

Možnost predikce povrchové kvality vývalku z automatové oceli 9MnS28 pomocí laserové triangulační metody

Current Possibilities of Prediction of Surface Quality of the Rolled Product Made of Free-Cutting Steel 9MnS28 with the use of Laser Triangulation Method

Ing. Zdeněk Solowski; Ing. Lukáš Pindor, Ph.D.; Ing. Milan Plevko; Ing. Karel Milan Čmiel, Ph.D.; Ing. Radek Cieslar

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

Pro automatovou ocel 9MnS28 bylo provedeno kompletní zmapování povrchové kvality litých sochorů metodou laserové triangulace (LTM). Na základě získaných výsledků bylo realizováno laboratorní válcování za tepla s cílem zkoumat přenos různých přirozených povrchových nehomogenit při válcování do finálního výrobku. U laboratorních vývalků, kde byly identifikovány přenesené povrchové vady, proběhla podrobná metalografická analýza a výsledky byly použity k nastavení LTM pro detekci povrchových vad litých sochorů. Na základě těchto výsledků mohla být provedena optimalizace broušení sochorů a dosažení stabilní povrchové kvality u válcovaných automatových ocelí.

Klíčová slova: automatová ocel; povrchová kvalita automatových ocelí; metoda laserové triangulace

The laser triangulation method (LTM) was applied to complex evaluation of surface quality of continuously cast billets made of free-cutting steel 9MnS28. 84 billets were examined using LTM for the experiment and based on the settings of the LTM level filters, which in this case displayed only surface inhomogeneities from depths greater than 0.5 mm, the billets were divided into two groups. The first group contained billets that had a large number of inhomogeneities larger than 0.5 mm and the second group contained billets that had no such inhomogeneities at all or had them only in small amounts.

Only one billet with good surface quality and one with a worse surface quality were selected for the next phase of the experiment. The samples with surface inhomogeneities were then subjected to laboratory hot-rolling to assess the deformation behaviour of various primary casting inhomogeneities during the final forming of the product. Subsequently, laboratory rolled-out samples with identified transferred inhomogeneities/defects were thoroughly investigated by means of NDT method and metallography. In the final phase of the experiment, all the results were correlated, that is, the positions of the defects found on the bars and the position of the inhomogeneities found on the billet samples were compared. A catalogue of defects was created from all the data.

The results showed that in the case of a good billet surface quality, only four defects on the bars were identified from ten samples after laboratory hot-rolling. On the other side, eight defects were identified on the bars in the case of ten worst billet samples. It turned out that the classification of billets based on the settings of the LTM level filters was correct.

The outcomes were finally used for adjustment of the settings of the LTM level filters for future detection of possible surface inhomogeneities on continuously cast billets made of free-cutting steel 9MnS28. Based on the results, an optimization of billets grinding procedures, especially in their corner-regions, was accomplished to achieve a stable surface quality of free-cutting steels.

Key words: free-cutting steel; surface quality of free-cutting steel; laser triangulation method

Automatové oceli jsou oceli nízkouhlíkové s řízeným obsahem síry, kde jsou pro zlepšení obrobiteľnosti obsaženy přísadové kovy s nízkým bodem tavení, jako Pb, Bi, Sn. Použití těchto prvků zaručuje zvýšení obrobiteľnosti, která je charakterizována schopností způsobit poměrně malé opotřebení rezného nástroje při zvýšených rezných rychlostech [1].

Donedávna byla nejvíce rozšířena výroba automatových ocelí s Pb. Jelikož však vyžadovala velmi přísné

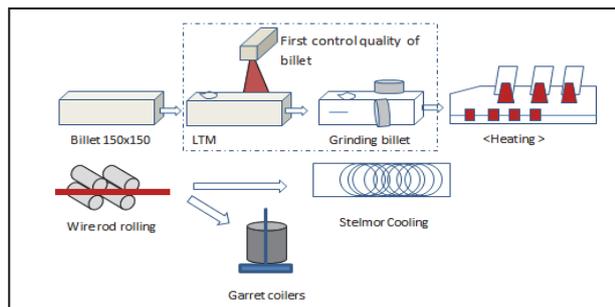
bezpečnostní a hygienické opatření, došlo ve světě k tendencím snížit a postupně nahradit oceli legované olovem oceli s podobnými vlastnostmi. Tímto směrem se také vydaly i Třinecké železárny, a.s. (dále jen TŽ) a vyvinuly automatové oceli legované bizmutem.

