

Opatření ke snížení výskytu slévárenských vad na hlavové přírubě bloku motoru

Barbora Vaňková

Vedoucí práce: Ing. Petr Zikmund

Abstrakt:

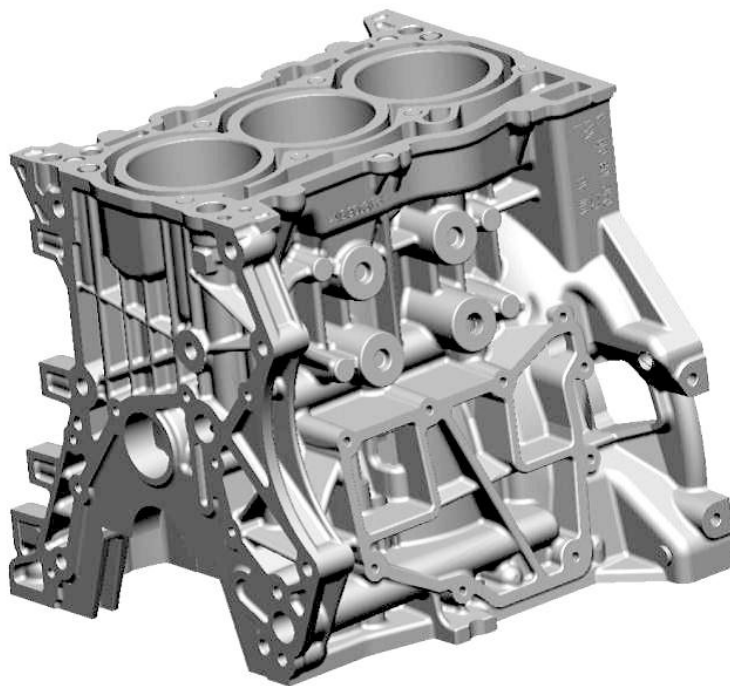
Práce je zaměřena na řešení problému zvýšeného výskytu slévárenských vad (porezita, mikrostaženiny) na hlavové přírubě odlitku bloku motoru. Tyto odlitky jsou vyráběny ve slévárně Škoda Auto a. s. v Mladé Boleslavi ze slitiny hliníku AlSi9Cu3 technologií vysokotlakého lití. Cílem práce je nastínění problému porezity vyskytující se na hlavové přírubě, popis technologie lití pod tlakem, rozbor navržených opatření a zhodnocení těchto opatření v praxi.

Klíčová slova:

Porezita, slitina hliníku, blok motoru, přídavek na obrábění

1. Úvod

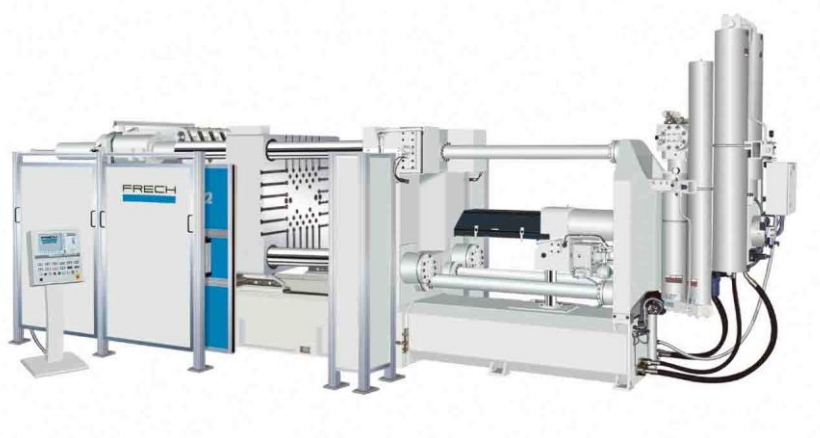
Odlitkem, na kterém jsou prováděna opatření z důvodu výskytu porezity, je blok motoru dodávaný do malých koncernových vozů Škoda Citigo, Volkswagen Up a Seat Mii. Koncern VW tuto kategorii vozů označuje pod jednotným názvem NSF - „New small family“. Blok motoru NSF je součástí řadového tříválcového motoru o objemu 1,0 l MPI s výkonem 44/55 kW. Zkratka MPI (Multi Point Injection) označuje benzínový motor s vícebodovým sekvenčním vstřikováním paliva. Palivo je vstřikováno těsně před začátkem sání přímo do sacího kanálu pro každý jeden válec zvlášť.



Obr. 1. Blok motoru NSF 1,0 l MPI

2. Slévárna Al v Mladé Boleslavi

ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi vlastní slévárnu hliníku (dále jen slévárna Al), která je součástí hutních provozů. Právě na tomto pracovišti jsou vyráběny bloky motorů NSF a realizována navrhovaná opatření. Mimo bloky NSF 1,0 l MPI jsou zde odlévány také bloky čtyřválcové 1,2 a 1,4 l TSI, skříně spojek a převodovky. Celý sortiment odlitků slévárny Al je odléván technologií vysokotlakého lití do trvalých kovových forem. Tato technologie je založena na principu vstřikování roztaveného kovu do trvalé kovové formy za vysokého tlaku a rychlosti. Slévárna Al disponuje 16 licími stroji značek Müller Weingarten, FRECH, IDRA a ITALPRESS. Hlavními charakteristickými parametry vysokotlakého lití jsou uzavírací síla a maximální rychlost pístu. U strojů IDRA 2000 používaných pro výrobu bloků motorů se velikost uzavírací síly pohybuje kolem 2000 tun. Píst v licí komoře dosahuje maximální rychlosti až 10 m/s. Této rychlosti dosáhne píst pouze za předpokladu, že komora není naplněna kovem (naprázdno). [1]



