

Využití softwaru pro hodnocení segregací u ocelových drátů v podmínkách TŽ, a.s.

Use of software for evaluation of segregation in steel wires in TŽ, a.s.

Ing. Jan Kufa

MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o., Pohraniční 31/639, 703 00 Ostrava-Vítkovice, Česká republika

Důležitým požadavkem spolehlivé výroby vysokopevnostních kordových drátů je zvládnutí osové segregace škodlivých prvků v plynule odlévaných sochorech, která může být místem iniciace trhlin při tažení a splétání. Stupeň osové segregace ve vyrobených drátech se v současnosti stanovuje vizuálně (posouzením velikosti a tvaru tmavé segregací plochy) na vyleštěném, naleptaném vzorku drátu a zanáší tak do výsledného hodnocení nežádoucí, lidský faktor. V porovnání s klasickým vizuálním hodnocením segregace pomocí mikroskopu je softwarové hodnocení segregace rychlejší, přesnější, nezávislé na lidském faktoru, s výstupy dobře zpracovatelnými pomocí statistických metod.

Klíčová slova: segregace; válcovaný drát; analýza obrazu

This article presents a method for software assessing the level of axial segregation in wire rod. This so-called axial segregation is routinely determined visually as dark spots on the etched cross-section wire, which classifies comparison to a etalon. The result is a class of characterizing the degree of segregation in the axial wire. The disadvantage of the visual evaluation is considerable subjectivity in evaluating particularly borderline levels of segregation and mere categorical variable characterizing the degree of segregation. Software evaluation eliminates these drawbacks. The evaluation algorithm still works in the same way and the output is a quantitative variable, which can be further processed statistically. Measurement is faster, more accurate and more objective. The paper gives an example of a software evaluation of the level of segregation in the rolled wire before and after modernization of wire rod mill in Trinec Ironworks, Inc.

Key words: segregation; wire rod; image processing

Úvod

Důležitým požadavkem spolehlivé výroby vysokopevnostních kordových drátů je zvládnutí osové segregace škodlivých prvků v plynule odlévaných sochorech. Praxe potvrzuje nepříznivý vliv zvýšené segregace na mezní deformaci, a tím i na tvařitelnost při tažení. Problematikou segregace se zabývá celá řada příspěvků v odborné literatuře [1 – 7]. Stupeň osové segregace válcovaného drátu se v minulosti stanovoval vizuálně (posouzením velikosti a tvaru tmavé segregací plochy) na vyleštěném, naleptaném vzorku drátu a zanášel tak do výsledné hodnoty nežádoucí, lidský faktor.

Software pro hodnocení segregací

Společnost MATERIÁLOVÝ A METALURGICKÝ VÝZKUM, s.r.o. ve spolupráci s Ústavem automatizace a měřicí techniky Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysokého učení technického v Brně, vyvinula nový software pro hodnocení segregací ve vysokopevnostních kordových drátech, který eliminuje veškeré nedostatky subjektivního (vizuálního) způsobu vyhodnocení segregací.

V porovnání s klasickým vizuálním hodnocením vykazuje softwarové hodnocení segregací několik předností.

Předně, jedná se o metodu zcela nezávislou na lidském faktoru, a ačkoliv neexistuje metoda, kterou by bylo možné nezávisle posoudit přesnost obou uvedených způsobů měření segregací, hodnocení založené na obrazové analýze je konzistentní, rychlejší a poskytuje jednoduché výstupy dobře zpracovatelné pomocí statistických metod, což tento systém předurčuje k nejrůznějším analýzám vlivu technologických opatření na výslednou kvalitu válcovaného drátu.



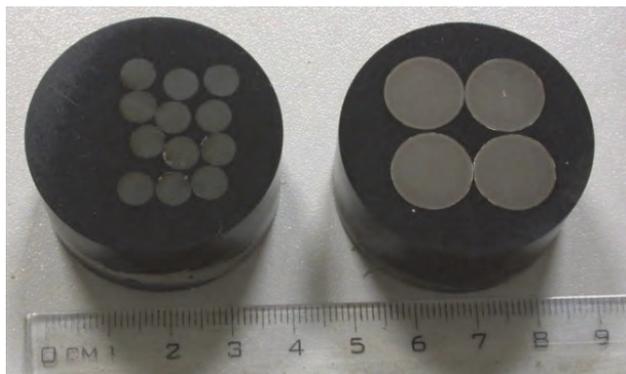
Obr. 1 Sestava počítače a skeneru

Fig. 1 Personal computer and scanner

Software byl vyvinut v rámci řešení projektu EU „Regionální materiálově technologické výzkumné centrum“

