

Jak je to s uhlíkem v litině

Nová cesta analýzy litiny pomocí opticko emisní spektrometrie



Vývoj hutnictví železa je neoddělitelně spjat s pokrokem civilizace. Vlastně by se popravdě mohlo říct, že bez uhlíku by nebylo litiny ani železa, stejně jako tomu bylo u redukčního činidla použitého pro uvolnění kovového železa z železné rudy již od pradávna. Několik desetin procenta rozdílu v obsahu uhlíku může mít dramatický vliv na mechanické vlastnosti železa a oceli a proto jeho přesné měření je pro hutnictví železa velmi důležité. Pro měření obsahu uhlíku v železu a oceli byly vyvinuty chemické a spektroskopické metody. Jednou z nejznámějších je opticko emisní spektrometrie (OES) využívající elektrického jiskrového výboje. Při měření uhlíku v litině ale tato metoda může být náchylná na chyby v návaznosti na granulární povaze materiálu a na přítomnost



částic "volného" uhlíku ve formě grafitu. Tyto chyby mohou být eliminovány důslednou technikou přípravy vzorku, ale pro dosažení požadované reprodukovatelnosti a věrohodnosti výsledků je třeba disponovat vysokou mírou dovednosti a zkušeností. Nový vývoj v technologiích, které jsou použity u SPECTROLABu od fy SPECTRO umožňuje detekovat neoptimální vzorky a dokonce provádět jejich analýzu. Díky tomuto pokroku jsou pak výsledky srovnatelné s hodnotami dosaženými pomocí

standardních technik měření celkového uhlíku (např. spalovací metoda) a zároveň je možno stanovit obsah "volného" uhlíku ve vzorku.

Železo - vývoj technologie tavení

První kov pro výrobu každodenních potřeb ve velkém množství byl použit někdy 2500 let př.k. a byla to slitina mědi a cínu, tedy bronz. Od toho se pak nazývá jedna éra lidské historie. Jediné známé železné předměty do té doby byly vytvořeny z kovových meteoritů. Tento zdroj byl tak vzácný, že předměty vyrobené z železa byly mnohem dražší, než zlato.

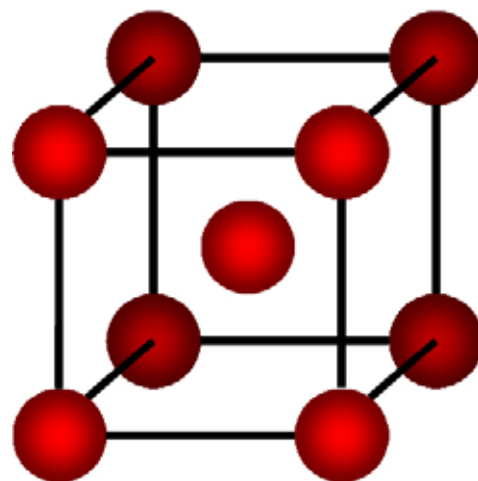
Vynález procesu tavení, pomocí něhož se kovové železo získává z oxidu rudy je obvykle přisuzován Hititům z Anatólie, tedy oblasti v dnešním Turecku.

Když se pak podařilo železo vyrobit ve větším množství, zjistilo se, že jeho mechanické vlastnosti jsou ideální pro výrobu takových předmětů, jako zbraně apod. Od roku 1500 př.k. se pak železné předměty začaly objevovat v celém Blízkém východě od Mezopotámie až po Egypt. Stále to byl vzácný a drahý kov, nicméně malá dýka s železnou čepelí byla dost důležitá na to, aby byla přidána do drahocenného pokladu v hrobce faraóna Tutanchamona, pohřbeného roku 1323 př.k. Toto mladé železo bylo vyrobeno tzv. "blooming" procesem, ve kterém byla železná ruda, většinou hematit Fe_2O_3 nebo magnetit Fe_3O_4 smíchána s dřevěným uhlím a tavena v peci za přívodu vzduchu pomocí měchu. Ačkoliv byl oxid železa přeměněn na kovové železo, byla dosažená teplota příliš nízká k tomu, aby se železo přetavilo kompletně a v peci se zároveň vytvářela houbovitá železná hmota nebo "zákal", který rovněž obsahoval popel a strusku.

