

Obsah:

Seznam zkratk a použitých symbolů	4
1 Úvod	6
2 Základní cíle vývoje modifikovaných (9-12)%Cr ocelí	8
3 Konstituce a chemické složení ocelí	11
3.1 Konstituce (9-12)%Cr ocelí	11
3.2 Chemické složení vybraných značek ocelí	14
3.3 Návrh chemického složení ocelí pomocí elektronové teorie	16
4 Mikrostruktura (9-12)%Cr ocelí	18
4.1 Transformační charakteristiky ocelí	18
4.2 Mikrostrukturní změny během popouštění	21
4.3 Vývoj mikrostruktury během dlouhodobého žhání a creepové expozice	30
5 Mikrostrukturní stabilita ocelí	42
5.1 Stádia precipitačních reakcí	42
5.1.1 Nukleace	42
5.1.2 Růst částic precipitátů	43
5.1.3 Hrubnutí precipitátů	45
5.2 Precipitační sekvence	48
5.3 Kvantitativní elektronová mikroskopie	49
5.4 Výsledky hodnocení rychlosti hrubnutí nejdůležitějších minoritních fází	52
6 Modelování mikrostruktury (9-12)%Cr ocelí	56
6.1 Modelování termodynamicky rovnovážného stavu	56
6.2 Predikce mikrostrukturní stability pomocí rovnovážných transformačních teplot	58
6.3 Součiny rozpustnosti fází MX v austenitu a feritu modifikovaných chromových ocelí	59
6.4 Modelování kinetiky fázových transformací	61
6.5 Simulace rychlosti hrubnutí minoritních fází	63
7 Žárupevné vlastnosti (9-12)%Cr ocelí	65
7.1 Sigmoidální chování	65
7.2 Rychlost tečení a mechanismy creepu	66
7.3 Predikce meze pevnosti při tečení	68
7.4 Modelování creepové pevnosti	73
7.5 Žárupevné vlastnosti svarových spojů	74
7.5.1 Homogenní svarové spoje	75

7.5.2	Heterogenní svarové spoje	78
7.6	Matematické modelování – metoda neuronových sítí	79
8	Oxidační odolnost (9-12)%Cr ocelí	80
9	Mechanismy zkřehnutí (9-12)%Cr ocelí	83
10	Využití mikrostrukturních parametrů při hodnocení zbytkové životnosti	86
10.1	Tvrдость	87
10.2	Mezičásticová vzdálenost precipitátů	87
10.3	Termodynamicky rovnovážné fáze a precipitační sekvence	88
10.4	Změny chemického složení karbidů	89
10.4.1	Karbid typu M_3C	89
10.4.2	Karbid typu $M_{23}C_6$	90
10.5	Kavitační poškození	91
10.6	Ploušťka oxidické vrstvy	92
10.7	Celkové změny mikrostruktury ocelí	92
11	Studium vztahů mikrostruktura-vlastnosti (9-12)%Cr ocelí	93
11.1	Ocel 12CrMoVNbN	93
11.1.1	Materiál a experimentální technika	93
11.1.2	Mikrostruktura ve výchozím stavu	95
11.1.3	Změny tvrdosti materiálu v průběhu dlouhodobého žhání a creepu	97
11.1.4	Vývoj mikrostruktury v průběhu dlouhodobého žhání a creepu	99
11.1.4.1	<i>Precipitační procesy v průběhu expozice na teplotě 600°C</i>	99
11.1.4.2	<i>Precipitační procesy v průběhu expozice na teplotě 550°C</i>	102
11.1.4.3	<i>Procesy zotavení a rekystalizace kovové matrice</i>	103
11.1.5	Predikce rovnovážného strukturního stavu	106
11.1.6	Modelování kinetiky precipitačních reakcí	108
11.1.7	Změny chemického složení minoritních fází	109
11.1.7.1	<i>Karbidy $M_{23}C_6$</i>	109
11.1.7.2	<i>Fáze M_2X</i>	113
11.1.7.3	<i>MX fáze</i>	115
11.1.7.4	<i>Z-fáze a M_6X</i>	115
11.1.7.5	<i>Shrnutí výsledků studia změn složení minoritních fází</i>	117
11.1.8	Kvantitativní elektronové mikroskopie	117
11.2	Ocel 12Cr0,5MoV	120
11.2.1	Experimentální materiál	120

11.2.2	Mikrostruktura ve výchozím stavu	121
11.2.3	Mikrostrukturní změny v průběhu creepu na teplotě 550°C	122
11.2.4	Modelování rovnovážné mikrostruktury	124
11.2.5	Změny chemického složení karbidů $M_{23}C_6$	125
11.3	Ocel X20CrMoV 12 1	125
11.4	Oceli P91 a E911	128
11.5	Oceli P92 a B2	132
12	Současné trendy vývoje (9-12)%Cr ocelí	134
13	Souhrn	136
14	Summary	138

Literatura

140

HV 10 – tvrdost podle Vickersa při zatížení 98N

$R_p 0,2$ – smluvní mez kluzu odpovídající $\epsilon_p = 0,2\%$ [MPa]

σ – aplikované napětí [MPa]

ϵ – deformace

t – čas [hod.]

E – Youngův modul pružnosti [MPa]

G – modul pružnosti ve smyku [MPa]

R_{m10}^5 @ 600°C – mez pevnosti při tažení za 10^5 hod při teplotě zkoušení $T = 600^\circ\text{C}$ [MPa]

$\dot{\epsilon}_s$ – rychlost ustáleného (stacionárního) creepu [s^{-1}]

t_c – doba do lomu při creepové expozici [hod.]

A – tažnost při creepu [%]

σ_c – napětí, při kterém dochází ke změně napěťové závislosti rychlosti stacionárního creepu [MPa]

σ_{bh} – kritické napětí odpovídající Orowanovu napětí [MPa]

P_{LM} – Larson - Millerův parametr

C_{LM} – konstanta Larson - Millerova parametru

P_{MH} – Manson - Haferdův parametr