a v roce 2013 byl předán do užívání. Program pracuje tak, že po zalisování jednotlivých drátů do bakelitového kotouče, je kotouč položen na plochu kancelářského skeneru, který naskenuje povrch drátů a pomocí obrazové analýzy vyhodnotí úroveň segregace u každého drátu ve vzorku. Software pro hodnocení může být nainstalovaný na stolním PC či notebooku s připojením na běžný kancelářský skener a pracuje prostředím Windows verze 7 a výše (obr. 1).

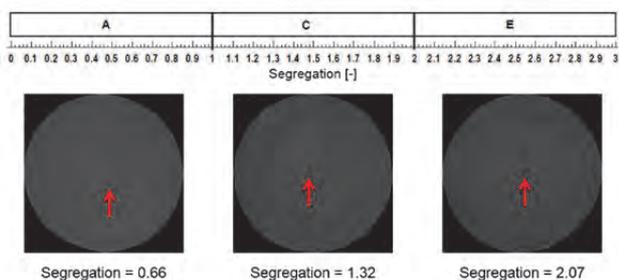
Software na hodnocení segregací umožňuje provádět hodnocení segregací na příčných vzorcích ocelového drátu průměru 5,5 mm až 15 mm (obr. 2).



Obr. 2 Vzorky drátů připravené pro hodnocení
Fig. 2 Wire samples prepared for evaluation

Výstupy softwaru jsou dvojího typu:

- třída segregace (A, B, C, D, E) odpovídající doposud používaného vizuálního systému měření.
- číselné vyjádření úrovně segregace – numerická bezrozměrová proměnná, stanovená s přesností na dvě desetinná místa, vyjadřující velikost segregace. Číselné vyjádření odpovídá běžně používaným třídám (A až E) podle následujícího obrázku (obr. 3):



Obr. 3 Třídy segregace podle starého hodnocení a numerický ekvivalent, stanovený pomocí software (nahore) a příklady hodnocení (dole)
Fig. 3 Classes of segregation according to the old rating and the numerical equivalent determined by the software (above) and examples of the evaluation (below)

Výhody hodnocení pomocí software jsou následující:

- eliminace lidského faktoru (zejména při hraničních úrovních segregace je klasické vizuální hodnocení a následné zařazení do příslušné třídy značně subjektivní),
- číselné vyhodnocení segregace (lze statisticky dále zpracovávat).

Princip měření

Na začátku měřicího procesu je pořízen obraz. To je realizováno běžným kancelářským skenerem, který dosahuje rozlišení minimálně 4800 DPI. Pro různé průměry ocelových drátů to pak znamená, že rozlišení jejich obrazů se pohybuje řádově v jednotkách tisíc pixelů, což je hodnota dostačující pro velmi důkladnou analýzu středové části drátu. Samotné snímání probíhá velmi intuitivně tak, že do šablony je zasazen jeden až čtyři kotouče s libovolným počtem drátů a následně proběhne skenování všech čtyř oblastí. Ze získaných obrazových dat jsou automaticky rozpoznány pouze obsazené pozice a ty dále zpracovávány.

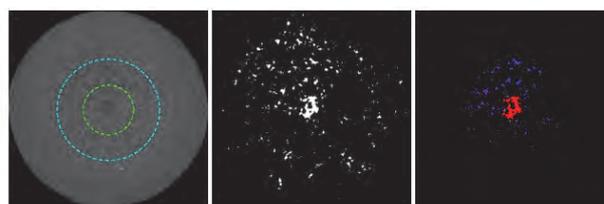
Indexace jednotlivých drátů uvnitř zkoumaného kotouče je provedena pomocí jednoduchých metod zpracování obrazového signálu (analýza úrovní, prahování a filtrace) a následného řazení podle závazného geometrického „cikcak“ vzoru. Další postup byl již volně navržen a implementován pro kompletně automatické vyhodnocení míry a typu segregace podle následujícího schématu (obr. 4).