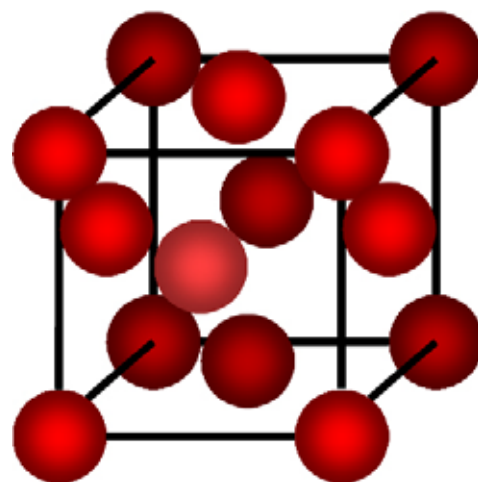
Když by zákal ohřán pro vytavení strusky a podroben opakovanému beating and folding byly nečistoty vyplaveny, zůstal relativně měkký a tvárný kov známý jako tepané železo. Měkost tepaného železa, ačkoliv se tehdy nevědělo proč, byla způsobena díky faktu, že jeho krystalická struktura byla modifikována během opakovaného tavení a pracovních cyklů potřebných k odsranění strusky. Později, opět na Blízkém východě zjistili, že tepané železo by mohlo mít mnohem tvrdší vnější vrstvu díky ohřevu v prostoru s dřevěným uhlím a pak "zchlazením" ve vodě nebo oleji. To byl první příklad procesu známého jako "nauhličování". Moderní příklad tohoto je cementování. Tato vnější vrstva měla a hlavně si udržela velmi ostré hrany, což bylo ideální pro zbraně, nástroje a jiné předměty. Okolo roku 800 př. k. se železo objevilo v severní Evropě. kde se Keltové stali známými mistrnými řemeslníky. Kvalita byla vysoce závislá na zručnosti a zkušenosti kovářů až do takové míry, že jejich řemeslo získalo až mýtického statusu. Jedna dávná úsměvná legenda, která se váže k dnešní metalurgii železa vypráví o Waylandovi (Wielandovi) Smithovi - postavě ve skandinávii a Germánské a Anglosaské mytologii. Podle legendy při jeho pátrání po dokonalém meči rozbil obyčejný meč na kovové třísky a smíchal je s jídlem a s touto směsí krmil některé slepice! Nasbíraný trus pak roztavil a vytvořený kov pak použil k výrobě nového meče. Tato neobvyklá metoda podle legendy fungovala, protože jeden z jeho mečů byl tak ostrý, že rozsekl protivníka na půl a všiml si toho až spadl oddělený na zem. Bizarní na tom je, že ačkoliv je to legenda, trochu pravdy na ní opravdu být může. Tento neobvyklý proces vsutku mohl zvýšit obsah uhlíku a dusíku v oceli ! Jak už bylo výše uvedeno, houbovitá železná hmota nedosáhla dostatečně vysoké teploty, aby se úplně přetavila na železo, takže odlítí nebylo možné. První vysoká pec se objevila v Číně někdy okolo roku 500 př. k. a byla naplněna rudou a dřevěným uhlím a používala fosforičité minerály

jako tavidlo spíše než vápenec, používaný dnes. Podobné procesy byly ve stejném období využity v Indii. Toto vyrobené surové železo nebo litina se dalo odlévat, ale díky relativně vysokého obsahu uhlíku (2-5%) bylo velice tvrdé a křehké. Tato technologie se v Evropě neobjevila téměř dalších 2000 let. Hlavním krokem kupředu bylo použití uhlí místo dřevěného uhlí jako palivo v peci, představené v Anglii r. 1779. Bez drahého dřevěného uhlí mohlo být železo vyráběno levněji a v průmyslovém měřítku. Uhlík je jednoznačně základem hutnictví železa a oceli. Dříve byl vývoj převážně metodou pokusu a omylu. Stejně tak nebyly známy chemické a metalurgické pochody. Ale během 19. století byly vytvořeny studie o komplikovaných interakcích mezi uhlíkem a železem. Le Chatelie a ostatní demonstrovali, že železo a ocel má krystalickou nebo zrnitou strukturu, která má obrovský vliv na mechanické a ostatní vlastnosti kovových materiálů. Tato zrnitá struktura do značné míry závisí (ale ne výhradně) na obsahu uhlíku, takže možnost přesného řízení obsahu uhlíku je životně důležitá pro prosedy výroby železa a oceli a celého hutnictví.

