

Vliv antracitu na proces spékání a kvalitu aglomerátu

Effect of Anthracite Coal on Sintering and Sinter Quality

Ing. Petr Klus, Ph.D.¹; Ing. Roman Szturc¹; Ing. Petr Faruzel¹; Ing. Radek Hermann¹, doc. Ing. Róbert Findorák, PhD.²; prof. Ing. Mária Fröhlichová, CSc.²; doc. Ing. Jaroslav Legemza, PhD.²

¹ TRINECKÉ ŽELEZÁRNY, a.s., Průmyslová 1000, Staré Město, 739 61 Třinec, Česká republika

² TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH, Fakulta materiálů, metalurgie a recyklácie Technickej univerzity v Košiciach, Ústav metalurgie, Letná 9, 042 00 Košice, Slovenská republika

Příspěvek je věnován experimentálnímu spékání aglomerační směsi na zařízení laboratorní spékač pánevky s cílem vyhodnotit vliv antracitu jako náhradního paliva na proces spékání a kvalitu aglomerátu. Experimenty byly provedeny v laboratorních podmínkách Technické univerzity v Košicích dle předem stanoveného plánu a dané metodiky přípravy vsázky. Pro celkem čtyři pokusná spékání byla dodána homogenizační směs včetně zpětného aglomerátu, vápence a paliva – koks prachu a antracitu, kdy se jejich poměr pro jednotlivá spékání měnil i v závislosti na zrnitosti antracitu. Dosažené výsledky jsou porovnány z pohledu teplotních křivek. Samotné vyhodnocení pak zahrnuje diskusi ke křivkám spékání, výkonovým parametrům procesu spékání, rozsevu a pevnosti vyrobeného aglomerátu, chemickému složení aglomerátu zejména se zaměřením na obsah FeO, jakožto parametru kvality, a v neposlední řadě k redukovatelnosti aglomerátu.

Klíčová slova: spékání železných rud; kvalita aglomerátu; koks prach; antracit, redukovatelnost

The paper is focused on the experimental sintering of the iron ore mixture. The main target was investigation of the influence of anthracite coal as a substitute fuel on the sintering process and the sinter quality. The experimental sintering was carried out at the Technical University of Košice in a laboratory scale sinter pot according to the predetermined plan and methodology for preparation of the sinter mix (A1 – A4). Each of the four experimental sintering processes, as well as the homogenization mixture, contained sinter return fines, limestone and fuel – coke breeze or anthracite coal, and their ratio for individual sintering processes also varied depending on the anthracite coal grain size. The obtained results are compared in terms of temperature curves. The evaluation involves discussion regarding the sintering curves, the performance parameters of sintering process, the resistance to abrasion and strength of the produced sinter, chemical composition of the produced sinter, especially with regard to FeO content, known as a quality parameter, and sinter reducibility. Full replacement of coke breeze by anthracite coal does not have any significant effect on the preparation of sinter mixtures. If the replacement coefficient increased, the temperature of sinter layer decreased with rise of the sintering time. The negative effect of the coke breeze replacement by anthracite coal on vertical flame front speed was found at sintering mixtures A1 and A4. Calculated production coefficient is at comparable level, however, specific production decreases at full replacement of coke breeze by anthracite coal. Sinter strength was identical for all samples of produced sinter (at average value) with a slightly negative effect of anthracite coal. Variations in FeO content from chemical analysis of produced sinters was found. The measuring of the sinter reducibility suggests that sinter A1 has a lower rate of reduction index in comparison with the sinter A4. In this case, the replacement of coke breeze by anthracite coal showed a positive effect on sinter reducibility.