Obr. 4 Sekvence algoritmického zpracování obrazu pro určení míry a typu segregace

Fig. 4 Sequence of algorithmic image processing to determine the degree and type of segregation

Ve středové oblasti drátu je v závislosti na vypočtených parametrech drátu (střední hodnota a rozptyl jasových hodnot) provedena detekce a lokalizace oblastí definovaných poklesem jasové hodnoty pod stanovenou mez. Metodu detekce tmavé oblasti lze pro snazší pochopení zjednodušeně chápat jako prahování vnitřní oblasti drátu. Toto prahování však nemá zcela přímočarou konstrukci, je obecně nelineární a obsahuje mj. také saturace. V podstatě lze říci, že oproti prahování s adaptivním prahem známého z teorie zpracování obrazu je použité prahování upraveno tak, aby byly detekovány pouze oblasti s jasovou úrovní pod průměrem celého drátu a dále sníženého o příspěvek směrodatné odchylky. Problematika stanovení prahu a postup prahování obrazu v tomto případě přesahuje rámec tohoto příspěvku, proto je popsán pouze zjednodušeně. Na následujícím obrázku je možné vidět výsledek zmíněné operace na celou vnitřní oblast drátu společně s vymezením oblastí segregace (obr. 5).



Obr. 5 Vyznačení oblastí kontroly drátu (vlevo), surová data aktivní části drátu (uprostřed) a výstupní data aktivní části drátu s barevně odlišenými typy detekovaných oblastí segregace (vpravo)
Fig. 5 Marking of wire control areas (left), raw data of the active part of the wire (center) and output data of the active part of the wire with color-coded types of segregated detection areas (right)

Na základě výsledků analýzy vnitřní části drátu, kde je možné očekávat segregaci, lze následně provést segmentaci objektů s nižší jasovou úrovní oproti zbytku drátu a detekovat tak hlavní a vedlejší objekty segregace. Klasifikací těchto objektů z hlediska velikosti, poklesu jasové úrovně oproti průměru a relativní polohy v rámci drátu je určen typ (A nebo B) a míra segregace tj. stupeň nehomogenity tj. závažnost vady materiálu vyjádřená skalárem a tím rozhodnuto o výsledku inspekce. Na výše uvedeném obrázku na snímku zcela vpravo je červenou barvou vyznačen hlavní objekt segregace společně s dalšími kandidátními oblastmi (modrá barva). Podle velikosti a tvaru objektu segregace je určen typ a třída materiálové nehomogenity. Míra segregace je obecně stanovena jako vážený součet odchylek jasových hodnot normovaného hlavního objektu segregace od průměrné úrovně. Třída segregace je dále stanovena zvlášť podle dalších charakteristik např. bílý prstenec kolem hlavního objektu segregace apod., které zde z prostorových důvodů nejsou popsány.

Detailní popis principu vyhodnocení segregací nabízí autoři softwaru ve svých příspěvcích [8 – 9].

Příklady využití software

Po uvedení do provozu byl software hojně využíván v nejrůznějších analýzách vlivu technologických faktorů na stupeň segregace ve válcovaném drátu. Jednou z vůbec prvních úloh byla analýza vlivu modernizace kontidrátové trati (KDT) v Třineckých železárnách, a.s. na stupeň segregace ve válcovaném drátu.

Cílem statistické analýzy bylo porovnání stupně segregace u výšeuhlíkových drátů, vyrobených před a po modernizaci KDT v TŽ, a.s. Analýza byla provedena v programech Statgraphics Centurion XVI a NCSS 10. Při statistickém testování byla uvažována obvyklá hladina významnosti $\alpha = 0,05$ (5% nejistota).

Porovnání bylo provedeno pomocí 2 přístupů:

- Porovnání procentuálního zastoupení jednotlivých tříd segregace v souboru před a po modernizaci KDT (tab. 1, obr. 6).
- Testování vlivu modernizace KDT na střední hodnotu segregace drátů pomocí analýzy rozptylu (tab. 2 – tab. 3, obr. 7).

V prvním kroku byl porovnán relativní podíl jednotlivých tříd segregace (od nejméně závažného stupně A, po nejhorší stupeň E) v analyzovaném souboru 3 470 vzorků drátů (2098 vzorků analyzováno před modernizací, 1372 pak po modernizaci KDT). Výsledky uvádí tab. 1, kde řádky tabulky odpovídají jednotlivým typům segregace A až E a sloupce před a po odpovídají stavu před a po modernizaci KDT. Z jednotlivých údajů pak vyplývá zastoupení jednotlivých tříd segregace v analyzovaných souborech drátů.

