

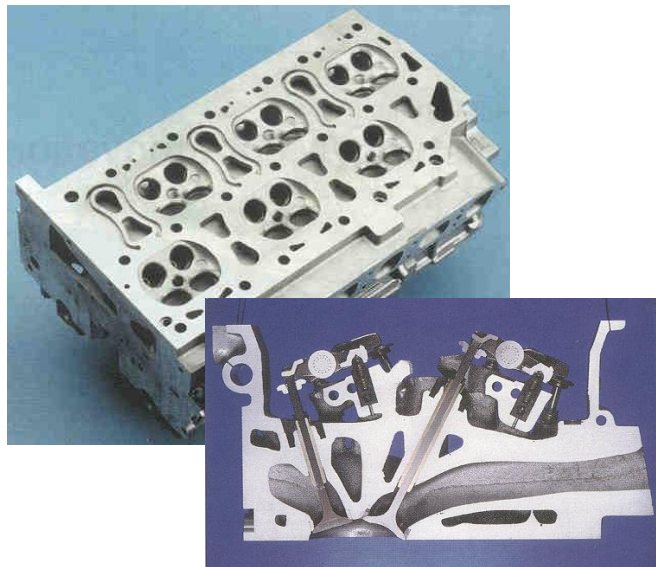
Výroba velmi náročných odlitků z hliníkových slitin pro automobilový průmysl – hlava válců

Marko Grzinčič

Automobilový průmysl patří mezi rozhodující odvětví udávající tempo technického pokroku a má jednu z hlavních rolí v hospodářském růstu společnosti [1]. Německé VDA (Verband der Automobilindustrie E.V.) udává ve svých statistikách 14,3 % nárůst produkce osobních automobilů v roce 1998 a produkce v roce 1999 vyrovnala výsledky roku předešlého [38]. Výrobci automobilů jsou nuceni na trh dodávat stále modernější (složitější) a spolehlivější vozy. Pro slévárenství to znamená řešení výroby komplikovanějších dílů a zvyšování kvality odlitků, především zajištění *vysoke homogenity materiálu* odlitků. Producenti vyrábějící hospodárně odlitky v žádané kvalitě vytváří náročnou konkurenční atmosféru na trhu.

Charakteristika hlavy válců, směr vývoje

Hlava válců jako odlietek patří mezi komplexně nejvíce zatížené díly v motoru. Tento díl uzavírá spalovací prostor nad pístem, dopravuje spalovací směs do spalovacího rostoru, odvádí spaliny, je nosným systémem rozvodů (a jejich mazání), vstřikovacích a regulačních zařízení a napojen na chladicí systém bloku válců odvádí teplo vzniklé při spalování. Složitost agregátů nových motorů přímo ovlivňuje konstrukci hlavy válců a tedy její výrobu. Čtyřventilová a pětiventilová technologie na válec s optimalizovanou geometrií a uspořádáním sacích kanálů, plně variabilní řízení ventilů a přímé vstřikování u vznětových a zážehových motorů začínají být běžnými pojmy v motorové technice pro hromadně



OBR. 1. Hlava válců motoru VR6 – Volkswagen

vyráběné osobní automobily [5,8]. Hlava válců je proto velice kompaktní odlietek a v důsledku vyšších provozních tlaků (až 150 bar), provozních teplot (až 270 °C na stěnách hlavy válců) a funkcionality jsou již běžně dosahované hodnoty mechanických vlastností odlitků z hliníkových slitin a funkční parametry nedostačující [2].

Na obr. č. 1 je vidět velmi kompaktní konstrukci hlavy válců pro V6-motor VW, kde je obzvláště komplikované uspořádání jader [18]. Zajímavostí jsou rozdílné délky ventilů a sacích a výfukových kanálů pro jednotlivé válce.

Na obr. č. 2 je ukázka hlavy válců na principu čerpadlo-tryska, dvouventilové uspořádání pro čtyřválcový motor. Ve spalovacím prostoru hlavy válců takového motoru se nachází vstřikovací a žhavicí zařízení a nejnovější typ zkušebního ověřovacího motoru je dále vybaven 2 výfukovými a 2 sacími ventily pro každý válec.

Na odlitky hlav válců klademe tyto konkrétní požadavky:

□ materiál odolný vysokému mechanickému zatížení vznikajícímu v důsledku:

- sil vyvolaných předpětím ve šroubových spojích,
- napětími vznikajícími při explozích směsi ve spalovacím prostoru a tlakem plynů ve výfukových kanálech,
- tepelných pnutí (teplotní gradienty v celém odlitku včetně střídavého tepelného namáhání),
- zbytkových pnutí z výrobního procesu,

□ kvalita povrchu sacích kanálů (závislá hlavně na drsnosti povrchu jader) - dosažitelné $R_z = 25 \mu\text{m}$,

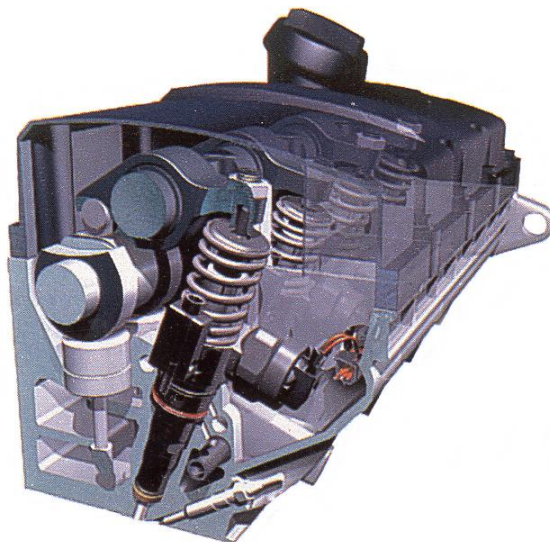
□ nízká hmotnost,

□ těsnost v prostoru vodních kanálů,

□ žádaný tvar (obrysy, tloušťky stěn - nejslabší 2,5 mm),

□ obráběné plochy bez vnitřních nehomogenit - těsnost stěn po obrobení při tloušťce stěny až 2 mm.