Obr. 2. Ukázka tlakového licího stroje FRECH

3. Materiál odlitku

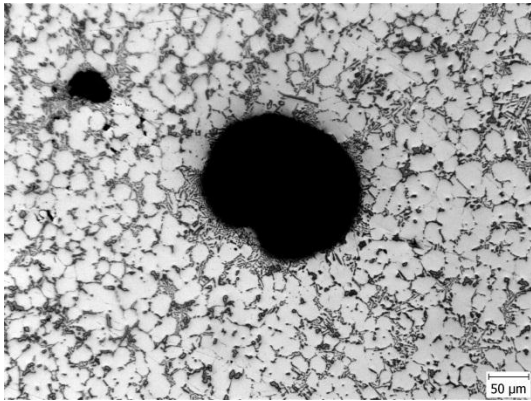
Odlévaným materiálem bloků motorů ve slévárně Al v Mladé Boleslavi je slitina hliníku AlSi9Cu3. Slitiny Al-Si-Cu jsou nejvíce používaným typem slitin. Tvoří zhruba polovinu produkce odlitků ze slitiny hliníku. Jsou dominantní hlavně v automobilovém průmyslu, zejména pro svou vysokou rozměrovou stálost a malou pohltivost plynů. Slitina AlSi9Cu3 je slitinou podeutektickou a řadí se mezi slitiny, které jsou odolné do provozních teplot 200 – 350 °C. Přítomnost mědi výrazně zlepšuje obrobitelnost. Třísky jsou dobře lámavé a dosahuje se kvalitního povrchu odlitku. [2]

Tabulka 1. Tepelně - fyzikální vlastnosti slitiny odlitku

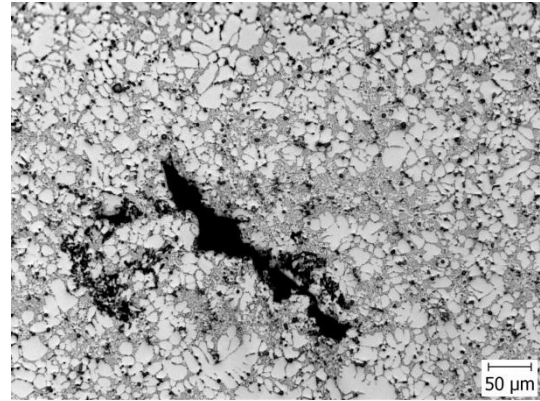
Tepelně - fyzikální vlastnosti slitiny AlSi9Cu3		
Teplota likvidu [°C]		610
Teplota solidu [°C]		520
Hustota [kg.m ⁻³]	při teplotě 20°C	2 700
	při teplotě tavení	2 510
Licí teplota [°C]		680 - 750
Měrná tepelná kapacita [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]		1 090
Tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]		190
Součinitel teplotní roztažnosti [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]		22

4. Slévárenské vady u tlakově litých odlitků

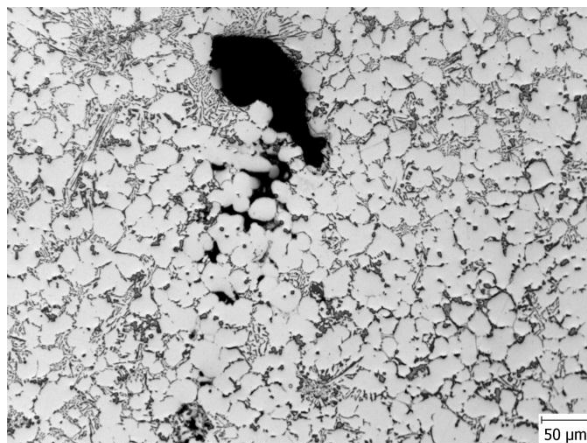
Nejčastějšími vadami vyskytujícími se na odlitku jsou plynové póry a mikrostaženiny. V praxi jsou obvykle tyto dvě odlišné vady označovány jednotným názvem "porezita". Jestliže má na porezitu větší podíl mechanismus vyloučení vodíkových bublin v důsledku změny rozpustnosti při tuhnutí odlitku, póry mají pravidelný kulový tvar (**Obr. 3**). Pokud má na vzniku porezity větší vliv mechanismus staženin, jsou dutiny tvarově členité a kopírují dendritickou strukturu odlitku (**Obr. 4**). V praxi se ve struktuře obvykle vyskytují tvary vad, které kombinují obě tyto varianty (**Obr. 5**). [3], [4]



