

Recenzované vědecké články

Stanovení teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm

Determination of Phase Transformation Temperatures of 20MnCr5 Steel Using Empirical Equations and Thermodynamic Database CompuTherm

Ing. Lucie Chudobová¹; doc. Ing. Markéta Tkadlečková, Ph.D.¹; Ing. Michaela Strouhalová¹; Ing. Jiří Cibulka²; Ing. Michal Sniegoň¹; Ing. Josef Walek¹; prof. Ing. Karel Michalek, CSc.¹

¹ VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgie a slévárenství, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

² TRINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Česká republika

Hlavním cílem práce je analýza teplot fázových transformací oceli 20MnCr5. K výpočtům požadovaných teplot, tzn. teploty likvidu T_L , teploty solidu T_S a teploty počátku rozpadu austenitu Ac_3 a konce rozpadu austenitu Ac_1 bylo použito empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm. Vypočítané teploty jsou dále použity k návrhu regresních rovnic pro výpočet daných teplot. Ze získaných výsledků je zřejmé, že chemické složení oceli má na změny hodnot vypočítaných teplot značný vliv. Výsledné teploty se také liší v závislosti na použitém způsobu výpočtu. Průměrná teplota likvidu pro průměrný obsah prvků v mezích dané jakosti při jejím výpočtu za pomoci empirických rovnic byla 1509 °C a při výpočtu v termodynamické databázi CompuTherm činila 1508 °C. Teplotní rozdíl je tedy 1 °C. Průměrná teplota solidu pro průměrný obsah prvků v mezích daného druhu oceli při výpočtu pomocí termodynamických rovnic byla 1456 °C a při výpočtu v termodynamické databázi CompuTherm dosahovala tato teplota hodnoty 1444 °C. Teplotní rozdíl činí 12 °C.

Klíčová slova: ocel; fáze; teplota likvidu; teplota solidu; austenit

The main goal of this work is the analysis of phase transformation temperatures of 20MnCr5 steel (it is a case-hardening steel with the addition of manganese and chromium). For calculations of required temperatures, i.e. liquidus temperature (T_L), solidus temperature (T_S) and austenite decomposition (Ac_3) and final (Ac_1) temperatures the empirical equations and CompuTherm thermodynamic database were used. The calculated temperatures are further used to design regression equations to calculate the given temperatures. From the obtained results it is clear that the chemical composition of steel has a significant effect on changes in the values of calculated temperatures. Temperatures also vary depending on the calculation method used. The liquidus temperature for the average content of elements within the limits of the given quality in the calculation using the CompuTherm database is 1508°C while using empirical equations the liquidus temperature was on average 1509°C. The temperature difference is therefore 1°C. The solidus temperature for the average content of elements within the given quality in the calculation using the CompuTherm database (excluding the calculation using the Scheil microsegregation model, which proved unsuitable for calculating the solidus temperature) is 1444°C, using empirical equations the solidus temperature averaged at 1456°C. The temperature difference is therefore 12°C. Regression equations stated in the work (1 - 4) are determined by regression analysis of 66 possible variants of chemical composition of steel 20MnCr5 and phase transformation temperatures determined for defined chemical compositions by thermodynamic database CompuTherm. These equations can be used in operational practice for calculations of phase transformations in the limit values of the used chemical composition of a given steel grade. When using a different range of chemical composition, these equations can be used, but without guaranteed results.

Key words: steel; phase; liquidus temperature; solidus temperature; austenite

Ocel mění při různých teplotách svou fázi. Teploty, při kterých dochází ke změně skupenství, označujeme jako tzv. teploty fázových transformací. Mezi nejdůležitější

teploty fázových transformací oceli řadíme teplotu likvidu T_L (neboli teplotu tání) a teplotu solidu T_S (neboli teplotu tuhnutí). Teplotní pásmo mezi teplotou likvidu a teplotou

solidu určuje tzv. dvoufázovou oblast, kdy se mění tekutá fáze na tuhou fázi. Mezi další významné teploty patří teplota rozpadu austenitu.

Znalost teplot fázových transformací oceli je velice důležitá ať už při její výrobě nebo tepelném zpracování. Určení teploty likvidu oceli umožňuje stanovit správné nastavení lící teploty oceli nebo optimalizovat nastavení metalurgických procesů. Znalost rozpětí teplot mezi teplotou likvidu a teplotou solidu umožňuje predikci sklonu oceli k vnitřním vadám. Teplota rozpadu austenitu je důležitá z pohledu dalšího tepelného zpracování oceli. Všechny tyto aspekty vedou ke zlepšení jakosti vyráběné oceli, což je při neustále se zvyšujícím tlaku zákazníků na kvalitu vyráběné oceli velmi důležité [1, 2].

