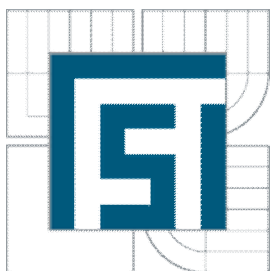




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

HISTORIE VÝVOJE ŽARUVZDORNÝCH OCELÍ A SUPERSLITIN

HISTORY OF DEVELOPMENT OF REFRACTORY STEELS AND SUPERALLOYS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN PEŠINA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV PÁLKA

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Pešina

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Historie vývoje žáruvzdorných ocelí a superslitin

v anglickém jazyce:

History of development of refractory steels and superalloys

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vývoj žáruvzdorných materiálů se především v průběhu dvacátého století stal klíčovým článkem zvyšování pracovních teplot v oblasti energetiky, petrochemie a v leteckém průmyslu. Postupným vývojem od uhlíkových ocelí až po dnešní superslitiny vyráběné často práškovou metalurgií rostla úměrně s pracovní teplotou i efektivita turbín a chemických procesů.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je odborná rešerše shrnující zkušenosti s vývojem kovových žáruvzdorných materiálů

Seznam odborné literatury:

1. DAVIS, J.-R. Heat Resistant Materials. 2nd ed. Ohio: ASM International, 1999. 596 s. ISBN0-87170-596-6.
2. ABE, F., et al. Stabilization of martensitic microstructure in advanced 9Cr steel during creep at high temperature. Materials Science and Engineering A. July 2004, vol. 378, no. 1-2, p. 299-303.
3. DAVIS, J.-R. Nickel, Cobalt, and Their Alloys. 2nd ed. Ohio: ASM International, 2007. 442 s. ISBN-10:0-87170-685-7.
4. SKLENICKA, V., KLOC, L. Creep in boiler materials: mechanisms, measurement and modelling. In: Power plant life management and performance improvement, ed. by OAKEY, JE. LONDON: Woodhead Publishing Series in Energy, September 2011. no. 23. p. 704.
5. DULIEU, D. The role of niobium in austenitic and duplex stainless steels [online]. <http://www.cbmm.com.br/portug/sources/techlib/science_techno/table_content/sub_5/images/pdf_s/050.pdf>.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Pálka

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012. V Brně, dne 8.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.

Děkan fakulty

ABSTRAKT

Součásti, pracující v oblasti tepelného zpracování v petrochemii, případně v leteckém průmyslu, jsou velmi často vystaveny působení korozních vlivů a napětí za teplot přesahujících 800 °C. Dynamický rozmach této produkce vedl k postupnému vývoji stále lepších materiálů.

Tato práce mapuje vývoj ocelí od začátku 20. stol. až do dnes.

Klíčová slova

Creep, žáruvzdorné oceli, Cr-Ni oceli, austenitické oceli

ABSTRACT

Components working in the field of heat treatment, petrochemistry or aerospace respectively are very often exposed to corrosion environment as well as stress at temperatures over 800 °C. Dynamic growth of such production led to development of better alloys.

This thesis track the development of such steels since begin of 20 th century up to now.

Key words

Creep, heat resistant steels, Cr-Ni steels, austenitic steels

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PEŠINA, J. *Historie vývoje žáruvzdorných ocelí a superslitin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Stanislav Pálka.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Historie žáruvzdorných ocelí a superslitin vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně, dne 25.5.2012

.....

Jan Pešina

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Stanislavovi Pálkovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce a své rodině za pomoc při získávání odborných podkladů.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	8
1 HISTORIE KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ	9
1.1 Historie austenitických ocelí.....	9
1.2 Historie feritických ocelí	10
1.2.1 Uhlíkové oceli.....	10
1.2.2 Nízkolegované oceli.....	10
2 TEORIE	11
2.1 Schaefflerův diagram	11
2.2 Larson-Miller parametr	12
2.3 Creep (tečení).....	13
3 TYPY KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ	15
3.1 Vysokolegované chromové oceli	15
3.1.1 Feritické a martenzitické oceli s obsahem chromu 8%	15
3.1.2 Feritické a martenzitické oceli s 13% chromu.....	16
3.1.3 Feritické a feriticko-martenzitické oceli s obsahem chromu 18%	18
3.1.4 Feritické a feriticko-karbidické oceli s obsahem 22 až 30% chromu	19
3.2 Chromniklové austenitické oceli.....	20
3.2.1 Nestabilizované austenitické oceli	21
3.2.2 Stabilizované austenitické oceli.....	22
3.2.3 Chromniklové austenitické oceli s přísadou molybdenu.....	23
3.2.4 Žáruvzdorné chromniklové austenitické oceli.....	24
3.3 Austenitické chrommanganové oceli s přísadou dusíku	24
3.4 Vytvrditelné feriticko-austenitické oceli	26
ZÁVĚR	27
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	28

ÚVOD

Prvé studie o korozivzdorných (odolnost vůči elektrochemické korozi za normálních teplot) a žáruvzdorných (odolnost vůči chemické korozi za zvýšených teplot nad 800 °C) ocelích vznikly poměrně nedávno. První patent korozivzdorné oceli (o složení 30% chromu a 2% wolframu) byl uveřejněn v Anglii sice už v roce 1872, ale masovou výrobu zahájila až ocelářská firma KRUPP z Essenu v roce 1912. Okamžitě po zahájení produkce se tento typ ocelí těšil velké oblibě a rychle našel široké uplatnění v průmyslu - zejména potravinářském, automobilovém, chemickém.

Produkce se nevyhnula ani našemu území, průkopníkem se stala ocel Anticoro a nejstarší záznamy sahají už k roku 1910. Tato ocel se používala na hlavně loveckých pušek a byla jednou z prvních nerezavějících ocelí na světě. Velký rozmach ve výrobě přišel v druhé polovině dvacátých let, kdy se k tavení začaly využívat elektrické pece.

Další vývoj korozivzdorných oceli se značně zrychlil a v současné době známe mnoho různých typů. Aby se ulehčila orientace spotřebitelů, rozdělují se používané oceli do skupin. Někdy se dělí na korozivzdorné a žáruvzdorné, výhodnější je však dělení na základě chemického složení resp. struktury na:

- a) Vysokolegované chromové oceli
- b) Chromniklové austenitické oceli
- c) Chrommanganové austenitické oceli s přísadou dusíku
- d) Dvoufázové oceli
- e) Vytvrditelné korozivzdorné oceli

1 HISTORIE KOROZIVZDORNÝCH A ŽÁRUVZDORNÝCH OCELÍ

1.1 Historie austenitických ocelí

První austenitická ocel vznikla slitím 25%Ni-Fe a 25%Ni-5 ve slitinu 8%Cr-Fe, která byla tavena Alfredem Kruppem v Německu v letech 1893 - 1894. Krupp také vyrobil ze slitiny 35%Ni-13 slitinu 14%Cr-Fe a ze slitiny 25%Ni-8 slitinu 15%Cr-Fe pro použití v termočláňkových pláštích v roce 1910. Krupp pokračoval ve vývoji série ocelí Ni-Cr-Fe a v r. 1912 identifikoval martenzitickou ocel 10%Cr-2%Ni a austenitickou ocel 20%Cr-5%Ni jako ocel nerezovou. Ta druhá byla v r. 1922 označena jako V2A a udáváná jako původní austenitická ocel k použití (po tepelném zpracování) na ochranu proti korozi v lodních potrubích a v strojních zařízeních, pracujících v kyselém prostředí. [1]

Běžně užívaná 18%Cr-8%Ni austenitická ocel, optimalizující obsah Cr a Ni, vznikla z V2A v polovině 20. let 20. století. Účelem bylo zvýhodnění ekonomické stránky při zachování struktury austenitické oceli. Od té doby trpěly tyto oceli těžkou mezikrystalovou korozi při svařování, rozsáhlé vyšetření koroze a zdokonalení oceli uskutečnil Krupp kolem roku 1930 a následkem toho byly vyvinuty stabilizované austenitické oceli s použitím prvků Ti, N, Vb a Ta, zredukováním obsahu uhlíku na max. 0,07% a dosažením kvalitní jemnozrné oceli s ještě kvalitnějším rozložením karbidu chromu. Tyto oceli jsou původní verzí obecně užívaných ocelí typu ASTM 321 a typu 347. Typ 316 vznikl z oceli 18%Cr-8%Ni obsahující 3% molybden, je používaný v chloridu amonném a v prostředí kyseliny sírové jako korozi odolné slitině. V této době (začátek 30. let 20. stol.) objevil Krupp kombinaci Mo a Cu, která by zlepšila protikorozi ochranu proti kyselině sírové a 18%Cr-8%Ni-2%Mo-2%Cu. Z hlediska lepší zpracovatelnosti bylo poupravením Kruppovy V6A firmou Armco Steel v USA vyvinuto několik nových ocelí, jmenovitě 19-9LW (19%Cr-9%Ni-1,25%Mo-1,25%W-NbTi), 19-9DX (19%Cr-9%Ni-1,5%Mo-1,2%W-Ti) a 17-14CuMo. Tyto oceli se stabilizovanými austenitickými strukturami projevovaly protikorozi ochranu před kyselinou sírovou. [1]