Z mikrostrukturního hlediska jsou automatové oceli feriticko-perlitické s výraznou segregací síry, tedy výskytem sulfidických vměstků. Jádrem těchto vměstků

jsou zpravidla MnS vznikající za vysokých teplot a kovy s nižším bodem tání postupně precipitují na nich. Takto vzniklé komplexní vměstky mají příznivý vliv na obrábění, avšak zároveň mohou tvořit křehké rozhraní s ocelovou maticí a tím působit jako iniciátory trhlin. Obecně lze tedy říci, že čím lepší obrobiteľnosť, tím nižší a složitější je tvariteľnosť a povrchová kvalita finálneho vývalku.

Z tohoto hľadiska je nezbytné správne chemické složení těchto ocelí, kdy pro získání vhodných mechanických podmínek a povrchové kvality se většinou volí obsah uhlíku nad 0,06 hm. %. Zároveň však platí, že s vyšším obsahem uhlíku klesá obrobiteľnosť z důvodu vyššího objemového podílu perlitu. Nezbytný je také poměr Mn/S, který je obvykle nastaven přibližně na 4:1, což přispívá k lepší tvariteľnosti těchto vměstků za tepla [1, 2].

Důležitou roli hraje i technologie odlévání těchto ocelí, hlavně pak volba lící rychlosti v závislosti na přehřátí oceli, výběr správného lícího prášku, chlazení aj. Tyto parametry mají vliv nejen na podobu vlastní lité struktury a segregace, ale i na přítomnost povrchových trhlin a nehomogenit, které se následně při tváření přenášejí na vývalek. Právě výskyt nehomogenit na povrchu plynule litých předlitků je základním problémem u těchto ocelí a řeší se pomocí broušení povrchu (schéma výrobního toku v TŽ na obr. 1). Tato úprava je pouze náhradním opatřením a neřeší technologii výroby těchto ocelí v rámci zpětné vazby. V tomto směru bylo v TŽ vyvinuto zařízení na kontrolu povrchu plynule litých předlitků metodou laserové triangulace, jehož výstupy lze již srovnat s parametry plynulého odlévání příslušné oceli a defektoskopie vývalku.



Obr. 1 Schéma výrobního toku automatové oceli v TŽ
Fig. 1 Schematic diagram of the production process of free-cutting steels in TŽ

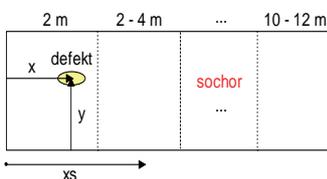
V tomto článku je představeno experimentální ověřování přenosu určitých typů nehomogenit nalezených pomocí laserové triangulační metody (LTM) na povrchu plynule litých předlitků z automatové oceli 9MnS28 na tyče během válcování.

Princip detekce povrchových nehomogenit metodou laserové triangulace

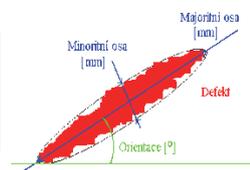
Princip laserové triangulace užívá triangulaci pro dvojrozměrnou detekci profilů na měřených plochách. Pomocí speciálních čoček se fokusovaný laserový paprsek rozšíří na statický liniový laserový paprsek, který dopadá na zkoumaný povrch. Difuzně odražené záření z nerovnosti povrchu je zaznamenáno snímací CMOS-maticí přes kvalitní optický systém. Výstupní signál závisí na frekvenci spouštění laseru a pomocí vnitřního synchronního detektoru je demodulován. Kromě informace o vzdálenosti (osa z), jsou využity parametry z citlivé snímací matice pro určení pozice v ose x. Tyto naměřené hodnoty tvoří výstupní data ve dvoudimenzionálním systému souřadnic, který je stanoven s ohledem na polohu měřeného profilu vůči senzoru [3]. V případě pohybu objektu (měřeného vzorku) nebo posuvem senzoru je proto možné získat 3D obraz naměřených hodnot. Profilometr dále disponuje řídicí jednotkou, která obsahuje software, kde je možné volit řadu kompenzací podle druhu měřeného povrchu. To umožňuje měřit velký rozsah materiálů (např. lesklé kovy, černá guma nebo leštěné povrchové úpravy). Pokud se k danému systému připojí snímač pohybu sochoru, který byl v našem případě tvořen dvěma kolečky s inkrementálními čítači, tak lze získat přesný 3D model měřeného povrchu sochoru. Na tomto 3D modelu povrchu sochoru se pak dají nalézt případné nehomogenity či defekty [4].

