

Automatická kvantifikace mikročistoty oceli pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu

Automatic quantification of steel micro-purity using a scanning electron microscope

Ing. Jaromír Kaleta, Ph.D.; Ing. Tomáš Huczala, Ph.D.; Ing. Monika Bocková; Ing. Bohuslav Chmiel

TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, 739 61 Třinec, Česká republika

V příspěvku je diskutována automatická kvantifikace vměstků na základě dat získaných z rastrovacího elektronového mikroskopu Tescan Vega3. Tato metoda byla použita v TŘINECKÝCH ŽELEZÁRNÁCH, a.s. pro posouzení mikročistoty oceli v procesu vývoje nových technologií mimopecního zpracování oceli. Příspěvek se věnuje použití automatické metody stanovení parametrů mikročistoty hliníkem uklidněných ocelí, vyráběných technologií EOP – LF – VD. Úroveň mikročistoty oceli je běžně hodnocena z pohledu odolnosti oceli proti únavovému porušení. V této práci je pozornost zaměřena na kvantifikaci úrovně mikročistoty z pohledu vlivu metalurgické technologie výroby oceli na distribuci oxidických vměstků. Hlavní výhodou automatického postupu měření mikročistoty oceli je získání souboru dat, možnost archivace základních charakteristik úrovně mikročistoty i charakteristik jednotlivých vměstků a následného zpracování dat pomocí statistických metod. V této práci byla hodnocena mikročistota ložiskové oceli pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM) navrženými metodami SEM4 a SEM4 – EVA. Pro posouzení kritických fází technologie výroby oceli poskytují metody SEM4 a SEM4 - EVA vhodnější kvantitativní parametry než běžné metody stanovení mikročistoty jako ASTM E45 nebo ISO 4967, jejichž indexové čísla poskytují spíše kvalitativní parametry. Pro hodnocení nadlimitních globulitických vměstků lze použít alternativně parametr mikročistoty K1 metody SEM4. Výpočtená hodnota K1 = 4,58 byla ve shodě s vizuálně analyzovanou hodnotou dle DIN 50602 K1 = 3,9. Navržený postup vyhodnocení SEM4 – EVA také snižuje pracnost vyhodnocení mikročistoty oceli než metoda ASTM E2283, protože k výpočtu používá data z analýzy SEM4 a je založen na menším počtu metalografických ploch.

Klíčová slova: čistota oceli; elektronová rastrovací mikroskopie; Gumbelovo rozdělení; analýza extrémních hodnot

The paper discusses the automatic quantification of inclusions based on data obtained from the Tescan Vega3 scanning electron microscope. This method was used in TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s. for the assessment of steel micro-purity in the process of development of new technologies of secondary steel processing. The paper deals with the use of an automatic method for determination of micro-purity parameters of aluminium-killed steels produced by EAF-LF-VD technology. The level of steel micro-purity is commonly assessed in terms of the resistance of the steel to fatigue failure. In this work, the focus is on quantifying the level of micro-purity in terms of the influence of metallurgical steelmaking technology on the distribution of oxide inclusions. The main advantage of the automated steel micro-purity measurement procedure is the obtaining of a data set, the possibility of archiving the basic characteristics of the micro-purity level and the characteristics of individual inclusions and the subsequent processing of the data using statistical methods. In this work, the micro-purity of bearing steel was evaluated by scanning electron microscope (SEM) using the designed SEM4 and SEM4 - EVA methods. For the assessment of critical phases of steelmaking technology, the SEM4 and SEM4 - EVA methods provide more appropriate quantitative parameters than conventional micro-purity methods such as ASTM E45 or ISO 4967, where index numbers provide rather qualitative parameters. Alternatively, the micro-purity parameter K1 of the SEM4 method can be used to assess globular inclusions over limit. The calculated value K1 = 4.58 was in agreement with the visually analyzed value according to DIN 50602 K1 = 3.9. The designed SEM4 - EVA evaluation procedure also reduces the laboriousness of evaluating steel micro-purity than the ASTM E2283 method because it uses SEM4 analysis data for calculation and is based on fewer metallographic areas.