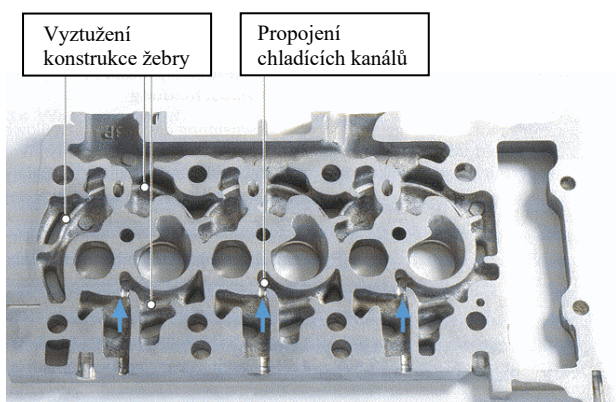
Právě homogenita materiálu odlité hlavy válců je primárním požadavkem při posuzování celkové kvality odlitku. Při kokilovém lítí hlav válců bývají dalšími závažnými vadami řediny, staženiny, plynové vady (zahlcený vzduch nebo plyn), studené spoje, nekovové vměstky (písek) a oxidické pleny. Na obr. č. 3 je znázorněn řez prostorem chladicích vodních kanálů hlavy válců zcela nové generace motorů firmy Daimler-Chrysler AG pro



OBR. 2. Hlava válců s principem čerpadlo-tryska

Ing. Marko Grzinčič, Otto von Guericke
Universität Magdeburg, IFQ - Lehrstuhl für
Urformtechnik

automobil „smart City-Coupé“ [14]. Konstrukce je natolik náročná, že zde musí být použity v prostoru vodních kanálů hlavy válců zcela neobvyčejné konstrukční prvky, jako jsou zpevňující žebra. Poněvadž je celá dutina vodních kanálů pomocí jádra nevyrobitelná, jsou dodatečně vrtány kanály pro chladicí médium.



OBR. 3. Řez prostorem vodních kanálů hlavy válců

Volba slévárenské technologie a problematika dopravy tekutého kovu

Jednotlivé slévárenské technologie se dají hodnotit dle různých hodnotících kritérií. Ve srovnávací matici bychom měli tudíž dojít k odpovědi, která technologie a proč je nejvýhodnější. Vypracovat takovou matici je však úkol nesmírně obtížný a v některých fázích vyžaduje subjektivní hodnocení. Následující příklad uvádí 4 skupiny hodnotících kritérií:

geometrie dílu - omezení v uspořádání, min. tloušťka stěn, přesnost,

proces - spec. investiční náklady, náklady na nářadí, produktivita, spolehlivost, omezení při výrobě jader, využití kovu, tvorba kondenzátu,

metalurgie – charakter proudění, teplota taveniny, řízené tuhnutí, rychlost tuhnutí, struktura,

mechanické vlastnosti.

Současně je třeba uvažovat o existujících souvislostech mezi jednotlivými kritérii.

Hlava válců je specifický odlitek, kde by při návrhu technologie měla být primární poloha odlitku ve formě. Technologie však tuto polohu přímo ovlivňuje a mimo jiné dále ovlivňuje způsob zavtokování, nálitkování, dobu tuhnutí a dobu setrvání odlitku v uzavřené formě. Dalšími nezmiňovanými úkoly jsou odvzdušnění kokily, ošetření povrchu líce kokily, kvalita jader (při výrobě hlav válců jádra vodního prostoru, olejového prostoru a příp. nálitků, jádra sacích a výfukových kanálů) a stabilita jader ve formě, odvádění tvořících se plynů. Potenciálními možnostmi v získání žádaných vlastností hlav válců jsou např. optimalizace tepelného zpracování, nasazení partikulárních kompozitních materiálů, impregnace povrchu (princip tepelného vytvrzování umělé pryskyřice, která je nanášena ve speciálním zásobníku za vakua nebo zvýšeného tlaku, nebo chemický proces vytvrzování i lokálně nanášeného prostředku – např. metoda Dichtol) či odlitek z více různých materiálů („Gradient-Werkstoff“).

Typickým znakem automobilové produkce je velkosériová výroba. Výroba hlav válců je charakteristická obsahem velkého množství výrobně velmi náročných jader. Příkladem vysoké produktivity ve výrobě jader je praxe slévárny automobilky Citroën v Charville, kde se na jádrovém stroji Laempe-LF100H vyrábí pro hlavu válců každých 45 sekund jeden jádrový komplet.

Hlavy válců z hliníkových slitin se dají vyrobít mnoha způsoby. Schéma na obr. 4 nabízí kompletní paletu současných možností realizace výroby tohoto dílu pro motory osobních automobilů. Čárkovaná čára propojující část grafu znázorňuje možnost nasazení určité výrobní technologie i pro jiný typ lití. Větev pro gravitační lití do písku není detailně rozpracována podle typu zavtokování.

