

## Studium termofyzikálních vlastností ocelí a strusek při zpracování technologií ESR

### Study of the Thermophysical Properties of the Steel and Slags during ESR Technology Processing

Ing. Josef Walek, Ph.D.<sup>1</sup>; Ing. Adéla Odehnalová<sup>2</sup>; Ing. Michal Sniegoň<sup>1</sup>; Ing. Lucie Chudobová<sup>1</sup>; Ing. Jirí Cupek<sup>1</sup>; Ing. František Vrána<sup>2</sup>; Ing. Pavel Fila, Ph.D.<sup>2</sup>; Ing. Martin Balcar, Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta materiálově-technologická, Katedra metalurgických technologií, 17. listopadu 2712/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Česká republika

<sup>2</sup> ŽĐAS, a.s., Strojírenská 675/6, 591 01 Žďár nad Sázavou, Česká republika

Článek se zaměřuje na porovnání termofyzikálních vlastností přetavované oceli a dostupných struskových systémů při zpracování technologií ESR (Electro Slag Remelting). Práce jsou realizovány v rámci řešení projektu TA ČR pod názvem Optimalizace technologických parametrů elektrostruskového přetavování ocelí pro speciální použití v součinnosti VŠB-TUO a ŽĐAS, a.s. Struskové systémy v procesu ESR plní řadu důležitých metalurgických i procesních funkcí. Mezi hlavní složky ESR strusek patří dle způsobu zpracování  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{CaO}$ . Studium je zaměřeno na stanovení termofyzikálních vlastností přetavovaných ocelí a strusek s využitím softwaru FactSage 8.2. Zkoumanými vlastnostmi byly teplota tání rafinačních strusek a viskozita tavenin strusek při definovaném rozpětí chemického složení. Experimentální určování vlastností ocelí a strusek při procesu ESR je technicky i finančně náročné, a proto je vhodné využít různých termodynamických a simulačních softwarů, které mají uplatnění při simulaci metalurgických procesů v oblastech sekundární a terciární metalurgie.

**Klíčová slova:** elektrostruskové přetavování; ESR; FactSage; termofyzikální vlastnosti

The article focuses on comparing the thermophysical properties of remelted steel and available slag systems when processed by ESR (Electro Slag Remelting) technology. The work is carried out as part of the TA CR project under the title Optimization of technological parameters of electroslag remelting of steels for special use in cooperation with VSB-TUO and ŽĐAS, a.s. This article outlines the principle of ESR technology and the importance of molten slag for process optimization. Slag systems in this process fulfill a number of important metallurgical and process functions. The main components of ESR slag include  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , and  $\text{CaO}$  depending on the processing method. The principle of ESR technology and the importance of molten slag for process optimization to increase steel cleanliness are outlined here. The aim of this work is therefore to analyze the main thermophysical properties of steel and molten slag used in the ESR process. The article deals with determining the properties of steel and slag using the FactSage 8.2 calculation software. The use of thermodynamic and simulation software when simulating the ESR process is very advantageous, given the technical and financial demands of the mentioned process. Calculations performed in FactSage software include: calculation of liquidus and solidus temperature of steel and slag, calculation and construction of quaternary diagrams, and calculation of viscosity. The influence of the chemical composition on the melting temperatures of the slag was evident from the Quaternary diagrams. The values of the calculated dynamic viscosity of slag melts, within a defined range of chemical composition, strongly depend on temperature. Furthermore, the study of the metallographic cleanliness and evaluation of the mechanical properties of CrNiMoV structural steel is investigated, where it was proven that the ESR process significantly improves the mechanical properties of the steel compared to the quality of steel produced by VD (Vacuum Degassing) technology.

**Key words:** Electro Slag Remelting; ESR; FactSage; thermophysical properties

#### 1. Technologie elektrostruskového přetavování ocelí

V srpnu roku 2022 bylo na Ocelárně Divize metalurgie společnosti ŽĐAS, a.s. uvedeno do provozu zařízení pro elektrostruskové přetavování (dále jen ESR – Electro Slag Remelting). Výrobce a dodavatelem je společnost CONSARC ze skupiny Inductotherm (USA). Elektrostrus

kově přetavování je zavedený proces tzv. terciární metalurgie, určený pro výrobu mnoha druhů ocelí s velmi vysokými požadavky na užité vlastnosti a provozní spolehlivost [1, 2].