Každý defekt je označen, jsou vypsané jeho souřadnice od začátku sochoru (obr. 2), jeho hloubka a velikost, tvar a orientace (obr. 3). Výsledky jsou tedy k dispozici jak v grafické, tak i číselné podobě a lze s nimi dále pracovat.

Komplexní vyhodnocení celého povrchu však není tak jednoduché, neboť se obdrží velké množství dat, které je zapotřebí filtrovat tak, aby zůstaly pouze fatální nehomogenity, které mají možný vliv na tvorbu defektů na finálním výrobku. Za tímto účelem jsou vytvořeny úroňové filtry redukující nehomogenity například na základě jejich hloubky.



Obr. 2 Sochor – úseky a defekty
Fig. 2 Billet – section and defects



Obr. 3 Popis defektu
Fig. 3 Defect description

Experimentální práce

Pro vlastní experiment byla použita jedna tavba z automatové oceli 9MnS28, jejíž základní chemické složení je možné vidět v tab. 1.

Tab. 1 Základní chemické složení tavby oceli 9MnS28 (hm. %)
Tab. 1 Basic chemical composition of the 9MnS28 steel (wt.%)

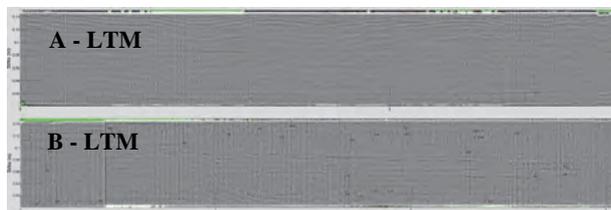
Steel	C	Mn	P	S
9MnS28	0,094	1,21	0,054	0,309

Na celkem 84 sochorech kv. 150 mm z dané tavby oceli 9MnS28 bylo následně provedeno hodnocení povrchové kvality litých sochorů pomocí LTM (obr. 4).



Obr. 4 Detail měřicího systému LTM v TŽ
Fig.4 Detail of LTM measuring system in TŽ

Data z LTM byla dále zpracována pomocí nastavených úrovnových filtrů, které v tomto případě zobrazovaly pouze povrchové nehomogenity od hloubky větší než 0,5 mm, čímž rozdělily dané sochory na dvě skupiny, tedy sochory obsahující velký počet nehomogenit větších než 0,5 mm a sochory neobsahující tyto nehomogenity vůbec nebo pouze v malém množství. Pro další fázi experimentu byl následně vybrán jeden sochor s dobrou povrchovou kvalitou (dále jen sochor A – výřez z výstupu LTM, obr. 5a) a druhý sochor s horší povrchovou kvalitou (dále jen sochor B – výřez z výstupu LTM, obr. 5b). Zbytek sochorů se odválcovává do svitků drátu o průměrech 21 až 38 mm, přičemž vyhodnocení bude provedeno u odběratele.



Obr. 5 Srovnání povrchové kvality dvou sochorů A – LMT = vyhovující / B – LMT = nevyhovující
Fig.5 Comparison of surface quality of two billets A – LMT = suitable / B – LMT = unsuitable

Následně byly separované sochory vizuálně prohlédnuty a na základě dat z LTM bylo odebráno 20 vzorků o rozměrech 61 × 61 × 160 mm s charakteristickými povrchovými nehomogenitami a 4 vzorky pro Baumannův otisk a metalografické hodnocení lité struktury.

Zmíněných 20 vzorků pak bylo převezeno na laboratorní polospojitou válcovací trať Katedry tváření VŠB-TU Ostrava, kde byly vzorky proměřeny a označeny z důvodu přesné lokalizace nehomogenity na výsledném vývalku. Vlastní válcování na vratné duo stolici polospojité laboratorní tratě probíhalo tak, že se vzorky nejprve ohřály v elektrické odporové peci na teplotu 1200 °C a celkem 10 průchody při rychlosti otáčení válců 16 – 20 min⁻¹ se vzorky proválcovaly do tyčí kruhového průřezu s nominálním Ø 33,6 mm. Teplota po posledním průchodu, měřena teplotním skenerem na povrchu vývalku, se pohybovala v rozmezí cca 930 – 970 °C.

V konečné fázi experimentu byly dané tyče převezeny zpět do TŽ, kde byla zkoumána přítomnost vad pomocí magneticko-práškové metody na zařízení Deutroflux a z tyčí, na kterých se nacházely vady, byly odebrány vzorky pro metalografickou analýzu.