Charakteristika různých výrobních způsobů

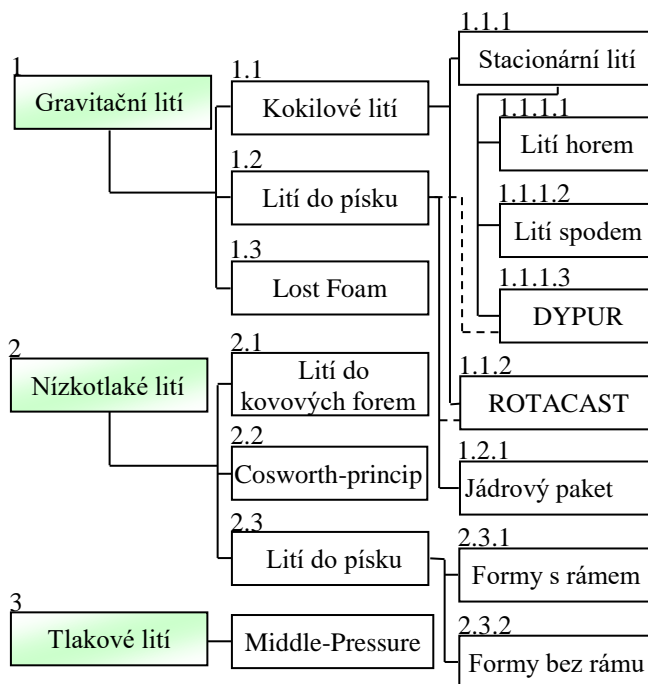
1.1

Gravitační lití hlav válců do kokil je nejrozšířenější způsob výroby tohoto dílu. Tento stav je dan výhodným poměrem výkonových a nákladových kritérií. Orientace hlavy válců v kokile je u různých výrobců odlišná, převládá však orientace povrchu kompresního prostoru směrem dolů na spodní, intenzivně chlazenou desku.

1.1.1.1; 1.1.1.2

Vtokové systémy dopravující kov do dutiny jsou dva – spodem a horem. Plnění dutiny formy spodem je nevýhodné především z důvodů následného neusměrněného tuhnutí, omezení v intenzitě chlazení spodní desky kokily a větší objemnosti vtokové soustavy. Jsme nuceni odlévat materiál o vyšší teplotě, což přináší určité kvalitativní problémy. Plnění dutiny formy horem je v mnoha ohledech výhodnější, ale charakter plnění (proudění kovu) dutiny formy je nevýhodný (především vtoková soustava se plní déle). S cílem dosáhnout minimálních hodnot charakteristické vzdálenosti větví dendritů chladiče spodní desky kokily. Z důvodů tvorby kondenzátu jsme však výrazně ovlivněni v intenzitě chlazení kokily. Kondenzát tvořící se v konturách pro známky jádra vodního prostoru může způsobit rozměrovou nepřesnost odlitku. Častější čištění líce kokily snižuje produktivitu práce. Dalším nedostatkem při umístění rozváděcích kanálů ve spodní desce kokily je skutečnost, že známky jader sacích a výfukových kanálů jsou polohovány v pohyblivých bočních částech kokily, což může způsobit problémy v přesnosti rozměrů či poškození jader (včetně jádra vodních kanálů velmi křehké konstrukce).

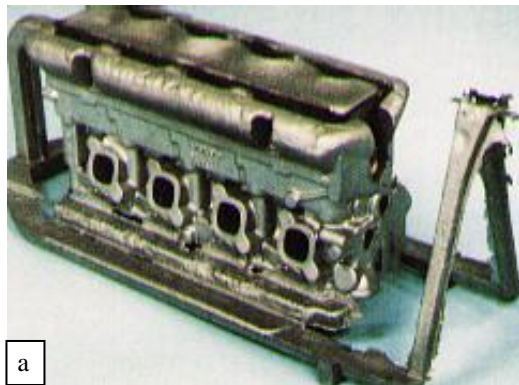
České odborné veřejnosti je znám způsob polohy hlavy válců v kokile při gravitačním lití používaný mnoho let ve slévárně



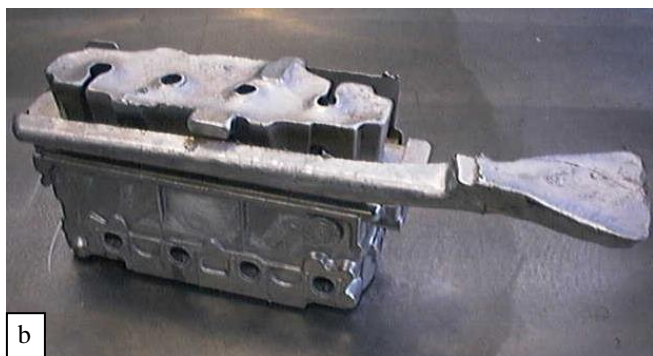
OBR. 4. Výroba hlav válců z Al-slitin

mladoboleslavské Škoda Auto, a.s. Část hlavy válců, která je za provozu nejnamáhanější, je orientována do horní části kokily, kam stoupají při plnění formy nečistoty a je pomalu chlazená, neboť do ní ústí nálička.

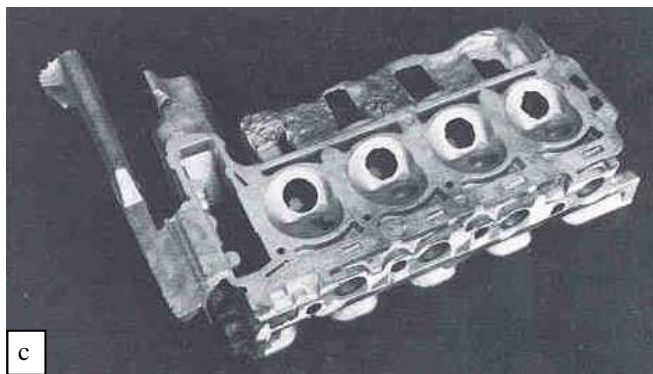
Na obr. 5 jsou ukázky hlav válců rozdílně vtokovaných. Za povšimnutí stojí nasazení pěnových filtrů v obou rozváděcích kanálech hlavy válců Volvo a přetok, který dopravuje „čerstvý“



a

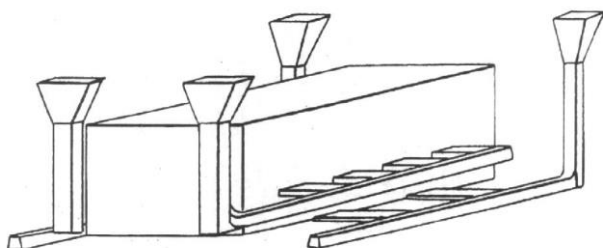


b



c

OBR. 5. Hlava válců Volvo (a), VW (b), Daimler Benz (c)



OBR. 6. Etážový vtok pro plnění formy hlavy válců odlité z dvou různých slitin

kov do náličky. Rozváděcí kanály jsou oddělené a plněné z jedné vtokové jamky. Vtokový systém může mít pro každý kanál oddělenou jamku (např. hlava válců Škoda) nebo jako na obr. 7a – svislý kanál se rozděluje na dva vodorovné, z nichž ústí na každé straně hlavy válců rozdílný počet zářezů do dutiny formy. Myšlenka využití přetoku je obsažena v patentu [26]. V patentu [27] je uvedena modifikace spočívající v uzpůsobení licího zařízení tak, že „čerstvý“ kov je po naplnění větší části dutiny dopravován přímo do náličky.