Obr. 3 Plynové póry



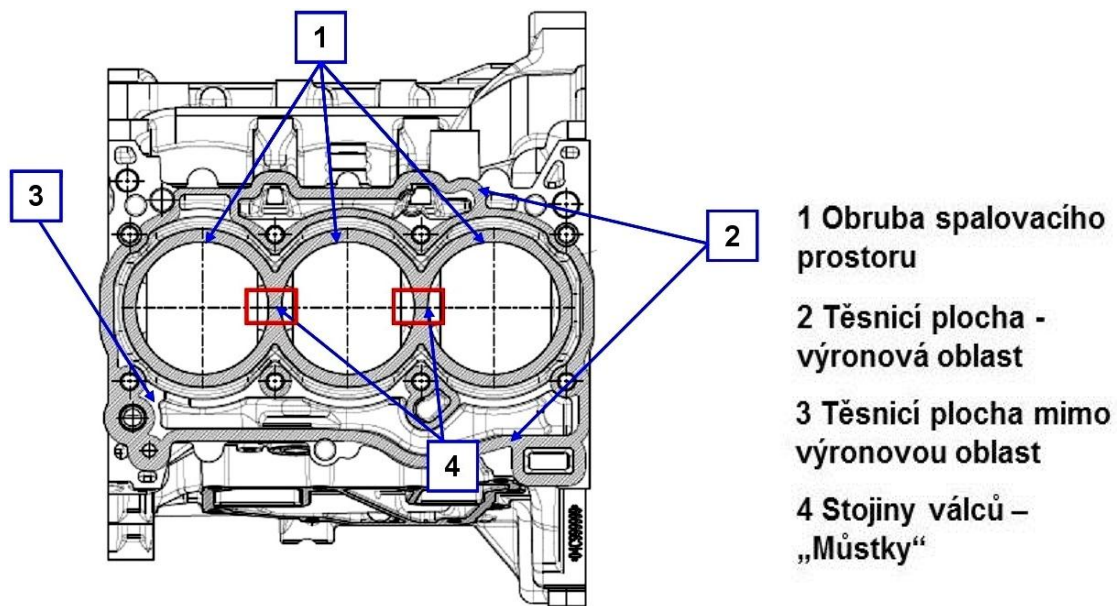
Obr. 4 Mikrostaženina



Obr. 5 Tvar vady v praxi

5. Popis kritických oblastí bloku NSF

Odlitek nelze vyrobit bez porezity, proto je nutné technologii výroby nastavit tak, aby na obráběných plochách nebyl žádný výskyt viditelné porezity. Na **obr. 6** jsou zobrazena kritická místa na odlitku, která jsou přísně sledována z důvodu výskytu vad. Jedná se především o oblast stojiny válců, neboli „můstek“, kde se porezita smí vyskytovat pouze do průměru 0,6 mm. Jestliže je průměr póru větší, nesmí být v žádném případě zatmelen a díl je vyrazen z výroby. Hlavním důvodem je, že se jedná o těsnicí plochy. Nežádoucí porezita by nezajistila potřebnou těsnicí funkci mezi hlavovou přírubou, těsněním a hlavou válců. Plocha oblasti "můstek" je poměrně úzká vzhledem k mohutnosti celého bloku. Můstky se nacházejí na hlavové přírubě mezi jednotlivými válci. Proces spalování benzínu za vysokých teplot, který probíhá ve válcích je dalším důvodem, proč je můstek kritickým místem. Při zvýšené porezitě by mohlo dojít k propojení jednotlivých dutinek a při obrovském tepelném namáhání z obou stran válců by došlo ke vzniku nebezpečné trhliny.



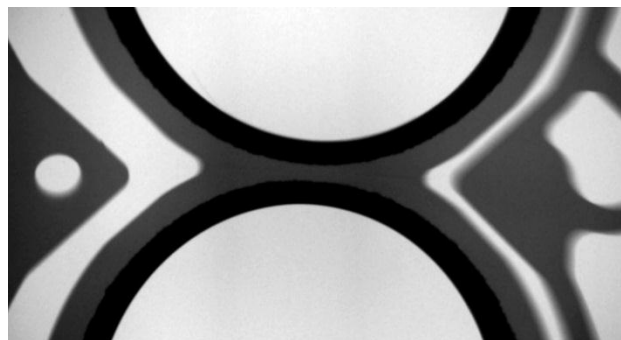
Obr. 6 Kritická místa na odlitku bloku motoru NSF

Na povrchu surového odlitku je po odlití znatelný pouze minimální počet vad. Viditelné jsou pouze povrchové vady jako např. studené spoje či závaly. Důvodem je vnější povrchová vrstva odlitku tzv. odlitková kůra, která vzniká intenzivnějším chladnutím. Tato vrstva obsahuje jemnější strukturu než odlitek a obvykle v ní nejsou obsaženy žádné vnitřní vady. Výšku vrstvy nelze jednoznačně určit, protože je obtížné nalézt její rozhraní ve struktuře. Jakmile je však při dalším zpracování tato vrstva obrobena, vnitřní vady se odkrývají. Odlitky jsou po celou dobu výroby přísně kontrolovány pomocí rentgenu a CT, aby se předešlo zbytečnému obrobení odlitku s vnitřními vadami.