Key words: sintering of iron ore; sinter quality; coke breeze; anthracite coal, reducibility

Proces výroby aglomerátu se od svého vzniku zdokonalil a i v současnosti se rozpracovávají opatření umožňující zvýšení výroby a zlepšení kvality aglomerátu při současném snížení spotřeby energie a spotřeby tuhého paliva. Je všeobecně známo, že jako palivo se standardně pro proces spékání používá koks prach (zrno pod 3 mm) [1–4]. Výhodou koks prachu je poměrně vysoká výhřevnost, nízký obsah prchavé hořlaviny a nízká reaktivita. Jako alternativních paliv lze v aglomerační směsi využít například hnědouhelný koks, biomasu nebo antracit [4]. Prosazování antracitu jako náhradního paliva

[1–4] má své výhody – nižší obsah síry (možnost snížení emisí SO₂), nižší pořizovací cena a vyšší pevnost aglomerátu (z pohledu vysokopecního procesu), i nevýhody, které lze spatřovat především v technologických aspektech – ztížené mletí a dávkování (při vyšší vlhkosti antracitu), zvýšené nároky na údržbu zařízení (vyšší pevnost aglomerátu) ad.

Jelikož se v Třineckých železárnách, a.s. kampaňovitě využívá antracit jako náhradní palivo v aglomerační směsi, bylo pro potřeby výzkumných aktivit provedeno

pokusné spékání ve spolupráci s Technickou univerzitou v Košicích. Cílem těchto experimentálních spékání bylo posoudit vliv náhrady koksu prachu antracitem na technologické a kvalitativní parametry spékání [4].

Experiment

Pro účely pokusného spékání byly odebrány kovonosné materiály, a to homogenizační směs (HS) a zpětný aglomerát (ZA). Pro výrobu vysokopecního aglomerátu se používá homogenizovaná směs s příslušným množstvím korekčního vápence a paliva. Na základě této skutečnosti se před samotným spékáním vytvořily modelové hromady s daným procentuálním podílem jednotlivých složek vsázky (tab. 1).

V zásadě se pro jednotlivé modelové hromady měnil pouze poměr koksu prachu a antracitu, kdy se postupně navyšoval podíl antracitu. První modelová hromada (A1) obsahovala 100 % koksu prachu, druhá a třetí modelová hromada (A2, A3) 50 % koksu prachu a 50 % antracitu s jeho rozdílnou granulometrií (nemletý a mletý antracit) a čtvrtá modelová hromada (A4) zahrnovala 100 % mletého antracitu.

Antracit použitý pro experimentální spékání se vyznačoval vyšším obsahem prchavé hořlaviny než v případě koksu prachu a vyšším obsahem popelovin. Větší pozornost je ovšem nutné věnovat obsahu vody v jednotlivých palivech, který může být problematický, jak při mletí, tak i při předpeletizaci vsázky nebo vlivu na celkovou vlhkost vsázky. Pro samotné laboratorní experimenty byla všechna použitá paliva vysušená na nulovou vlhkost.

Tab. 1 Složení aglomeračních směsí (hm.%)

Tab. 1 Composition of sinter mixtures (wt.%)

Složka	A1	A2	A3	A4
HS	63	63	63	63
ZA	31	31	31	31
Koks (K)	5	2,5	2,5	0
Antracit nemletý (An)	0	2,5	0	0
Antracit mletý (Am)	0	0	2,5	5
Korekční vápenec (KV)	1	1	1	1
Suma	100	100	100	100

Experimentální spékání bylo provedeno na zařízení laboratorní spékací pánvičky (obr. 1) dle dané metodiky přípravy a zpracování aglomerační vsázky, která byla v souladu s technologií zpracování a spékání v provozních podmínkách, a to za účelem co nejpřesnější simulace procesu spékání [4].

Homogenizace a předpeletizace směsí se provedla ve sbalovacím bubnu s řízeným přívodem vody. Určujícím faktorem pro kvalitu připravené směsi byla její

prodyšnost, která se stanovovala během předpeletizace na optimální úroveň z pohledu dosažení co nejlepších podmínek hoření paliva a výměny tepla mezi plynnou fází a spékanou vrstvou. Po dokončení přípravy se hotová směs vložila do spékací pánvičky, ve které po zapálení pomocí externího hořáku probíhalo její spékání po výšce vrstvy při konstantním podtlaku (5 kPa).