Litina – kubická struktura a krystaly
Pod mikroskopem není litina a ocel homogenní, ale zrnitá. Struktura daného vzorku závisí na řadě faktorů, ale hlavně na obsahu uhlíku a termálních a mechanických procesech, kterým byl podroben. Železo a uhlík mohou tvořit řadu sloučenin, z nichž každý má svou mechanickou strukturu a tudíž mechanické vlastnosti. Při pokojové teplotě jsou komerční materiály složeny ze zrnitých směsí feritu, austenitu a a karbidu železa Fe₃C s a nebo bez částic volného uhlíku (grafitu). Krystalická struktura feritu je příkladem prostorově centrované kubické mřížky ("Body Centered Cubic - BCC") a austenit je plošně centrovaná kubická mřížka ("Face Centered Cubic" - FCC). V obou případech mohou atomy uhlíku vstoupit do kovové mřížky jak se tavenina ochladí do formy stabilního krystalu:



Prostorově centrovaná kubická mřížka



Plošně centrovaná kubická mřížka

ve feritech mohou zabírat místo pouze ve středu mřížky a v austenitech ve středu jejich ploch. Jasně to limituje maximální koncentraci uhlíku v každém typu krystalu. Tedy maximální koncentrace uhlíku u feritu je 0.025 % a u austenitu to je 2.06 %. Pravidelná struktura těchto materiálů je to, co jim dává možnost válcování nebo zpracování za studena, jako roviny skluzu jsou možné mezi přilehlými krystalickými plochami. Toto je důležitá vlastnost oceli a obsahuje-li konvenčně materiál méně než 2.06% maxima austenitu, je to klasifikováno jako ocel a pokud více, pak je to litina. U vysokých koncentrací uhlíku je to forma karbidu železa Fe₃C. To obsahuje 6.7 hmot.% uhlíku a také se nazývá jako cementit. Volný uhlík se taky může vytvářet, když se tavenina ochlazuje pomalu a je nanesen na hranicích zrna jako grafit. Zda-li tavenina ztuhne do formy cementitu nebo směs cementitu

a grafitu závisí hlavně na rychlosti ochlazení: rychlé ochlazení podporuje tvorbu cementitu a vzniká bílá struktura litiny bez obsahu volného grafitu, zatímco při pomalém chlazení může volný grafit vytvořit strukturu šedou. Přítomnost některých legujících prvků má rovněž vliv. Vměstky grafitu mohou být rovněž nalezeny v temperovaných litinách a v tvárné litině. V temperované litině se grafit formuje během procesu žhání. Tvárná litina obsahuje malé množství hořčíku nebo céru a v tomto případě shluk atomů uhlíku kolem jednoho atomu Mg nebo Ce vytvoří malé kuličky o průměru od několika mikrometrů až 150 μm. Množství vytvořeného volného uhlíku se mění s relativně malými rozdíly s rychlostí chlazení a přítomnosti legujících prvků.

Měření uhlíku v železe a oceli

Pro měření uhlíku v železe a oceli se používají dvě tradiční metody. Až do osmdesátých let byla spalovací metoda standardním postupem pro stanovení celkového obsahu uhlíku. Malé množství oceli nebo litiny (cca. 0.5 g) se rozdrtí a zahřeje na 1150 °C a spaluje se v atmosféře čistého kyslíku. Uhlík ve vzorku je oxidován na CO₂, který je shromažďován buď rozpuštěním ve vodném roztoku nebo pevným absorbentem a měřen buď volumetricky nebo gravimetricky. Dnes se CO₂ měří opticky, na bázi absorbce infračerveného záření a automatické spalovací analyzátoři tohoto typu se často uplatňují v ocelárnách. Většina těchto analyzátorů umí současně stanovit obsah síry, tedy dalšího důležitého prvku v hutnictví železa a oceli.