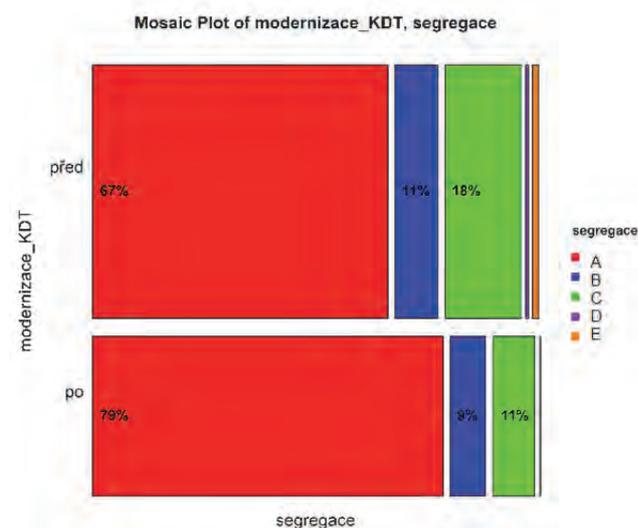
Tab. 1 Počty drátů a relativní podíly tříd segregace u vzorků před a po modernizaci KDT

Tab. 1 Number of wires and relative counts of segregation classes in samples before and after KDT modernization

Stupeň	před	po	celkem
A	1400	1084	2484
	66,73 %	79,01 %	71,59 %
B	231	130	361
	11,01 %	9,48 %	10,40 %
C	388	148	536
	18,49 %	10,79 %	15,45 %
D	20	4	24
	0,95 %	0,29 %	0,69 %
E	59	6	65
	2,81 %	0,44 %	1,87 %
Celkem	2098	1372	3470
	60,46 %	39,54 %	100,00 %

Z tab. 1 např. vyplývá, že nejméně závažný stupeň segregace A byl přítomen u 66,7 % vzorků v souboru vzorků před modernizací, kdežto v 79 % vzorků po modernizaci atd.

Výše uvedená tab. 1 je v grafické podobě zpracována na obr. 6.



Obr. 6 Relativní zastoupení tříd segregace ve vzorcích před a po modernizaci KDT (výška sloupců je úměrná počtu hodnocených drátů)

Fig. 6 Relative representation of segregation classes in samples before and after KDT modernization (column height is proportional to the number of wires evaluated)

K dalšímu testování vlivu kategoriální proměnné "modernizace_KDT" na číselnou úroveň segregace, stanovenou softwarem, bylo použito analýzy rozptylu (ANOVA). Analýza rozptylu testuje nulovou hypotézu (střední hodnoty segregace před a po modernizaci KDT jsou shodné) proti alternativní hypotéze (střední hodnoty segregace se liší). Výsledek testu je uveden v tab. 2.

Tab. 2 Výsledky analýzy rozptylu
Tab. 2 Analysis of variance results

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	15,1687	1	15,1687	61,84	0,0000
Within groups	850,663	3468	0,245289		
Total (Corr.)	865,832	3469			

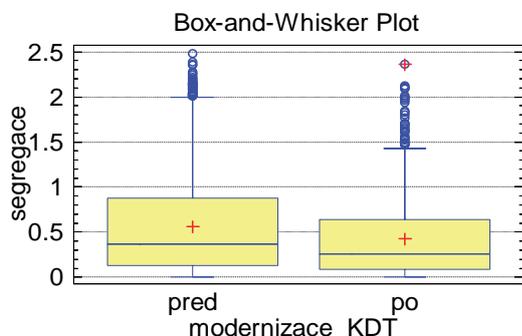
Na základě výsledné p-hodnoty analýzy rozptylu, která je menší než uvažovaná hladina významnosti $\alpha = 0.05$ lze konstatovat, že průměrné hodnoty segregace drátů vyrobených před a po modernizaci KDT se liší. Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky (SD) segregace obou souborů jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Základní statistiky segregace u drátů před a po modernizaci KDT

Tab. 3 Basic statistics of segregation for wires before and after KDT modernization

modernizace_KDT	Count	Average	SD
pred	2098	0,562274	0,533438
po	1372	0,427048	0,430383
Total	3470	0,508807	0,499591

Porovnání průměrných hodnot segregace drátů vyrobených před a po modernizaci KDT je dále realizováno pomocí krabicového grafu (obr. 7).