Po druhé světové válce byly v Německu vyráběné oceli 18%Cr-8%Ni celosvětově používány pro žáruvzdorné účely a také pro chemický průmysl. Souběžně vzrostl tlak páry a teploty u elektráren na fosilní paliva a například TH 316H byla používána pro parní potrubí, 17-14CuMo a TP321H pro přehřívákové trubky páry. [1]

50. léta 20.stol. přinesla vývoj slitiny niklu 800H, využívané v USA jako vysoce odolné a antikorozi oceli, která dokáže nahradit oceli s obsahem niklu. Tyto oceli byly prvotně vyrobené jako antikorozi materiály, ale nečekaně se u nich projevíly dobré creepově odolné vlastnosti. Na základě vylepšeného creepově odolného systému 18Cr-8Ni se v 60. letech 20.stol provedla studie vývoje slitin austenitických ocelí. Vysokoteplotní slitina A-1 byla vyvinuta pomocí prvků, vytvářejících stabilní karbid Ti a Nb z oceli 18%Cr-80Ni na začátku 70. let 20. stol., následována termo-mechanicky zpevněnou TP347H s kvalitnější jemnozrnou strukturou, vyvinutou na začátku 80. let 20. stol. pod označením TP347HFG k použití v přehříváčích páry odolných proti parní oxidaci. Následovalo několik dalších austenitických ocelí 18%Cr-8%Ni s výrazně vylepšenou pevností a creepovou odolností, například Super304H, XA704 a vysokoteplotní slitina AA1. [1]

1.2 Historie feritických ocelí

1.2.1 Uhlíkové oceli

Až do dvacátých let dvacátého století byly nelegované oceli široce používány ke zhotovení komponentu systému přívodu páry, který byl vystaven teplotám až 350 °C a tlakům až 15 barů. Komponenty byly navrženy v souladu s materiálovými požadavky stanovenými na základě zkoušek tahem za tepla. Tyto krátkodobé zkoušky však nemohly odhalit skutečnost, že hlavní vliv na pevnost při tečení (creepovou pevnost) uhlíkových ocelí mají prvky N, Al a Mn. [1]

1.2.2 Nízkolegované oceli

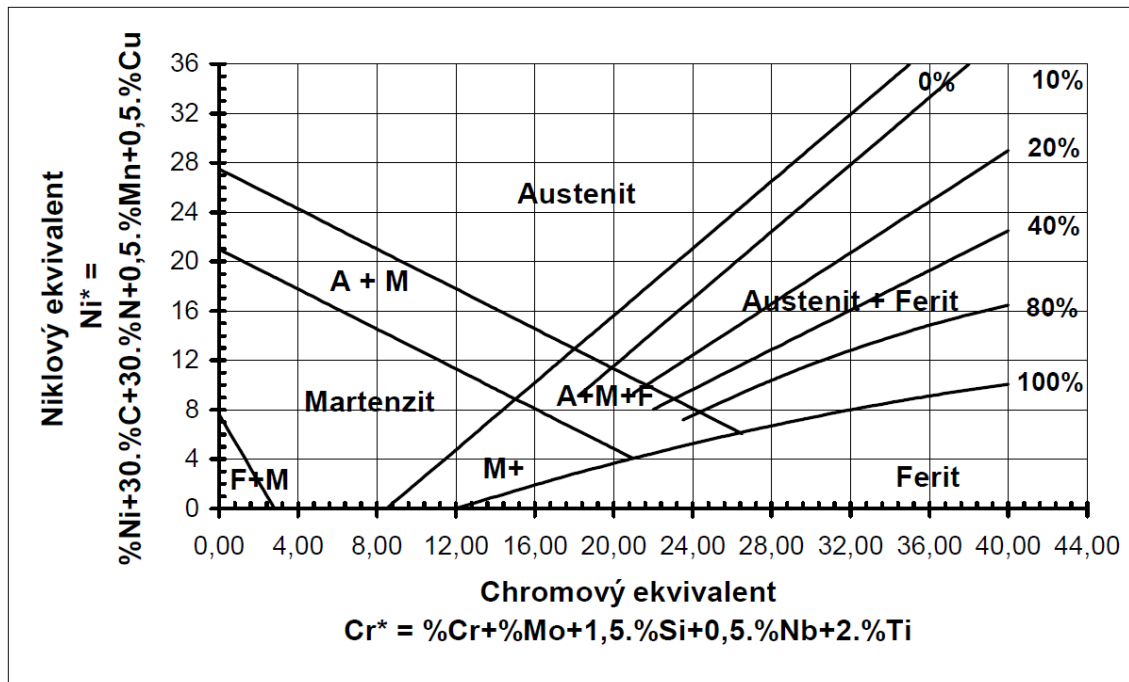
Na začátku dvacátých let si provoz při teplotách páry až 450 °C a tlaku až 35 barů vyžádal vývoj nízkolegovaných tepelně odolných ocelí. Vývoj byl vždy vázán na konkrétní ocelářský závod, neboť koordinace společných programů výzkumu a vývoje tehdy ještě neprobíhala. Oceli se rozlišovaly podle obchodních značek jednotlivých ocelářských závodů. Základním testem při vývoji nízkolegovaných ocelí byla zkouška tahem za tepla, která později nahradil krátkodobý test, např. DVM test limitu rychlosti creepu v Německu. V roce 1933 v USA vytvořily ASME a ASTM metodický pokyn pro testy určující celkovou mez pevnosti a deformační limity při tečení pro stálou creepovou deformaci 0.01%, 0.1% a 1%. Testování pokrývalo doby od 500 do 2000 hodin a výsledky se následně extrapolovaly až na 10⁴ a později 10⁵ hodin. Na základě velkého počtu zkoušek ocelí, prováděných s různými prvky Mo, Cr, V, Ni, CrMo, CrV, MnSi, MoMnSi, CrMnV a CrMoV, celosvětově využívaných při výrobě parních kotlů a kování pro parní turbíny, produkovaly ocel s chemickým složením 0,15C – 0,3-0,5Mo, 0,13C - 1Cr – 0,5Mo a 0,41C – 2,25Cr – 1Mo, které se ještě dodnes používají. Navíc v 50. letech 20. století byla v Evropě vyvinuta ocel MoV se složením 0,14C – 0,5Mo 0,3V s vyšší creepovou odolností pro plynové turbíny, později se také tato ocel využívala v parních elektrárnách. V oblasti výroby turbín se od 50. let využívá ocel se složením přibližně 0,25C – 1,25Cr – 1Mo – 0,30V na výrobu jejich rotorů, plášťů, šroubů a kování. [1]

Systematické zkoumání creepové odolnosti ocelí v krátkodobých testech vyvrcholilo v období 20. až 40. let 20. stol., v letech 50. se přistoupilo k výzkumu s dlouhodobým testováním. Například v Německu v roce 1949 byl za tímto účelem zahájen společný výzkumný projekt mezi oceláři, konstruktéry elektráren a jejich operátory. Výzkumné útvary (např. Diehl a Granacher) zde prováděly dlouhodobé testování jednotlivých tavenin. Aktivity jednotlivých creepových skupin působících v Evropě byly koordinovány v roce 1990 a sloučeny po založení ECCC (Evropské Creepové Spolupracující komise) v prosinci 1991. [1]

2 TEORIE

2.1 Schaefflerův diagram

Hodnotí přítomnost austenitu a feritu, bainitu a martenzitu v závislosti na chemickém složení (Obr.2.1). Struktura těchto ocelí pak závisí na obsahu prvků, které zužují resp. rozšiřují oblast austenitu. Pro skupinu prvků, uzavírajících oblast gama, se zavádí pojem „ekvivalent chromu“ a jde o feritotvorné (karbidotvorné) prvky (Si, Mo, V, Ti, Al, Nb, Cr, W); pro prvky které ji rozšiřují, pojem „ekvivalent niklu“, jde o austenitotvorné prvky (Ni, Mn, N, Cu, C). [10]