Další známa metoda, používaná výhradně od šedesátých let je Optická Emisní Spektrometrie (OES), využívající buď jiskrového zdroje nebo doutnavého výboje. Není nutné drcení vzorku, takže celkový čas měření s jiskrovými OES je kratší než u spalovací metody. Nicméně měření s doutnavým výbojem může trvat až 10 minut, díky nízké míře praskání uhlíku. Velkou výhodou

jiskrových OES je, že kromě uhlíku se mohou stanovit ostatní důležité prvky v oceli a litině, včetně dusíku, křemíku, síry a legujících prvků, jako jsou mangan, nikl a chrom. Tím by se zdálo, že spalovací metoda by se stala zbytečnou, ale u vysokých úrovní obsahu uhlíku může mít technika odběru vzorku podstatný vliv na výsledky měření uhlíku pomocí OES. Speciálně je to patrné, když musí být vzorky odebrány takovým způsobem, že se téměř nevytvoří žádný grafit.

Odebrání vzorku pro analýzu oceli a železa není tak jednoznačné: testovací vzorek je normálně jen malý zlomek celé taveniny, ale měl by být dostatečně reprezentativní. Musí se odebrat pečlivě, aby se zabránilo kontaminaci od strusky. Roztavený kov je velmi reaktivní a vzorkovací techniky by měly být navrženy tak, aby chemické reakce, které mohou po odběru nastat a tím měnit složení taveniny, byly minimalizovány. Vzorkování může být buď jednostupňové, kdy je vzorkovací zařízení zároveň formou, nebo dvoustupňové, kdy je vzorek nejprve odebrán vhodnou lžící nebo naběračkou a pak se naleje do formy. Jednostupňové vzorkování, využívající ponorného vzorkovače je vhodnější pro automatizaci, kde může pomoci s opakovatelností odběru vzorku. Stupeň chlazení a tuhnutí vzorku je velice důležitý: jak bylo výše uvedeno, rychlé chlazení snižuje vytvoření volného grafitu, který ovlivňuje analýzu uhlíku. Jednostupňové vzorkování má tendenci k problémům u litiny. U dvojitého vzorkování se vzorek obvykle odlije jako tenký disk do měděné kokily, aby se velice rychle ochladil. U jednostupňového automatického vzorkování se může použít vodní chlazení. Na vzdory těchto opatření se u takto dynamických situací u vzorků se stejné tavby stále ukazují rozdíly v krystalické struktuře v době, kdy jsou prezentovány pro analýzu.

Efekt vzorkování u výsledků měření metodou OES je v následující tabulce. Tři litinové vzorky byly připraveny při pomalém a velmi pomalém chlazení, kdy se vytvoří typická šedá litina s cca. 3.7% celkového uhlíku. Typické výsledky s OES jsou v tabulce 1:

Vzorek	% C (OES)	% C (spal.met.)
1 (téměř bílý)	3.54	3.623
1 (šedý)	3.19	3.679
Rozdíl	0.350	-0.056
8 (téměř bílý)	3.58	3.589
8 (šedý)	3.29	3.664
Rozdíl	0.290	-0.075
16 (téměř bílý)	3.52	3.599
16 (šedý)	3.15	3.666
Rozdíl	0.370	-0.067

Toto je poněkud vykonstruovaná situace, ale ilustruje důležitost techniky odběru vzorků.

OES a šedá litina - Analytický problém

Při analýze granulárních kovů pomocí jiskrové OES, je normální použití tzv. "předjiskření" před aktuálním měřením. Toto předjiskření se skládá s několika tisíc jisker s vysokou energií, které zajistí, že povrch měřeného vzorku je roztaven a tím homogenizován ještě před vlastním měřením.

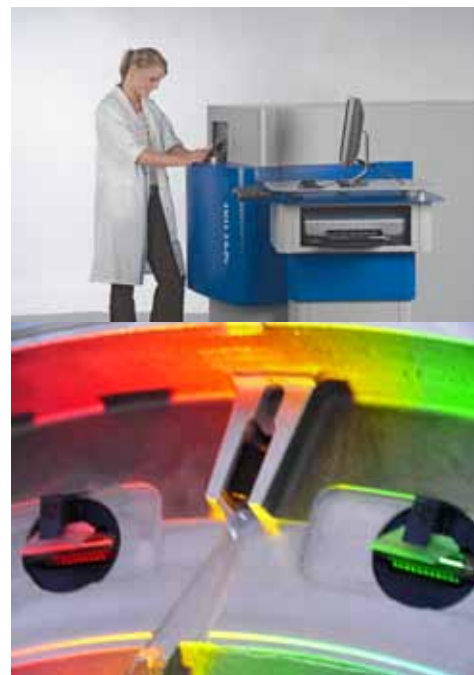
Toto se občas také nazývá jako technologie HEPS (High Energy Pre-Spark - tedy vysokoenergetické předjiskření). Bohužel, pokud jsou přítomny volné vměstky grafitu, tak předjiskření způsobí sublimaci části nebo celého grafitu před tím, než dojde k vlastnímu měření a to je pak příčina propadu naměřených hodnot uhlíku. Tento efekt může být vizualizován, pokud si předjiskřenou plochu prohlédneme pod mikroskopem:



Obr 1: Přeleštěný vzorek s kráterem po předjiskření

Malé černé tečky jsou vměstky grafitu. inclusions. Tmavý střed je způsoben faktem, že ve středu byla ablace hlubší. Tyto plochy nejsou ostré a zde nedůležité. Nicméně je jasně viditelné, že kolem středu je kruhový pás bez jakýchkoliv zbývajících vměstků grafitu. Odpařená plocha je obklopena pásem přetaveného kovu bez

vměstků grafitu. Grafit se neroztavil, takže okamžitě sublimoval a nebyl začleněn v přetavené oblasti. Tímto již dále není dostupný pro měření. V reálné situaci předjiskření všechny vměstky grafitu nezmizí. Rovněž ablace materiálu zpřístupňuje hlubší úrovně, kde během měřicí fáze přicházejí nové nečistoty ve formě grafitu. Použitím výhod v technologii OES může SPECTROLAB během fáze předjiskření sledovat signál emise uhlíku a stanovit takto přítomnost volného grafitu a využít tuto informaci pro výběr analytických podmínek, které minimalizují tyto efekty. Jak už to u analýz bývá, čím lepší kvalita vzorku, tím lepší výsledky, takže tento přístup používá statistickou metodu pro detekci špatných vzorků automaticky.



SPECTROLAB - sofistikovaná technologie pro analýzu litiny

Nejvhodnější spektrální čáry pro sledování emise uhlíku během předjiskření jsou v UV oblasti spektra a jsou velice blízko ostatních analytických čar. Předjiskření vygeneruje tisíce datových bodů během několika sekund, takže se vyžaduje sofistikované zacházení se signálem a zpracování dat

Požadavky na přístroj jsou následující:

1. Přesně řízené a reprodukovatelné budící podmínky
2. Vysoký výkon v UV oblasti emisního spektra
3. Velmi vysoké optické rozlišení a schopnost rozlišit velmi blízké sousední emisní čáry
4. Sofistikované zpracování výsledků

S ohledem na tyto požadavky postupně:

1. Budící zdroj

V oblasti OES to je SPECTROLAB, který má jako první má plně digitální řízení zdroje. Řízení výkonu, definice pulsů a off-line řízení je plně digitální, použitím posledního 32MHz mikrokontroleru je dosaženo lepšího kontrolního rozlišení - úroveň vzorkování je 400x za 200 μ s výboj a vzorkovací rozlišení je 125 mW.

Tato schopnost přesné a reprodukovatelné definice jiskry vytváří mnoho předností, včetně lepší přesnosti (což znamená lepší limity detekce), lepší reprodukovatelnosti, rychlejšího měření a menšího ovlivnění. Absolutní směrodatná odchylka (ASD) je poloviční pro většinu důležitých prvků a matric. Jiskřiště je navrženo tak, aby průtok argonu byl optimalizován a jeho spotřeba byla minimalizovaná, při velice efektivním odstranění vytvořených kondenzátů. To znamená menší nároky na údržbu (požadavek na vyčištění jiskřiště je cca každých 3000 měření v závislosti na materiálu). SPECTROLAB nepotřebuje žádné vodní chlazení.