Teplotu fázových transformací ovlivňuje chemické složení taveniny oceli. Většina prvků tyto teploty snižuje. Teplotu rozpadu austenitu však mohou některé prvky naopak zvyšovat.

K určení teplot fázových transformací lze využít metody termické analýzy, dilatometrii nebo výpočtové metody (pomocí empiricky stanovených rovnic nebo softwaru). Výsledky získané po provedení výpočtového stanovení teplot fázových transformací oceli by měly být ověřeny i experimentálními metodami [1, 2].

Hlavním cílem příspěvku je stanovení teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm a návrh regresních rovnic pro výpočet daných teplot.

1. Charakteristika oceli 20MnCr5

Ocel 20MnCr5 je cementační ocel s přídavkem manganu a chromu, někdy bývá navíc modifikována určitým přídavkem boru. Je dobře kalitelná a po cementaci dosahuje dobré odolnosti proti opotřebení v důsledku vysoké povrchové tvrdosti. Používá se pro nejrůznější aplikace v převodech v rotačních strojích. Typické aplikace jsou těla ventilů, čerpadla a armatury, šrouby, ozubená kola, součástky obráběcích strojů, hřídele a jiné strojní díly [3, 4]. Chemické složení oceli použité k výpočtům je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli 20MnCr5 použité k výpočtům [3, 4]
Tab. 1 Chemical composition of analyzed steel grade 20MnCr5

	Chemické složení oceli 20MnCr5 [hm. %]						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu
Rozmezí	0,17 – 0,22	≤ 0,40	1,10 – 1,40	≤ 0,035	≤ 0,035	1,00 – 1,30	≤ 0,40
min.	0,17	0,00	1,10	0,000	0,000	1,00	0,00
prům.	0,20	0,20	1,25	0,018	0,018	1,15	0,20
max.	0,22	0,40	1,40	0,035	0,035	1,30	0,40

2. Výpočet teplot likvidu a solidu za pomoci empirických rovnic

Empirické rovnice jsou většinou odvozeny pomocí regresní analýzy z laboratorně naměřených údajů pro konkrétní druh oceli. Proto takto stanovená rovnice poskytuje dobré výsledky jen pro studovanou ocel. V případě změny chemického složení oceli nemusí

regresní rovnice poskytnout věrohodný výpočet teploty likvidu v požadované přesnosti. Dalším problémem může být jednoduchá forma rovnic, které jsou často lineárními funkcemi složení, a tedy použitelné pouze na slitiny s méně rozmanitým chemickým složením [1].

2.1 Výpočet teplot likvidu

Empirických rovnic pro výpočet teplot likvidu existuje mnoho (od více různých autorů). V práci [5] jsou uvedeny rovnice použité k našim výpočtům a v tab. 2 jsou uvedeny teploty likvidu stanovené za pomoci těchto empirických rovnic.

Tab. 2 Teploty likvidu vypočítané za pomoci empirických rovnic
Tab. 2 Liquidus temperatures determined using empirical equations

Empirické rovnice	Vypočítané teploty likvidu pro ocel 20MnCr5 [°C]			
	T_L (min. hm.%)	T_L (prům. hm.%)	T_L (max. hm.%)	ΔT_L (min. hm.%) – (max. hm.%)
T. Myslivec	1518	1511	1504	14
L. Šmrha	1515	1507	1501	14
CLESIM	1513	1505	1499	14
TECTIP	1514	1507	1502	12
W. Dubovick	1517	1510	1504	12
J. P. Aymard	1516	1508	1502	14
W. Rosser	1521	1514	1509	12
Vest Alpine	1515	1508	1503	12
VSŽ Košice	1518	1507	1501	17

Z výsledků uvedených v tab. 2 je patrné, že chemické složení oceli má na teplotu likvidu oceli 20MnCr5 značný vliv. Rozdíl této teploty při minimálním a maximálním obsahu přítomných prvků (viz obsahy v tab. 1) může být v našem případě až 17 °C (v případě výpočtu za pomoci rovnic VSŽ Košice).