Key words: steel purity; electron scanning microscopy; Gumbel's distribution; extreme value analysis

1. Úvod

Na Elektroocelárně TŘINECKÝCH ŽELEZÁREN, a.s. (TŽ) byla v roce 2019 postavena pánvová pec (LF). Původní technologie ohřevu oceli pomocí kyslíku a hliníku nebo křemíku (chemický ohřev), byla nahrazena

ohřevem pomocí elektrického oblouku v pánvové peci. Tato změna se projevila v chemickém složení pánvové strusky, ve snížení obsahu kyslíku v oceli, a také na distribuci a chemickém složení vměstků. Pro stanovení vhodných kritických podmínek rafinace oceli byly hledány nové možnosti vhodnějšího popisu mikročistoty

oceli, které by detailněji popisovaly změny objemu a charakteru vměstků v oceli v závislosti technologických parametrech výroby. Vývoj nových postupů pro identifikaci kritických fází výroby v technologii mimopecního zpracování oceli v pánvi (MPZ) na kyslíkové konvertorové ocelárně TŽ pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu (SEM) metodami SEM1 a SEM4 byl detailně popsán v článku [1]. Metoda SEM1 zahrnuje analýzu vměstků od 1 μm a je používána především pro analýzu oceli v litém stavu. Tyto postupy byly zaměřeny především na chemické složení a kategorizaci vměstků. V této práci byla pozornost věnována metodě SEM4 a využití stereologických parametrů ke kvantifikaci úrovně mikročistoty.

1.1 Metody hodnocení mikročistoty oceli

Mezi nejpoužívanější klasické metody pro stanovení mikročistoty oceli lze zařadit normy ASTM E45 (Metoda A) [2] a ISO 4967 [3], které jsou založené na švédské referenční stupnici JK (Jernkontoret). Tato metoda rozděluje vměstky pouze na základě jejich morfologie na čtyři typy: typ A – sulfidy, typ B – oxidy řádkové, typ C – oxidy tvárné (silikáty) a typ D – globulární oxidy. Norma ISO 4967 přidává další typ DS – nadrozměrné globulitické vměstky, jejichž průměr je větší než 13 μm . Hodnocená plocha je minimálně o velikosti 160 mm^2 (ASTM E 45 metoda A) nebo 200 mm^2 (ISO 4967). Minimální počet vzorků je 6. Vyhodnocuje se vždy nejhorší pole, které má velikost 0,50 mm^2 . Odlišnou metodiku používá německá norma DIN 50602 (metoda K) [4], která posuzuje všechny vměstky ve vyhodnocovacím poli s minimální plochou 100 mm^2 . Výsledkem je vměstkové číslo, představující plochu vměstků vztaženou na plochu 1000 mm^2 . Všechny metody využívají etalony pro přiřazení indexu (vměstkového čísla) podle množství a plochy/velikosti vměstků a nezohledňují chemické složení. Normy obsahují i jiné postupy stanovení mikročistoty. Norma DIN 50602 byla nahrazena normou EN 10247. V této práci jsou použity hodnocení dle ISO 4967 a DIN 50602 metoda K1.

Další metodiky hodnocení jsou uvedeny v normách DIN 50602 metoda M a ASTM E2283 (EVA - Extreme Value Analysis) [5-6]. Tyto metody hodnotí pouze největší vměstky. Již delší dobu se rozvíjí nové postupy stanovení mikročistoty oceli založené na automatické analýze obrazu, využívající světelných optických mikroskopů (LOM - Light Optical Microscopy) nebo skenovací rastrové mikroskopie (SEM - Scanning Electron Microscope). Norma ASTM E1122 využívá analýzu obrazu a světelnou mikroskopii k vytvoření automatického hodnocení dle E45. Normy ASTM E1245 - 03 [7] a ASTM E2142 definují postupy analýzy mikročistoty oceli pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM). Normy definují nové stereologické parametry mikročistoty oceli. Výstupem je především počet sulfidických a oxidických vměstků a jejich plocha. Dále se stanoví počet vměstků na jednotku plochy a střední vzdálenost mezi vměstky.