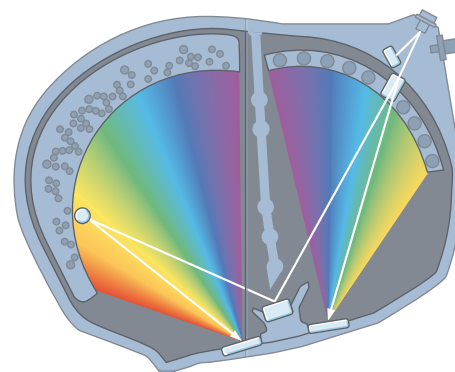
2. Výkon v oblasti UV

Nejvhodnější emisní čáry pro měření uhlíku leží v oblasti emisního spektra pod 200nm. Pro práci v této oblasti nesmí být v optické cestě žádný vzduch. Většina přístrojů využívá buď vakuum nebo proplachování relativně velkým množstvím argonu, aby se toho dosáhlo, ale obě metody jsou nákladné a mohou způsobit kontaminaci optického systému buď olejovými výparry z vývěvy nebo interními nečistotami. SPECTROLAB využívá unikátní systém UV-PLUS,

ve kterém je optika hermeticky utěsněna a jen jednou naplněna argonem, který pomocí membránového čerpadla cirkuluje. Jakékoliv stopy nečistot jsou odstraněny pomocí čisticí patry, která je vestavěna do systému. Tím se sníží náklady na provoz a intervaly údržby.

3. Optický systém

Normálně se uhlík měří na spektrální čáře 193 nm a vhodný referenční kanál železa je na vlnové délce 187.7 nm. Během vysoce energetického předjiskření se aplikují různé podmínky buzení a tato dvojice čar není úplně ideální. Pro podmínky předjiskření byl na lezen vhodnější pár čar C 148.2nm a Fe 149.7nm, které dávají daleko lepší výsledky. Nicméně jiný, běžně stanovený prvek v oceli a litině - dusík, má



emisní čáru velice blízko - 149.2 nm. Nicméně vysoké rozlišení (9 pm) SPECTROLABu s kombinací s CCD detektory vytváří tu nejlepší volbu pro přesné měření uhlíku, ikdyž zmíněné spektrální sousední čáry jsou tak blízko sebe. CCD detektory mají lineární uspořádání velice úzkých prvků citlivých na světlo - tzv. pixelů. Každý pixel je efektivně svou vlastní výstupní štěrbinou, takže tím předchází problému blízké sousedících fotonásobičů a vysoce zvyšuje flexibilitu přístroje. V optice je 22 (volitelně až 37) CCD detektorů, které zajišťují kompletní spektrum. Každý s detektorů má 3800 pixelů.

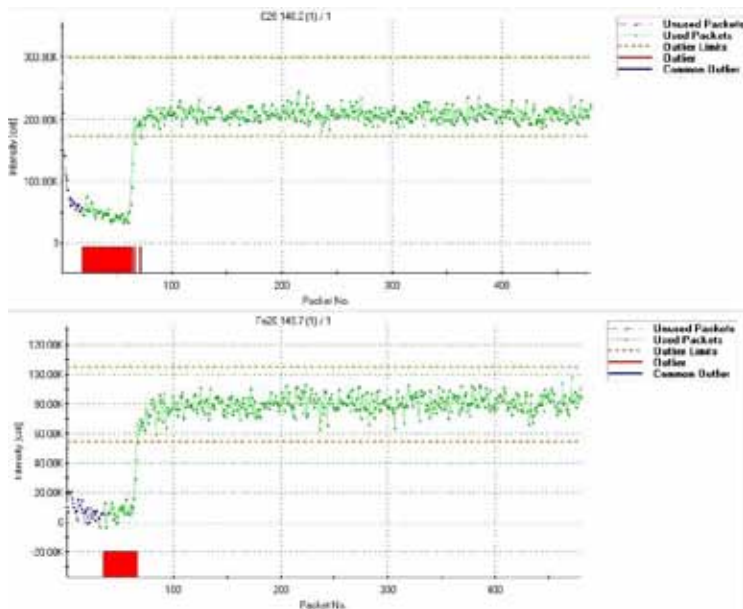
4. Zpracování dat

Nový čtecí systém je schopen zachytit všechny informace současně, tj. pro všechna jednotlivá měření jsou detekovány všechny čáry a dostupné jsou všechny intenzity. Pro běžné měření na základě vybraných čar, je potřeba zpracovat jen určitá "místa zájmu - (RegionOfInterest)". To umožňuje přenos dočasných dat v reálném čase, takže během měření mohou být analytické výsledky akumulovány, aby se stále zvyšovala statistická jistota jakožto postupy měření. To napomáhá k udržení měřicího času tak krátkého, jak je jen možno, bez ztráty kvality.