Je zde také vidět rozdíl mezi vypočítanými teplotami likvidu na základě použité empirické rovnice, který může dosahovat až 10 °C (v případě maximálního možného chemického složení). Tyto rozdíly způsobuje fakt, že každý z autorů ve své rovnici zohledňuje vliv jiných prvků a používá jejich různé násobky. Proto je pro přesnější stanovení teplot likvidu pro použití v praxi doporučováno tyto hodnoty ověřit i za pomoci dostupné termodynamické databáze a experimentálního měření.

2.2 Výpočet teplot solidu

Empirických rovnic pro výpočet teplot solidu existuje (stejně jako u výpočtu teploty likvidu) více druhů (od různých autorů). Avšak na rozdíl od stanovení rovnic pro výpočet teplot likvidu je stanovení empirických rovnic pro výpočet teplot solidu velmi obtížné, a to z důvodu nerovnovážných podmínek při ohřevu nebo ochlazování. V práci [6] jsou uvedeny rov. (11) až (15) použité k našim výpočtům. V tab. 3 jsou uvedeny teploty stanovené solidu za pomoci empirických rovnic.

Tab. 3 Teploty solidu vypočítané za pomoci empirických rovnic
Tab. 3 Solidus temperatures determined using empirical equations

Empirické rovnice	Vypočítané teploty solidu pro ocel 20MnCr5 [°C]			
	T_S (min. hm.%)	T_S (prům. hm.%)	T_S (max. hm.%)	ΔT_S (min. hm.%) – (max. hm.%)
(11)	1492	1477	1464	28
(12)	1457	1435	1418	39
(13)	1484	1467	1453	31
(14)	1499	1467	1438	61
(15)	1458	1436	1419	39

Z výsledků v tab. 3 je vidět značný rozdíl mezi teplotami solidu vypočítanými podle použité empirické rovnice. Teplotní rozdíl může mezi maximální a minimální hodnotou T_S při minimálním zastoupení prvků dané jakosti činit až 42 °C, resp. až 46 °C při maximálním možném zastoupení prvků pro zvolené chemické složení oceli.

Je tedy zřejmé, že výsledky těchto výpočtů není možné využít. Proto je nutné použít jiný způsob stanovení teploty solidu, která hraje roli při nastavení podmínek ochlazování oceli, a tedy velikosti objemových vad v předlitcích či ingotech, nebo též při stanovení nulové pevnosti oceli, jejíž znalost je důležitá pro volbu podmínek tváření.

3. Výpočet teplot likvidu a teplot solidu za pomoci termodynamické databáze CompuTherm

Pro výpočet požadovaných teplot fázových transformací oceli 20MnCr5 bylo využito termodynamické databáze CompuTherm (verze 13.5.5), která je součástí softwaru ProCAST (verze 2018.0) dostupného na katedře metalurgie a slévárnictví Fakulty materiálů-technologické VŠB – TU Ostrava.

Tento program umožňuje po zadání chemického složení oceli vypočítat termofyzikální vlastnosti oceli a popřípadě sledovat změny požadovaných vlastností po úpravě chemického složení. Mezi vypočítatelné parametry patří teplota likvidu, teplota solidu, teploty rozpadu austenitu, hustota, entalpie, viskozita nebo tepelná vodivost v závislosti na teplotě. Výpočet lze provést pro kovové materiály na bázi Al, Fe, Ni, Ti, Mg nebo Cu.

U oceli se používá výpočet na bázi Fe, kde je možné dále definovat obsah těchto prvků: Al, B, C, Co, Cr, Cu, Mg, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, S, Si, Ti, V, W [5, 7].

Výpočty v CompuThermu jsou uskutečňovány třemi různými mikrosegregačními modely Scheil, Lever a Back Diffusion. Model Scheil neuvažuje s difuzí v pevné fázi, naproti tomu model Lever počítá s velmi dobrou difuzí v pevné fázi. Oba tyto modely předpokládají buď úplné míchání, nebo nekonečnou difuzi v kapalině. Model Back Diffusion je definován rychlostí chlazení. Použitím různých metod výpočtu pro stejnou slitinu můžeme dostat odlišné termofyzikální vlastnosti. Při výpočtech za pomoci modelu Lever se předpokládá změna tuhé fáze austenitu na ferit. Modely Scheil a Back Diffusion s touto změnu nepočítají, a proto nejsou příliš vhodné pro výpočet teploty likvidu a solidu oceli [5, 7].