Obecně jsou pro lití Al-slitin nežádoucí velké rychlosti plnění vtokového systému, a proto se volí podtlaková vtoková soustava. Soustava znázorněná na obr. 5b však takto řešená být nemůže (tzv. nezaplňená), kov by totiž plnil dutinu formy jen z předních zářezů. Přetlaková soustava plní dutinu formy v počáteční fázi plnění více zadními zářezy, což bylo zjištěno ze zkoušek přerušovaného lití. Odlitky jsou odlévány v slévárně firmy Rautenbach Guss GmbH ve Wernigerode, která je největší zakázkovou slévárnou pracující s hliníkovými slitinami a kokilovým litím v Německu (roční výkon 18000 tun, produkce 1,6 milionů hlav válců).

Obr. 5c znázorňuje výsledek práce odborníků ze slévárny Daimler Benz AG v Esslingen-Mettingenu [15]. Zde dospěli k takovému uspořádání vtokového a náličkového systému, kdy hlava válců v kokile není v horizontální poloze, ale překlopená o 90°. Vtok ústí do skříně řetězového rozvodu. Zajímavé je řešení jádra sacích a výfukových kanálů (ústí do hlavy válců z obou stran, ale jádro je vyrobeno jako celek – rám) a princip „Thermodukt-formy“ se stupňovým sekvenčním chlazením k docelení řízeného tuhnutí. Hlavní přednosti tohoto uspořádání oproti horizontálnímu jsou tyto:

- snížení počtu a hmotnosti jader,
- zkrácení času tuhnutí (tím je možný kratší čas cyklu),
- zvýšení podílu využití kovu (tím snížení objemu vratného materiálu),
- úspora místa.

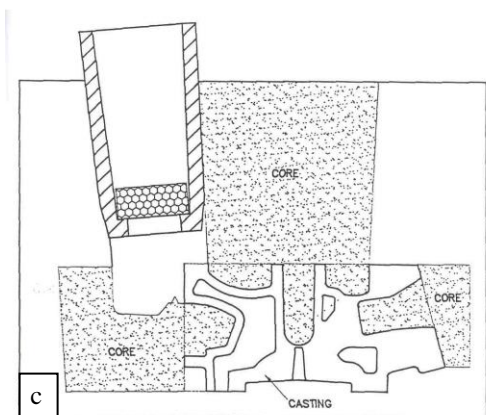
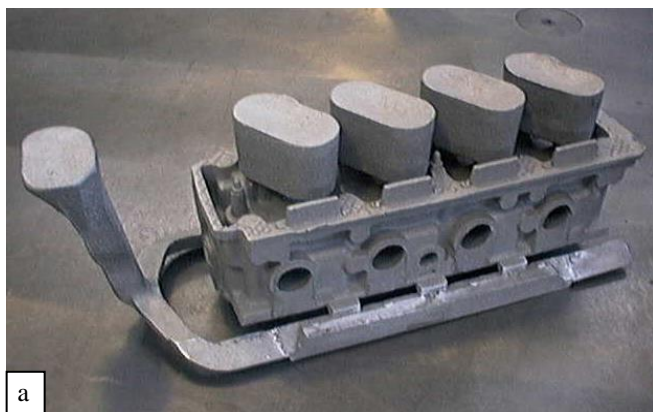
Možnost odlét hlavu válců ze dvou různých materiálů, z nichž jeden svojí kvalitou odpovídá nárokům kladeným na kompresní prostor a druhý, výrazně levnější, vyplňuje zbytek formy, řeší vtokový systém na obr. 6 [28]. Ovlivnit velikost vnitřních pnutí v odlitku lze řešit optimálně zvolenou tloušťkou přechodové vstvy a způsobem tepelného zpracování, vyvarovat se nelze tvorbě křehkých fází. Proto se tímto způsobem hlavy válců pro mnohé nevyřešené problémy nevyrobějí.

Uspořádání kokilových strojů je u jednotlivých výrobců velmi rozmanité. Stroje jsou umístěny na karusel, v řadě za sebou (Tridem®- uspořádání) nebo vedle sebe a v tandemovém uspořádání, kde uprostřed naproti sobě umístěných tandemů je licí robot, který může zároveň na druhém konci otočného ramene vyjímat odlitky z kokily a ukládat je na chladicí trať. Licí karusely jsou nabízeny převážně firmami Fata Aluminium a Mecana SA, hws. Licí zařízení může být stabilně umístěné dávkovací zařízení kombinované s udržovací pecí (např. typ Westomat fy StrikoWestofen GmbH) nebo ve většině případů licí robot s dávkovací lžicí. Na trhu nabízejí taková licí zařízení mimo jiné ABB Industrietechnik GmbH, Fill GmbH, MBS-Maschinenbau Sprötze GmbH, Macchine Automatiche Speciali S.R.L. a Fata Aluminium.