6. Rentgenová technologie

Technologií RTG jsou na slévárně Al kontrolovány veškeré vady na surovém odlitku před žiháním a obráběním bezprostředně po výrobě. Zkouška je zaměřena především na partii sledované z hlediska vnitřní kvality odlitku. Zkouška rentgenovými paprsky patří do skupiny nedestruktivních zkoušek, je však vhodné odlitek bloku rozřezat na jednotlivé díly, aby se vady nepřekrývaly a neprolínaly. Kontrola se provádí nejdříve na celém kusu bloku, pak probíhá kontrola jednotlivých řezů. Řezy se určují podle nutnosti kontrolovaných oblastí – partií. U tříválcového bloku motoru 1,0 l MPI jsou to hlavně oblasti:

- hlavního olejového kanálu z hlavy;
- otvorů pro upevnění skříně spojky;
- "můstků" mezi válci;
- nad ložisky a jiné. [5]

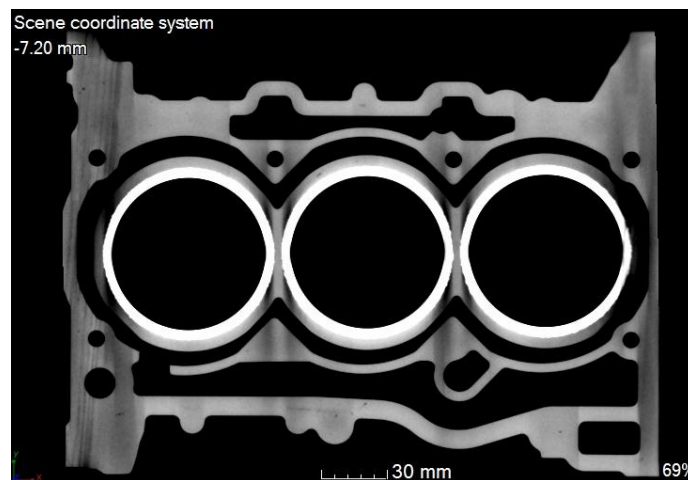


Obr. 7 Rentgenový snímek - oblast "můstku" mezi válci

Velikost vady je zjišťována pomocí „Metody drátkových měrek“ dle normy EN 462 – 1. Po zjištění vady se před odlitek vloží řada drátkových měrek o různém průměru a porovnávací metodou se určí velikost vady. Z pracovní návodky se určí, zda je vada přípustná či nikoliv. Jestliže se poretita vyskytuje v přípustné oblasti, a nepřesahuje maximální rozměry dané katalogem odchylek, může být zatmelena. Pracovní návodky a katalogy vad přípustných odchylek jsou součástí koncernové normy. Jsou v ní stanovena jasná pravidla, které vady jsou přípustné či opravitelné a které již přípustné nejsou a kus musí být vyřazen z výroby. Jestliže se poretita vyskytuje v přípustné oblasti, a nepřesahuje přípustné rozměry dané katalogem odchylek, může být opravena tmelením.

7. Technologie CT

Pokud se na odlitku vyskytují hůře rozpoznatelné vady, prověřuje se odlitek technologií CT (Computer Tomography). Toto pracoviště poskytne kvalitnější a detailnější popis vady a to díky kombinaci počítačové tomografie s přesným kontaktním a optickým senzorem. Technologie výpočetní tomografie je opět zkouškou nedestruktivní, chceme – li však ty nejlepší výsledky zkoušky, je nutné díl rozřezat. Obvykle je tříválcový blok NSF rozdělen na 10 technologických řezů (dílů). Dalším důvodem, proč jsou bloky rozdělovány na více částí, je zkrácení výsledků litinovými vložkami, které se odráží a jejichž stín se na snímku může jevit jako vada. Jeden díl je prověřován cca 45 min. Při požadavku nejlepší kvality snímku je na zařízení nastaveno nejvyšší rozlišení, které však prodlužuje vlastní dobu skenování a zkouška celého bloku motoru na zařízení CT trvá téměř 10 hodin. Tento delší časový úsek je nevýhodný a je méně praktický pro sériovou výrobu. Další nevýhodou je složitější manipulace s odlitkem, protože pracoviště CT není součástí Slévárny Al.



Obr. 8 CT snímek celé hlavové přírubby NSF bloku motoru

8. Tmelení – oprava vyskytujících se vad

Tmelení probíhá na manuálním pracovišti speciálně školenými pracovníky. Toto pracoviště je umístěno za dokončovacími operacemi obrábění. Ve ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi se na zatmelení vad používá dvousložkový tmel Hysol. Tmel obsahuje složky pryskyřice a tvrdidla. Aby na odlitku splňoval správnou funkci, je nutné ho nechat vytvrdit minimálně 12 hodin. Tmelení porů je možné provádět na celé obrobene ploše, kromě "můstků". I když by bylo tmelení na můstcích provedeno naprosto správně, mohl by se tmel při spalování benzínu ve válci za vysokých teplot vypálit. Došlo by tedy ke stejnému nebezpečnému jevu jako v případě, že by vady nebyly zatmeleny vůbec.

9. Opatření k odstranění vad na odlitcích

Pokud jsou na zkouškách RTG či CT odhaleny vnitřní vady, je nutno provést opatření k odstranění těchto vad. Zlepšení kvality můžeme dosáhnout formou kontroly nebo následnými funkčními opatřeními.