3.1 Výpočet teplot likvidu

V tab. 4 jsou uvedeny teploty likvidu stanovené za pomoci termodynamické databáze CompuTherm.

Jak je z tab. 4 patrné, teploty likvidu se při použití různých modelů jen velmi málo liší (maximálně o 1 °C), a všechny tři mikrosegregační modely jsou tedy pro její výpočet vhodné.

Tab. 4 Teploty likvidu vypočítané za pomoci databáze CompuTherm
Tab. 4 Liquids temperatures determined using CompuTherm database

Vypočítané teploty likvidu pro ocel 20MnCr5 [°C]				
CompuTherm	T_L (min. hm.%)	T_L (prům. hm.%)	T_L (max. hm.%)	ΔT_L (min. hm.%) – (max. hm.%)
Scheil	1517	1508	1500	17
Lever	1516	1508	1499	17
Back Diffusion	1517	1508	1500	17

Teplota likvidu při minimálním obsahu prvků v mezích dané oceli činí cca 1517 °C, při maximálním zastoupení prvků v dané oceli klesá teplota likvidu na 1500 °C. Při použití empirických rovnic činila teplota likvidu průměrně 1516 °C, resp. 1502 °C. Teplotní rozdíl tedy činí 17 °C.

Pokud by tedy byla daný druh oceli odlévána plynulým způsobem, pak tavební chemické složení bude hrát zásadní roli při volbě licí teploty.

Dále je třeba si na základě získaných výsledků uvědomit, že pokud nemáme k dispozici termodynamickou databázi a ke stanovení teplot likvidu využíváme empirické rovnice dostupné v literárních zdrojích, je vhodné mít k dispozici více rovnic a výsledky zhodnotit jak z pohledu zastoupených prvků v rovnicích, tak i z pohledu druhu oceli, pro které byly empirické rovnice sestaveny. V případě výpočtu zvoleného druhu oceli jsou zprůměrované hodnoty teplot likvidu takřka rovny hodnotám získaným termodynamickým výpočtem, ale pro jiný druh oceli s odlišným chemickým složením nemusí být zprůměrování vhodné. To platí zejména, vezmeme-li v úvahu, že u výpočtu pomocí empirických rovnic činil rozdíl teploty likvidu podle různých rovnic až 10 °C. Z tohoto důvodu je vhodné, aby výpočty byly nejlépe vždy doplněny o experimentální studium teplot fázových transformací. Měření na skutečných vzorcích oceli může odhalit heterogenitu materiálu, a tedy i vliv chemického složení či podmínek ohřevu/ochlazování na skutečnou teplotu likvidu.

3.2 Výpočet teplot solidu

U metody Back Diffusion byla použita rychlost ochlazování 1 K·s⁻¹. V tab. 5 jsou uvedeny teploty solidu stanovené za pomoci termodynamické databáze CompuTherm.

Tab. 5 Teploty solidu vypočítané za pomoci databáze CompuTherm
Tab. 5 Solidus temperatures determined using CompuTherm database

Vypočítané teploty solidu pro ocel 20MnCr5 [°C]				
CompuTherm	T_S (min. hm.%)	T_S (prům. hm.%)	T_S (max. hm.%)	ΔT_S (min. hm.%) – (max. hm.%)
Scheil	1222	1125	1099	123
Lever	1488	1462	1448	40
Back Diffusion	1443	1425	1415	28

Z tab. 5 je vidět, že se výsledky při výpočtu teploty solidu v závislosti na použitém modelu velmi liší. Model Scheil není pro výpočet teplot solidu použitelný, což dokazují výrazné rozdíly ve výsledných teplotách ve srovnání s modelem Lever a Back Diffusion.

Model Scheil totiž neuvažuje difuzi v pevné fázi. Naproti tomu model Lever představuje podmínky za rovnovážného stavu a je pro stanovení teplot solidu nejvhodnější. U modelu Back Diffusion je nutná správná volba rychlosti ochlazování, která hraje roli zejména při plynulém odlévání. Rychlost ochlazování na povrchu plynule litého

předlitku se zásadně liší od rychlosti ochlazování v jeho středu. Obvykle se volí rychlost blízká rychlosti ochlazování středu předlitku, případně se volí střední hodnota. Jakou rychlostí je ochlazován střed plynule litého předlitku, lze přibližně stanovit např. pomocí numerického modelování. Při numerické simulaci je však třeba opět definovat termofyzikální vlastnosti oceli, které mohou výsledek do jisté míry zkreslit. Proto primárně nejvhodnější volbou zůstává výpočet pomocí Lever.