1.1.1.3

Firma Foseco představila počátkem 90. let modifikaci konvenční technologie lití do pískových forem kombinací Dypur (direct-pouring)/Dykal®, doplněnou použitím nekeramických pěnových filtrů Sivex® [4,12,20,29]. Využití náliček jako vtok při gravitačním lití má patentováno i firma GF Disa AG. Rozváděcí vtokový systém se zářezy je nahrazen jediným vtokem, který zároveň slouží jako nálička. Tavenina je filtrována, docílí se klidného plnění,

výrazně je redukován objem náliťků a výrazně se snížily náklady na apretaci. Podíl využití kovu v tomto případě stoupl z 42% na 73%. Na základě nižší lici teploty (680° namísto 720°C) se zkracuje i čas cyklu. Na obrázku 7b je fotografie takto odlité hlavy. Obr. 7a znázorňuje hlavu válců se vtakovým a náliťkovým systémem původní technologie, schéma na obr. 7c uvádí další možnost umístění vtoku.

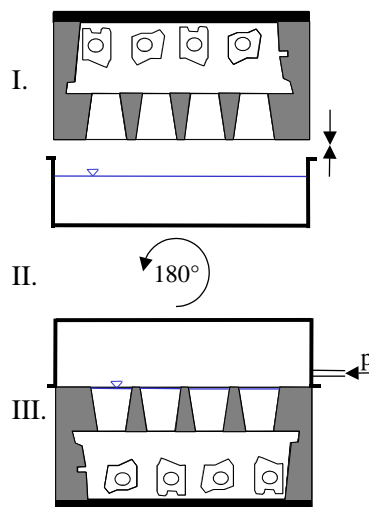


OBR. 7. Hlava válců GM 1,3: konvenční vtakový systém (a), systém vyvinutý firmou Foseco (b), varianta (c)

1.1.2

Technologie Rotacast® vychází z patentu prof. F. Kahna [30,31] a ochranná značka je majetkem VAW Mandel&Berger GmbH, Linz. Tato rakouská dceřiná společnost, která spolu s autorem patentu realizovala myšlenku patentu pro sériovou výrobu, je jednou ze sléváren koncernu VAW Aluminium AG, který patří k největším hliníkářským společnostem v Evropě a je celosvětově největším

nezávislým výrobcem bloků motorů a hlav válců z hliníkových slitin (v r. 1998 dosáhl koncern obrátu 5,8 miliard DM a celosvětově zaměstnává 15400 zaměstnanců). Další závody pro motorové odlitky jsou v Německu, Anglii, Maďarsku a Mexiku. Na obr. 8 je znázorněn princip. Využívá se výhod sklopného lití, působení ochranné atmosféry při lití a efektivního doplňování kovu při tuhnutí přetlakem na hladinu kovu v náliťcích. Dutina formy se plní náliťky po celé délce na jedné ze stran hlavy, kde dochází k nejplynulejšímu stékání kovu na intenzivně chlazenou spodní desku, tvořící funkční povrch kompresního prostoru. Úhlová rychlost natáčení složené soustavy je programovatelná, zařízení je použitelné i pro stavbu kokil se čtyřmi pohyblivými díly. Přetlak je regulovatelný, v době tuhnutí dosahuje hodnoty 200 mbar. Literatura [10] uvádí, že i přes značnou úsporu kovu proti konvenčním technologiím gravitačního lití (8 kg v případě hlavy válců 6-válcového motoru Daimler-Chrysler) jsou náklady o 10% až 20% větší. Technologie umožňuje však odlévat složitější geometrie (náročná na náliťkování) a obzvláště je vhodná pro „dlouhé“ hlavy válců. Technologie je použitelná i pro pískové formy, a automatizace je umožněna jak na lícím karuselu, tak v tandemovém nebo Tridem®- uspořádání. Závod v Linzi litím hlav válců pro diesel-motor 1,7 l 16V ISUZU/Opel nasadil nová měřítka v úrovni kvality [10]. Gruneberg a kol. [7] se zmiňuje ve svém příspěvku o simulaci procesu plnění formy způsobem Rotacast pro výrobu hlavy válců pro motor Mercedes-Benz třídy A (1,4 l) s pomocí programu Magma. Firma Optimal Technology s.r.o. prováděla simulaci procesů plnění formy a tuhnutí odlitku hlavy válců (způsob Rotacast) na zakázku firmy VAW za použití programu Simtec.



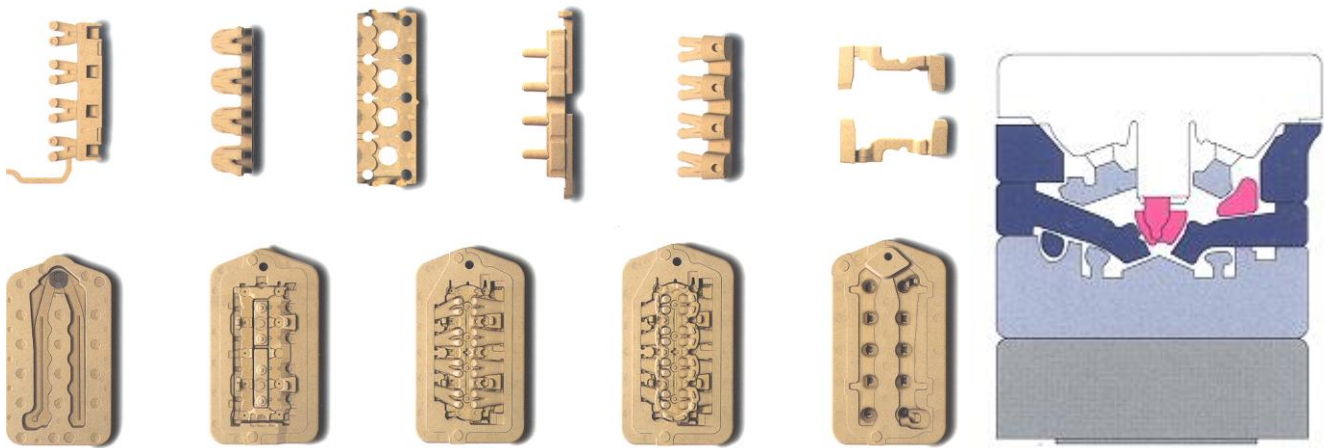
OBR. 8. Princip Rotacast®

1.2

Gravitační lití hlav motorů do pískových forem je nejlevnější výrobní metodou. Pomocí této metody ale nejsme schopni splnit požadavky na mechanické hodnoty, kladené na materiál odlitku určeného pro nejnovější motory pracující za vyšších zatížení, než tomu bylo doposud. Výzkum je nyní např. u firmy DISA orientován do oblastí realizace aktivního doplňování kovu náliťkem za pomoci malého přetlaku ca. 0,1 bar na povrch kovu v náliťku. V tomto smyslu lze uvést některé patenty [32,33].