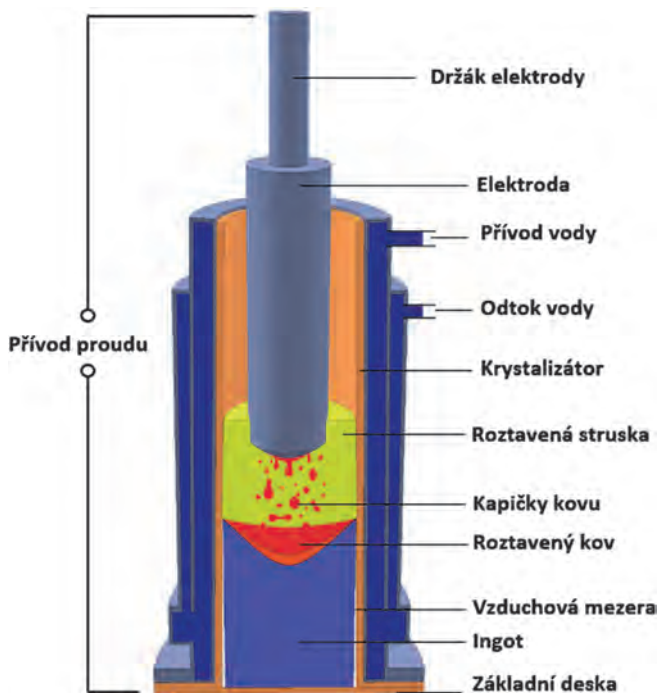
Princip technologie ESR spočívá v přetavování tvářené nebo lité kovové elektrody (ocelový ingot), která se postupně odtavuje ve vodou chlazeném krystalizátoru působením roztavené přehřáté strusky. Hlavním cílem ESR

procesu je dosažení vyšší čistoty a chemické homogenity přetavovaného kovového polotovaru. Průběh přetavování technologií ESR a kvalitu výsledného ingotu významně ovlivňují parametry použité strusky. Ve strusce probíhá při procesu ESR řada chemických a elektrochemických reakcí. Na strusky pro ESR technologii jsou proto kladeny vysoké požadavky nejen z pohledu chemického složení, ale také z hlediska jejich fyzikálních a fyzikálně-chemických vlastností [3-5].

Z pohledu funkce strusek pro ESR jsou pro komerčně dostupné typy strusek definovány a kontrolovány konkrétní vlastnosti. Nejdůležitějším požadavkem na strusky pro ESR je teplota tání, která musí být výrazně nižší, než je teplota tání přetavovaného kovu. Pracovní teplota strusky, což je teplota, při které probíhá proces ESR, musí být naopak vyšší než teplota tání kovu, a to přibližně o 200 až 300 °C. Strusky by měly být chemicky homogenní a neměly by obsahovat nebo následně vytvářet sloučeniny

s vysokou teplotou tání, aby při tavení strusky probíhalo snadně rozpouštění všech složek obsažených ve strusce a došlo k rychlému vzniku potřebné taveniny. Strusky s nevyhovujícími parametry z pohledu teploty tání a následné tvorby taveniny by měly negativní vliv na průběh procesu tavení kovové elektrody, povrchovou kvalitu vyráběného ingotu a chemickou čistotu přetaveného kovu [6-8].

Rozměry a hmotnost přetavených ingotů jsou definovány tvarem a velikostí krystalizátorů a použitých elektrod pro přetavení. Elektrody pro přetavení je možné připravit buď kováním (nákladnější varianta) nebo standardním odléváním oceli do kokil vhodných rozměrů pro danou velikost krystalizátoru. Krystalizátory pro výrobu standardních kovářských ESR ingotů jsou kruhového průřezu s konicitou typu „A“ [9-11]. Schéma zařízení ESR je znázorněno na obr. 1. Obr. 2 uvádí foto zařízení instalovaného ve ŽĎAS, a.s.



Obr. 1 Schéma zařízení ESR [2]  
Fig. 1 The scheme of the ESR device [2]



Obr. 2 Zařízení ESR (CONSARC) ve ŽĎAS, a.s.  
Fig. 2 ESR equipment (CONSARC) in ŽĎAS, a.s.

## 2. Experimentální studium termofyzikálních vlastností ESR procesu

Experimentální práce byly zaměřeny na určení vlastností strusek a ocelí při procesu ESR s využitím softwaru FactSage 8.2. Pro výpočty struskových systémů byly definovány strusky s různými poměry základních složek v kvaternárním systému  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ .

Studium bylo věnováno struskám v různých poměrech základních složek. Hlavními složkami tradičních,

komerčně dostupných strusek ESR jsou obvykle fluorid vápenatý ( $\text{CaF}_2$ ), oxid hlinitý ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), oxid vápenatý ( $\text{CaO}$ ) a oxid hořečnatý ( $\text{MgO}$ ). Ostatní složky, přidávané buď záměrně, nebo jako nežádoucí doprovodné sloučeniny a prvky, nebyly v rámci experimentálních výpočtů zohledňovány. Příklady chemického složení strusek z komerční nabídky firmy WACKER Chemie A. G. Německo (ESR 2052, ESR 3002 ELH) a firmy ISOMAG GmbH, Rakousko (AKF 235) jsou uvedeny v tab. 1.