9.1 Kontroly

1) Kontrola formy

Je důležité prověřit:

- zda z formy neunikají pracovní kapaliny (např. demineralizovaná voda z chladicího či temperačního okruhu nebo olej ze systému lokálního squeezeu);
- správné tvary ve formě, tvary jader, kanálů apod.;
- správnou funkci local squeeze systému a vyhazovačů;
- teplotu formy jednotlivých částí laserovým teploměrem;
- správné nanesení mazacího (dělicího) prostředku na licí formu. [6]

2) Kontrola vakuovacího systému

Při zvýšeném výskytu vad je nutno minimálně dvakrát za směnu pročistit vakuovací kanály (nejlépe profukováním), pokud ani toto opatření nepomůže, zavádí se zesílení vakuového systému zvětšením průměru přívodních vakuovacích trubek. [7]

3) Kontrola správného nadávkování udržovací pece

Tato kontrola se provádí přeměření výšky tablety, která je součástí vtokového systému.

4) Kontrola lisovacích parametrů na tlakovém licím stroji

9.2 Funkční opatření

1) Změna licích parametrů

V praxi je pozitivně odzkoušena úprava dráhy 2. rychlosti pístu v licí komoře. Tím je dosažena lepší kvalita odlitku. Na správné nastavení licích parametrů je velmi důležitá dlouholetá praxe v oboru.

2) Technologické úpravy formy

Pro menší počet slévárenských vad se u formy upraví tvar vtokového naříznutí. Obvykle je lehce zabroušen tvar vtoku, zvětšeny radiusy či zmenšeny úkosy. Další technologickou úpravou na formě bloku motoru je zmenšení odlehčení, tj. tvar, kterým je odlitek odlehčen, má obvykle moc ostrou hranu.

3) Konstrukční úprava formy

- snížení přídávku na obrábění

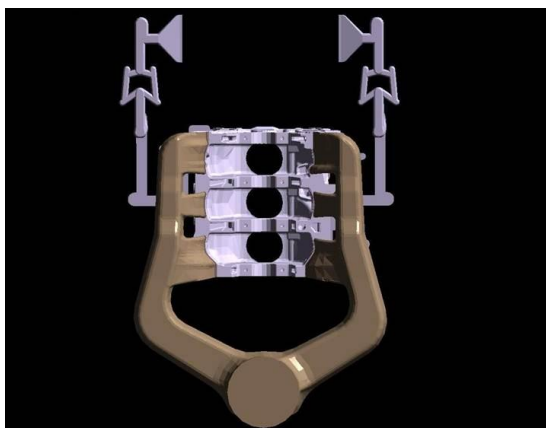
Toto řešení bylo využito právě v případě bloku motoru NSF 1,0 l MPI.

- radikální změna zavtokování.

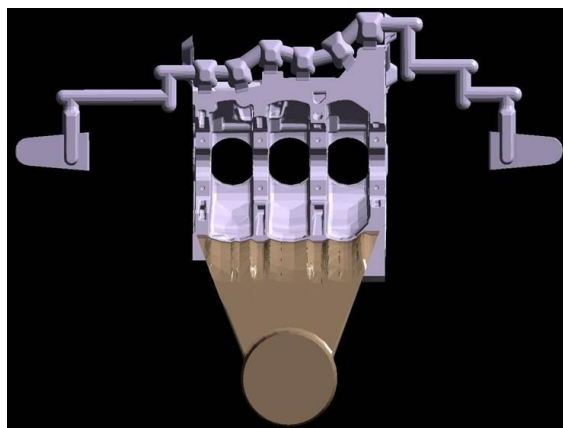
U odlitku bloku motoru NSF by se jednalo o změnu z dvojvtoku (**Obr. 9**) na jednovtok (**Obr. 10**).

4) Změna konstrukce odlitku

Pokud by k odstranění vad nepomohla ani jedna z výše psaných variant, bylo by nutné přejít k závažnému rozhodnutí o změně konstrukce celého odlitku. Tento problém by byl směřován na oddělení vývoje motorové jednotky, ale v praxi se tento krok téměř nepoužívá.