1.2.1

Způsob výroby hlav válců odléváním do jádrových paketů je znám již od 70. let. Tehdy se ale používal tento výrobní způsob jen pro malosériovou výrobu, např. pro speciální výrobní modely nebo pro díly určené do závodních vozů. Slévárna VAW v Dillingenu odlévá odlitky do tzv. jádrových paketů vyrobených metodou

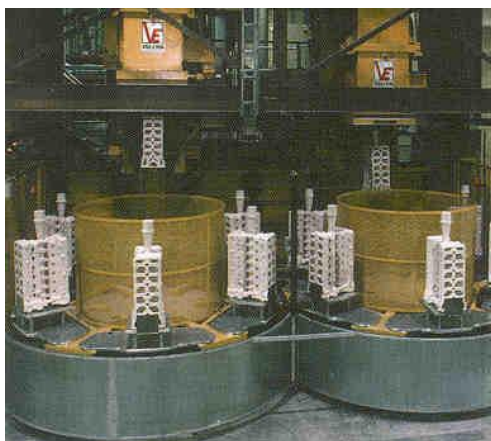


OBR. 9. Jádrový paket pro výrobu hlavy válců – jednotlivé vrstvy a celý komplet

Cold-Box (křemičitý písek je pojený polyuretanovou pryskyřicí) [21,39]. Od r. 1999 disponuje závod v Dillingenu druhou moderní výrobní linkou pro odlévání bloků motorů a hlav válců, s kterou zdvojnásobili roční produkci na 1,7 mil. kusů. Montáž jednotlivých dílů je plně automatizovaná a celý paket následně podléhá umělému stárnutí. Tato technologie je náročná na úroveň logistiky v jádrovém hospodářství. Neosvědčuje se přímá bezprostřední propojenost mezi jadernou a licím strojem – musely být vytvořeny dostatečně dimenzované mezistanice, s cílem flexibilní reakce na případné výrobní poruchy. Na obr. 9 je tento princip znázorněn. Složená forma je před odlitím naplněna inertním plynem. Plnění formy je dále optimalizováno zavedením kontaktního lití, kdy je ústí vtokové soustavy připraveno k dosednutí části dna licího zásobníku kovu se zátkou na licím otvoru. Tím je zabráněno přístupu atmosféry právě v kritických okamžicích plnění vtokové soustavy. Utěsnění otvoru dna pánve pro Al-slitiny je však při běžné sériové výrobě poněkud problematické z toho důvodu, že nové typy pevnějších Al-slitin snadněji tvoří nárůsty uvnitř i na dosedacích plochách licích kamenů.

1.3

Přestože se technologie Lost-Foam dá zařadit do skupiny - lití do písku (1.2), svým významem (především ekologičností) si však zaslouhuje zvláštní postavení v oboru gravitačního lití. Výroba hlav válců litím do forem se spalitelným modelem byla na veletrhu GIFA '99 prezentována firmou Vulcan Engineering Co., která prezentovala ve svém stánku touto technologií odlité hlavy válců. Vzhledem ke komplikovanosti dutin byl model lepen z několika vrstev, jejichž postupné lepení je při dodržení tolerovaných rozmě-



OBR. 10 Záběr na část linky pro výrobu hlav válců metodou Lost Foam

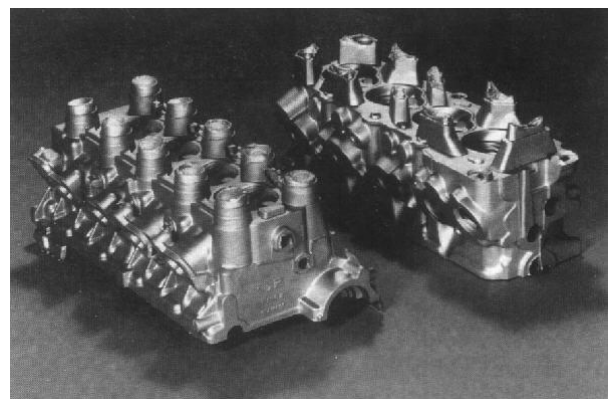
rů kritickým článkem v řetězci výroby. Firma Vulcan Engineering Co. navrhla, postavila a instalovala zařízení Lost Foam pro slévárnu BMW AG Landshut v Bavorsku. Kapacita činí 330000 hlav válců ročně. Z obr.10 znázorňujícího část zařízení je zřejmé uspořádání hlavy válců na výšku. Jedním vtokovým systémem jsou odlévány 2 odlitky současně. V oblasti lití hlav válců touto metodou je aktivní v rámci nabídky výrobního zařízení i fa Fata Aluminium. Výzkum v rámci této metody se soustředí na vývoj keramických nátěrů („ceramic coating“) pro specifické potřeby [9].

2.1

Nízkotlaké lití hlav válců do kovových forem je technologie specifická vyššími investičními náklady, a proto je nasazena k produkci hlav válců do objemu výroby maximálně středně velkých sérií. Každý jednotlivý odlitek je vždy vyroben na samostatném licím stroji, což vlastně určuje i délku výrobního taktu. Větší produktivity se daří dosáhnout zavedením předmontáže jader a robotizovaným zakládáním těchto jádrových celků do formy.