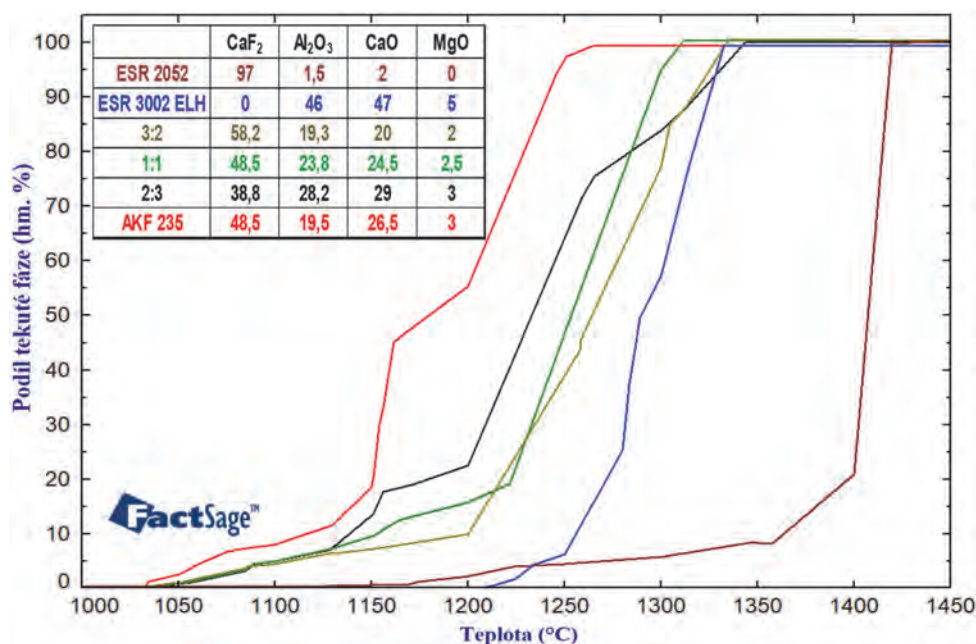
Tab. 1 Příklad chemického složení komerčních ESR strusek [hm. %]  
Tab. 1 Example of the chemical composition of the commercial ESR slags [wt.%]

ESR 2052												
CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	H <sub>2</sub> O	C	P	S	Pb	Bi
97	1,5	2	0	0,5	0	0,2	0,005	0,03	0,005	0,03	0,0002	0,0002
ESR 3002 ELH												
CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	H <sub>2</sub> O	C	P	S	Pb	Bi
0	46	47	5	0,8	0,2	0,3	0,005	0,03	0,005	0,05	0	0
AKF 235												
CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	C	P	S	Pb	Bi
48,5	19,5	26,5	3	1	0,3	0,5	0,05	0,1	0,05	0,05	0,005	0

## 2.1 Stanovení intervalu tání ESR strusek

S použitím modulu Equilib softwaru FactSage 8.2 byly vypočteny teploty solidu a likvidu strusek vytvořených jako směsi strusek ESR 2052 a ESR 3002 ELH v poměrech 2:3, 1:1 a 3:2. Směs strusek ESR 2052 a ESR 3002 ELH v poměru 2:3 tvoří komplex s obsahem 40 hm. % CaF<sub>2</sub>, 30 hm. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 30 hm. % CaO, v poměru 1:1 komplex s obsahem 50 hm. % CaF<sub>2</sub>, 25 hm. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 25 hm. % CaO

a směs v poměru 3:2 pak komplex s obsahem 60 hm. % CaF<sub>2</sub>, 20 hm. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20 hm. % CaO. Vypočtené hodnoty těchto strusek byly následně porovnány s hodnotami strusky AKF 235 dle tab. 1, která je aktuálně využívána v provozních podmínkách ŽDAS, a.s. Výpočty intervalů tání strusek byly provedeny v rozmezí teplot od 1000 °C do 1450 °C v kroku 100 °C. Na obr. 3 jsou graficky znázorněny intervaly tání pro porovnávané ESR strusky.



Obr. 3 Rozmezí teplot tání ESR strusek

Fig. 3 Range of the melting temperatures of the ESR slags

Jak je patrné z obr. 3, tání strusek probíhá v určitých intervalech teplot s příslušným rostoucím podílem tekuté fáze. Z pohledu procesu ESR je významným parametrem teplota likvidu strusky a jako další podstatný parametr je interval teplot mezi solidem a likvidem. Intervaly teplot tání jsou výrazně ovlivněny chemickým složením strusky. Teploty solidu strusek byly vypočteny v intervalu 1210 až 1030 °C. Teploty likvidu se pohybovaly v rozpětí 1261 až 1419 °C. Rozpětí mezi teplotou solidu a likvidu jednotlivých strusek se pohybovalo od 124 do 299 °C. Na základě provedených výpočtů je možné konstatovat, že intervaly teplot mezi

likvidem a solidem jsou pro sledované směsi výrazně rozdílné, což bude výrazně ovlivňovat kvalitu ingotu zejména v počáteční fázi tavení procesu ESR.