Diskuse výsledků

V první fázi vyhodnocení experimentu byl proveden rozbor makrostruktury litého stavu pomocí Baumannova otisku a metalografický rozbor s cílem nalézt faktory působící, jako možné příčiny rozvoje trhlin během válcování. U obou vybraných sochorů však nebyly nalezeny žádné anomálie, tedy Baumannův otisk a metalografie byly v pořádku. Mikrostruktura obou vzorků byla tvořena feritem (80 %) a perlitem (20 %). V matrici vzorků plynule litých předlitků se našly drobné sulfidické vměstky MnS v globulárním tvaru, které se v určitých místech shlukovaly do tvaru síťoví (obr. 6 – 9).

Tab. 2 Výsledky defektoskopie tyčí
Tab. 2 Results of flaw detection of the bar

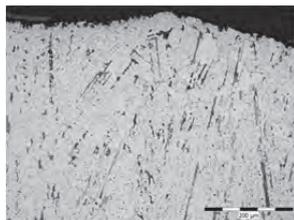
Ocel 9MnS28	Počet vzorků	LMT	Vyhodnocení tyče - VŠB
A 	10 ks	A – LMT vyhovující	4 ks nevyhovující
B 	10 ks	B – LMT nevyhovující	8 ks nevyhovující



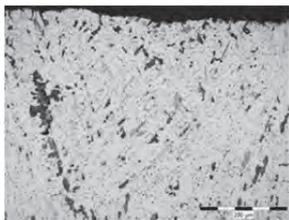
Obr. 6 Baumannův otisk sochor - A



Obr. 7 Baumannův otisk sochor - B



Obr. 8 Mikrostruktura (zv.200×) - A



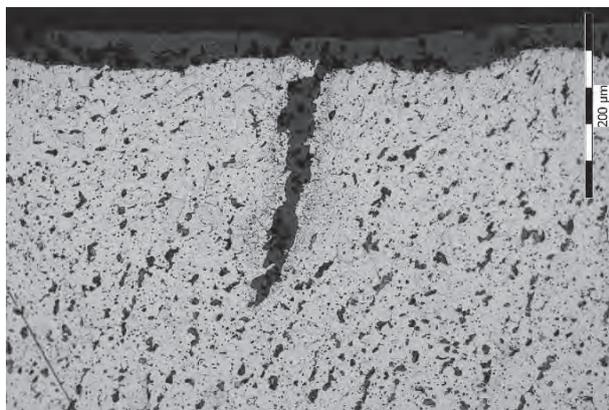
Obr. 9 Mikrostruktura (zv.200×) - B

Obr. 6 – 9 Baumannův otisk a snímky povrchové mikrostruktury sochorů A a B.

Fig. 6 – 9 Baumann-printings and images of surface microstructure of the billets A and B

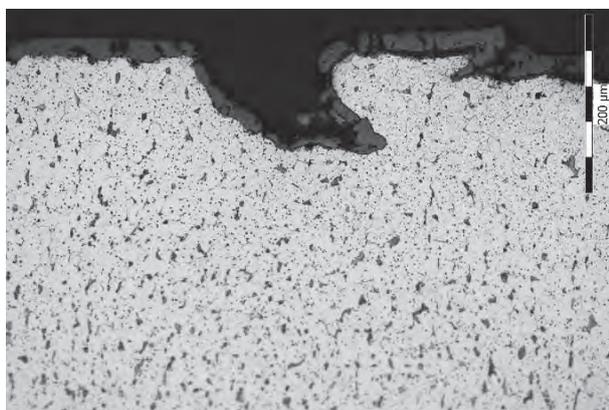
V další fázi pak bylo přistoupeno k rozboru přenosu povrchových nehomogenit na odválcované tyče a jejich analýze. Defektoskopie tyčí pomocí magneticko-práškové metody ukázala na povrchu několika válcovaných tyčí povrchové defekty. Celkový počet vadných tyčí ze sochoru A byly 4 kusy a ze sochoru B 8 kusů (tab. 2). Ukázalo se tedy, že separace sochorů pomocí výsledků LTM byla správná.

Tyče s nalezenými defekty byly následně rozřezány a byla provedena metalografická analýza, která ukázala, že se ve většině případů jednalo o rýhy. Trhlina a záválcovaná okuje byla nalezena pouze v jednom případě (příklady znázorněny na obr. 10 – 12).