Především pro klidné plnění dutiny formy je technologie úspěšně použita u výroby velmi náročných, komplikovaných hlav válců, např. pro závodní nebo motocyklové motory. Vývoj se soustředí na odlévané materiály jejichž nasazením pro tuto technologii lze produkovat odlitky vystavené extrémním požadavkům.

Weiss [13] uvádí zkušenosti s litím hlav válců nízkotlakým litím v slévárně firmy Kolbenschmidt AG v Neckarsulmu. Na obr. č. 11 jsou znázorněny taktó odlité hlavy válců. Odlitek je ve formě pozicován tak, že zářezy jsou umístěny na straně kompresního prostoru hlavy válců. Spodní část kokily je chlazena vzduchem, horní část je chlazena vodou. Tyto dva odlitky, též vzhledem ke své konstrukci, nebylo nutné opatřit nálitky, tak jako by si to vyžadovalo gravitačního lití do kokily. Doplnění kovu během



OBR. 11. Hlavy válců odlité na nízkotlakém licím stroji

tuhnutí odlitku je zajištěné dostatečně dimenzovaným vtokovým systémem. Tato technologie však není použitelná v případě obrácené polohy odlitku ve formě, tj. strana kompresního prostoru hlavy válců je v horní části formy (nutné dodatečné nálitkování). Charakteristickým příkladem pro tento způsob lití jsou hlavy válců pro řadový čtyřválcový 1,2-litrový motor motocyklu BMW K1200RS (slévárna Rautenbach Guss GmbH).

2.2

COSWORTH-proces byl vyvinut koncem 70. let ve Velké Británii jako modifikace nízkotlakého lití [3]. Kov je dopravován spodem do dutiny formy elektromagnetickou pumpou s možností přesného řízení tlaku a objemu proudu. Tímto je umožněno odlévat odlitky s více a komplikovanými jádry, jako jsou hlavy válců, bez nebezpečí penetrace kovu nebo pohybu jader. Nejnižší licí výkony pro hlavy válců začínají na 1 kg/s. Oproti konvenčnímu nízkotlakému lití je udržovací pec, ze které je dávkován kov, navíc pecí tavicí. Toto pecní zařízení je dostatečně dimenzované, aby byl mezi tavením a litím dostatečný čas pro zajištění požadované kvality kovu (oddělení nečistot). Písková forma je vyrobena jako jádrový paket (Cold-Box). Zeus Aluminium Products odlévá do forem s křemičitým pískem hlavy válců s tloušťkou stěny od 2,5 mm [3]. Smith [13] udává ve srovnání proti konvenčnímu gravitačnímu lití do písku pro slitinu AlSi7Mg 20-procentní nárůst meze kluzu, 30-procentní nárůst meze pevnosti v tahu a 100-procentní nárůst tažnosti. Jako formovací materiál pro odlitky s vyššími nároky na mechanické vlastnosti se používá zirkonový písek.

Nevýhodou tohoto způsobu je dlouhá doba taktu (4 až 5 min). Proto byla koncem 80. let vyvinuta metoda pro hromadnou produkci hlav válců Cosworth-Roll-Over-proces. Elektromagnetická pumpa je zaústěna do formy zboku, a tudíž je po ukončení plnění umožněno otočení formy o 180° aniž by došlo k přerušení kontaktu. Vtokový systém slouží zároveň i jako nálietek. Tento systém byl poprvé sériově nasazen automobilkou Ford ve Windsoru, Ontario/Kanada [10]. V roce 1996 byla uvedena do provozu slévárna Cosworth Castings Ltd. ve Worcesteru, vyrábějící s nízkými náklady hlavy válců a bloky motorů v počtu do 300000 kusů ročně. Jako ostřívo formovacího materiálu je použit zirkonový písek, který vykazuje podobnou hustotu jako tekutý hliník. Také součinitel tepelné roztažnosti má přibližně stejnou hodnotu jako hliník, a proto zůstávají jádra pevně fixována, čímž je docílena vysoká přesnost polohy kanálů (+/- 0,30 mm).

Na bázi nízkotlakého lití do pískových forem (jádrový paket) firma Comalco Ltd. vyvinula technologii „Improved Low Pressure“. Forma obsahuje chlazenou desku, tak aby bylo na kompresní straně hlavy válců dosaženo jemné struktury. Po ukončení plnění je forma rovněž otočena o 180°. S tímto licím zařízením firma Internet Corp. dosáhla produktivity 60 forem za hodinu, při tloušťce stěn 2 až 3 mm dosahují odlitky vysokou rozměrovou přesnost [11].

2.3.1

Z technického ale i ekonomického hlediska je zajímavou alternativou nízkotlaké lití do pískových forem vyrobených na vysokovýkonných formovacích zařízeních. Firma Georg Fischer Disa AG nabízí pod označením Alupour® produkty, kterými je tato technologie realizována pro automatické rámové formovací linky. Systém je vyvinut pro horizontální i vertikální dělicí rovinu. Firma Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH nabízí v tomto oboru systémy MPS (IPV – injectapour vertikál) a SMIP (IPH – injectapour horizontál). Tato licí zařízení jsou zkonstruována pro lití odlitků z železných kovů, přestože byla nejprve vyvinuta pro lití slitin hliníku. Zatím byla tato zařízení vyzkoušena pro lití bloků motorů, mohly by být tudíž vhodné i pro produkci hlav válců. Tato technologie vyniká následujícími výhodami:

- výroba je „levná“
- obzvláště jednoduché nasazení v praxi (možnost použití licí linky a stávajícího modelového zařízení)
- klidné plnění dutiny formy (individuálně programovatelné)
- odebírání „čistého“ kovu
- úspora tekutého kovu (vtokový systém)
- ideální podmínky pro funkci náliťků
- rychlý výrobní takt (forma není spojena s licím zařízením po celou dobu tuhnutí odlitku, tak jako tomu je u běžného nízkotlakého lití do kovových forem)

Délku taktu negativně ovlivňuje doba tuhnutí kovu v ústí vtoku. Nevýhodou jsou dosažené nižší mechanické vlastnosti odlitků v důsledku pomalejšího tuhnutí nežli u kovových forem.