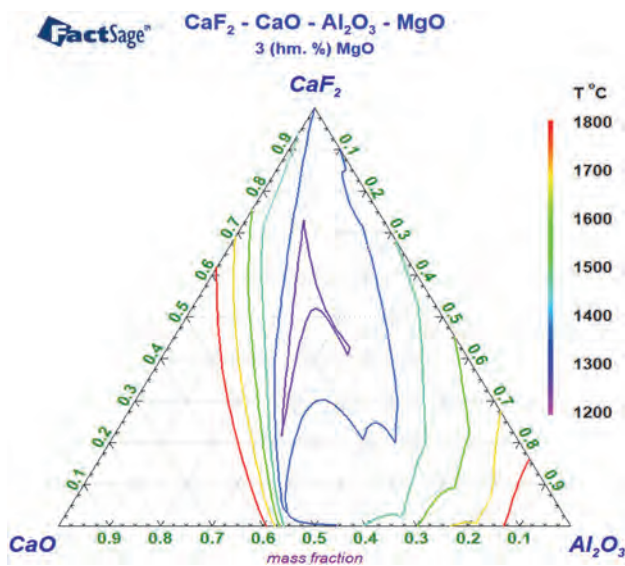
## 2.2 Stanovení solidu a likvidu ESR strusek pomocí kvaternárních diagramů

Pro grafické vyjádření změn teplot solidu a likvidu strusek v závislosti na chemickém složení je možné využít kvaternární diagramy. Kvaternární diagram umožňuje vyhodnocovat čtyř komponentní systémy. V případě ESR

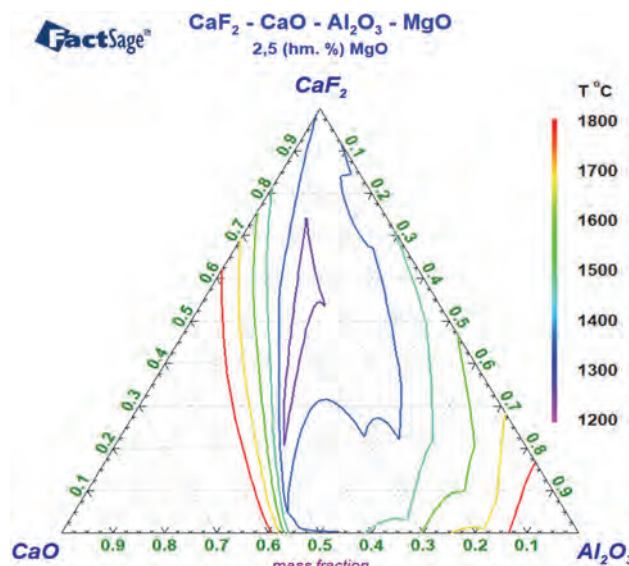
strusek se jedná o tříložkový systém hlavních oxidů  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  se zahrnutím vlivu dalšího oxidu s konstantním obsahem, v konkrétním případě MgO. V modulu Phase Diagram byly provedeny výpočty pro vykreslení kvaternárních diagramů struskového systému  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$  ve zvoleném rozmezí teplot 1200 až 1800 °C.

Kvaternární diagramy struskového systému  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  s konstantními obsahy MgO pro teploty 1200 až 1800 °C jsou zobrazeny na obr. 4 až 7. Barvy

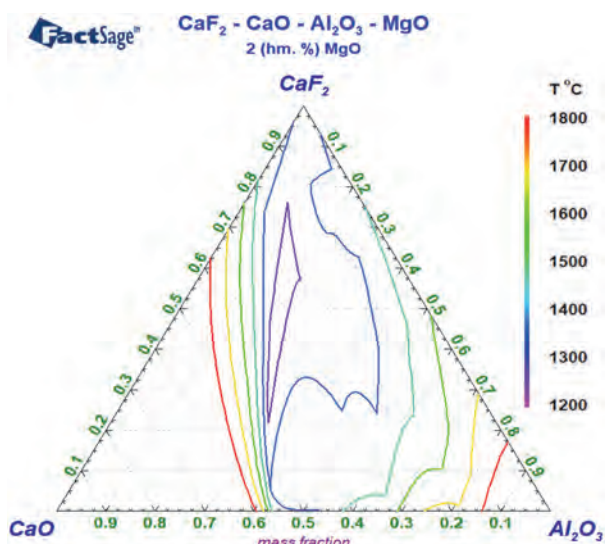
křivek v diagramech vykreslují průběh izoterm pro odpovídající teplotní rozmezí zvolené stupnice. Horní teplota intervalu stupnice na úrovni 1800 °C byla zvolena s ohledem na pracovní teploty ESR strusek v reálných podmínkách, které se pohybují v rozmezí 1750 až 1800 °C. Pro technickou praxi jsou požadavky na strusky ESR spojovány především s teplotou likvidu přetavovaného materiálu. Teplota tání strusky ESR je obvykle požadována nižší cca o 100 °C pod teplotou likvidu oceli. Další zkoumání strusek proto bylo zaměřeno na rozpětí teplot 1100 až 1450 °C.