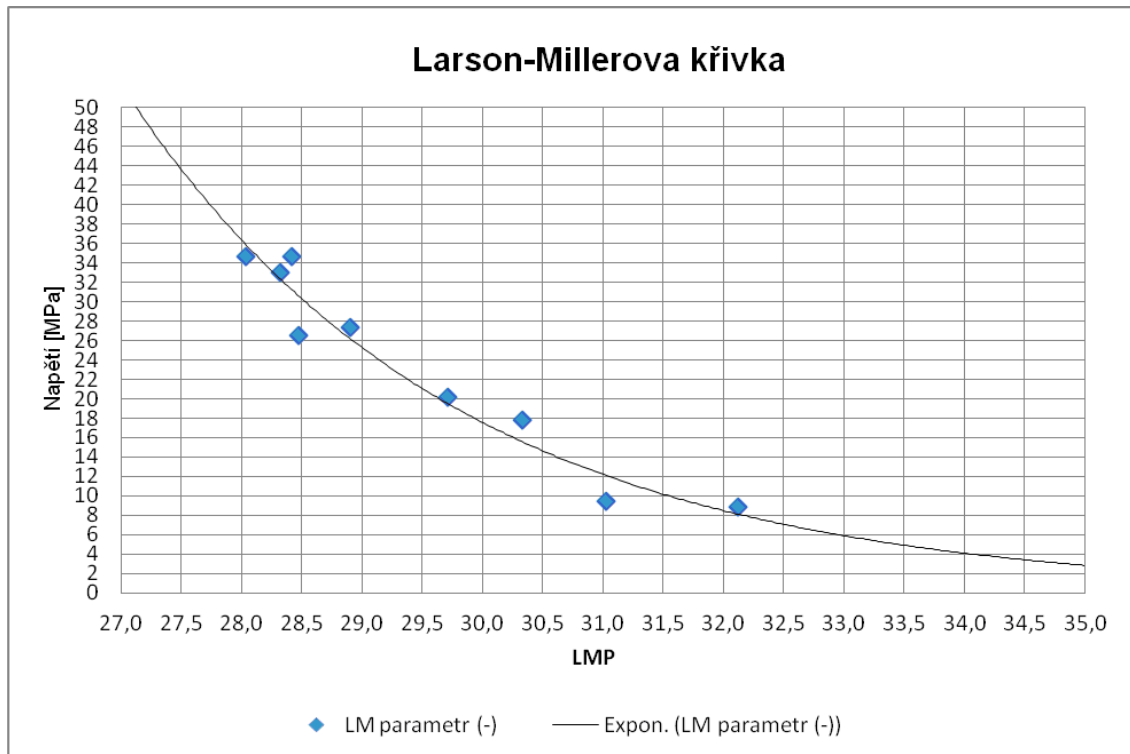
Obr. 2.1 Schaefflerův diagram [3]

Existuje několik typů výpočtu chrom – niklových ekvivalentů, každý z nich pro určitý typ oceli dává poněkud odlišné výsledky. [2]

Určení výsledného složení slitiny je možné ještě před tavením oceli. To je velmi užitečné pro austenitické korozivzdorné oceli, protože množství feritu musí být omezeno (materiál se stává magnetický), a pro martenzitické korozivzdorné oceli, protože množství delta-feritu musí být kontrolováno. [2]

2.2 Larson-Miller parametr

Larson-Millerův model se používá kurčení životnosti součástí pracujících za zvýšené teploty. Pro stanovení Larson-Miller parametru je potřeba provést sérii měření creepové pevnosti, jejichž průměty v grafickém znázornění se prokládá křivka. [4]



Obr.2.2 Larson-Miller diagram

Hodnota tohoto parametru je vyjádřena jako:

$$LMP = T(C + \log t) / 1000 \quad [5]$$

Kde: LMP..... je Larson-Miller parametr

C..... závisí na materiálu, nejčastěji se používá hodnota 20 (10 až 60)

t..... zkušební doba v hodinách / předpokládaná životnost

T..... je teplota v Kelvinech

Rovnice byla vyvinuta v průběhu roku 1950, Miller a Larson byli zaměstnanci u GE provádějící výzkum o životnosti turbínových lopatek. [6]

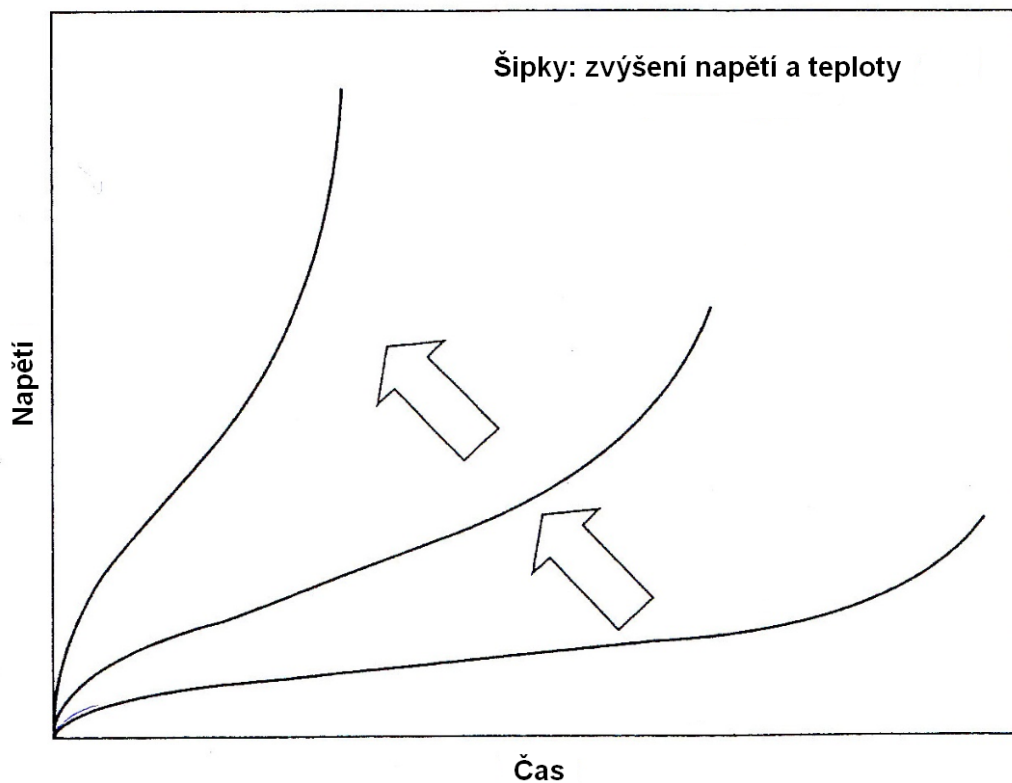
2.3 Creep (tečení)

Creep je jeden z nejdůležitějších faktorů určujících použitelnou životnost žáruvzdorných ocelí, např. parních kotlů v elektrárnách, bojlerů. [7]

Je definován jako plastická deformace (nezvratná) závisící na komponentech závislých i nezávislých na čase. Creep je pomalá a souvislá plastická deformace materiálů při jeho konstantním dlouhodobém zatížení. Přestože může creep proběhnout při všech teplotách vyšších než je absolutní 0 Kelvin, uvažuje se s ním až při teplotě zatížení vyšších než $0,4 - 0,6 T_m$, kde T_m je absolutní teplota tání. Je to z důvodu významného zrychlení difúzních pochodů. [1]

Testy creepu mohou být prováděny buď konstantní silou nebo konstantním napětím. Pro experimenty je výhodnější (a proto také při testech creepu častěji využívané) namáhané konstantním zastižením (v tahu) a konstantní teplotou. Výsledky testu mohou být zakresleny jako křivky tečení, které graficky reprezentují časovou závislost zátěže/napětí. [1]

Obr. 2.3 ukazuje schematicky 3 typy křivek creepu pod konstantním zatížením (v tahu) a za konstantních teplotních podmínek, také zobrazuje jejich rychlosti tečení. [1]



Obr. 2.3 Proměnná závislost času a rychlosti creepové deformace [1]

Creep se dělí na tyto fáze:

- a) Pohyb dislokací
- b) Pokluzy na hranicích zrn
- c) Difuzní tečení (creep)

a) Pohyb dislokací

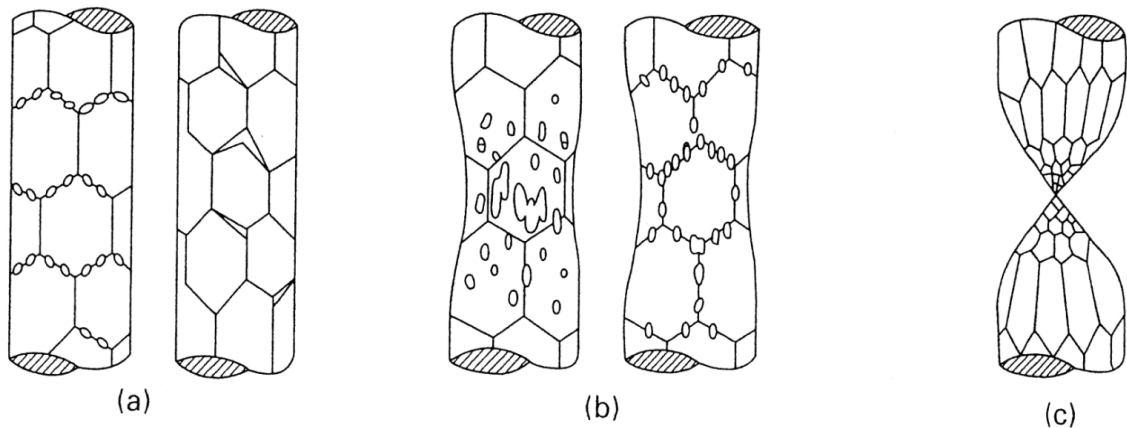
V první fázi dochází k rychlému růstu deformace. Protože není napětí dostatečně vysoké pro skluzu dislokací, je potřeba aktivační energie v podobě zvýšené teploty. Precipitáty a jemné částice jsou překážkami v pohybu, které zpevňují tuhý roztok. Při deformacích dochází k zvýšení hustoty dislokací a tím vzniká vzájemná blokáce (tzv. pracovní zpevnění). Opačně však probíhá tzv. dynamická rekrytalizace (dynamické zotavení), která hustotu dislokací naopak snižuje. Uvažuje se, že rychlost creepu je konstantní, protože tyto procesy pracují v rovnováze. Tato fáze creepu se velmi obtížně měří a aby měření proběhlo co nejsprávněji, je nutná eliminace všech okolních vlivů. [7]

b) Pokluzy na hranicích zrn

Druhá fáze creepu se vyznačuje pomalým stabilním růstem deformace s téměř lineárním průběhem. Pokluzy jsou výsledkem napětí tečného k hranicím zrn. Na hranicích zrn dochází ke koncentraci napětí, které vede k jejich posunu. Největšími koncentratory napětí jsou místa, kde se stýkají tři zrna. Pokluzy hrají důležitou roli v deformaci creepu polykrystalických materiálů. [7]

c) Difuzní tečení (creep)

V poslední fázi pak dochází k výraznému zrychlení deformace především vinou začínajícího porušení vzorku a výrazného nárůstu napětí v krčku deformace. [7]



Obr. 2.4 Stádia creepu [1]

3 TYPY KOROZIVZDORNÝCH A ŽARUVZDORNÝCH OCELÍ

3.1 Vysokolegované chromové oceli

Základním prvkem vysokolegovaných chromových korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí je chrom, jehož obsah se pohybuje mezi 8 až 30%. Chrom, který není vázán na uhlík ve formě karbidu, určuje korozní odolnost. [8] Vysokolegované chromové oceli se rozdělují podle obsahu chromu a jeho použití na:

- Feritické a martenzitické oceli s obsahem chromu 8%
- Feritické a martenzitické oceli s 13% chromu
- Feritické a feriticko-martenzitické oceli s obsahem chromu 18 %
- Feritické a feriticko-karbidické oceli s obsahem 22 až 30% chromu

3.1.1 Feritické a martenzitické oceli s obsahem chromu 8%

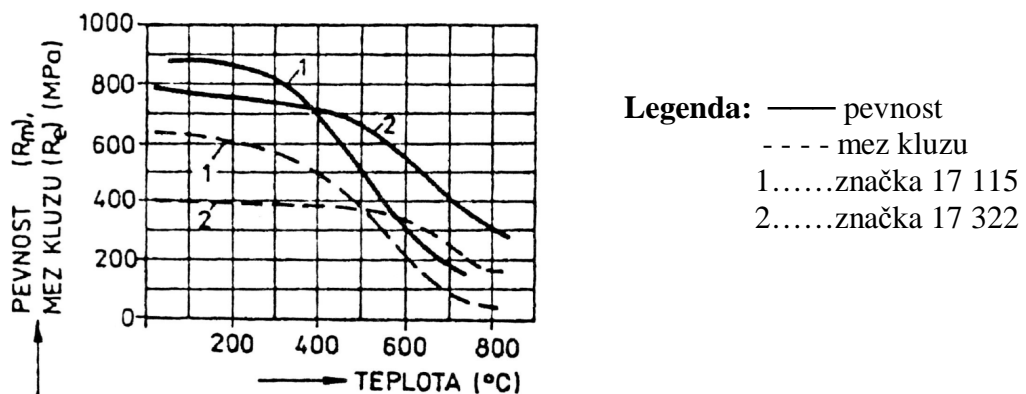
Chromové oceli s obsahem 8% chromu se používají jako žáruvzdorné do teploty 750 až 800 °C. Jejich chemické složení je popsáno v tab. 3.1. Obsah uhlíku je buď nižší než 0,15 %, nebo se pohybuje od 0,3 do 0,5%. Po žhání mají oceli prvé podskupiny feritickou matici, ve které jsou vyloučeny karbidy K1. Oceli, které mají vyšší obsah uhlíku, je možné zakalit na vysokou tvrdost, takže se označují jako kalitelné žáruvzdorné oceli. Jejich hlavní použití je na součástky, u kterých se žádá odolnost proti opotřebení, vysoká zakalitelnost a odolnost proti korozi. [9]

Hlavním představitelem těchto součástek je výfukový ventil spalovacích motorů, kde se musí předejít vysokému opotřebení za vysokých teplot. [10]

Tab. 3.1 Chemické složení ocelí s 8% chromu [9]

Značka	Chemické složení (%)						
	C	Mn	Si	P (max.)	S (max)	Cr	jiné
17113	max. 0,12	Max. 0,60	0,80 - 1,30	0,040	0,035	6,00 - 7,50	0,4 - 1,0 Al
17115	0,40 - 0,50	0,30 - 0,80	2,80 - 3,50	0,040	0,030	8,00 - 10,00	-

Austenitická ocel 17322 se nahrazuje při nižší teplotách levnější ocelí 17 115. Mechanické vlastnosti obou ocelí jsou porovnány na obr.3.1.

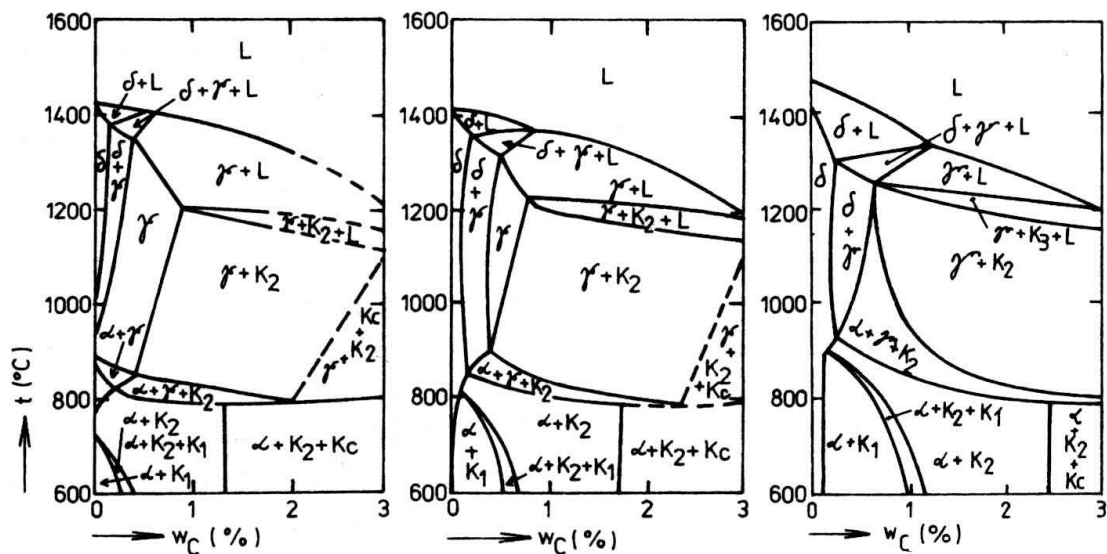


Obr. 3.1 Mechanické vlastnosti ocelí 17332 a 17 115 [9]

Z diagramu je na první pohled patrné, že austenitická ocel ČSN 17 322 má vyšší mez pevnosti a mez kluzu za vyšších teplot než ocel 17 115. Protože má však nižší tepelnou vodivost, musí se vyplnit dutý dřík i talíř ventilu sodíkem, který výborně vede teplo. Aby se zabránilo velkému opotřebení dříku, provádí se nitridace dosedací plochy. Při nižších pracovních teplotách je tedy výhodnější levnější ocel 17 115 a za vyšších pracovních teplot dražší ocel 17 322. [9]

3.1.2 Feritické a martenzitické oceli s 13% chromu

Používají se jako korozivzdorné, méně často jako žáruvzdorné do teploty 800 až 850 °C. Tyto oceli se také nazývají kalitelné korozivzdorné, protože při vyšším obsahu uhlíku je lze zakalit na vysokou tvrdost. Mechanické vlastnosti této skupiny ocelí ovlivňujeme popuštěcí teplotou. Po popuštění na vysoké teplotě mají vysokou houževnatost, ale bohužel i nižší tvrdost. Mají vysokou odolnost proti kavitaci a proto se tento typ oceli se používá na výkovky a odlitky vodních turbín, čerpadel apod. [11]