Za rovnovážných podmínek činí teplota solidu vypočítaná termodynamickou databází CompuTherm 1488 °C (pro minimální hm.% prvků v železe), resp. 1448 °C (pro maximální hm.% prvků v železe). Pokud doplníme teploty likvidu, které činily 1516 °C, resp. 1499 °C, pak rozsah dvoufázového pásma může kolísat v rozpětí 28 až 51 °C. Při větším rozsahu dvoufázového pásma hrozí u ocelových poloproduktů větší obsah makrosegregací i rozvinutější středová pórovitost.

4. Výpočet teplot počátku a konce rozpadu austenitu za pomoci termodynamické databáze CompuTherm

Austenit γ je jedním z intersticiálních roztoků železo-uhlík. Má mřížku kubickou plošně centrovanou a jeho struktura je tvořena pravidelnými zrní. Vyskytuje se v oceli při vyšších teplotách a vzniká tzv. austenitizací (přeměnou feriticko-cementické struktury) [8].

Při jeho ochlazování mohou vznikat různé fáze nebo strukturní složky. V závislosti na rychlosti ochlazování oceli může vznikat: perlit (nízká rychlost ochlazování), bainit (střední rychlost) nebo martenzit (vysoká rychlost ochlazování). Základem probíhajících přeměn je změna kubické plošně centrované mřížky železa γ na prostorově centrovanou mřížku železa α . Dále dochází také ke snížení obsahu uhlíku a ke vzniku cementitu [8, 9].

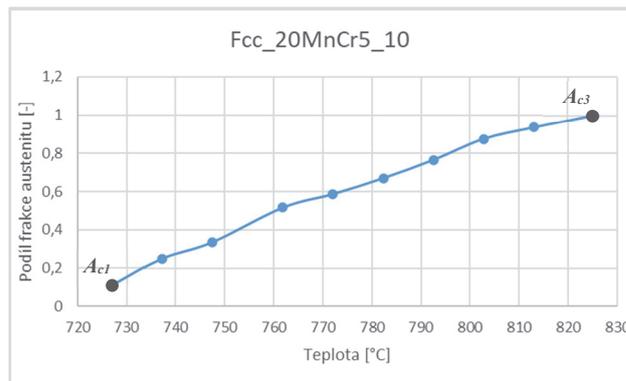
Rozpad austenitu probíhá u podeutektoidních ocelí s obsahem uhlíku 0,02 – 0,765 hm.%, kam patří i ocel 20MnCr5, v intervalu dvou teplot, a to mezi: teplotou počátku rozpadu austenitu A_{c3} a teplotou konce rozpadu austenitu A_{c1} [9].

Teploty A_{c3} a A_{c1} mohou být ovlivněny přítomností jednotlivých prvků v oceli. Prvky Ni, Mn nebo C jsou austenitotvorné, tudíž oblast austenitu rozšiřují, a snižují tak teploty počátku a konce rozpadu austenitu. Naopak prvky, jako je Si, S, P nebo Cu, patří mezi feritotvorné, oblast austenitu zužují, a zvyšují tak teplotu počátku a konce rozpadu. Cr patří rovněž mezi feritotvorné prvky, ale teplotu konce rozpadu austenitu zvyšuje a teplotu počátku rozpadu austenitu naopak snižuje [8].

Na obr. 1 je uveden příklad grafu rozpadu austenitu se znázorněním teplot A_{c3} a A_{c1} pro jednu z variant chemického složení oceli 20MnCr5 vypočítaný pomocí termodynamické databáze CompuTherm.

U dané oceli nabývají průměrné teploty hodnot 806 °C pro A_{c3} a 714 °C pro A_{c1} . Vypočítané teploty kolísají

v závislosti na chemickém složení až o 44 °C (v případě teploty A_{c3}).