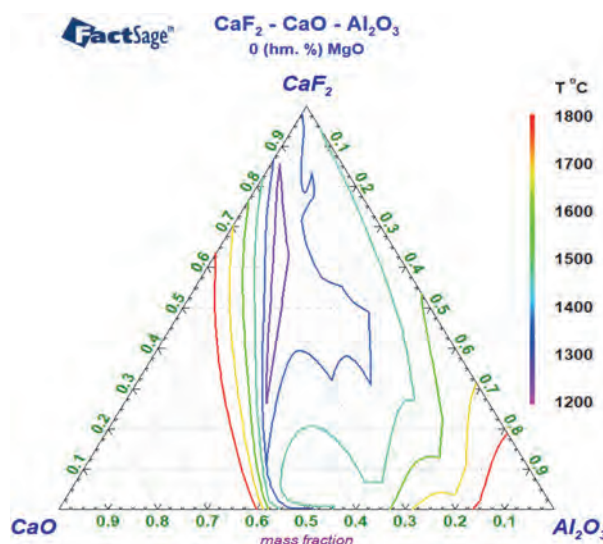
Obr. 4 Kvaternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  s 3 hm. % MgO  
Fig. 4 Quaternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  with 3 wt.% MgO



Obr. 5 Kvaternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  s 2,5 hm. % MgO  
Fig. 5 Quaternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  with 2.5 wt.% MgO



Obr. 6 Kvaternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  s 2 hm. % MgO  
Fig. 6 Quaternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  with 2 wt.% MgO



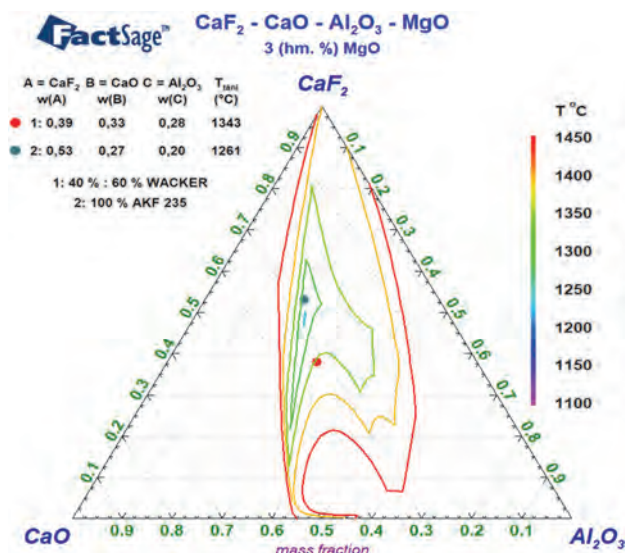
Obr. 7 Ternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  s 0 hm. % MgO  
Fig. 7 Ternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  with 0 wt.% MgO

Z uvedených obr. 4 až 7 je zřejmé, že rostoucí koncentrace MgO v daném struskovém systému má značný vliv na posun a rozsah oblastí teplot tání pod 1400 °C a při vyšších

teplotách tání není vliv MgO již významný. Jelikož nad teploty 1450 °C jsou veškeré provozně využívané strusky plně tekuté, byly další výpočty pro vykreslení kvaternár-

ních diagramů a studium posuvu křivek solidu a likvidu při zahrnutí vlivu MgO zaměřeny na teplotní rozsah 1100 až 1450 °C v kroku 50 °C.

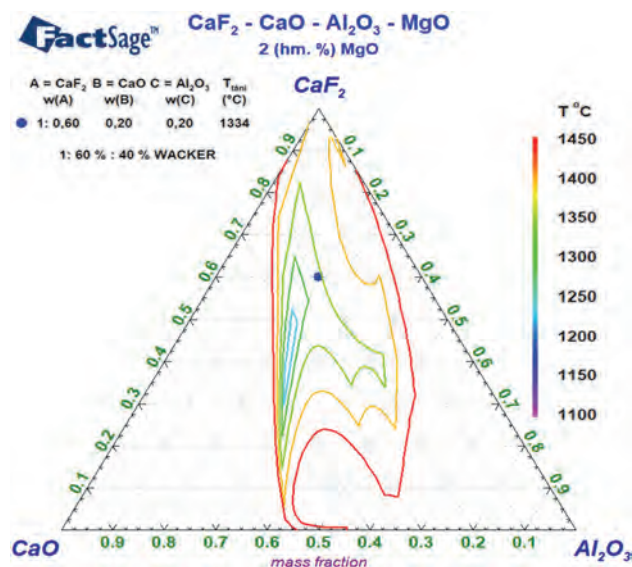
Obr. 8 až 10 uvádí kvaternární diagramy struskového systému  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  s měnicí se obsahy MgO. Kvaternární diagramy znázorňují i teplotu tání zkoumaných strusek a koncentrace jednotlivých složek strusky zmiňující legenda.