Obr. 3.2 Řez ternárním rovnovážným diagramem Fe-Cr-C [12]
a) 12% Cr, b) 15% Cr, c) 20% Cr

Procesy probíhající při tuhnutí a dalším pomalém ochlazení je možno sledovat na vertikálním řezu ternárním rovnovážným diagramem Fe-C-Cr při 12% Cr. (obr. 3.2) [12]

V tomto diagramu můžeme vidět, že uhlík tvoří u těchto ocelí opět dva typy karbidů. Při nízkém obsahu C se vylučuje v základním chromovém feritu karbid $(Fe,Cr)_{23}C_6$ (na diagramu označen jako K_1) a při obsahu C nad 0,7% je postupně nahrazován karbidem $(Fe,Cr)_7C_3$ (na diagramu označen jako K_2). Oba karbidy jsou nežádoucí, protože se vylučují na hranicích zrn. Na hranicích zrn potom korodují a tím zhoršují mechanické vlastnosti. Poměr atomů Fe a Cr je u obou karbidů proměnlivý. Podle obsahu uhlíku lze oceli rozdělit na:

- a) Feritické
- b) Feriticko-martenzitické (Martenzitické)

a) Feritické oceli

Mají velmi nízký obsah uhlíku (max. 0,05%). Při tuhnutí se vylučuje z taveniny delta ferit, který při dalším ochlazení netransformuje, takže zůstává v matici i za normálních teplot. Mezi tyto oceli patří např. ocel značky DIN 1.4512, používaná na výfukové systémy, nebo spotřební zboží jako zahradní grily, kování apod. [13]

b) Martenzitické oceli

Obsahují z korozivzdorných ocelí nejvyšší obsah uhlíku v rozmezí 0,08 až 1% a výše, takže se opět z taveniny vylučuje delta ferit, který však prodělává částečnou nebo úplnou transformaci na austenit a dále pak podle rychlosti ochlazení na alfa ferit (martenzit). [5] V martenzitických korozivzdorných ocelích se obsah feritu delta povoluje max. 20%. Když tuto hranici překročíme, klesne vrubová houževnatost. [4] Obsah feritu delta závisí na obsahu uhlíku, chromu a dalších legovacích prvků. Feritotvorné prvky, mezi které patří křemík, vanad, niob, molybden a titan, vznik delta feritu podporují. Austenitotvorné prvky, kterými jsou nikl, měď, dusík a mangan, ho potlačují. Ekvivalent chromu E_{Cr} , který vyjadřuje kladný nebo záporní vliv prvku, se vypočítá vynásobením hmotnostního procenta prvku určitým koeficientem. V diagramu se potom vynáší na příslušnou stupnici chromový ekvivalent místo obsahu chromu. [9]

Aby byla zaručena schopnost pasivace povrchu s oxidačním prostředím, musí být rozpuštěno min. 11,7% chromu. Část chromu se však váže na karbid $(Fe,Cr)_{23}C_6$, proto musí být minimální obsah chromu v martenzitické korozivzdorné oceli $\%Cr = 11,74 + 14,54[\%C]$. [9]

Tab.3.2 Chemické složení martenzitické korozivzdorné oceli [9]

Značka	Chemické složení (%)							
	C	Mn max.	Si max.	Cr	Ni max.	P max.	S max.	Ti max.
17 020	max. 0,08	0,90	0,70	12,0 – 14,0	-	0,040	0,035	-
17 021	0,09 – 0,15	0,90	0,70	12,0 – 14,0	-	0,040	0,030	-
17 022	0,16 – 0,25	0,80	0,70	12,0 – 14,0	-	0,040	0,030	-
17 023	0,26 – 0,35	0,80	0,70	12,0 – 14,0	-	0,040	0,030	-
17 024	0,36 – 0,50	0,80	0,70	12,0 – 14,0	-	0,040	0,030	-
17 027	0,15 – 0,25	0,90	0,70	14,0 – 16,0	-	0,040	0,035	-
17 029	0,40 – 0,50	0,90	0,70	13,0 – 16,0	-	0,040	0,035	-
17 030	0,54 – 0,63	0,50	0,50	13,0 – 15,0	-	0,040	0,035	-
17 042	0,90 – 1,05	0,90	0,70	16,0 – 18,0	-	0,040	0,035	-
42 2905	max. 0,15	0,70	0,70	12,0 – 14,0	1,00	0,040	0,040	-
42 2906	0,15 – 0,30	0,70	0,70	12,0 – 14,0	1,00	0,040	0,040	-
DIN 1.4512	max. 0,05	1,0	1,00	10,5 – 12,5	-	0,045	0,045	1,0

Tvrdoost, pevnost a svařitelnost ovlivňuje uhlík. Při vyšším obsahu uhlíku mají oceli vyšší pevnost, ale klesají plastické vlastnosti a zhoršuje se svařitelnost. [14]

3.1.3 Feritické a feriticko-martenzitické oceli s obsahem chromu 18%

Oceli, které patří do této skupiny, se používaly původně jako žáruvzdorné do teploty 950 °C. [9]

Použití těchto ocelí se podstatně rozšířilo, když se zjistilo, že oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku mají velmi dobré plastické vlastnosti. Nyní se rozdělují oceli s 18% chromu podle obsahu uhlíku a použítí na:

- Oceli s obsahem max. 0,03 %C, které se také nazývají chromové feritické korozivzdorné oceli (superferity). [11]
- Oceli s vyšším obsahem uhlíku (mezi 0,1 - 0,25%), které se používají hlavně jako žáruvzdorné, méně často jako korozivzdorné. Označují se též jako feriticko - martenzitické oceli. [11]

Podobně jako u ocelí s nižším obsahem chromu se vylučuje z taveniny s běžným obsahem uhlíku delta ferit, v kterém neprobíhá při obsahu uhlíku pod 0,05% transformace, takže zůstává zachován i při normální teplotě. Rozpustnost uhlíku ve feritu je malá a mění se s teplotou, jak ukazuje diagram. Na teplotě 800 °C je nepatrná, při vyšších teplotách se velmi pomalu zvyšuje na několik setin. Když se zvýší obsah uhlíku na 0,1 až 0,3%, delta ferit se částečně transformuje na austenit, takže oceli mají dvoufázovou strukturu. Při pomalém ochlazování se v matici nejprve vylučuje karbid K_1 , při nižších teplotách transformuje austenit na chromový ferit. [9]

Při zvýšení obsahu uhlíku se objevuje úzké pole homogenního austenitu, na diagramu můžeme toto pásmo pozorovat nad teplotou 1100 °C. Maximální rozpustnost uhlíku v austenitu je 0,7. [9]

a) Feritické oceli (s nízkým obsahem uhlíku)

Nejdříve se feriticko chromové oceli v technické praxi nepoužívaly, bylo to kvůli jejich křehkosti. V roce 1950 bylo sice dokázáno, že chromový ferit s nízkým obsahem uhlíku a dusíku je houževnatý, ale jejich výroba byla velmi obtížná. Velký rozvoj těchto ocelí nastal až po zavedení sekundární metalurgie, která umožnila vyrábět chromové oceli s obsahem uhlíku pod 0,03%. [9]

Jejich výhody oproti austenitickým ocelím jsou:

- nejsou citlivé na korozi pod napětím v roztocích obsahujících chloridy
- mají vyšší mez kluzu (300 až 400MPa)
- je možná jejich magnetizace
- neobsahují drahý nikl, jsou proto levnější [9]

Nevýhodou je obtížnější svařitelnost, kdy při tepelném zpracování a svařování hrubne zrna (nižší houževnatost) a vylučují se zde karbidy a nitridy, které mají sklon k mezikrystalové korozi. Aby se tomu zabránilo, stabilizují se tyto oceli niobem či titanem. Tyto přísady zabraňují ochuzení hranic zrn o chrom a tím i mezikrystalové korozi. [11]

Vlastnosti nepříznivě ovlivňuje dusík a uhlík z důvodu nízké rozpustnosti v delta feritu (%C + %N = max.0,015%). Příklad Mo snižuje rychlost koroze v aktivním stavu, zvyšuje tvrdost feritu a odolnost vůči bodové i celkové korozi tvorbou stabilnější pasivační vrstvy. [13]

Tab. 3.3 Chemické složení feritické chromové oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku [9]

Značka	Chemické složení v (%)								
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni max.	Mo	Ti	Nb	N max.
AK 17	0,03	1,0	1,0	17 – 20	0,5	1,8 – 2,3	0,4 – 0,7	-	0,035
ATF1	0,015	0,8	0,8	16 – 18	0,6	-	10 x %C až 0,30	-	0,015
ATF2	0,015	0,8	0,8	16 – 18	0,6	1,5 – 2,5	-	0,2 – 0,3	0,015

b) Feriticko martenzitické oceli (s vyšším obsahem uhlíku)