SPECTROLAB používá novou verzi SW SPECTRO Spark Analyzer Vision Ten obsahuje sofistikovaný kalibrační modul, uživatelsky příjemné rozhraní a integrovanou SQL databázi. Přístroj může být nakonfigurován s představenými analytickými metodami, takže pro běžné analýzy mohou být procedury komplexního měření a výpočtu, jako v uvedeném příkladu, inicializovány stisknutím tlačítka. Součástí SW je Diagnostický modul, který monitoruje, archivuje a zobrazuje provozní status všech důležitých částí a systému. Toto se hodí speciálně při provádění tzv. "audit trail" potřebného k demonstraci dohledatelnosti výsledků. Uživatelské nastavení pro servis a údržbu je archivováno v určeném souboru a operátor je automaticky vyzván k uskutečnění potřebných servisních nebo údržbových akcí, pokud uplyne zadaný čas nebo počet měření.

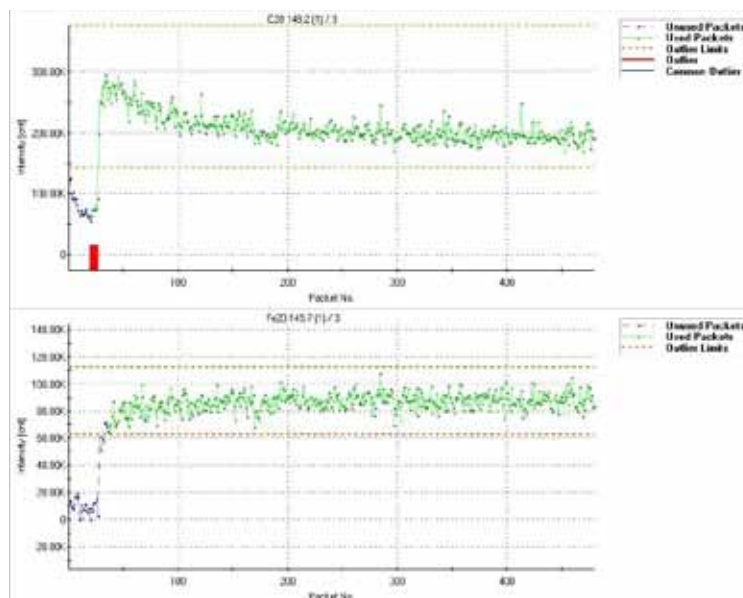
Výsledky a vyhodnocení

Jak už bylo výše uvedeno, velmi vhodná spektrální čára pro měření uhlíku během předjiskření je C 148.2, využívající referenci Fe 149.7. Předjiskření v tomto případě využívá 5000 jisker a čtecí systém kombinuje měřené intenzity každých deseti jisker do "paketů" – tj. 500 paketů intenzit z 5000 jisker. U vzorku bez žádného grafitu jsou intenzity paketů během předjiskření zobrazeny na obrázku č.2. (horní obrázek zobrazuje průběh uhlíku a spodní Fe reference).



Obr. 2. Intenzity při předjiskření – vzorek bez grafitu

Po fázi stabilizace (asi 700 jiskření, tj. 70 balíčků), se intenzity balíčků stávají stabilní. U vzorku, obsahující 0.5% W/W grafitu, je ale situace poměrně odlišná, jak je uvedeno na obrázku č.3:



Obr. 3. Intenzity při předjiskření – vzorek s 0.5% w/w grafitu

V tomto případě, po počáteční fázi stabilizace, kdy je intenzita uhlíku zvýšená, je stabilní intenzita dosažena až od balíku cca.č.150. To je kvůli emisi ablatovaných atomů uhlíku, které se během měření brzo ztratí, a pak se emise na úroveň průměru.