Obr. 1 Experimentální laboratorní spékací pánvička [4]

Fig. 1 Experimental laboratory sinter pot [4]

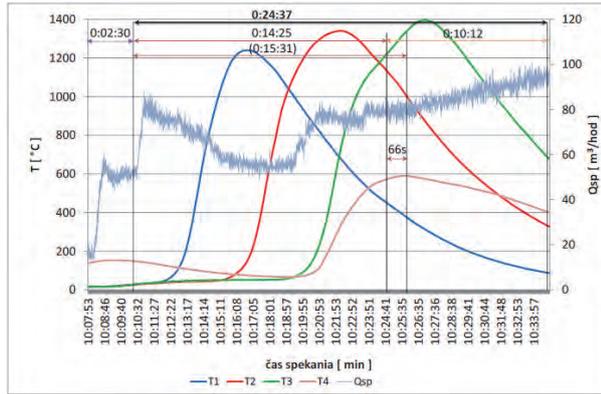
V průběhu spékání se zaznamenávalo teplotní pole společně s profilem spalín. Následně se po procesu spékání a ochlazení aglomerátu provedl jeho rozbor – granulometrie, pevnost, otěr, dále byla provedena příprava analytických vzorků pro chemickou analýzu a stanovení redukovatelnosti experimentálně vyrobených aglomerátů.

Diskuse dosažených výsledků

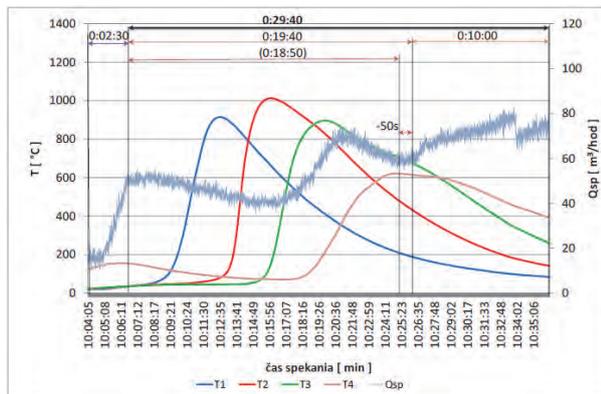
Celkově byly provedeny čtyři laboratorní experimenty spékání (A1 – A4) výše uvedených modelových směsí. Průběh spékání a výsledky experimentů jsou uvedené v tabulkové a obrázkové formě s příslušným komentářem, resp. diskusí.

Z porovnání teplotních profilů spékání (obr. 2 – 5) lze vidět vliv náhrady koksu prachu antracitem i vliv granulometrie antracitu, kdy byl s nárůstem koeficientu náhrady zaznamenán pokles teplot ve spékané vrstvě a nárůst doby spékání.

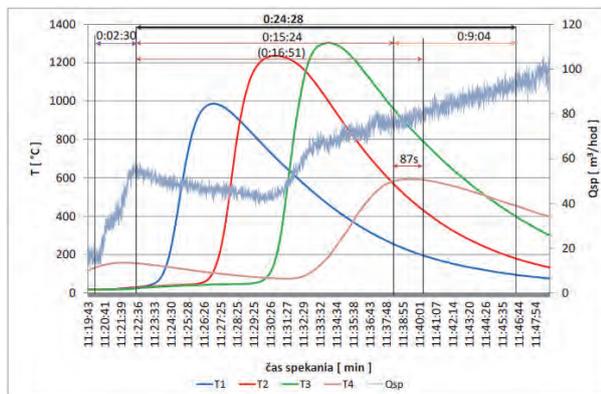
Tento trend souvisí se zhoršenou intenzitou hoření antracitu a také s vyšším podílem prchavé hořlaviny, která se uvolňuje při nižších teplotách, což je příčinou nižšího tepelného efektu při odevzdávání tepla paliva vsázce. Při spékání se stejným koeficientem náhrady byl pozorován mírně rychlejší průběh spékání, což lze přičíst zvýšené prodyšnosti vsázky.