Oceli, které patří do této skupiny, se používají jako žáruvzdorné do teploty 950 °C. U ocelí na odlitky zlepšuje vyšší obsah uhlíku zabíhavost odlitků se slabší tloušťkou stěny. Mají dobrou odolnost v prostředí obsahujícím síru a její sloučeniny, osvědčily se také ve vodíkové atmosféře. Méně vhodné jsou pro nauhličující prostředí a neodolávají vanadové korozi. [13]

Tab. 3.4 Příklady a chemické složení feriticko – martenzitických oceli [9]

Značka	Chemické složení v (%)					
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni max.	
17 040	0,10	0,90	0,70	16,0 – 18,5	0,60	Ti max. 0,80
17 041	0,14	0,90	0,70	16,0 – 18,5	0,60	-
42 2911	0,25	0,90	1,50	17,0 – 19,0	1,00	-
17 125	0,15	0,80	1,00 – 2,00	12,0 – 14,5	-	0,5 – 1,2 Al

3.1.4 Feritické a feriticko-karbidické oceli s obsahem 22 až 30% chromu

Při velmi nízkém obsahu uhlíku je v celém rozsahu teplot stabilní delta ferit. Při vyšším obsahu uhlíku transformuje austenit při běžných ochlazovacích rychlostech na chromový ferit, ve kterém jsou vyloučeny karbidy $M_{23}C_6$. [13]

Oceli se opět dělí na:

- a) Feritické oceli (s obsahem uhlíku a dusíku max. 0,035%)
- b) Feriticko - karbidické oceli (s vyšším obsahem uhlíku)

a) Feritické oceli

Základní maticí je ferit, ve kterém je rozpuštěn všechen chrom, tudíž mají vyšší odolnost proti korozi než feritické s obsahem Cr 17%. Protože však chrom snižuje rozpustnost uhlíku ve feritu, musí se snížit obsah chromu, mají-li si oceli zachovat houževnatost v záporných hodnotách. Nepříznivý vliv dusíku je možné snížit přísadou hliníku, stabilizují se titanem. [9]

b) Feriticko – karbidické oceli

Používají se převážně jako žáruvzdorné do teplot 1100 °C až 1200 °C. Obsah uhlíku u tvářených ocelí bývá max. 0,20%, u ocelí na odlitky až 0,80% (tab. 3.5). Vyšší obsah uhlíku v ocelích na odlitky zlepšuje jejich zabíravost. Oceli této skupiny se zpravidla tepelně nezpracovávají, protože pracovní teplota součástek je vysoká. Jejich výhodou je, že mají velkou tepelnou vodivost a menší součinitel délkové roztažnosti. Nevýhodou je jejich obtížná svařitelnost a křehkost za normálních teplot. Mají větší tepelnou vodivost a menší součinitel délkové roztažnosti. Jsou podstatně odolnější proti okujení než chromniklové austenitické oceli typu 20/10, 25/20. [11]

Tab.3.5 Chemické složení ocelí s obsahem chromu 20 až 30% [9]

Značka	Chemické složení (%)							
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni max.	P max.	S max.	Ti max.
17 047	0,15	0,80	0,80	20 – 23	0,90	0,045	0,035	0,70
17 061	0,18	0,80	0,80	23 – 26	0,60	0,045	0,035	0,70
17 153	0,20	1,00	1,30	23 – 27	2,00	0,045	0,040	-
42 4912	0,50	0,90	1,50	19 – 33	1,00	0,045	0,040	-
42 2913	0,40 – 0,70	0,90	1,0 – 2,0	24 – 26,5	1,00	0,045	0,040	-
42 2914	0,50 – 0,80	0,90	1,0 – 2,0	27,5 – 30	2,00	0,045	0,045	-

3.2 Chromniklové austenitické oceli

Austenitická struktura vzniká při dostatečném obsahu tzv. austenitotvorných prvků (Ni, Mn, N). Základním typem je chrom-niklová austenitická ocel s 18% Cr a 9% Ni. Pro docílení požadované korozní odolnosti a mechanických vlastností se přisazují další legující prvky. Pro zachování austenitické struktury však musí být působení austenitotvorných a feritotvorných prvků vyvážené. [8]

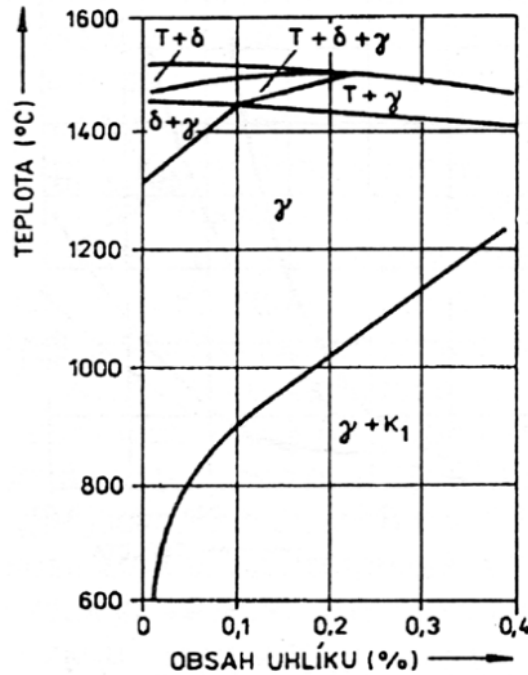
Austenitické korozivzdorné oceli nepodléhají fázovým přeměnám a jsou nemagnetické. Pevnost lze zvyšovat pouze legováním (např. přísadou N). [8]

Základní rozdělení chromniklových austenitických ocelí je:

- a) Nestabilizované austenitické oceli
- b) Stabilizované austenitické oceli
- c) Chromniklové austenitické oceli s přísadou molybdenu
- d) Žáruvzdorné chromniklové austenitické oceli

3.2.1 Nestabilizované austenitické oceli

Jestliže se postupně zvyšuje obsah niklu, zužuje se u ocelí s obsahem 18% chromu oblast feritu delta a rozšiřuje se oblast austenitu. Oblast feritu delta se úplně uzavře při 8% niklu a pod křivkou solidu se vyskytuje oblast homogenního austenitu, z kterého se vylučují při pomalém ochlazení karbidy $M_{23}C_6$ (obr. 3.3). Tyto karbidy jsou nežádoucí, protože se vylučují na hranicích zrn a způsobují mezikrystalickou korozi. Precipitát je možno potlačit jen rychlým ochlazením a to jen při obsahu uhlíku nižším jak 0,15%. Je-li obsah uhlíku vysoký, vylučování se nezabraní ani ochlazením do vody. [9]



Obr. 3.3 Vertikální řez rovnovážným diagramem Fe-C-Ni při obsahu 18% Cr a 80Ni [12]

V důsledku vysoké ceny niklu se v technické praxi používají korozivzdorné austenitické oceli s obsahem 17-20% chromu a 8-10% niklu, které se označují jako austenitické oceli 18/9.

Austenitické oceli obsahují kromě chromu a niklu další prvky, rozšiřují nebo zužují oblast gama (Schäfflerův diagram). Vhodnou kombinací chromu, niklu a uhlíku je možno získat po tepelném zpracování ocel s měkkou, houževnatou a nemagnetickou austenitickou maticí. [11]

Tab. 3.6 Chemické složení nestabilizovaných austenitických chromniklových ocelí [9]

Značka	Chemické složení v (%)							
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	P max.	S max.	N
17 240	0,07	2,00	1,00	17,0 – 20,0	9,0 – 11,5	0,045	0,030	-
17 241	0,12	2,00	1,00	17,0 – 20,0	8,0 – 11,0	0,045	0,030	-
17 249	0,03	2,00	1,00	17,0 – 20,0	10 – 12,5	0,045	0,030	-

17 259	0,03	2,00	1,00	17,0 – 19,0	9,0 – 11,5	-	-	0,12 – 0,22
12Cr18Ni	0,08 – 0,12	0,05 – 1,50	0,50 – 1,00	17,5 – 18,5	7,5 – 8,5	0,025	0,030	-
42 2931	0,15	1,50	1,50	18,0 – 21,0	8,0 – 11,0	0,045	0,040	-

3.2.2 Stabilizované austenitické oceli

Tyto oceli se legují titanem nebo niobem, protože tvoří s uhlíkem stabilnější karbidy TiC a NbC. Tím se zabraňuje vylučování nežádoucích karbidů $M_{23}C_6$, které vznikají mimo jiné i při svařování. [11]