1.2 Teoretické předpoklady kvantifikace nekovových vměstků

Základy plošné analýzy obrazu, jejímž cílem je vytvoření představy o prostorových (3D) objektech pomocí plošné (2D) projekce, popsal francouzský geolog Delesse [8]. Již v roce 1848 odvodil, že plošný podíl složky k ploše metalografické roviny A_A je nestranným odhadem objemovému podílu V_V příslušné fáze rov. (1).

$$V_V = A_A \quad (1)$$

Chyba odhadu je závislá na počtu fází (vměstků), a proto pro čistou ocel je vhodné zvýšit měřenou plochu vzorku. Základním parametrem definující rozměr částice je tzv. Feretův průměr, který lze charakterizovat, jako průměr stanovený pomocí posuvného měřítka. Pro minimální Feretův průměr D_F^{min} a maximální Feretův průměr D_F^{max} platí, že uzavírají částici do obdélníkové plochy a tato plocha je minimální. Pro mikroskopickou analýzu jsou Feretovy průměry měřeny rovnoběžně s osami x a y . Podmínka minimální plochy bude dosažena, pokud budou vměstky protaženy rovnoběžně s osou x , případně y . Další mírou je maximální projekční délka částice L_{Proj} . Velikost částice lze vyjádřit rov. (2), jako plošně ekvivalentní průměr velikosti částice D_P , který je ekvivalentem průměru kruhu, jehož plocha je rovna ploše částice A_P :

$$D_P = \sqrt{\frac{4A_P}{\pi}} \quad (1)$$

Norma ASTM E2283 [5] popisuje postup výpočtu hodnoty L_{max} pomocí statistiky extrémních hodnot. Postup výpočtu vychází z práce [6] pro odhad odmocniny plochy vměstku \sqrt{Area} . Základem výpočtu je odhad parametrů Gumbelova rozdělení, rov. (3). Distribuční funkce Gumbelova rozdělení:

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\right), x \in \mathbb{R} \quad (3)$$

Kde: λ je parametr polohy
 δ – parametr měřítka

Odhady parametrů se získají metodou maximální věrohodnosti (Maximum Likelihood Method). V programu EXCEL lze pro nalezení maxima numerickou metodou použít funkci SOLVER. Maximalizační funkce je dána rov. (4):

$$LL = \sum_{i=1}^n \ln(f(x_i, \lambda, \delta)) = \sum_{i=1}^n \ln\left(\frac{1}{\delta}\right) - \left(\frac{x_i-\lambda}{\delta}\right) - \exp\left(\frac{x_i-\lambda}{\delta}\right) \quad (4)$$

Pomocí odhadů parametrů λ_{ML} a δ_{ML} je vypočtena hodnota y ($y = L_{max}$ [5] nebo $y = \sqrt{Area}$ [6]), podle rov. (5):

$$y_{max} = -\delta_{ML}(\ln(-\ln(P))) + \lambda_{ML} \quad (5)$$

kde pravděpodobnost $P = 0,999$, tj. že 99,9 % vměstků velikosti y bude menších nebo rovno hodnotě y_{max} . Odvození hodnoty P je upřesněno v [5, 6].

2. Návrh experimentu

Podstatou experimentu bylo ověřit použití navržených výpočtů kvantitativních parametrů mikročistoty z dat získaných metodou SEM4. Touto metodou jsou vyhodnocovány nekovové vměstky od velikosti $D_p = 4 \mu\text{m}$. Výhodou této metody je možnost analýzy větší plochy vzorku. Porovnání analyzovaných ploch metody SEM1 a SEM4 je uvedeno v tab. 1. Metoda SEM4 používá variabilní počty polí, proto je uvedeno pouze nastavení s vyhodnocovací plochou vzorku nad 200 mm^2 . Počet vzorků $n_s = 6$ v tab. 1