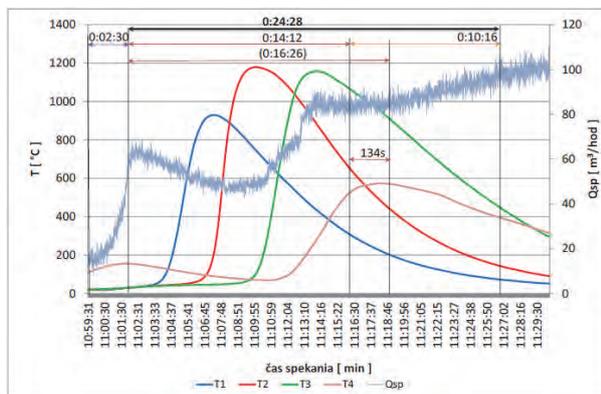
Obr. 2 Průběh teplotních křivek spékání (aglomerální směs A1) [4]
Fig. 2 Temperature curves during sintering (sinter mixture A1) [4]



Obr. 3 Průběh teplotních křivek spékání (aglomerální směs A4) [4]
Fig. 3 Temperature curves during sintering (sinter mixture A4) [4]



Obr. 4 Průběh teplotních křivek spékání (aglomerální směs A2) [4]
Fig. 4 Temperature curves during sintering (sinter mixture A2) [4]

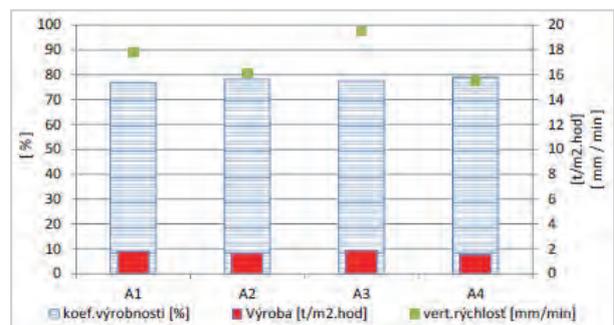


Obr. 5 Průběh teplotních křivek spékání (aglomerální směs A3) [4]
Fig. 5 Temperature curves during sintering (sinter mixture A3) [4]

Následující graf (obr. 6) zobrazuje parametry výkonu spékání pro jednotlivé modelové hromady. Z vypočítaných hodnot vertikální rychlosti spékání, která zahrnuje rovněž koeficient výrobnosti a vliv geometrie spékací pánvičky je vidět nejednoznačný vliv paliva, jelikož funkční závislost vertikální rychlosti spékání závisí i na dalších proměnných (měrné teplo vsázky a plynu, rychlost prosávaného vzduchu (plynu), sypná hmotnost vsázky, fyzikální vlastnosti vsázky, objemové měrné teplo vsázky). Při zohlednění všech vlivů a porovnání těchto parametrů lze spatřovat jistý negativní vliv náhrady koksu prachu na vertikální rychlost spékání, což se potvrzuje zejména u spékání směsí A1 a A4, čili při plné náhradě koksu prachu antracitem.

Koeficient výrobnosti je na srovnatelné úrovni s malým nárůstem přibližně o 2 % při záměně koksu prachu za antracit, ovšem specifická výroba při 100% náhradě klesá zhruba o 17 %. V případě 50% náhrady bylo dosaženo dokonce pozitivnějších výkonnostních parametrů při vytríděném antracitu než při spékání s koksem prachem.

Dle provedeného rozsevu aglomerátů došlo k mírnému snížení podílu podsítného aglomerátu o 2 % v případě 100% náhrady paliva, což se potvrdilo i vzrůstem středního zrna, a to jak v případě vytríděného aglomerátu, tak i podsítných frakcí. Pevnost aglomerátů byla v průměru identická s mírným negativním vlivem antracitu, což se projevilo i na zvýšení oteru přibližně o 0,7 %.



Obr. 6 Vliv náhrady koksu prachu antracitem na výrobní parametry [4]
Fig. 6 Effect of substitution coke breeze by anthracite coal on production parameters [4]

Tab. 2 uvádí chemické složení vyrobených aglomerátů. Z uvedené tabulky je zřejmé, že i přes teoreticky shodné složení jednotlivých směsí, co do zastoupení rudné části, byly stanoveny hodnoty s jistými odchylkami. Obsah Fe se ve vyrobených aglomerátech pohyboval v rozmezí 56,7 – 57,7 % a bazicita kolísala v rozmezí 0,8 – 0,9.