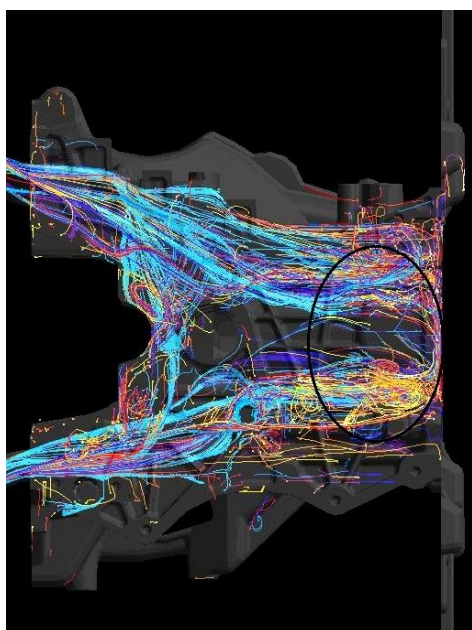
Obr. 9 Dvojvtokový systém



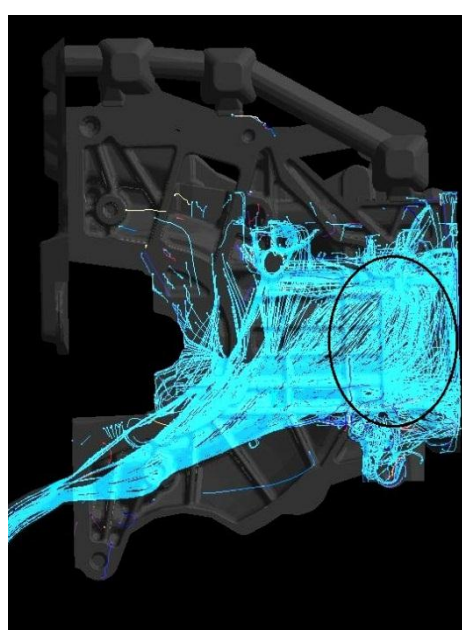
Obr. 10 Jednovtokový systém

10. Sériová výroba

Blok motoru NSF 1,0 l MPI vstoupil do sériové výroby ve ŠKODA AUTO v září roku 2011. Slévárna Al dostala předepsanou formu zavtokování a nemohla se podílet na rozhodnutí, zda se bude jednat o jednovtok či dvojvtok. Přestože všechny bloky motorů vyráběla do té doby jako jednovtokové, oddělení vývoje rozhodlo, že tříválcové bloky budou zavtokovány formou dvojvtoku. Slévárna Al upozorňovala na turbulentní proudění taveniny v oblasti hlavové příruby (*Obr. 11*), které by mohlo způsobovat problémy v podobě porezity. Při technologii jednostranného vtoku je proudění taveniny v této oblasti podstatně plynulejší (*Obr. 12*). Oddělení vývoje však bylo přesvědčeno o tom, že dvojvtokový systém přinese nižší výskyt vnitřních slévárenských vad a dojde k výraznému poklesu počtu tmelených kusů. Dalším předepsaným konstrukčním prvkem formy na tlakové lití byl způsob vakuování pomocí tzv. „vlnovce“, který představuje od vzdušňovací labyrint. Tato technologie byla pro slévárnu Al také alternativním řešením, protože do té doby bylo vakuování řešeno pomocí ventilu. A poslední zásadní změnou ze strany vývojového oddělení byla úprava konstrukce těsnění pod hlavou. Z původního řešení se třemi vrstvami, které se používá u čtyřválcových motorů, bylo těsnění zredukováno na pouhou jednu vrstvu. Z toho vycházely i větší nároky na jakost hlavové příruby a nutnost tmelení.



Obr. 11 Trasovací částice u dvojvtoku



Obr. 12 Trasovací částice u jednovtoku

Po prvním půlroce sériové výroby a zpětné vazby z pracoviště obrábění bylo možné vyhodnotit situaci a začít s realizací případných technologických či konstrukčních změn. Původní obavy slévárny Al se naplnily a procento výskytu porezity na hlavové přírubě bylo příliš vysoké. Po provedení všech kontrol a opatření (viz. kapitola 9) bylo nutné přistoupit ke konstrukční změně formy. Zlepšení, které bylo dosaženo dvojitou formou, nastalo při zkouškách těsnosti. Počet netěsných dílů se snížil až trojnásobně.

11. Opatření ke snížení výskytu slévárenských vad

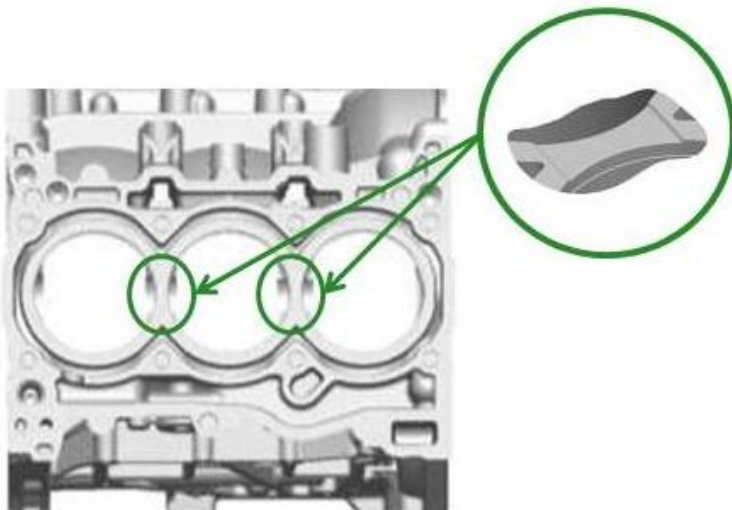
V průběhu roku byly na formách bloku motoru NSF provedeny 3 zásadní opatření, které měly vést ke snížení výskytu slévárenských vad. Pro řešení problematiky v oblasti můstku bylo navrženo opatření změny velikosti přídávku na obrábění, který může ovlivnit výskyt porezity na opracované ploše.

11. 1 Zvýšení přídávku na obrábění o 1,5 mm na „můstcích“ hlavové příruby

Cílem této zkoušky bylo „vytažení“ vady (porezity) do oblasti přídávku na obrábění, tedy do materiálu, který je následně při obrábění odstraněn. Toto opatření bylo provedeno pouze formou zkoušky, protože nedošlo ke zlepšení. Na opracované ploše se při této zkoušce objevily vady obdobné velikosti přesahující povolené hodnoty.