Tab. 1 Porovnání hodnotících ploch metod SEM1 a SEM4 podle počtu polí pro shodný počet vzorků

Tab. 1 Comparison of SEM1 and SEM4 evaluation areas according to number of fields for the same number of samples

Norma	Zvětšení	Plocha vzorku	Šířka pole	Výška pole	Plocha pole	Počet polí	Počet vzorků	Celková plocha	Velikost vměstků D_p
		A_0	[mm]		A_F	n_F	n_s		
		[mm^2]			[mm^2]	[-]		[mm^2]	
SEM1	840	5,66	0,322	0,251	0,08	70	6	34	1 - 100
SEM4 (7×7)	73	524	3,7	2,89	10,69	49	6	3144	4 - 100
SEM4 (4×6)	73	257	3,7	2,89	10,69	24	6	1540	4 - 100
SEM4 (5×4)	73	214	3,7	2,89	10,69	20	6	1283	4 - 100

Pro vyhodnocení mikročistoty oceli pomocí metody SEM4 byl připraven experiment, kdy byly odebrány tři vzorky kruhového sochoru ložiskové oceli: A - od hlavy ingotu, B - ze střední části ingotu a C - od paty ingotu. Z každého disku o tloušťce 2 cm bylo dále vyřezáno 8 vzorků o velikosti plochy $2 \times 2 \text{ cm}$. Na dvanácti vzorcích byla provedena zkouška mikročistoty dle ISO 4967 a DIN 50602 K1. Další dvanáct vzorků bylo

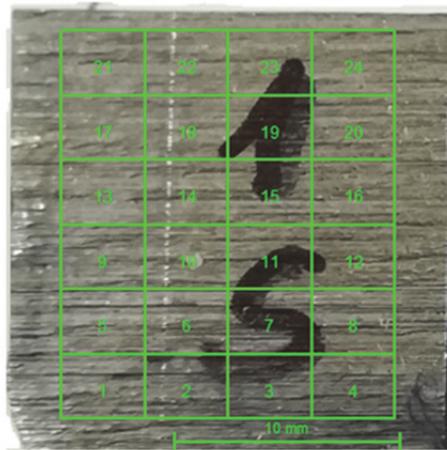
je zvolen podle běžné praxe a odpovídá počtu pozic v SEM mikroskopu Tescan Vega3. Metoda SEM4 zahrnuje pouze nastavení zvětšení mikroskopu a tím i velikost základní měřené plochy pole, jehož velikost je $3,7 \times 2,89 \text{ mm}$. Volbou počtu polí je zvolena celková plocha jednoho vzorku. Zároveň je nastaven filtr velikosti částic. Protože je počet polí limitován velikostí vzorku, lze celkovou analyzovanou metalografickou plochu zvýšit použitím většího počtu vzorků. Následnou analýzou těchto vzorků je získán soubor dat, který obsahuje stereologické informace a chemické složení částic.

analyzováno pomocí SEM mikroskopu Tescan Vega3 při zvětšení 73 a urychlovacím napětí 15 kV.

Pro skenování bylo použito nastavení 4×6 polí s plochou jednoho vzorku $A_0 = 257 \text{ mm}^2$. Celková plocha $A_T = n_s \times n_F \times A_0 = 3080 \text{ mm}^2$. Fotografie vzorků před broušením a leštěním a rozdělení plochy vzorku na 4×6 polí je na obr. 1.



(a)



(b)

Obr. 1 Ukázka vzorků - 1a a rozdělení plochy vzorku do polí pro SEM4 (4×6) - 1b

Fig.1 View of samples - 1a and division of sample area into fields for SEM4 (4×6) - 1b

2.1. Použité metody

Z mikroskopu Tescan Vega3 byly získány data, zahrnující stereologický popis každého vměstku a jeho chemické složení. Parametry mikročistoty byly hledány za předpo-

kladu, že objem oxidických vměstků v oceli je funkčně závislý na obsahu kyslíku v oceli. Protože objemové množství částic lze vyjádřit objemovým zlomkem, kterému odpovídá plošný zlomek částic, byla za výchozí hodnotu zvolena plocha vměstku, respektive plošně ekvivalentní průměr. Předmětem klasifikace nejsou

shluky vměstků, ale především globulitické nadrozměrné vměstky a jejich distribuce. Hodnocení je provedeno na dvou úrovních. Prvním je vytvoření vhodného grafické vyhodnocení distribuce vměstků. Druhým jsou stereologické parametry, které jsou vhodnější pro statistickou analýzu dat.