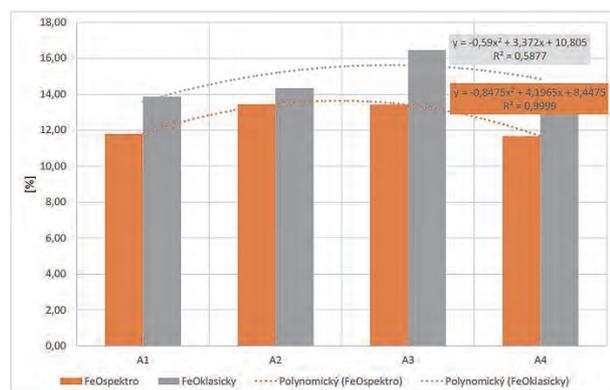
Z pohledu chemického složení byly zajímavé rozdíly ve stanovených obsazích FeO, které se lišily použitou metodou jejich stanovení (spektrometricky, klasická chemická metoda). Vliv náhrady koksu antracitem na obsah FeO v aglomerátu je zobrazen pro dané experi-

menty na obr. 7, na kterém se maximum objevuje při 50% náhradě koksu prachu. Uvedený trend je potvrzen oběma metodami stanovení obsahu FeO, přičemž pro spektrometrické stanovení vykazuje vyšší spolehlivost. V této souvislosti je zajímavý zbytkový obsah uhlíku v analyzovaných aglomerátech, kdy se v případě aglomerátů z aglomeračních směsí A1 a A4 projevil jistý nedopad, což mohlo vést k nižším hodnotám FeO oproti aglomerátům s 50% náhradou koksu prachu.

Tab. 2 Chemické složení experimentálně vyrobených aglomerátů (hm.%)

Tab. 2 Chemical composition of experimental sinters (wt.%)

(%)	A1	A2	A3	A4
Fe	56,70	57,60	57,70	57,50
FeO (spektro)	11,80	13,44	13,42	11,67
FeO (klasicky)	13,87	14,34	16,46	14,57
SiO ₂	8,66	8,76	8,52	8,91
Al ₂ O ₃	1,23	1,10	1,10	1,11
Mn	0,31	0,29	0,30	0,30
CaO	7,36	7,06	7,03	6,81
MgO	1,69	1,04	1,08	1,11
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,07	0,07
S	0,019	0,007	0,010	0,016
Cr ₂ O ₃	0,03	0,02	0,02	0,02
Zn	0,007	0,005	0,005	0,005
P2	0,92	0,82	0,84	0,79
Na ₂ O	0,036	0,032	0,032	0,032
K ₂ O	0,075	0,064	0,070	0,074
C	0,21	< 0,01	0,04	0,14

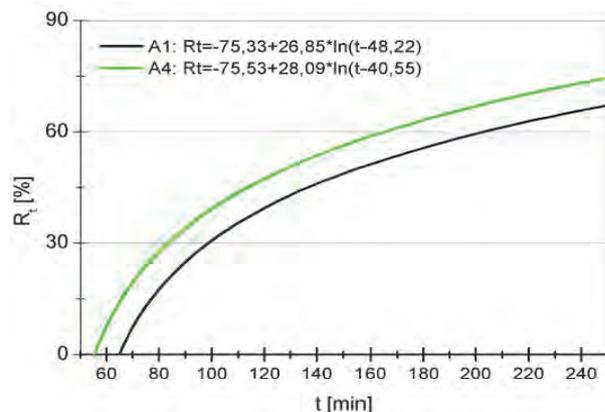


Obr. 7 Vliv náhrady koksu prachu antracitem na obsah FeO v aglomerátu [4]

Fig. 7 Effect of substitution (coke breeze by anthracite coal) on FeO content in the sinter [4]

Dalším ze zkoumaných parametrů provedeného experimentu byla redukovatelnost vyrobených aglomerátů. V souvislosti se změnou druhu paliva a jeho vlivem na kvalitu aglomerátu byly provedeny dva testy redukovatelnosti dle metody ISO 4695, a to u vzorků aglomerátů z aglomerační směsí A1 a A4 (čili se 100% náhradou paliva).