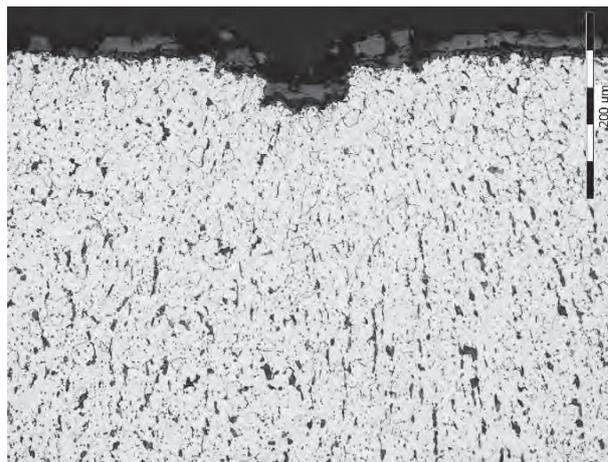
Obr. 10 Radiální trhlina, povrch, zv.200×

Fig. 10 Radial crack, surface, magn. 200×



Obr. 11 Rýha, povrch, zv. 200×

Fig. 11 Groove, surface, magn. 200×

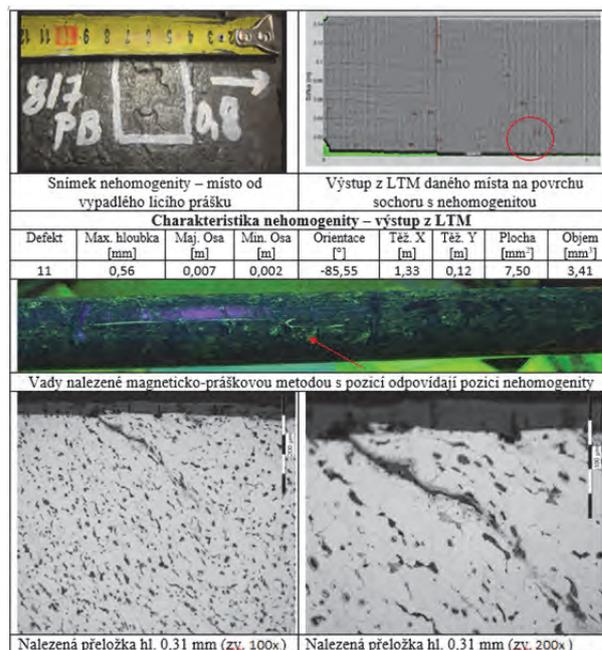


Obr. 12 Rýha, povrch, 200×

Fig. 12 Groove, surface, magn. 200×

V konečné fázi experimentu pak došlo ke korelaci všech výsledků, tedy pozic nalezených vad na tyčích a pozic nehomogenit na vzorcích z předlitků. Příklad takové korelace (katalogu vady) je uveden na obr. 13, kde lze vidět, že vada na tyči charakteru přeložky byla způsobena deformovaným místem od vypadlého licího prášku o maximální hloubce 0,56 mm.

Experimenty zároveň ukázaly, že ne všechny nehomogenity nalezené pomocí LTM byly zodpovědné za tvorbu vad na tyčích, což je však v konečném důsledku pozitivní věc, neboť i tyto informace budou sloužit k úpravě úrovnových filtrů LTM.



Obr. 13 Katalog vady nalezené na sochoru B

Fig. 13 Catalogue description of the defect found on the billet B

Závěr a doporučení

- V tomto předloženém článku byl pomocí metody laserové triangulace kontrolován povrch 84 sochorů

z automatové oceli 9MnS28. Na základě výsledků této kontroly byly sochory rozděleny na dvě skupiny, tedy sochory obsahující velký počet nehomogenit větších než 0,5 mm a sochory neobsahující tyto nehomogenity vůbec nebo pouze v malém množství. Pro další experiment byl vybrán jeden sochor s dobrou povrchovou kvalitou – A a druhý sochor s horší povrchovou kvalitou – B.