Pro kvantifikaci vměstků byly použity postupy popsané v normách ASTM E2283 [5] a ASTM E1245 - 3 [7]. Pro odhad distribuce a maximální velikosti vměstků byl použit postup odhadu maximální velikosti vměstku uvedený v [5, 6] podle rov. (3, 4 a 5). Automatické hodnocení neodpovídá všem požadavkům normy ASTM E2283, proto je dále značeno jako SEM4 - EVA. Základní rozdíly oproti normě:

- 1) Délka vměstku je vypočtena jako plošně ekvivalentní průměr vměstku podle rov. (2).
- 2) Dle normy se použije 6 vzorků, u kterých se vyhodnotí největší vměstek. Po vyhodnocení se vzorky opětovně přebrousí a vyhodnotí. Celkem je vyhodnoceno 24 ploch. Navržený postup automatického hodnocení využívá rozdělení hodnotící plochy na jednotlivá pole. Pro jedno hodnocení se použije shodné pole každého vzorku a vyhodnotí se maximální vměstek. Postup se dá interpretovat také tak, že každý vzorek je rozdělen na n polí. Vyhodnotí se maximální vměstek z pole č.1 každého vzorku a zapíše se maximální velikost vměstku ze všech polí č.1. Poté se postup opakuje pro pole 2, 3, ..., n . Hodnocená plocha má velikost $S_0 = n_S \times A_F$, celková plocha je rovna $S_T = n_S \times n_F \times A_F$.

Grafické vyhodnocení distribuce vměstků pomocí sloupcového grafu (histogramu) je založeno na extrémním rozdělení vměstků. Pro zařazení vměstků do tříd bylo použito rozdělení dvakrát logaritmované řady celých čísel od 3 do 100 na 9 kategorií. Zpětným výpočtem, byla získána řada: (3), 4, 5, 7, 9, 13, 20, 31, 54, 100. Pro metodu SEM4 je využito osm kategorií. Hodnota 13 μm je shodná s limitem pro nadlimitní globulitické vměstky podle norem ASTM E45 a ISO 4967 a dělí číselnou řadu v polovině.

Ze stereologických parametrů byly použity:

- N_A - hustota vměstků, počet vměstků na jednotku plochy (cm^{-2}),
- \bar{L} - průměrná nejdelší projekční velikost L_{Proj} (μm),
- L_S - směrodatná odchylka L_{Proj} (μm),
- L_{max} - maximální hodnota L_{Proj} (μm),
- A_A - plošný zlomek vyjadřující podíl celkové plochy vměstků $\sum A_P$ k analyzované ploše vzorku A_0 (ppm),
- \bar{A} - průměrná plocha vměstku (μm^2),
- A_S - směrodatná odchylka měřených ploch vměstků (μm^2),

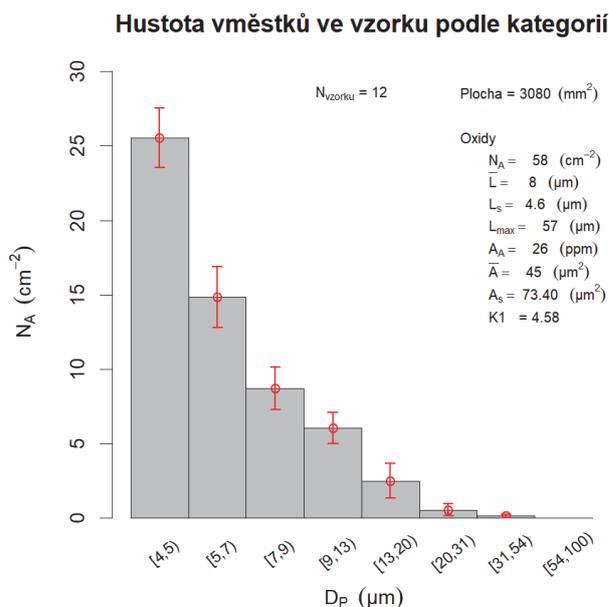
$K1$ - plošný zlomek oxidických vměstků nad 200 μm^2 vztažený na plochu 1000 mm^2 , jako alternativa k metodě DIN 50602 $K1$.