Výsledky provedených zkoušek prokázaly rozdíly v redukovatelnosti aglomerátů, kdy je z průběhů hmotnostních úbytků během působení plyné směsi CO + N₂ na vzorky vidět rozdíl v regresních křivkách redukce. Funkční závislosti stupně redukce R_t na čase jsou porovnané na obr. 8.



Obr. 8 Stupeň redukce v čase pro aglomeráty A1 a A4 [4]

Fig. 8 Degree of reduction in time (sinter A1 and A4) [4]

Z průběhu křivek lze vidět, že aglomerát A1 dosahuje rychlost redukce v intervalu 30 až 60 min. hodnoty 0,32 %·min⁻¹, což je v porovnání s redukčním gradientem aglomerátu A4 o přibližně 22 % nižší rychlost. Tyto zjištěné výsledky potvrzují předpoklad těžko redukovatelného aglomerátu u obou dvou typů, vzhledem k poměrně vysokému obsahu FeO a nízké bazicitě. Hodnota indexu redukovatelnosti se pak u zkoumaných aglomerátů pohybovala okolo 0,55 – 0,73.

Závěry

Z provedeného experimentálního spékání aglomeračních směsí s cílem zjistit vliv náhrady koksu prachu antracitem na proces spékání a kvalitu aglomerátu vzešly následující závěry:

- nahrazení koksu prachu antracitem v plném rozsahu nemá zásadní vliv na proces sbalování směsi a předpeletizaci vsázky,
- s nárůstem koeficientu náhrady koksu prachu antracitem byl zaznamenán pokles teplot spékání vrstvy a nárůst doby spékání,
- z analýzy výkonových parametrů spékání je vidět jistý negativní vliv náhrady koksu prachu antracitem na vertikální rychlost, což je potvrzeno v případech spékání aglomerační směsí A1 a A4,
- koeficient výrobnosti je na provnatelné úrovni, ovšem specifická výroba klesá při 100% náhradě koksu prachu antracitem zhruba o 17 %,
- náhrada koksu prachu antracitem má mírný vliv na snížení podílu podsítné frakce (cca 2 %) u spékání směsí A1 a A4, což bylo potvrzeno nárůstem středního zrna,

- pevnost aglomerátů je v průměru identická s mírným negativním vlivem antracitu,
- chemickou analýzou vyrobených aglomerátů byly zjištěny rozdíly zejména v obsahu FeO, který je jedním z parametrů určujících kvalitu aglomerátu,
- stupeň redukce a index redukovatelnosti stanovené pro aglomeráty ze směsí A1 a A4 potvrdily předpoklad těžko redukovatelných aglomerátů, a to vzhledem k jejich obsahu FeO a množství aglomerační taveniny, kdy z průběhu měření vyplývá, že aglomerát A1 dosahuje v porovnání s redukčním gradientem aglomerátu A4 o cca 22 % nižší rychlosti; v tomto případě měla náhrada koksu prachu antracitem pozitivní vliv na redukovatelnost aglomerátu.

Literatura

- [1] PIETRUCK, R. et al. *Alternate Carbon Sources for Sintering of Iron Ore*. RFCS. Final report. 2013. ISBN 978-92-79-22676-2.
- [2] KAZANTSEV, E. A. et al.: Using AMSSh Anthracite in Sinter Production. *Steel in Translation*, 43 (2013) 3, 127–128. ISSN 0967-0912.
- [3] STRAKHOV, V. M. et al. Utilizing Gorlovsk Basin Anthracite in Metallurgical Production. *Coke and Chemistry*, 51 (2008) 9, 346–356. ISSN 1068-364X.
- [4] FINDORÁK, R. et al. *Vplyv antracitu na aglomeračný proces a kvalitu aglomerátu pre potreby TŽ, a.s.* (Výskumná správa) Košice, 2016.