Obr. 8 Kvaternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  pro poměr strusek WACKER 2:3 a strusku AKF 235

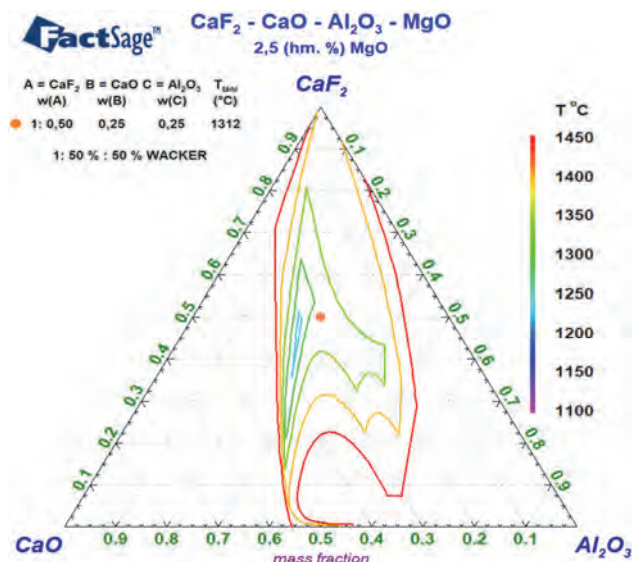
Fig. 8 Quaternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  for ratio of the slag WACKER 2:3 and slag AKF 235

rozsah teplot 1200 °C až 1250 °C. Změna koncentrace MgO ovlivňuje průběh izotermických hranic oblastí zejména v horní části kvaternárního diagramu, kde se nachází vyšší podíly složky  $\text{CaF}_2$  s nejnižší teplotou tání ze tří zastoupených hlavních složek struskového systému. Nad teplotami 1400 °C má změna koncentrace MgO minimální vliv na posun izotermické hranice oblasti teplot tání.



Obr. 10 Kvaternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  pro poměr strusek WACKER 3:2

Fig. 10 Quaternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  for ratio of the slag WACKER 3:2



Obr. 9 Kvaternární diagram  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  pro poměr strusek WACKER 1:1

Fig. 9 Quaternary diagram of  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  for ratio of the slag WACKER 1:1

Z detailního studia kvaternárních diagramů struskového systému  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  s měnicí se obsahy MgO, uvedených na obr. 8 až 10 vyplývá, že s klesajícím obsahem MgO se otvírá a rozšiřuje izotermická oblast pro

Na obr. 8 vykreslené body zobrazují chemické složení směsi dvou strusek WACKER ESR 2052 a ESR 3002 ELH v poměru 2:3 a strusku AKF 235 se stejným obsahem MgO 3 hm. %. Na obr. 9 vykreslený bod zobrazuje chemické složení směsi dvou strusek WACKER v poměru 1:1 s obsahem MgO 2,5 hm. % a na obr. 10 je zobrazeno chemické složení směsi dvou strusek WACKER v poměru 3:2 s obsahem MgO 2 hm. %.

V kvaternárních struskových systémech  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$  s měnicí se obsahy MgO se všechny studované směsi strusek nacházejí v oblastech, které jsou svým chemickým složením vhodné pro použití v podmínkách ESR procesu. Významné změny chemického složení studovaných směsí strusek s dopadem na zvýšení teploty likvidu nad 1450 °C by měly negativní vliv na průběh ESR procesu.

### 2.3 Výpočet viskozity ESR strusek

Pro výpočet hodnot viskozity strusek byl využit modul Viscosity softwaru FactSage 8.2. Viskozita byla počítána v závislosti na teplotě pro hodnoty veškerých zastoupených složek ve struskách ESR dle tab. 1. Pro proces ESR jsou klíčové pracovní teploty strusek v rozmezí 1750 až 1800 °C, proto byl výpočet viskozit zaměřen na uvedené rozpětí teplot. Vypočtené hodnoty dynamické viskozity ESR strusek uvádí tab. 2.

Tab. 2 Vypočtená dynamická viskozita ESR strusek  
Tab. 2 Calculated dynamic viscosity of the ESR slags

Struska	ESR 2052 a ESR 3002 ELH									AKF 235		
	2:3 (3 hm. % MgO)			1:1 (2,5 hm. % MgO)			3:2 (2 hm. % MgO)			1 (3 hm. % MgO)		
Podíl složek [hm. %]	CaF <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
		40	30	30	50	25	25	60	20	20	50	20
Teplota [°C]	1750			1800			1750			1800		
Viskozita [Pa·s]	0,017			0,015			0,014			0,012		

Z tab. 2 jsou v závislosti na teplotě patrné rozdílné hodnoty vypočtené dynamické viskozity. Dále je zřejmá závislost změny dynamické viskozity na chemickém složení ESR strusek. Z uvedených hodnot vyplývá, že při růstu teploty dochází k poklesu dynamické viskozity a obdobný vliv na změnu dynamické viskozity lze pozorovat s rostoucím obsahem fluoridu vápenatého ve strusce.