Normy ASTM E1245 - 03 a ASTM E2242 předpokládají vyhodnocení vzorků ve směru tváření. Metoda SEM4 je zaměřena především na plochu vměstků, a proto směr tváření zanedbává. Obdobně i vyhodnocení SEM4 $K1$ je alternativou k hodnocení globulitických vměstků a nelze použít jako náhradu za normu DIN 50602 $K1$. Hodnocení bylo zařazeno pouze pro porovnání výpočtů.

3. Diskuse dosažených výsledků

Hustota vměstků vztažena na jeden cm^2 je rozdělena do kategorií podle plošně ekvivalentního průměru a je zobrazena pomocí sloupcového grafu na obr. 2. Vyhodnocení stereologických parametrů podle místa odběru vzorků je v tab. 2. Celková hustota vměstků odpovídá průměrné hodnotě hustoty vměstků jednotlivých vzorků. Pro každou kategorii je zobrazen také 95% konfidenční interval, který vypovídá o variabilitě mezi jednotlivými vzorky.

Předpokládány byly větší rozdíly mezi místy odběru vzorků z vývalku. Variabilita mezi vzorky není podle rozsahu 95 % konfidenčního intervalu hustoty vměstků na obr. 2 velká. Vztah mezi celkovou plochou vměstků a plošnou hustotou N_A závisí na velikosti vměstků. Grafické porovnání plošné hustoty pomocí sloupcového grafu je proto vhodnější. Mikročistota stanovená běžnou metodou podle normy DIN 50602 pro oxidy je $K1 = 3,9$. Vypočtená hodnota SEM4 - $K1 = 4,58$. Hodnoty jsou řádově blízké. Pro porovnání přesnosti výpočtu je nutné provést rozsáhlejší experimentální měření.

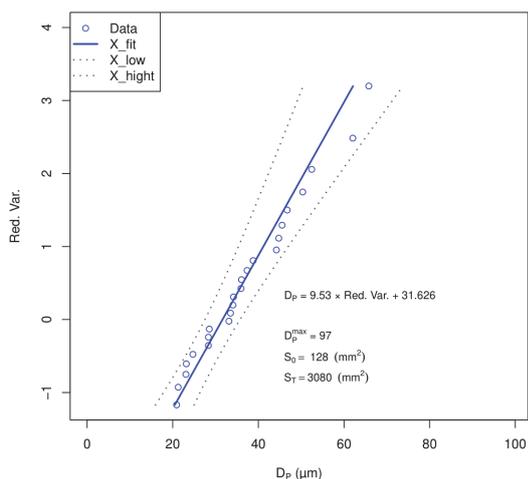


Obr. 2 SEM4 - sloupcový graf rozdělení hustoty oxidických vměstků a 95% konfidenční intervaly hustoty vměstků

Fig. 2 SEM4 - bar graph of the density distribution of oxide inclusions and 95% confidence intervals of the density of inclusions

Tab. 2 SEM4 - parametry mikročistoty podle místa odběru vzorku a obsahy kyslíku ve výrobku
Tab. 2 SEM4 - micro-purity parameters by sampling location and oxygen content of the product

Vzorek	N_A	\bar{L}	L_s	L_{max}	A_A	\bar{A}	A_s	$O_{výrobek}$
	[cm^{-2}]	[μm]			[ppm]	[μm^2]		[ppm]
Hlava	60,4	8,3	4,2	52,9	25,5	42,2	69,3	$9 \pm 1,35$
Střed	53,4	8,5	4,2	40,1	23,6	44,2	61,5	$12 \pm 0,72$
Pata	61,2	8,7	5,4	57,1	29,3	47,9	85,8	$11 \pm 0,72$



