech značných přetížení a rázového namáhání však nelze připustit.



Obr. 4-19 (vlevo) Závislost modulu pružnosti šedé litiny na napětí  
Obr. 4-20 (vpravo) Ovlivnění napjatosti litinové součásti přítomností grafitu:  
a, b, c - lupínkový grafit, d, e - kuličkový grafit

Vlastnosti grafitické litiny se mohou přibližovat vlastnostem základní hmoty jen tehdy, není-li tato příliš narušena grafitem, jehož lupínky působí v základní hmotě jako místní koncentrátory napětí. Současně se jimi zmenšuje aktivní průřez, schopný přenášet napětí. Ovlivnění napjatosti přítomností grafitu je patrno z obr. 4-20. Se zjemňováním lupínků se jejich nepříznivý vliv snižuje a pevnost litiny roste. Grafit lze zjemnit tzv. očkováním, tj. přidáním vhodných tuhých přísad (např. ferosilicia - FeSi75) do roztavené, přehřáté litiny. Tyto přísady působí při krystalizaci jako cizí zárodky pro heterogenní nukleaci, čímž se zvýší počet eutektických buněk a vzniklý grafit je jemnější. Tyto litiny nazýváme očkované. Z uvedených litin mezi ně řadíme litiny EN-GJL300 a EN-GJL350.

K dalšímu zlepšení mechanických vlastností dochází u litin, u nichž je grafit vyloučen ve formě červíčkovité - vermikulární. Tento vermikulární grafit tvoří podobně jako lupínkový rozvětvené prostorové útvary, jejichž jednotlivé větve však nejsou ostře deskovité a mají zaoblené ukončení. Takovéto krystalizace grafitu se dosahuje přidáním kombinace prvků Mg-Ti-Ce, nebo komplexních slitin ceru, lantanu a dalších prvků vzácných zemin do roztavené litiny. Poté následuje grafitizační očkování taveniny ferosiliciem; litina s vermikulárním grafitem má slévatelnost na úrovni klasické šedé litiny, má však vyšší pevnost v tahu (320 až 500 MPa) a tažnost v rozmezí 2 až 7%. Využívá se nejvíce v automobilovém průmyslu.

Výrazného zlepšení lze dosáhnout při vyloučení grafitu v kuličkové formě - tvárná litina.

**Litina** s **kuličkovým grafitem (tvárná litina) ČSN EN 1563**

Tvárná litina je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky, v níž množství uhlíku přesahuje maximální hodnotu rozpustnosti v austenitu. Krystalizuje ve stabilní soustavě,

přičemž převážná část uhlíku je vyloučena jako kuličkový grafit. Složení tvárné litiny bývá v těchto mezích: C - 3,2 až 3,9%, Si - 1,8 až 2,9%, Mn - 0,1 až 0,8%, P - max. 0,1%, S -max. 0,05%, Mg - 0,03 až 0,08%.

Přidáním nejprve malého množství hořčíku (případně ceru) a potom ferosilicia do roztavené litiny se ovlivní mechanizmus krystalizace grafitu. Místo lupínkového grafitu vzniká grafit kuličkový, který ovlivňuje základní hmotu podstatně méně než grafit lupínkový (obr. 4-20). Vlastnosti tvárné litiny se blíží vlastnostem její základní hmoty, která může být feritická nebo perlitická (případně feriticko-perlitická). Je možno říci, že tvárná litina tvoří svými vlastnostmi přechod mezi šedou litinou a ocelí.

U normovaných perlitických (resp. feriticko-perlitických) tvárných litin se zaručují pevnosti v tahu od 450 do 900 MPa, při tažnosti 2 až 10%. Feritické tvárné litiny mají nižší zaručenou pevnost v tahu 350 až 400 MPa při zvýšené tažnosti 15 až 22%. Přehled litin s kuličkovým grafitem a jejich označování je uvedeno v tab. 4-VIX.