Maximální obsah titanu je 0,80%, protože při vyšším obsahu se už příliš zvyšuje obsah delta feritu. Minimální obsah titanu se určuje podle obsahu uhlíku. Když je obsah uhlíku vyšší než 0,08%, má být minimální obsah titanu 5.(%C), při nižším obsahu titanu 6.(%C). Titan zabraňuje mezikrystalové korozi, ale praktické zkušenosti ukázaly, že se zde objevuje zvláštní druh koroze, tzv. nožová koroze. Tato koroze souvisí s rozpouštěním karbonitridu Ti(C,N). Hlavní příčinou nožové koroze ocelí stabilizovaných titanem v oxidačním prostředí je síť dendritických karbidů titanu, které se snadno oxidují. Tento jev se objevuje při teplotě vyšší než 1100 °C. U ocelí stabilizovaných niobem se vylučují dendritické karbidy niobu, které v oxidačním prostředí nekorodují, nožová koroze se tudíž neobjevuje. [13]

Ve struktuře stabilizovaných ocelí se vždy nachází delta ferit. Jehož obsah závisí na rychlosti ochlazování po odlití, na tepelném zpracování a na množství feritotvorných a asutenitotvorných prvků. Delta ferit se vypočítá ze vztahu:

$$\text{Ferit delta (\%)} = 16,25 \cdot (\% \text{Ti}) - 3,25 \quad [9]$$

Tento vztah je velmi informativní, pro přesný výpočet je zapotřebí zahrnout koeficienty jednotlivých prvků pro zjištění přesné hodnoty. [9]

Tab. 3.7 Chemické složení stabilizovaných austenitických chromniklových ocelí [9]

Značka	Chemické složení v (%)							
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Ti	P max.	S max.
17 246	0,12	2,00	1,00	17,0 – 20,0	8,0 – 11,0	5.(%C- 0,03)	0,045	0,030
17 247	0,08	2,00	1,00	17,0 – 19,0	9,5 – 12,0	5.(%C)	0,045	0,030
17 248	0,10	2,00	1,00	17,0 – 19,0	9,5 – 12,0	5.(%C) Nb	0,045	0,030
17 257	0,03	2,00	1,00	23,5 – 26,0	19,0 – 22,0	0,15 – 0,30	0,035	0,030
AE 24	0,025 – 0,060	1,3 – 2,50	0,25 – 0,65	18,5 – 20,5	9,0 – 11,0	12.(%C), max. 1,2	0,025	0,018
42 2933	0,12	1,50	2,00	17,0 – 19,0	9,0 – 11,0	5.(%C- 0,03) max. 0,80	0,045	0,040

3.2.3 Chromniklové austenitické oceli s přísadou molybdenu

Odolnost těchto ocelí proti korozi zvyšuje molybden, protože se hromadí v ochranné povrchové vrstvičce.[9] Jedna část molybdenu je rozpočtena v matici, a zbylá část tvoří karbid (Fe, Cr, Mo) C_6 , v kterém se může rozpustit 3,5 až 10% Mo. Molybden působí jako feritotvorný prvek, proto se musí zabránit tvoření delta feritu a austenitické oceli s přísadou Mo musí mít vyšší obsah Ni. [11]

Tab.3.8 Chemické složení austenitických chromniklových ocelí s přísadou molybdenu [9]

Značka	Chemické složení v (%)						
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Mo	N
17 345	0,15	2,0	1,5	16,0 – 19,0	9,0 – 12,0	1,5 – 2,5	-
17 346	0,07	2,0	1,0	16,5 – 18,5	10,5 – 13,5	2,0 – 2,5	-
17 349	0,03	2,0	1,0	16,5 – 18,5	11,0 – 14,0	2,0 – 2,5	-
17 350	0,03	2,0	1,0	16,5 – 18,5	12,0 – 15,0	2,5 – 3,0	-
17 352	0,07	2,0	1,0	16,5 – 18,5	11,0 – 14,0	2,5 – 3,0	-
17 359	0,03	2,0	1,0	16,5 – 18,5	11,0 – 13,5	2,0 – 2,5	0,12 – 0,22
17 360	0,3	2,0	1,0	16,5 – 18,5	12,0 – 14,5	2,5 – 3,0	0,12 – 0,22
42 2942	0,20	1,5	2,0	18,0 – 20,0	9,0 – 11,0	2,0 – 2,5	-

Chemické složení austenitických ocelí je uvedeno v tab. 3.8, ve které se také nacházejí oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku. Některé oceli mají (oproti oceli s obsahem 3,5% Mo a 16% Ni) zvýšený obsah molybdenu a niklu, odolávají tak kyselinám tvořícím se při výrobě celulózy, nebo se používají na výrobu kondenzátorových trubek chlazených mořskou vodou, kde nahrazují slitiny titanu nebo mosazi [15]. Přísada dusíku zvyšuje mez kluzu. [9]

Ocel značky 17 349 se používá např. při syntéze močoviny, která probíhá za teploty 170 až 190 °C a tlaku 15MPa. Velmi podobné využití má i ocel značky 17 350 [16]. Obě oceli mají snížení obsah uhlíku kvůli zvýšení odolnosti proti korozi. Odolnost proti korozi také snižuje křemík, fosfor a síra. [9]

3.2.4 Žáruvzdorné chromniklové austenitické oceli

Oceli patřící do této skupiny se používají do pracovního prostředí, kde se velmi často mění teplota. Špatně snášejí prostředí obsahující sloučeniny síry, protože se na povrchu tvoří sulfidy, které mají nižší teplotu tání než oxidy. [13]

Životnost ocelí, které pracují v atmosféře obsahující sloučeniny síry, se zvyšuje tím, že se sníží obsah niklu asi na 4% a zvýší se obsah chromu asi na 25%. Takovým ocelím se potom říká žáruvzdorné oceli se sníženým obsahem niklu. [9]

Podle použití oceli se volí obsah uhlíku. Mohou mít jeho vyšší obsah při použití za teplot nad 1000 °C, kdy se část karbidů rozpustí v základní matici. Za těchto teplot uhlík difunduje po hranicích zrn a pokud se vytvoří větší množství karbidů, může klesnout obsah chromu až pod kritickou hranici. Také mají zvýšený obsah křemíku, protože se zúčastňuje na tvorbě ochranné vrstvičky a zpomaluje nauhličování. [9]

Tab. 3.9 Chemické složení austenitických chromniklových austenitických žáruvzdorných ocelí [9]

Značka	Chemické složení v (%)					
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Jiné
17 242	0,25	2,00	1,0	17 – 20	8 – 11	-
17 253	0,20	1,00	1,5	19 – 22	36 – 40	-
17 255	0,25	1,50	2,0	23 – 27	18 – 22	-
17 322	0,40 – 0,50	0,7	0,8	12 – 15	12 – 15	0,2 – 0,4 Mo 2 – 2,75 W
42 2932	0,15 – 0,35	1,50	1,0 – 2,0	17 – 20	8 – 11	-
42 2936	0,25 – 0,50	1,50	2,0	24 – 27	12 – 14	-
42 2944	0,35 – 0,60	10	2,0	26 – 28,5	8 – 11	-
42 2950	0,30 – 0,40	0,5	1,0 – 1,5	23 – 25	20 – 22	1 – 1,5 Al 0,05 – 0,2 Ti
42 2951*	0,20 – 0,30	0,5	1,5 – 2,0	20 – 22	37 – 40	1 – 1,5 Al 0,05 – 0,2 Ti
42 2953*	0,30 – 0,45	1,5	0,75 – 1,75	24 – 27	20 – 22	-
42 2955	0,20 – 0,60	1,5	1,00 – 2,00	22 – 22	37 – 40	-

*tyto oceli mají zvýšenou odolnost proti nauhličování a působení SO₂

3.3 Austenitické chrommanganové oceli s přísadou dusíku

Protože poptávka po těchto ocelích roste, je vynaloženo velké úsilí nahradit drahý nikl lacinějším prvkem. Bohužel je výběr legovacích prvků velmi omezen. Oblast gama zcela otevírá kromě niklu pouze mangan, rozšiřuje ji dusík a měď. [9]

Oceli, které mají vyšší obsah chromu, jsou nevhodné, protože se v matici objevuje fáze sigma, která je velmi křehká. Proto nelze získat ocel kombinací železa, manganu a chromu, která by měla čistě austenitickou strukturu a byla dostatečně odolná proti korozi. Přidáním dalšího austenitického prvku se oblast gama posune k nižšímu obsahu manganu a k vyššímu obsahu chromu. Hlavní pozornost byla zaměřena na dusík. Z mnoha vědeckých prací vyplynulo, že lze postupovat dvojím způsobem:

A) Snížit obsah niklu asi na 5% a stabilitu austenitu zvýšit přísadou manganu a dusíku. Tyto oceli se označují jako korozivzdorné austenitické oceli CrMnNiN, případně se jim také říká Chrom-mangan-nikl-dusíkové-oceli. [9]