Obr. 1 Ukázka grafu rozpadu austenitu (se znázorněním teplot A_{c3} a A_{c1}) získaného výpočtem v termodynamické databázi CompuTherm

Fig. 1 Example of austenite decomposition A_{c3} and final A_{c1} temperatures obtained by calculation in CompuTherm thermodynamic database

5. Stanovení regresních rovnic pro výpočet teplot fázových transformací

Pro stanovení regresních rovnic bylo použito výpočtu v databázi CompuTherm, kdy bylo pro ocel 20MnCr5 vytvořeno 66 různých variant chemického složení. Jedná se o minimální počet kombinací pro zahrnutí všech možností minimálního, průměrného a maximálního obsahu jednotlivých prvků v oceli a pro následné správné provedení regresní analýzy. K výpočtu bylo použito mikrosegregačního modelu Lever. Výsledné teploty likvidu a solidu software určil přímo, teploty počátku a konce rozpadu austenitu byly odečteny z grafu.

Pro zpracování dat metodou vícenásobné regresní analýzy bylo využito tabulkového procesoru Excel, který je součástí balíčku Microsoft Office.

Při výpočtech regrese uvažujeme se standardní hladinou významnosti $\alpha = 0,05$, tzn. 5% nespolehlivost výsledků (neboli 95% spolehlivost). Z výsledku, které tento program poskytne, hodnotíme statistickou významnost regresního modelu jako celku, a to pomocí Fisherova F-testu (Významnost F). Zde je také důležitý parametr Hodnota spolehlivosti R. Dále je hodnocena statistická významnost jednotlivých regresních koeficientů, a to za pomoci výsledků Studentova t-testu (t-Stat), kde je důležitým parametrem hladina významnosti t-testu (Hodnota P) [10].

Za pomoci uvedených testů a při zhodnocení uvedených parametrů lze určit, které aspekty mají na změnu teplot největší vliv a které naopak její hodnotu v podstatě nemění.

5.1 Regresní rovnice teploty likvidu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu likvidu oceli 20MnCr5 z 99,3 % a z 0,97 % ovlivňují teplotu likvidu další vlivy. Regresní koeficienty všech prvků nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P)

nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu likvidy statisticky významnou vlivnost. Největší vliv na teplotu likvidy má v tomto případě křemík. Získaná rovnice pro T_L má tento tvar:

$$T_L = 1537,4 - 16,4 \cdot (\%Si) - 82,8 \cdot (\%C) - 5,1 \cdot (\%Mn) - 3,7 \cdot (\%Cu) - 40,5 \cdot (\%S) - 31,5 \cdot (\%P) - 1,4 \cdot (\%Cr) \quad (1)$$

5.2 Regresní rovnice teploty solidu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu solidu oceli 20MnCr5 z 89,7 % a z 10,3 % ovlivňují teplotu solidu další vlivy. Vyšší podíl vlivu jiných aspektů je u teploty solidu způsoben reakcemi probíhajícími ve dvoufázovém pásmu. Regresní koeficienty prvků Si, S, C, P, a Cu nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P) nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu solidu statisticky významnou vlivnost. Tuto podmínku nesplňují koeficienty prvků Cr a Mn, a tudíž nebude jejich vliv na teplotu solidu nijak zásadní. Získaný vztah pro T_S má tento tvar:

$$T_S = 1515,9 - 29,3 \cdot (\%Si) - 316,2 \cdot (\%S) - 158 \cdot (\%C) - 193,3 \cdot (\%P) - 7,6 \cdot (\%Cu) - 1,7 \cdot (\%Cr) - 1,1 \cdot (\%Mn) \quad (2)$$

5.3 Regresní rovnice teploty počátku rozpadu austenitu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu počátku rozpadu austenitu A_{C3} oceli 20MnCr5 z 94 % a z 6 % ovlivňují teplotu A_{C3} další vlivy. Regresní koeficienty prvků C, Mn, Cu, a Cr nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P) nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu A_{C3} statisticky významnou vlivnost. Tuto podmínku nesplňují koeficienty prvků S, P a Si, a tudíž nebude jejich vliv na teplotu A_{C3} nijak zásadní. Získaná rovnice pro A_{C3} má tento tvar:

$$A_{C3} = 894,3 - 257,5 \cdot (\%C) - 27,8 \cdot (\%Mn) - 19,4 \cdot (\%Cu) - 9,3 \cdot (\%Cr) + 25,7 \cdot (\%S) + 164,3 \cdot (\%P) + 34,9 \cdot (\%Si) \quad (3)$$