Tab. 4-IX Označení a vlastnosti šedých litin s kuličkovým grafitem

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Označení litiny | | | Pevnost v tahu (min.)  Rn, [MPa] | Mez kluzu (min.) Rp  **0,2**  [MPa] | Tažnost (min.) A[%] | Struktura matrice |
| značkou | číselně | dle ČSN |
| dle ČSN EN | |
| EN-GJS-350-22-LT | EN-JS1015 |  | 350 | 220 | 22 | ferit |
| EN-GJS-350-22-RT | EN-JS1014 |  | 350 | 220 | 22 | ferit |
| EN-GJS-350-22 | EN-JS1010 |  | 350 | 220 | 22 | ferit |
| EN-GJS-400-18-LT | EN-JS1025 | 42 2314 | 400 | 240 | 18 | ferit |
| EN-GJS-400-18-RT | EN-JS1024 |  | 400 | 250 | 18 | ferit |
| EN-GJS-400-18 | EN-JS1020 | 42 2303 | 400 | 250 | 18 | ferit |
| EN-GJS-400-15 | EN-JS1030 | 42 2304 | 400 | 250 | 15 | převážně ferit |
| EN-GJS-450-10 | EN-JS1040 |  | 450 | 310 | 10 | ferit + perlit |
| EN-GJS-500-7 | EN-JS1050 | 422305 | 500 | 320 | 7 | ferit + perlit |
| EN-GJS-600-3 | EN-JS1060 | 42 2306 | 600 | 370 | 3 | perlit + ferit |
| EN-GJS-700-2 | EN-JS1070 | 42 2307 | 700 | 420 | 2 | převážně perlit |
| EN-GJS-800-2 | EN-JS1080 | 42 2308 | 800 | 480 | 2 | perlit |
| EN-GJS-900-2 | EN-JS1090 |  | 900 | 600 | 2 | perlit |

Tvárná litina má velmi výhodný poměr meze kluzu k mezi pevnosti Re/Rm = 0,7, má malou citlivost na účinky vrubu při rázovém namáhání a vysokou hodnotu útlumu. Má však horší slévatelnost než šedá litina.

**Tvrzená litina**

Tvrzená litina není zvlášť normalizovaným druhem litiny. U odlitků z tvrzené litiny se volí chemické složení a způsob ochlazení tak, aby rychle chladnoucí povrch krystalizoval podle soustavy metastabilní - bíle, pomaleji chladnoucí jádro podle soustavy stabilní - šedě. Přechod mezi tvrzenou povrchovou vrstvou a jádrem je tvořen přechodovou (tzv. makovou) litinou, která obsahuje jak volný cementit, tak grafit. Tyto odlitky potom mají tvrdou povrchovou vrstvu (50 až 55 HRC), která dobře odolává opotřebení a jádro měkčí a podstatně méně křehké.

Hloubka tvrzené vrstvy závisí na rychlosti odvodu tepla při ochlazování a na chemickém složení litiny. Přísady potlačující grafitizaci hloubku tvrzené vrstvy zvětšují (Mn, W, Mo, Cr), přísady podporující grafitizaci ji naopak zmenšují (C, Si, Ni).

Tvrdost tvrzené vrstvy roste s rostoucím obsahem uhlíku a karbidotvorných prvků. Růst tvrdosti působí i nikl podporující vznik martensiticko-karbidické struktury. Odolnost tvrzené vrstvy proti opotřebení roste se zjemňováním její struktury. Jemná struktura současně zmenšuje nebezpečí praskání vrstvy.

Litina s vločkovým grafitem - temperovaná litina ČSN EN 1562

Temperovaná litina je slitina železa s uhlíkem a dalšími prvky, která v důsledku chemického složení ztuhne jako litina cementitická - bílá. Tepelným zpracováním -temperováním dojde k rozpadu cementitu na železo a grafit, který je vyloučen (kap. 4.3.4.1) buď zčásti, nebo úplně v zrnité nebo vločkovité formě jako temperový grafit (temperový uhlík).

Temperovanou litinu dělíme podle charakteru lomu a podle mikrostruktury základní hmoty na

* temperovanou litinu s černým lomem a základní hmotou feritickou nebo perlitickou, z nichž první má nízkou pevnost při dobré houževnatosti, druhá pak vyšší pevnost, ale nižší houževnatost;
* temperovanou litinu s bílým lomem, která je na povrchu výrobku feritická, ale v jádře perlitická.

Svými mechanickými, fyzikálními i technologickými vlastnostmi tvoří temperovaná litina podobně jako litina s kuličkovým grafitem přechod mezi ocelí na odlitky a šedou litinou. Odlitky z temperované litiny jsou lehčí než ocelové, mají lepší obrobitelnost, přídavky na obrábění jsou menší. Temperovaná litina má značnou schopnost útlumu a dobré třecí vlastnosti. Minimální zaručená tažnost u normovaných jakostí se pohybuje od 1 do 12% při pevnosti v tahu od 300 do 800 MPa (podle druhu temperované litiny). Modul pružnosti se pohybuje v rozmezí E = 140 000 až 190 000 MPa. Výchozí bílá litina má však ve srovnání s šedou litinou horší zabíhavost a větší smrštění. Přehled temperovaných litin s černým a bílým lomem a jejich vlastností udává Tab. 4-X a 4-XI .