Tab.3.10 Chemické složení Chrom -mangan-nikl-dusíkové-oceli [9]

Značka	Chemické složení v (%)							
	C max.	Mn max.	Si max.	Cr	Ni	Mo max.	Cu max.	N
17 460	0,12	7,0 – 10,0	0,9	17,0 – 20	4 – 6,0	-	-	0,10 – 0,25
Na odlitky	0,15	7,5 – 10,5	1,2	17,5 – 20	4 – 5,5	1	1	0,10 – 0,25

Vrubovou houževnatost snižuje křemík, proto jeho obsah bývá nižší než 1,2%. Oceli na odlitky obsahují menší množství molybdenu a mědi. Je to kvůli tomu, že měď stabilizuje austenit a molybden ovlivňuje mechanické vlastnosti. [9]

B) Celý obsah niklu nahradit zvýšeným obsahem manganu a dusíku. Tyto oceli se nazývají CRMnN, jsou známé také jako Chrommanganové austenitické oceli s přísadou dusíku. [9]

Tab.3.11 Chemické složení Chrommanganových austenitických ocelí s přísadou niklu [9]

Značka	Chemické složení v (%)							
	C	Mn	Si	Ni	Mo	Cu	N	Cr
17 471	0,05 – 0,12	14,0 – 17,0	0,60 – 1,50	1,20 – 2,20	-	-	0,32 – 0,42	16 – 19
17 465*	0,48 – 0,58	8,0 – 10,0	max. 0,45	-	3,25 – 4,5	-	0,30 – 0,55	20 – 22
Na odlitky	max. 0,18	14,5 – 16,0	max. 1,2	max. 2,0	0,30 – 0,50	0,30 – 0,50	0,18 – 0,30	16 - 19

* Ocel 17 465 odolává žáru do teploty 900 °C

Dusík rozpuštěný v austenitu zvyšuje mez kluzu, zvyšuje ji i tvárění za studena. Znamená to výhodu pro oceli CrMnNiN a CrMnN, pokud se používají jako konstrukční. Naopak se však vyskytují problémy při hlubokém tahu. [9]

Obě skupiny ocelí se používají v potravinářském průmyslu, ve strojírenství a při výrobě spotřebního zboží, méně už v chemickém průmyslu, protože podléhají mezikrystalové korozi. V posledních letech byly vyvinuty oceli CrMnNiN s velmi nízkým obsahem uhlíku (max.0,03%), u kterých se mezikrystalová koroze neobjevuje. Také mají nízký obsah manganu, lépe proto odolávají kyselinám, např. HNO₃. [9]

3.4 Vytvrditelné feriticko-austenitické oceli

Po rozpouštěcím žhání a rychlém ochlazení mají feriticko-austenitickou matici po vytvrzování na teplotě cca 500°C. Precipitačním vytvrzováním získává ocel tvrdost a zvýšenou odolnost proti opotřebení. [13]

Tab. 3.12 Chemické složení korozivzdorných vytvrditelných ocelí [9]

Značka	Chemické složení v (%)							
	C max.	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Jiné
K 2	0,04	max. 1,0	max. 1,0	25,0 – 27,0	4,75 – 6,0	1,75 – 2,25	2,75 – 3,25	-
17 351	0,08	0,03 – 0,8	max. 0,9	15,5 – 17,0	5,6 – 7,0	-	-	max. 1 Al, 0,5 – 1 ti
AKHM	0,02	10,5	10,5	10,0	-	-	-	2,5 Al, 1,0Ti
0CH20N9M4S3-L	0,06	3,5	20,0	9,0	4,0	-	-	-
PH 55 B	0,05	-	1,5	20,0	9,0	5,0	3,5	-
Uranus 50	0,05	-	-	20,0	8,0	2,5	1,5	-

Na odlitky je vhodná ocel označená značkou K 2. Její struktura je tvořena asi 30% austenitu a zbytek tvoří chromový ferit, z kterého jsou vyloučeny drobné precipitáty. Tvrdost se pohybuje okolo 250 HB, po 10 hodinách precipitačního vytvrzování se zvýší asi na 320 HB. [9]

V tab. 3.12 můžeme vidět zahraniční dvoufázovou ocel, vytvrditelnou ocel se zvýšeným obsahem křemíku a molybdenu značky 0CH20N9M4S3-L. Tato ocel má mez kluzu 600 až 700 MPa a tažnost min. 3%. [9]

ZÁVĚR

Tato práce se věnuje žáruvzdorným ocelím a jejich rozdělení. Tyto oceli jsou i přes svou vysokou cenu velmi využívané a to nejen v energetice, leteckém a chemickém průmyslu, ale také v kosmickém programu, protože vykazují dobré mechanické vlastnosti během krátkodobého a dlouhodobého namáhání materiálu. Vyznačují se i zvýšenou odolností vůči chemické i elektrochemické korozi, obzvláště velkou odolností proti působení horkých plynů, spalovacích produktů a solných či kovových tavenin, které vznikají při teplotě nad zhruba 550 °C.

I v současnosti se vývoj na austenitické oceli zaměřuje z důvodu dobré korozní odolnosti a mechanických vlastností. Jejich velkým problémem je náchylnost ke koroznímu praskání za napětí. V dnešní době se například petrochemie bez těchto ocelí neobejde. Tyto oceli mají nenahraditelnou roli v tepelném zpracování či leteckém průmyslu při výrobě turbín.

Dále jsou zde feritické oceli, které se oproti austenitickým ocelím vyznačují relativně nízkou cenou a dobrou tvářitelností, ale jejich korozní odolnost je limitována a mají nízkou houževnatost.

Další vývoj žáruvzdorných a korozivzdorných ocelí se zřejmě bude zabývat dvoufázovými oceli (tzv. duplexními oceli). Především kvůli tomu, že tyto oceli kombinují vlastnosti feritických a austenitických ocelí. Mají tedy dobrou odolnost koroze při napětí, dobrou svařitelnost a dostatečnou houževnatost, které je sice horší než u austenitických ocelí, ale lepší než u feritických.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DAVIS, J.-R. Heat Resistant Materials. 2nd ed. Ohio: ASM International, 1999. 596 s. ISBN0-87170-596-6.
- [2] HENDERIECKX , Shaeffler diagram calculation of structure for stainless steels [online]. 2006, 9 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.asfabrications.co.uk/assets/SchaefflerDiagram.pdf>
- [3] Korozivzdorné a žáru vzdorné oceli [online]. 2008, 8 s. Podklady pro studenty BS studijního programu „ Strojírenství“ na VUT v Brně, Dostupné na World Wide Web: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/WKM/07%20Kazo.pdf>
- [4] BRIONY HOLMES, What is the Larson-Miller parameter? [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.twi.co.uk/services/technical-information/faqs/material-faqs/faq-what-is-the-larson-miller-parameter/>
- [5] Larson-Miller relation [online]. Dostupné na World Wide Web: http://dictionary.sensagent.com/Larson-Miller_relation/en-en/
- [6] Larson-Miller relation [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.answers.com/topic/larson-miller-relation>
- [7] SKLENICKA, V., KLOC, L. Creep in boiler materials: mechanisms, measurement and modelling. In: Power plant life management and performance improvement, ed. by OAKLEY, JE. LONDON: Woodhead Publishing Series in Energy, September 2011. no. 23. p. 704.
- [8] Charakteristika jednotlivých skupin korozivzdorných ocelí [online]. Dostupné na World Wide Web: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/zaruvzdorne_oceli/korozivzdorne/charakteristikaskupin/
- [9] FREMUNT, P., PODRÁBSKÝ, T.: *Konstrukční oceli*, CERM, S.r.o., Brno 1996, s.62-130.
- [10] DRASLÍK,E.:*Hutník*, CERM, S.r.o., 17, 1967,č.3, s.131-133
- [11] Rozdělení korozivzdorných materiálů [online]. Studijní materiály ČVUT, 7 s. Dostupné na World Wide Web: http://umi.fs.cvut.cz/files/01_kkm_rodeleni_korozivzdornych_materialu.pdf
- [12] NĚMEC K.: Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli [online]. Studijní materiály BS studijního programu „ Strojírenství“ na VUT v Brně, Dostupné na World Wide Web: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/3SV/04B-3SV.ppt>
- [13] Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli [online], Podklady pro studenty BS studijního programu „ Strojírenství“ na VUT v Brně, 8 s. Dostupné na World Wide Web: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/3SV/08-KaZO-Podklady.pdf>
- [14] DRÁPAL, S.: *Hutnické listy*, 1961, CERM, S.r.o., š.2,s.120-128
- [15] DAVIDSON, R.: *M,J.of Mol Metalurgy*, CERM, S.r.o., vol.2, č.1, s.2-7
- [16] LIŠKA, M.: *Hutnické listy*, CERM, S.r.o., 1988, č.1, s.33-39.