5.4 Regresní rovnice teploty konce rozpadu austenitu

Chemické složení má statisticky významný vliv na teplotu konce rozpadu austenitu A_{C1} oceli 20MnCr5 z 90,9 % a z 9,1 % ovlivňují teplotu A_{C1} další vlivy. Regresní koeficienty prvků Mn, Cu, a C nabývají v hladině významnosti t-testu (Hodnota P) nižších hodnot, než je zvolená hladina významnosti α . Proto mají na teplotu A_{C1} statisticky významnou vlivnost. Tuto podmínku nesplňují koeficienty prvků P, S, Si, a Cr, a tudíž nebude jejich vliv na teplotu A_{C1} nijak zásadní. Získaný vztah pro A_{C1} má tento tvar:

$$A_{C1} = 728,6 - 34,6 \cdot (\%Mn) - 10,7 \cdot (\%Cu) - 59 \cdot (\%C) + 6,4 \cdot (\%P) + 89,4 \cdot (\%S) + 11,7 \cdot (\%Si) + 32,8 \cdot (\%Cr) \quad (4)$$

Závěr

V práci jsou uvedeny vypočítané teploty likvidy, solidu a teploty počátku a konce rozpadu austenitu pro ocel 20MnCr5. Tyto teploty jsou vypočítány za pomoci empirických rovnic a termodynamické databáze CompuTherm.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že při výpočtu jednotlivých teplot při použití empirických rovnic má chemické složení na změny hodnot daných teplot značný vliv.

Rovněž se výsledné teploty liší v závislosti na použitém způsobu výpočtu. Teplota likvidy pro průměrný obsah prvků v mezích dané oceli při výpočtu pomocí databáze CompuTherm činí 1508 °C. Při použití empirických rovnic pak byla teplota likvidy průměrně 1509 °C. Teplotní rozdíl tedy činí 1 °C. Teplota solidu pro průměrný obsah prvků v mezích dané oceli při výpočtu pomocí databáze CompuTherm (při nezahrnutí výpočtu pomocí mikrosegregačního modelu Scheil, který se ukázal jako nevhodný pro výpočet teploty solidu) je 1444 °C. Při použití empirických rovnic měla teplota solidu hodnotu průměrně 1456 °C. Teplotní rozdíl je tedy 12 °C.

Dále jsou v práci uvedeny výsledné regresní rovnice pro výpočet teplot fázových transformací při definovaném chemickém složení. Regresní rovnice byly určeny pomocí regresní analýzy 66 možných variant chemického složení oceli 20MnCr5 s využitím termodynamické databáze CompuTherm. Použití uvedených rovnic pro výpočty u oceli s chemickým složením mimo rozmezí v tab.1 je v zásadě možné. Je však nutno počítat se sníženou přesností, a to tím více, čím větší je odchylka od deklarovaného rozpětí chemického složení oceli 20MnCr5.

Poděkování

Práce vznikla díky projektu CZ.02.1.01/0.0/0.0/17_049/0008399 z finančních fondů EU a ČR poskytovaných „Operačním programem Výzkum, vývoj a vzdělávání, Výzvy 02_17_049 Dlouhodobá mezisektorová spolupráce pro ITI, řídicí orgán: Česká Republika - Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy“. Práce vznikla též za podpory projektu CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002706 FMT VŠB-TUO - Strategický rozvoj doktorských studijních programů a za finanční podpory projektů „Studentské grantové soutěže“ čísel SP2021/39 a SP2021/41, a projektu IRP – RPP (27 RPP-TO - 2 a).

Literatura

- [1] GRÝC, K., SMETANA, B., ŽALUDOVÁ, M. et al. Thermal Analysis of High Temperature Phase Transformations of Steel. *Metalurgija*, 52 (2013) 4, 445-448, ISSN 0543-5846. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/279716988_Thermal_analysis_of_high_temperature_phase_transformations_of_steel
- [2] MIETTINEN, J., HOWE, A. A. Estimation of Liquidus Temperatures for Steels Using Thermodynamic Approach. *Ironmaking & Steelmaking* [online], 287 (2000) 3, 212-227 ISSN 1743-2812. [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/030192300677516>
- [3] Ovako product catalog. *Ovako*. [online] [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://www.ovako.com/globalassets/global-blocks/ovako-product-catalog.pdf>