Thyssenkrupp přebudovává ocelářskou divizi

Börsen-Zeitung

08.04.2017

Thyssenkrupp představil na zasedání závodních rad první cíle a limity plánované přestavby ocelářské divize. Podle údajů managementu nepokrývá divize již celé roky kapitálové náklady a musí být proto restrukturalizována. Šéf divize Andreas Goss stanovil pro ocelářskou divizi do roku 2020 výkonnostní rozdíl ve výši 1,6 mld. € 500 mil. euro má být v příštích třech letech ušetřeno. Kromě toho má být snížen počet zaměstnanců a mají být odstavena některá zařízení u hrubých plechů. Šéf představenstva Thyssenkrupp Heinrich Hiesinger zdůraznil v minulosti již několikrát nutnost přestavby a konsolidace. „Již roky nevyděláváme na naše náklady. A to i přesto, že Steel Europe patří ke dvěma nejrentabilnějším výrobcům oceli v Evropě. Úsporné programy nám dávají jen možnost vydechnutí“, prohlásil Hiesinger na valné hromadě. Provozní, surovinové a dopravní náklady se dají stlačit jen těžko. Jinak je tomu u personálních nákladů, které tvoří zhruba čtvrtinu celkových nákladů. Ty by měly brzy stoupnout, protože v nejdůležitějším závodě v Duisburgu se bude přecházet z 31 hodinového týdne zpět na 35 hodinový. Koncern chce ale personální náklady snížit o více než 200 milionů euro, což je o více než 10 %. Podniková rada se obává odbourání tisíců pracovních míst a dále i úplného uzavření některých provozů a lokalit. S těmito záměry vyslovila nesouhlas. Jako o ohrožených provozech či závodech se mluví o válcovně v Bochumi a provozech v Kreuztal a Gelsenkirchenu. Diskutuje se také o Hüttenwerke Krupp-Mannesmann (HKM), které patří společně koncernům ThyssenKrupp, Salzgitter a Vallourec. Od roku 2016 se jedná o fúzi s Tata Steel. Joint Venture 50:50 by byl řešením, konec jednání se ale zdá být v nedohlednu. V důsledku fúze by vznikl druhý největší výrobce oceli v Evropě za ArcelorMittal s 50 000 zaměstnanci a obratem 20 mld. € Podíl na trhu s lukrativní ocelí pro automobilový průmysl by tvořil čtvrtinu.

Rozloučení Audi s autem z hliníku

Frankfurter Allgemeine

11.04.2017

Zná pokrok jen jeden směr? Na spirále se můžete pohybovat stejně směrem nahoru i dolů. To se domnívali inženýři z Audi, když nadchnuti zapáleným technikem Ferdinandem Piechem, když vyvinuli v roce 1994 pro druhou generaci velké limuzíny A8 první velkosériově vyráběnou celohliníkovou karoserii. Použitím tohoto lehkého kovu snížili hrubou váhu hrubé karoserie na pouhých 249 kg. Lehčí auta, tak pravila naděje, potřebují jen menší motor a ne tak silné brzdy a tlumiče. S novým A8, které bude představeno na IAA ve Frankfurtu nad Mohanem, proběhne rozloučení s čistě hliníkovým A8, které bylo mezitím kopírováno mnoha výrobci. Dnes bude z různých druhů hliníku již jen 58 % hrubé karoserie, jakož i dveře, kryt motoru a kryt zavazadlového prostoru. Nové kouzelné slůvko zní: „smíšený způsob konstrukce“. Zvláštní roli při tom hrají za tepla tvářené oceli, ty tvoří jádro přední kostry prostoru pro cestující, které chrání jezdce a spolujezdce před nárazem. „Postavíme-li pevnost do relace s hmotností, leží za tepla tvářená ocel dnes před hliníkem“, vysvětluje Bernd Mlekusch, šéf centra pro lehké konstrukce v Audi.