Tab. 4-X Označování a vlastnosti temperovaných litin s černým lomem

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Označení materiálu** | | | **Pevnost v tahu (min.)**  **Rm rMPal** | **Mez kluzu (min.) Rp**  **0,2**  **íMPal** | **Tažnost (min.) A[%]** | **Tvrdost HB**  (inform) |
| **značkou** | **číselně** | **dle ČSN** |
| **dle ČSN EN** | |
| EN-GJMB-300-6 | EN-JM1110 | 42 2531 | 300 | **-** | 6 | max. 150 |
| **-** | **-** | 42 2532 | 320 | 170 | 8 | max. 180 |
| EN-GJMB-350-10 | EN-JM1130 | 42 2533 | 350 | 200 | 10 | max. 150 |
| EN-GJMB-450-6 | EN-JM1140 | 42 2545 | 450 | 270 | 6 | 150 až 200 |
| EN-GJMB-500-5 | EN-JM1150 |  | 500 | 300 | 5 | 165 až 215 |
| EN-GJMB-550-4 | EN-JM1160 | 42 2555 | 550 | 340 | 4 | 180 až 230 |
| EN-GJMB-600-3 | EN-JM1170 |  | 600 | 390 | 3 | 195 až 245 |
| EN-GJMB-650-2 | EN-JM1180 |  | 650 | 430 | 2 | 210 až 260 |
| EN-GJMB-700-2 | EN-JM1190 |  | 700 | 530 | 2 | 240 až 290 |
| EN-GJMB-800-1 | EN-JM1200 |  | 800 | 600 | 1 | 270 až 320 |

Tab. 4-XI Označování a vlastnosti temperovaných litin s bílým lomem

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Označení materiálu | | | Pevnost  v tahu  (min.)  Rm [MPa] | Mez kluzu (min.) Rp  **0,2**  [MPa] | Tažnost (min.) A[%] | Tvrdost HB  (inform) |
| značkou číselně | | dle ČSN |
| dle ČSN EN | |
| EN-GJMW-350-4 | EN-JM1010 | 422536 | 350 |  | 4 | 230 |
| EN-GJMW-360-12 | EN-JM1020 |  | 360 | 190 | 12 | 200 |
| EN-GJMW-400-5 | EN-JM1030 | 42 2540 | 400 | 220 | 5 | 220 |
| EN-GJMW-450-7 | EN-JM1040 |  | 450 | 260 | 7 | 220 |
| EN-GJMW-550-4 | EN-JM1050 |  | 550 | 250 | 4 | 250 |

Temperovaná litina se používá na středně namáhané odlitky (součásti pro automobily, zemědělské stroje, vagóny, lokomotivy). Velmi časté je její použití na výrobu fitinku.

**Legované litiny**

Přísadové prvky ovlivňují primární krystalizaci litin i přeměny probíhající v tuhém stavu, zpevňují tuhý roztok, případně tvoří legovaný cementit.

Mezi legované litiny řadíme litiny s obsahem legůr převyšujícím hodnoty stanovené u ocelí (kap. 4.1.1). Výjimku tvoří křemík a hliník, jejichž obsahy, od kterých jsou legůrou, se zvyšují, u Si na 4%, u Al na 0,3%.

Šedé a tvárné litiny se legují za účelem zvýšení tvrdosti, pevnosti nebo houževnatosti (Ni, Cr, Mo, Cu), zlepšení odolnosti proti korozi (Cr, Ni, Si) a zvýšení žáruvzdornosti (Si, AI, Cr, Ni).

Podle hlavní převažující legůry lze rozdělit legované litiny na litiny legované:

* hliníkem (odolnost vůči oxidaci a vzniku okují, korozivzdornost zvláště v sirném prostředí)
* křemíkem (žáruvzdornost, chemická odolnost)
* chrómem (korozivzdornost, žáruvzdornost, odolnost proti opotřebení)
* niklem (korozivzdornost, žáruvzdornost, odolnost proti opotřebení).

Mezi nízkolegované litiny s perlitickou nebo bainitickou strukturou základní hmoty patří litiny s obsahem přísad do *5%.* Při obsahu přísad v rozmezí 5 až 10% hovoříme o litinách středně legovaných (základní hmota bainitická nebo martensitická), při obsahu přísad nad 10% o litinách vysokolegovaných (základní hmota austenitická nebo feritická).

Je třeba uvážit, že vliv legování je snižován přítomností grafitu v základní hmotě. Výrazné zlepšení vlastností lze proto očekávat pouze u těch litin, kde grafit není vyloučen ve formě hrubých lupínků. Prvky Ni, Cr, Mn, Mo, W, Ti, Mg, Ca **a** Sr přispívají ke zjemnění grafitu.

Bílé litiny se legují především za účelem zvýšení odolnosti proti otěru a zmenšení křehkosti (Cr, Mo, Ni). Veškerý uhlík je u nich vázán ve formě legovaného cementitu nebo složitějších karbidů.

U všech druhů legovaných litin lze využít malého množství přísad (Si, Ti, V, Mo, AI) pro dezoxidaci a zjemnění zrna základní hmoty.

Podle vlastností a způsobu použití dělíme legované litiny na litiny se zvýšenými vlastnostmi mechanickými, fyzikálními nebo technologickými, na litiny korozivzdorné a litiny žáruvzdorné.