11. 2 Snížení přídávku na obrábění o 0,8 mm na „můstcích“ hlavové příruby

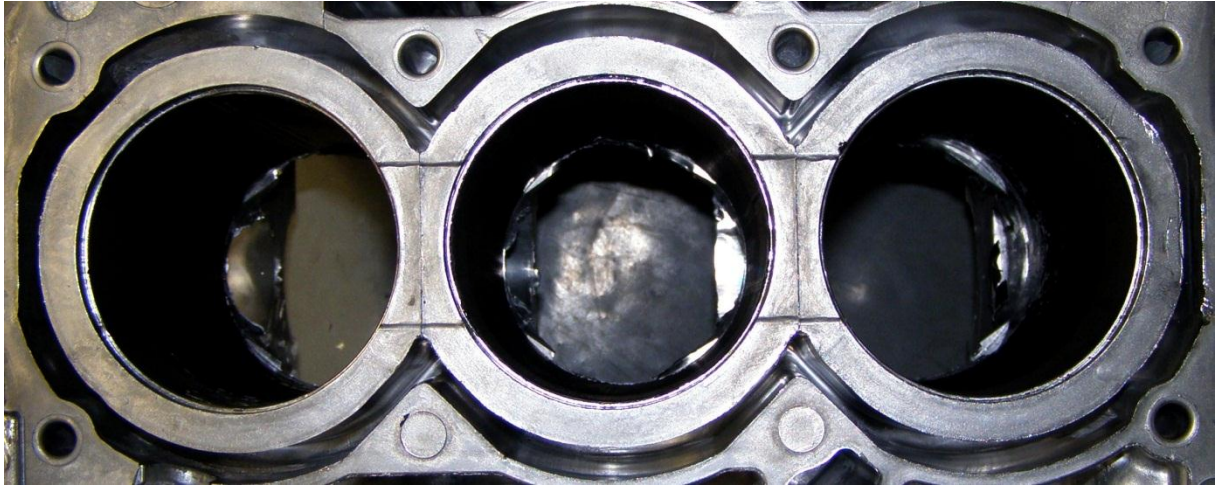
Cílem této zkoušky bylo „zatlačení“ vady (porezity) do materiálu odlitku pod úroveň finálně opracované plochy. Toto opatření bylo nejprve realizováno na jedné formě jako zkouška a pro velmi dobré výsledky bylo následně aplikováno na všech licích formách bloků motorů NSF. Realizací tohoto opatření bylo dosaženo výrazné zlepšení kvality, výskyt porezity na opracované ploše můstku mezi válci se snížil o cca 65 %.



Obr. 13 Schéma snížení o 0,8 mm na "můstcích"



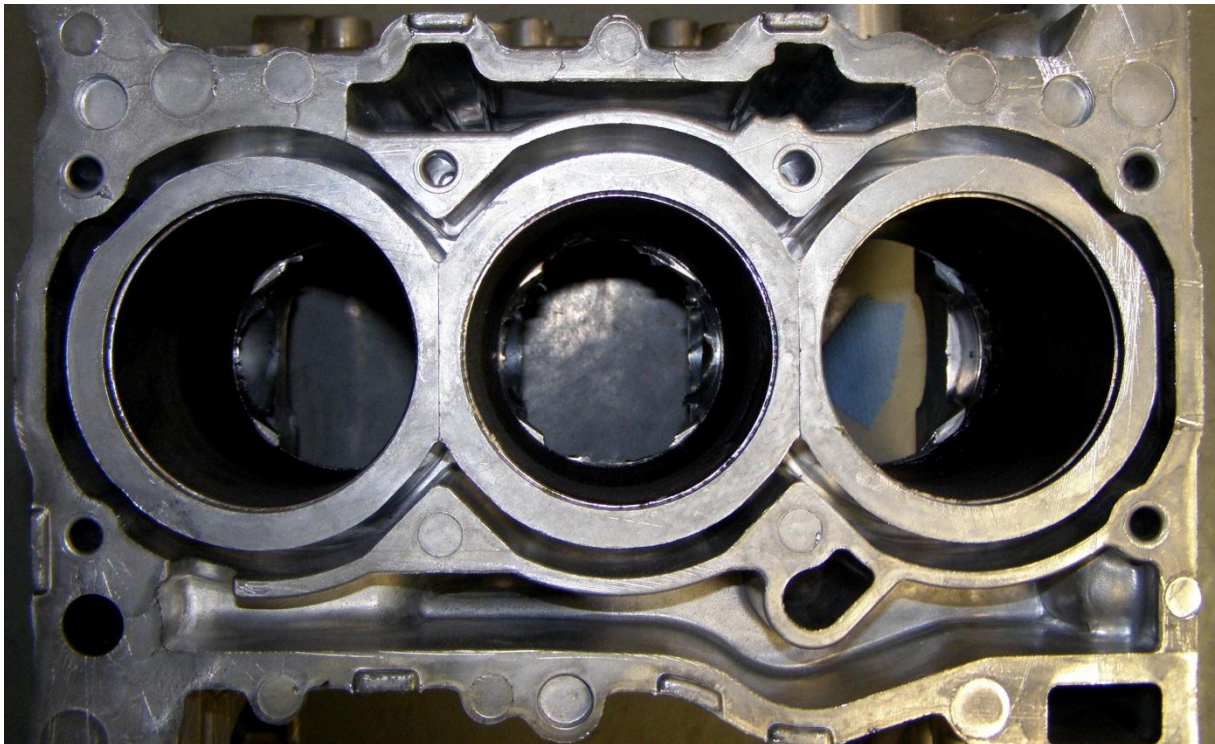
Obr. 14 Fotografie "můstku"