Pro stanovení indikátoru, jak mnoho je ve vzorku volného grafitu, se z těchto dat používá statistický postup. Pokud je indikátor pod definovanou úrovní, pak analýza pokračuje a používá normální preferovanou čáru na C193 nm s vhodnou referencí želez (např. 187.7 nm). Pokud je mezi touto úrovní a předstanoveným limitem, vypočítává se koncentrace uhlíku pomocí signálu z páru čar C148/Fe149. Mělo by být připomenuto, že s CCD optikou SPECTROLABu jsou současně dostupné intenzity všech kanálů a okamžitě se používají k výpočtu. Nad daný limit je vzorek zamítnut a je mu přiřazen status - "špatný" vzorek. Typické výsledky, používající tuto strategii jsou zobrazeny v tabulce 2, která ukazuje výsledky obdržené na stejných vzorcích, jako v tabulce 1.

Pomocí této vylepšené metody jsou nyní rozdíly mezi šedými a bílými vzorky daleko menší a ukazují, že rozdíly díky jiné krystalické struktúře byly podstatně sníženy. Výsledky u šedých vzorků nyní daleko více odpovídají výsledkům ze spalovací metody. Další výhodou této metody je fakt, že dostaneme upozornění hned, jak se zaregistruje podstatné množství grafitu. V tom případě je možno zkontrolovat a zlepšit proces odběru vzorků.

ZÁVĚR

Tato metoda využívá pokročilých možností opticko emisního spektrometru SPECTROLAB k lepšímu stanovení uhlíku v litinových vzorcích. Chyby způsobené odběrem vzorku jsou podstatně redukovány a metoda dává dobrou shodu s analýzou pomocí spalovací metody.

"Špatné" vzorky mohou být detekovány automaticky a vyloučeny z výsledků.

Tato metoda byla patentována.

Tabulka 2 Typický příklad

Vzorek	C% (tradiční metoda využívající C193nm)	C% (vylepšená metoda využívající C148nm)	C% (spalovací metoda)
1 (téměř bílý)	3.54	3.63	3.623
1 (šedý)	3.19	3.64	3.679
Rozdíl	0.350	-0.010	-0.056
8 (téměř bílý)	3.58	3.66	3.589
8 (šedý)	3.29	3.62	3.664
Rozdíl	0.290	0.040	-0.075
16 (téměř bílý)	3.52	3.69	3.599
16 (šedý)	3.15	3.68	3.666
Rozdíl	0.370	0.010	-0.067

www.spectro.com

www.spectro.cz



GERMANY

SPECTRO Analytical Instruments GmbH
Boschstrasse 10
D-47533 Kleve
Tel: +49.2821.892 2102
Fax: +49.2821.892 2202
spectro.info@ametek.com

U.S.A.

SPECTRO Analytical Instruments Inc.
91 McKee Drive
Mahwah, NJ 07430
Tel: +1.800.548 5809
+1.201.642 3000
Fax: +1.201.642 3091
spectro-usa.info@ametek.com

HONG KONG (Asia-Pacific)

SPECTRO SPECTRO Analytical Instruments
(Asia-Pacific) Ltd.
Unit 1603, 16/F., Tower III
Enterprise Square
No. 9 Sheung Yuet Road
Kowloon Bay, Kowloon
Tel: +852.2976.9162
Fax: +852.2976.9542
spectro-ap.info@ametek.com

Subsidiaries:

CHINA: Tel +86.10.8526.2111, Fax + 86.10.8526.2141, spectro-china.info@ametek.com.cn, FRANCE: Tel +33.1.30 68 89 70, Fax +33.1.30 68 89 79, spectro-france.info@ametek.com, GREAT BRITAIN: Tel +44.(0)1162.462950, Fax +44.(0)1162.740160, spectro-uk.info@ametek.com, INDIA: Tel: +91.22.28 36 47 50, Fax: +91.22.28 36 36 13, sales.spectroindia@ametek.com, ITALY: Tel: +39.02.94693.1, Fax +39.02.94693650, spectro-italy.info@ametek.com, JAPAN: Tel: +81-(0)3 3740 5172, Fax: +81-(0)3 3740 5307, spectro-japan.info@ametek.com, SWEDEN: Tel: +46.8.519-060 31, Fax: +46.8.519.060 34, spectro-nordic.info@ametek.com, SOUTH AFRICA: Tel +27.11.9794241, Fax +27.11.9793564, spectro-za.info@ametek.com.

SPECTRO operates worldwide and is present in more than 50 countries. Please contact our headquarters for your local representative.

© SPECTRO 2011, Subject to technical modifications • Rev.0 • C-11, Photos: SPECTRO, Getty Images, Corbis