## 2.4 Stanovení teploty tání oceli

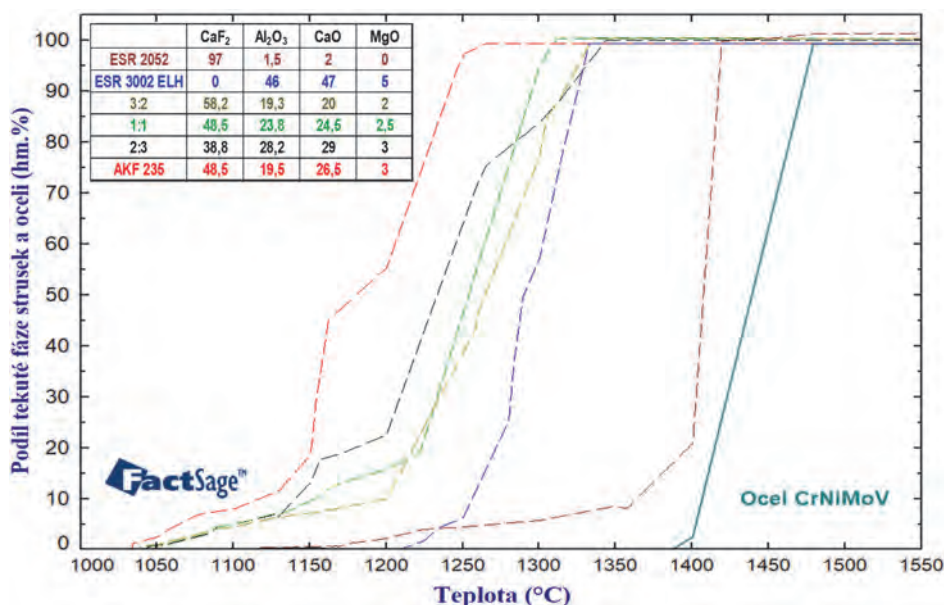
Protože proces ESR je velmi komplexní a závisí jak na termofyzikálních vlastnostech strusky, tak i na vlastnostech přetavovaných ocelí, byly výpočty v softwaru FactSage 8.2 zaměřeny i na stanovení teplot tání středně legované konstrukční CrNiMoV oceli, která je v reálných

podmínkách Ocelárny ŽďAS, a.s. přetavována technologií ESR. Chemické složení oceli s uvedením středních koncentrací základních legujících a doprovodných prvků je uvedeno v tab. 3.

Tab. 3 Chemické složení konstrukční CrNiMoV oceli [hm. %]  
Tab. 3 Chemical composition of the CrNiMoV structural steel [wt.%]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
0,37	0,40	0,27	0,007	0,004	1,37	3,30	0,14	0,40	0,14

Posouzení vzájemného vztahu strusky a oceli s využitím modulu Equilib bylo provedeno z pohledu teplot solidu, likvidu a intervalu tání jednotlivých složek zastoupených při procesu ESR. Výsledky uvádí obr. 11.



Obr. 11 Teploty solidu a likvidu konstrukční CrNiMoV oceli  
Fig. 11 Solidus and liquidus temperatures of the CrNiMoV structural steel

Z obr. 11 je zřejmé, že teplota likvidu oceli 1486 °C je výrazně vyšší než teploty dosažení 100 % tekuté fáze u studovaných ESR strusek. Rozdíly mezi teplotou likvidu oceli a teplotami likvidu strusek jsou definovány rozpětím rozdílů teplot likvidu oceli (1486 °C) a strusky s nejvyšší teplotou likvidu (1419 °C), což je 67 °C a rozdíl teplot likvidu oceli a strusky s nejnižší teplotou likvidu (1261 °C), který je na úrovni 225 °C.

Lze předpokládat, že vysoké teploty tání ESR strusek, které dosahují téměř teploty solidu přetavované oceli, a tedy malé rozdíly mezi teplotou likvidu oceli a teplotami likvidu strusek, mohou zapříčinit zhoršenou povrchovou i vnitřní kvalitu výsledného ingotu ESR. V technické praxi však bude výslednou kvalitu ingotu ovlivňovat řada dalších procesních parametrů, např. rychlost tavení a následného ohřevu strusky v počáteční fázi procesu ESR.

## 4. ZÁVĚR

V rámci projektu „Optimalizace technologických parametrů elektrostruskového přetavování ocelí pro speciální použití“ byly zkoumány termofyzikální vlastnosti přetavovaných ocelí a strusek. Byly stanoveny teploty tání ocelí a strusek. S využitím softwaru FactSage 8.2 byly definovány ternární a kvaternární diagramy pro vybrané struskové systémy. Z kvaternárních diagramů byl patrný vliv chemického složení na teploty tání strusek a do výpočtu byl zahrnut vliv koncentrace MgO.

Dále byly vypočteny dynamické viskozity tavenin strusek pro různá chemická složení. Hodnoty vypočtené dynamické viskozity strusek byly vzájemně porovnány a byla konstatována významná závislost hodnot na teplotě.