Obr. 3 Grafická interpretace analýzy extrémních hodnot (SEM4 - EVA)
Fig. 3 Graphical interpretation of extreme value analysis (SEM4 - EVA)

Výsledky odhadu maximální velikosti vměstku jsou uvedeny na obr. 3. Vypočtená hodnota $D_p^{max} = 97 \mu m$. Největší projekční délka vměstku v celkové ploše $3080 mm^2$ je $L_{max} = 57,1 \mu m$. Použití plošného obsahu vměstků a plošně ekvivalentního průměru zjednodušuje postup automatického měření, protože nezávisí na směru tváření.

Pro porovnání jsou v tab. 3 uvedeny hodnoty mikročistoty podle normy ISO 4967. Tyto hodnoty jsou spíše kvalitativní než kvantitativní. Indexové čísla závisí na nejhorším poli a nevyjadřují objemové množství vměstků ve vzorku oceli.

Tab. 3 Metalografické „vizuální“ vyhodnocení mikročistoty podle normy ISO 4967
Tab. 3 Metallographic "visual" evaluation of micro-purity according to ISO 4967

Vzorek	A		B		C		D		DS
	Jemný	Hrubý	Jemný	Hrubý	Jemný	Hrubý	Jemný	Hrubý	
H-1	1,0	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	1,0	0,5	1,0
H-2	1,0	0,5	1,0	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
H-3	1,0	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0
H-4	1,5	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	1,5
S-1	1,0	0,5	1,0	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
S-2	1,5	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
S-3	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5	1,5
S-4	1,0	1,0	0,5	0,5	0,0	0,0	1,0	0,5	0,5
P-1	1,0	0,5	1,0	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
P-2	1,0	0,5	1,0	1,5	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0
P-3	1,0	0,5	1,5	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0	1,5
P-4	0,5	0,5	2,0	0,5	0,0	0,0	1,0	0,5	0,5
Průměry	1,1	0,7	0,7	0,3	0,0	0,0	1,0	0,8	1,1

4. Závěr

Předmětem experimentu bylo ověřit použití kvantifikace mikročistoty oceli, především z pohledu nadrozměrných oxidických vměstků s využitím rastrovacího elektronového mikroskopu Tescan Vega3. Testování bylo prove-

deno na dvanácti vzorcích ze tří částí kruhového sochoru, zahrnující hlavovou, patní a středovou část ingotu. Pro zvolenou metodu nastavení mikroskopu označované jako metoda SEM4 byly navrženy stereologické parametry, používané v normách stanovení mikročistoty pomocí automatické analýzy obrazu. Dále byl navržen graf pro

vykreslení hustoty vměstků s rozdělením měřených hodnot do kategorií, vycházející z extrémního rozdělení hodnot. Pro statistické vyhodnocení maximální velikosti vměstku byl použit upravený postup měření, kde hodnocená plocha jednoho měření je složena z více polí. Z provedeného experimentu lze vyvodit tyto závěry:

- 1) Klasické metody ASTM E45 Metoda A nebo ISO 4967 poskytují spíše kvalitativní hodnocení než kvantitativní. Pro posouzení kritických fází technologie MPZ mohou být vhodnější kvantitativní parametry mikročistoty získané metodou SEM4. Tento předpoklad vyžaduje provedení dalších experimentů pro větší počet taveb rozdílné technologie.
- 2) Znázorněný graf vhodně vykresluje hustotu vměstků. Podle rozsahu 95% intervalu spolehlivosti hustoty vměstků v jednotlivých kategoriích lze také posoudit rozptyl hodnot mezi jednotlivými vzorky.