Obr. 7 Krabicový graf – segregace před a po modernizaci
Fig. 7 Boxplot – segregation before and after modernisation

Z provedené analýzy vyplývají následující skutečnosti:

Na základě výsledků obou způsobů vyhodnocení je možné konstatovat, že modernizace KDT vedla ke zlepšení úrovně segregace ve válcovaném drátu. S ohledem na relativní zastoupení jednotlivých tříd segregace u hodnocených drátů se modernizace KDT projevila ve:

- zvýšení podílu nejméně závažné třídy segregace A o 12 procentních bodů,
- snížení podílu tříd B o 2 a C o 7 procentních bodů,
- snížení podílu tříd D o 0,7 a E o 2,4 procentních bodů.

Vliv modernizace KDT na číselné vyjádření úrovně segregace, stanovené softwarem, je statisticky významný. Střední hodnota segregace se snížila z 0,56 na 0,43.

Závěr

Softwarové hodnocení segregací prokázalo, že v porovnání s vizuálním hodnocením vykazuje několik předností. Podstatnou výhodou je eliminace lidského faktoru (zejména při hraničních úrovních segregace je klasické vizuální hodnocení a následné zařazení do příslušné třídy značně subjektivní, vyhodnocení založené na analýze obrazu je rychlé, stabilní a konzistentní).

Číselné vyhodnocení segregace lze statisticky dobře zpracovávat, což umožňuje rozsáhlé využití software při různých analýzách vlivu technologických faktorů na úroveň segregace. Praktickou ukázkou takového použití byla analýza vlivu modernizace kontidrátové trati v TŽ, a.s. na úroveň segregace ve finálním výrobku, kde bylo možné použít klasické testování statistických hypotéz a potvrdit závěr, že modernizace KDT vedla ke zlepšení úrovně segregace ve válcovaném drátu.

Poděkování

Tato práce vznikla při řešení projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum - program udržitelnosti" financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] MICHALEK, K., GRYC, K. Čistota a užitné vlastnosti oceli. Přednášky, FMMI VŠB-TU OSTRAVA, 2010.
- [2] EUROPEAN COMMISSION, Directorate-General for Research. Optimal strategy to minimise central segregation during billet casting of high carbon steel grades: final report. Luxembourg: Off. for Off. Publ. of the Europ. Communities, 2002. ISBN 9289434449.
- [3] YASUDA, H., TOH, T., IWAI, K., MORITA, K. Recent progress of EPM in steelmaking, casting, and solidification processing. *ISIJ International*, 47 (2007) 4, 619–626.
- [4] EMTAGE, P. A. et al. Improved control of segregation in continuous casting and hot rolling processes: final report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. ISBN 9289463104.
- [5] CHOUDHARY, S. K., GANGULY, S. Morphology and segregation in continuously cast high carbon steel billets. *ISIJ International*, 47 (2007) 12, 1759–1766.
- [6] HOU, Z., CHENG, G. Characteristics and a novel quantitative model of macrosegregation in continuously cast high-carbon billets. In *AISTech Proceedings*, Atlanta, 2012, p. 1229–1238. ISBN 978-1-935117-24-7.
- [7] SYCHKOV, A. B., M. A. ZHIGAREV, S. Yu. ZHUKOVA, A. V. PERCHATKIN a A. V. PEREGUDOV. Effect of dendritic segregation in the continuous-cast semifinished product on the formation of the structure of high-carbon-steel wire rod. *Metallurgist* [online]. 2008, 52(5-6), 275-282 [cit. 2016-01-25]. DOI: 10.1007/s11015-008-9046-7. ISSN 0026-0894. Available in: <http://link.springer.com/10.1007/s11015-008-9046-7>
- [8] CERVINKA, L., HORAK, K. Visual Measurement of Material Segregation in Steel Wires. *Procedia Engineering* [online], 69 (2014), 518–525.
- [9] HORÁK, K. Classification of Segregation Level in Steel Wires by Image Processing. In *The Conference Proceedings of the 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing*. Berlin, Germany: 2014. s. 665–668. ISBN 978-80-214-4983-1.