Rozsah teoretických prací umožňuje základní představu o podmínkách průběhu procesu ESR. Termofyzikální vlastnosti ESR strusek bude dále nezbytné zkoumat i se zohledněním dalších sloučenin, např. TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, které jsou nedílnou součástí průmyslově vyráběných strusek.

Závěry teoretických prací umožňují hledání souvislostí mezi parametry použitých materiálů a technologických procesů při zpracování na zařízení ESR a reálnými výsledky kvality vyráběných ocelí.

### Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu TQ03000386 Optimalizace technologických parametrů elektrostruskového přetavování ocelí pro speciální použití spolufinancovaného se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci Programu SIGMA.

Článek vznikl za podpory projektu SP2024/089 Specifického výzkumu VŠB-TUO.

### Literatura

- [1] ODEHNALOVÁ, A., FILA, P. a BALCAR, M. *Hodnocení vlastností konstrukční oceli vyrobené technologií ESR*. Prezentace. 59. SLÉVARENSKÉ DNY, Hotel Avantí, Brno, 7 - 8. 11. 2023.
- [2] ODEHNALOVÁ, A. *Analýza procesu ESR ocelí a stanovení vlastností tavných strusek*. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, FMT, 2023.
- [3] KEPKA, Miloslav. *Rafinace ocelí*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989.
- [4] ARH, B., BURJA, J. and PODGORNÍK, B. *ELECTROSLAG REMELTING: A PROCESS OVERVIEW* [online]. 2016 [cit. 2022-11-20]. Dostupné z: doi:10.17222/mit.2016.108.
- [5] BING-JIE, W., YU, W., MENG-JUN, W., LEI, ZHAO., XIAO-FANG, S. Effect of electrical parameters and slag system on macrostructure of electroslag ingot [online]. Berlin: Springer. 21 (2024) 1, 44–55. Available from (DOI): <https://doi.org/10.1007/s41230-024-3064-3>.
- [6] RADWITZ, S., SCHOLZ, H., FRIEDRICH, B. and FRANZ, H. Process and Refining Characteristics of ESR using MgO containing Slag Systems [online]. 2015. In *Conference: International Symposium on Liquid Metal Processing & Casting*. Leoben/Germany. Available from (DOI): <10.13140/RG.2.1.1506.8566>.
- [7] PETRMAN, I. a KAŠÍK, I. *Teorie a praxe elektrostruskového přetavování ocelí a slitin*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1966.
- [8] HOYLE, G. *ELECTROSLAG PROCESSES: Principles and Practice*. British Iron and Steel Research Association, 1983. ISBN 0-85334-164-8.
- [9] SHEN-CHAO, D. and HAN-JIE, GUO. The Methodology Development for Improving Energy Utilization and Reducing Fluoride Pollution of the Electroslag Remelting Process [online]. 91 (2020) 7, 1-22. ISSN 1611-3683. Available from (DOI): <https://doi.org/10.1002/srin.201900634>.
- [10] SCHNEIDER, R., WIESINGER, G., GELDER, S. and REITER, G. Effect of the Slag Composition on the Process Behavior, Energy Consumption, and Nonmetallic Inclusions during Electroslag Remelting [online]. NY: Wiley-VCH. 94 (2023) 4, 1-7. Available from (DOI): <https://doi.org/10.1002/srin.202200483>. ISSN 1611-3683.
- [11] SHOU-HUI, L., JING, L., JIE, Z. and CHEN-BIN, S. Effect of nitrogen on microstructure and microsegregation of martensitic stainless steel 4Cr13 produced by electroslag remelting [online]. Berlin: Springer. 30 (2022), ISSN 1854-1861. (DOI): <https://doi.org/10.1007/s42243-022-00851-y>.

## EK začíná pracovat na pilotním mechanismu pro rozvoj trhu s vodíkem

Evropská komise (EK) oznámila spuštění pilotního mechanismu pro rozvoj trhu s vodíkem. Mechanismus je zaměřen na zvýšení transparentnosti nabídky a poptávky na trhu s vodíkem v EU. „Vodík bude hrát důležitou roli při přechodu EU ke klimatické neutralitě do roku 2050 a při dosažení cíle stát se nezávislým na ruských fosilních palivech do roku 2030,“ uvedla EK v prohlášení.

Podle EK je v současné době v EU 254 projektů na obnovitelný vodík, z nichž 170 je v provozu a 84 je ve výstavbě. Dohromady mají kapacitu téměř 3 GW. Očekává se, že dalších 8 GW bude uvedeno do provozu poté, co budou v roce 2023 zahájeny projekty obnovitelného vodíku vybrané tak, aby získaly 720 milionů EUR v pilotní aukci Evropské vodíkové banky. Podmínkou pro získání prostředků je, že musí být spuštěny do roku 2030. Druhá aukce se má konat do konce tohoto roku, přičemž finance pocházejí z prodeje povolenek EU ETS.

Zdroj: GMK Center