Maximální velikost vměstku stanovena metodou SEM4 -EVA je 97 μm . Navržený postup vyhodnocení maximální velikosti vměstku pomocí plochy vměstku metodou EVA nevykazuje vybočující hodnoty. Tato metoda může být použita pro vyhodnocení kritických fází technologie MPZ na velikost vměstků. Postup snižuje pracnost vyhodnocení mikročistoty oceli metodou ASTM E2283, protože k výpočtu používá data z analýzy SEM4 a je založen na menším počtu metalografických ploch.

Poděkování

Poděkování je věnováno kolektivu Metalografických zkušeben TŽ, a především Ing. Petru Kučirkovi za pomoc s vývojem a realizací navržených metod SEM1 a SEM4.

Literatura

- [1] HUCZALA, T., et al. Využití skenovacího elektronového mikroskopu v procesu výroby oceli pro monitoring vývoje nekovových vměstků. *Hutnické listy*, 73 (2020) 4-6, 19–25, ISSN 0018-8069.
- [2] ASTM E 45 - 05. Standard test methods for determining the inclusion content of steel, ASTM International, 2005.
- [3] ČSN ISO 4967. Ocel - Stanovení obsahu nekovových vměstků - Mikrografická metoda využívající normovaná zobrazení, Český normalizační institut, 2015.
- [4] DIN 50602. Metallographic examination; microscopic examination of special steels using standard diagrams to assess the content of non-metallic inclusions, 1985.
- [5] ASTM E2283-08. Standard Practice for Extreme Value Analysis of Nonmetallic Inclusions in Steel and Other Microstructural Features (ASTM International, West Conshohocken, PA).
- [6] MURAKAMI, Y., et al. Quantitative Evaluation of Effects of Non-Metallic Inclusions on Fatigue Strength of High Strength Steels. II: Fatigue Limit Evaluation Based on Statistics for Extreme Values of Inclusion Size, *Int. J. Fatigue*, 11, No. 5, 1989, pp. 299–307.
- [7] ASTM E1245 - 03. Standard Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis.
- [8] GKHALE, A. M. Quantitative Characterization and Representation of Global Microstructural Geometry. In *Metallography and Microstructures*. ASM International, 2004, pp. 428–447. doi: 10.31399/asm.hb.v09.a0003759.

Na hladině rybníka vznikl umělý ostrov z vyřazeného potrubí

Staré vyřazené potrubí Energetiky Třinec pomohlo v přírodě. Místní rybáři z něj vyrobili plovoucí umělý ostrov na chovném rybníku ve Stříteži. Poskytuje rybám stín na volné hladině a zabraňuje tak nežádoucímu prohřívání vody. Je navíc novým zdrojem potravy.

„Je to ukázka cirkulární ekonomiky v praxi. Demontované plastové potrubí naši pracovníci svařili do požadovaného tvaru a využili je jako plováky pro vznik ostrova. Na rybníku bude fauně prospívat další léta a z odpadu tak vzniklo něco prospěšného pro přírodu,“ pochvaluje si ředitel Energetiky Třinec Petr Matuszek.

Pracovníci firmy spolu s místními rybáři ostrov nejdříve na suchu svařili, vyplnili vyřazeným polystyrenem a prázdnými PET lahvemi, nakonec celou konstrukci obalili geotextilií, na níž nasypali zeminu a zasadili rostliny.

„Umělý ostrov má hned několik funkcí. Poskytuje rybám stín a chrání před UV zářením, zabraňuje prohřívání vody. Na geotextilii ulpívají vodní organismy, které se rozmnožují a slouží jako potrava drobným rybkám. Rostliny na ostrově prorůstají kořeny do vody, kde odebírají dusík. Nepřímo tak přispívají k eliminaci vzniku sinic,“ vypočítává výhody Libor Kocinec, zaměstnanec Energetiky Třinec a hlavní hospodář Českého rybářského svazu v Třinci.

Poslední benefit ostrova je podle něj ornitologický. *„Na jaře zde instalujeme budku pro kachny. Malá káčata tak budou mít větší šanci na přežití než v hnízdě na břehu, kde se často stávají potravou kun, lišek nebo jiných predátorů,“* uzavírá.

- z tiskové zprávy -