- [4] 20MnCr5 - Standards. *VIRAT Special Steels*. [online] [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://www.viratsteels.com/20mncr5-steel.html>
- [5] TKADLEČKOVÁ, M., MICHALEK, K. aj. *Základy 3D modelování metalurgických procesů*, 1. vyd. (Studijní opora) Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2013, 100 s. ISBN 978-80-248-3350-7.
- [6] MARTINÍK, O., SMETANA, B., DOBROVSKÁ, J. et al. Prediction and Measurement of Selected Phase Transformation Temperatures of Steels. *Journal of Mining and Metallurgy. Section B: Metallurgy* [online], 53 (2017) 3, 391-398. ISSN 1450-5339. [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-5339/2017/1450-53391700030M.pdf>
- [7] ProCAST 2018. (User's manual). ESI Group.
- [8] SOJKA, J. *Nauka o materiálu I*. (Studijní opora) Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2008, 195 s.
- [9] JONŠTA, Z. *Nauka o kovech II*, 2. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2000. 116 s. ISBN 80-7078-958-1.
- [10] Regresní analýza – Statistika II. *k101.unob.cz* [online] [cit. 2020-8-24]. Dostupné z: <https://k101.unob.cz/~neubauer/pdf/regrese1.pdf>

LIBERTY Steel získala první výrobní závod v Polsku

Nová huť, leden 2021, ročník XII, číslo 1, s. 5, 19

Skupina LIBERTY Steel si od insolvenčního správce pronajala do června 2021 jednu z největších polských hutí, Hutu Czestochowa. V roli nájemce tak nahradila polskou skupinu napojenou na čínský kapitál, která měla od září 2009 huť v pronájmu, ale nedokázala ji dostat do černých čísel, takže ji insolvenční správce krátce před Vánoci vypověděl smlouvu.

Guptova skupina LIBERTY Steel hodlá huť koupit a v souladu s postupem, který určil soud, připravuje koupi hutí. Podle polských informací nabídla Guptova skupina za huť 222 mil. zlotých (asi 1,3 mld. Kč). Po hospodaření předchozího pronajímatele zůstaly dluhy ve výši asi 100 mil. zlotých (asi 600 mil. Kč). Gupta usiloval o koupi hutí již v roce 2019.

Huta Czestochowa je výrobce tlustých plechů používaných typicky pro výrobu nádrží a kotlů, s výrobní kapacitou 1,2 mil. tun/r. a je tak konkurentem podniku Vítkovice Steel, který má stejný sortiment. Má 1200 zaměstnanců. Technologicky je vybavena elektrickou obloukovou pecí s kapacitou 700 kt/r oceli, pracující se šrotem.

Blízká Ostrava hraje důležitou roli při opětovném rozjezdu jihopolské hutě, která od loňského října stála. Podle informací z Polska k obnovení provozu již došlo dodávkou asi 7000 tun kontilitých bram z Liberty Ostrava, ze kterých byly vyválcovány první tlusté plechy z oceli vyrobené v Liberty Ostrava.

Díky tomu, že Huta Czestochowa leží v blízkosti dalších podniků LIBERTY, zejména pak hutě Liberty Ostrava, bude moci využít všech synergií a zkušeností týmů pro prodej, marketing a distribuci napříč Evropou.

Nová laboratoř vysokoteplotních korozních procesů na Fakultě materiálů, metalurgie a recyklace Technické univerzity v Košicích

Od začátku letošního roku využívají studenti Fakulty materiálů, metalurgie a recyklace Technické univerzity v Košicích novou moderní laboratoř vysokoteplotních korozních procesů.

Ve spolupráci s Výzkumně-vývojovým centrem ocelárny Podbrezová, která je výrobcem trubek pro energetický průmysl, a Ústavem materiálů a inženýrství kvality FMRR TUKE byla navržena koncepce zařízení pro vysokoteplotní korozní testy energetických ocelí, které je klíčovým zařízením nové moderní laboratoře.

Vizuál laboratoře tematicky dotvořil a designově podchytil PaedDr. Mgr. art. Boris Vaitovič, ArtD. z Fakulty umění TUKE, který dlouhodobě zastřešuje design FMRR.

Jde o jedinečné zařízení na testování různých typů energetických ocelí v simulovaných podmínkách spalování fosilních paliv a biomasy. Laboratoř zároveň poskytuje další možnosti testování ocelí v různých jiných typech atmosfér při teplotách do 650 °C a dlouhodobých expozičních.

Výstupy LVKP budou tvořit základ doporučení pro výrobce produktů z energetických ocelí, které zajistí vysokou spolehlivost tepelně-energetických zařízení. Zároveň poskytnou relevantní informace pro provozovatele zařízení, které pracují v korozní náročných podmínkách při zvýšených teplotách.

- z tiskové zprávy -