Obr. 15 Fotografie hlavové příruby surového odlitku a ukázka snížení o 0,8 mm na "mústcích"

11. 3 Snížení přídávku na obrábění o 0,8 mm na celé ploše hlavové příruby

Na základě pozitivních výsledků u zkoušky č. 2 se sníženým přídávkem na opracování byla připravena další zkouška, kde byl přídavek na obrábění snížen na celé ploše hlavové příruby. Cílem této zkoušky bylo nejen snížit procento neshodných dílů z viny porezity přesahující povolené hodnoty, ale také snížení množství víceprací. Víceprací se rozumí opravy vad povrchu, kde katalog vad povoluje v jasně definovaných místech tmelení porezity v daných velikostech. Výsledky všech tří zkoušek dále popisují v závěru.



Obr. 16 Ukázka snížení přídávku na obrábění na surovém odlitku o 0,8 mm na celé ploše hlavové příruby

12. Závěr

Cílem mé práce bylo nalézt opatření, které by zajistilo snížení výskytu slévárenských vad - porezity na blocích motoru vyráběných ve slévárně Al ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi. Na toto pracoviště docházím již půl roku jako praktikant a spolupracuji s technologickým oddělením. Myslím, že je velmi důležité propojit znalosti ze školních přednášek a skript s technickou praxí a pochopit, jak probíhá výroba v reálném podniku. Co se týče technologie vysokotlakého lití, je podle mého názoru praxe potřeba dvojnásobná. V praxi velkého podniku jako je ŠKODA AUTO jsem také poznala, že ne vždy jste svým pánem a je třeba se podřídit, ať už jde o oddělení vývoje či vedení koncernu. Nicméně vždy je důležité hledat správná řešení a cestu k výrobě s co nejmenší produkcí zmetkovitosti. Správného řešení v případě mé práce bylo dosaženo hlavně díky častým konzultacím s odbornými pracovníky z oddělení technologie či konstrukce a čerpáním z různých zdrojů jako technické literatury, odborných časopisů, sborníků či internetových článků. Při realizaci své práce jsem se také přesvědčila o tom, že není důležité pouze nalézt řešení problému, ale především si svůj návrh obhájit, nejen z hlediska technologického a funkčního, ale také z hlediska finančního. Návrh na změnu přídavku na obrábění byl jednoznačně přijat, a tak mohly proběhnout zkoušky na NSF blocích motoru. U první zkoušky se zvýšeným přídavkem na můstcích bylo od počátku zřejmé, že výsledky budou negativní. Po ukončení zkoušky se i tato teorie potvrdila. Bylo však jasně vidět, že záměru můžeme dosáhnout, pokud se vydáme opačnou cestou. Proto proběhla zkouška druhá, u které se nám podařilo snížit můstky natolik, aby byly vnitřní vady "zatlačeny" co nejvíce do odlitku. Zkouška byla pozitivní, a proto byly "můstky" sníženy na všech licích formách. O snížení pouze na můstcích bylo rozhodnuto také proto, že tato úprava formy je méně časově i finančně náročná. Nicméně zkouška snížení plochy celé hlavové příruby také proběhla a ukázala se jako ta nejlepší varianta. Výskyt porezity se při této zkoušce snížil na úplné minimum a bylo rozhodnuto o budoucích úpravách licích forem. Mluvím o budoucích, protože jakákoliv změna na licích formách je obrovskou časovou ztrátou, kterou si sériová výroba na slévárně Al nemůže dovolit. Licí formy jsou v nářadovně upravovány postupně, podle stupně vytiženosti. Na závěr bych ráda zmínila úvahu k zamyšlení, jak by se asi výroba a kvalita odlitku vyvíjela, kdyby již v počátku byla sériová výroba zahájena konceptem s jednostranným vtokem...

Seznam použité literatury

- [1] Interní materiály ŠKODA AUTO, a. s. Mladá Boleslav
- [2] BOLIBRUCHOVÁ, D. a TILLOVÁ, E. *Zlievarenské zliatiny Al-Si*, Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2005. ISBN 80-8070-485-6.
- [3] ROUČKAJ, HOTAŘ, J. 5. *Holečkova konference: téma: Trendy ve zpracování slitin neželezných kovů: článek: Řízené naplyňování siluminu; 20. března 2013 a 21. března 2013*. Vyd. 1. Brno: Česká slévárenská společnost, 2013, 115 s. ISBN 978-80-02-02427-9.
- [4] MICHNA, Štefan; *Encyklopedie hliníku. 1. vyd.* Prešov: Adin, 2005. 699 s. ISBN 80-89041-88-4.
- [5] SLABÝ J., *Pracovní návodka: Technologický postup pro RTG kontrolu odlitku bloku motoru NSF 1,0 l MPI*, 2012.

[6] RAGAN, Emil a kolektív *Liatie kovov pod tlakom*. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity, 2007, 383 s., ISBN 978-808-0739-799.

[7] VINARCIK, Edward J. *High integrity die casting processes*. New York: John Wiley, 2003, 223 s. ISBN 04-712-0131-6.