- Z každého výběrového sochoru byly odebrány vzorky s charakteristickými nehomogenitami a ty se laboratorně odválcovaly do tyčí.
- Z defektoskopie daných tyčí vyplynulo, že počet vadných tyčí ze sochoru A byl 4 kusy a ze sochoru B 8 kusů, což ukázalo, že separace sochorů pomocí výsledků LTM byla správná.
- Na základě získaných výsledků lze provést optimální nastavení úrovnových filtrů LTM pro tuto značku oceli a pokračovat v úpravě kvality sochorů pomocí broušení.
- Práce bude dále pokračovat. Výsledky budou korelovány s výrobními parametry dané tavby této

oceli na ZPO2 za účelem zjištění příčiny vzniku daných nehomogenit a současně bude zbytek kontrolovaného materiálu, který se odválcovává do drátů o \varnothing 25 až 38 mm, vyhodnocen u odběratele.

Literatura

- [1] YONGJIN, KIM, HYUNMIN, KIM, SANG, YONG SHIN et al. Formation Mechanisms of Cracks Formed During Hot Rolling of Free-Machining Steel Billets. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 43 (2012) 3, 882–892. ISSN 1073-5623D.
- [2] YONGJIN, KIM; HYUMIN, KIM; SANG, YONG SHIN et al. Cracking Phenomenon Occurring in Bi-S-Based Free-Machining Steel Wire Rods During Hot Rolling. *Metallurgical and Materials Transactions A*. 42A (2011) 10, 3095–3105. ISSN 1073-5623.
- [3] MicroEpsilon, manual guide ScanControl 2700/2710, 2008.
- [4] PINDOR, L., GRMELA, L., TOFEL, P., SEDLAK, P., MAJZNER, J., CSEFALVAY, G., HEFNER Š. Experimental Using of the Laser Triangulation Method in Třinecké železárny, a.s. In *DEFEKTOSKOPIE 2012*, Czech Society for Non-destructive Testing NDE for Safety Oct. 30 – Nov. 1, 2012, Seč u Chrudimi, Czech Republic.

Trump dostává ocelářské odvětví pod tlak

Börsen-Zeitung

21.04.2017

V ocelářském sporu s USA varovala spolková vláda a odvětvový svaz v Německu vládu ve Washingtonu před izolováním trhu. „Znalecké posudky nejsou žádné zákony nebo opatření, ale ukazují směr k protekcionistickým tendencím, které my rozhodně nemůžeme přivítat“, sdělila spolková ministryně hospodářství Brigitte Zypries. President Trump ohlásil předtím další obranná opatření k ochraně domácího ocelářského průmyslu. Nechá totiž prověřit, zda dovozy v tomto sektoru neohrožují národní bezpečnost. Jaká opatření ze strany USA z těchto prohlášení vyplynou, bude spolková vláda ostražitě sledovat, oznámila dále ministryně. Bude problém konzultovat s ministrem obchodu USA Wilburem Rossem. Průmysl v Německu se obává, že by mohlo trh v EU zaplavit ještě více oceli. „Pokud by administrativa v USA opravdu široce izolovala domácí trh, bylo by to spojeno s masivními změnami obchodu směrem do otevřeného trhu EU. Protekcionismus není žádné řešení pro strukturální problémy na světovém trhu, nýbrž by mohl jen dále přispět k tomu, aby se deformace v mezinárodní soutěži ještě více prohloubily,“ prohlásil prezident WV Stahl Hans Jürgen Kerkhoff.

Železárny Košice jsou nyní v čínských rukou

industriemagazin.at

21.04.2017

Je to nyní již podruhé, co je evropská ocelárna, patřící dříve US Steel, odkoupena čínským ocelářským koncernem. Podle Radia Ö1 Morgenjournal převzala východoslovenské železárny Košice čínská He Steel. Před téměř přesně jedním rokem převzala čínská Hebei Iron and Steel Group (HBIS) srbskou ocelárnu Smederevo poté, co ji Srbsko od US Steel odkoupilo zpátky. Pár měsíců po převzetí se ocelárna stala druhým největším exportérem země. Železárny Košice jsou se svými 14 000 zaměstnanci jedním z největších podniků Slovenska. Zda Číňané dali těmto spolupracovníkům garance zaměstnanosti, není známo. Rovněž kupní cena není známa, spekuluje se o 1,4 mld. €. V každém případě se slovenská vláda při jednáních velmi snažila udržet a zvýšit v podniku vliv státu. Čínský investor by neměl ocelárnu využívat jako základnu pro odbyt v Číně vyrobených ocelářských výrobků. Železárny byly před 17 lety koupeny koncernem US Steel, nepřinesly však Američanům velký úspěch. Jen díky velkým subvencím odvrátila vláda prodej hutí v roce 2013. Situaci má nyní zachránit He Steel, druhý největší výrobce oceli v Číně s 33 000 zaměstnanci.