2.3.2

Nový způsob plnění je instalován na známé automatické bezrámové formovací lince typu Disa. Dotlak zde již není řešen pístem ve „vřichové“ trubce, ale trubice jiné konstrukce je napojena na řízený přetlak, který začne působit po aktivaci uzavíracího zařízení [24].

3

Způsob lití hlav válců tlakovým litím je chráněn několika patenty, např. [34,35,36]. Zásadní je však požadavek na celkovou změnu konstrukce hlavy válců, neboť dutiny tvořené konvenčně pískovými jádry jsou zde tímto způsobem nevyrobitelné. Metoda „Middle-Pressure“ byla vyvinuta firmou BMW jako modifikovaná metoda tlakového lití. Licí stroj vychází z horizontálního tlakového stroje se studenou komorou, avšak uzavírací síla je nepatrná – 50 barů. S cílem dosáhnout laminárního proudění při plnění je stroj pozicován v nakloněné poloze. Jako výrazná přednost tohoto způsobu proti kokilovému lití je dosažení vyšších hodnot mechanických vlastností. Kovová jádra jsou v porovnání s pískovými jádry výrobně-technickou předností. Sériově byly takto lity hlavy válců ze slitiny AlSi9Cu3.

Speciální technologie

Teploty výfukových plynů při spalovacím procesu dosahují až 1000°C, a proto se konstruktéři snaží nasadit pro tvorbu výfukových kanálů jiné materiály. Keramické materiály nevyhovují pro svoji křehkost, neboť při chladnutí odlitku a při provozu motoru působí na keramický plášť velké síly. Zajímavé řešení přináší patent [37], kde je plechový plášť na vnějším povrchu opatřen vrstvou tepelně izolačního prostředku (oxidická vrstva, grafit, nitridační vrstva), která zabrání kovovému styku při lití. Tepelně izolační vrstvu pak tvoří vzduchová mezeera.

Závěr

Obrovské tempo technického rozvoje automobilového průmyslu klade vysoké nároky na výrobce odlévaných dílů. Objem výroby, délka fáze vývoje a technické přípravy výroby, konkrétní funkční a materiálové požadavky pro hlavy válců z hliníkových slitin vedou k nezbytnosti těsné spolupráce slévárenských odborníků s konstrukčními vývojovými pracovníky při projektových pracích, použití moderních způsobů lití a výkonných strojů a dokonalé zvládnutí všech etap výroby odlitku, od přesné zvládnuté metalurgie až po tepelné zpracování. Pole výrobních technologií vhodných pro výrobu hlav válců z hliníkových slitin, které jsou na trhu k dispozici, je široké. I optimalizované konvenční slévárenské technologie mají hranice v možnostech dosažení úrovně kvality odlitých dílů. Vyhovět vyšším požadavkům lze tudíž pouze nasazením nových metod lití. Při volbě nových technologií, nebo jen při jejich hodnocení, se dá uvažovat o velkém množství hodnotících kritérií a je velmi náročné mezi nimi určit souvislosti a následně priority. Pestrost trhu a zkušenosti jednotlivých sléváren

vytváří dostatečné množství dat, které odborníkům pomáhají při sestavování vlastních srovnávacích matic pro procesy, nebo např. jen při návrzích vtokových soustav. Kromě toho se na trhu objevují zcela nové technologie, o kterých se dá předpokládat, že se v blízké budoucnosti prosadí.

Literatura:

- [1] Ambos, E. – Bähr, R. – Exner, J. – Grzinčič, M.: Automobil zítřka – výroba odlitků v konkurenci s ostatními výrobními technologiemi a novými materiály. Slévárství, 1999, duben, s. 209 – 213.
- [2] Bähr, R. – Grzinčič, M. – Hornig-Vorbau, B. – Mnich, F.: Entwicklungspotentiale bei der Fertigung hochbeanspruchter Bauteile aus Aluminiumlegierungen. Magdeburger produktionstechnisches Kolloquium 1999, květen.
- [3] Campbell, J.: Developments in precision sand casting of aluminium alloys. Foundry Trade Journal, 1991, duben, s. 229 – 233.
- [4] Datta, N. – Jarvis, D. – Sanford, P.: The production of high yield, high quality aluminium cylinder head castings using semi-permanent mold. 3rd International Permanent Mold Casting of Aluminium Conference. St. Louis, USA, 1995, 3. přednáška.
- [5] Eidenböck, T. – Ratzberger, R. – Stastny, J.- Stütz, W.: Zylinderkopf in Vierventiltechnik für den BMW DI-Dieselmotor. Motortechnische Zeitschrift 59, 1998, červen, s. 368 – 376.
- [6] Friebertshäuser, B.: Vom Rennmotorenbauer zum Systemlieferanten für Serienautomobile. Motortechnische Zeitschrift 58, 1997, zvláštní vydání, s. 20 – 23.
- [7] Gruneberg, N. – Escherle, E. – Sturm, J.C.: Simulation as an integral tool for process design and optimization for Aluminium cylinder head manufacturing. AFS Casting Congress, 1999.
- [8] Kollmann, K. – Niefer, H. – Panten, D: Perspektiven zur Zukunft der Verbrennungsmotoren: Wohin führt die Weiterentwicklung der Ottomotoren? Motortechnische Zeitschrift 59, 1998, říjen, s. 630 – 642.
- [9] Lessiter, M.J.: Zur heutigen Technologie der Gußherstellung nach dem Lost-foam-Verfahren in den USA. Giesserei 85, 1998, srpen, s. 65 – 70.
- [10] Michels, W.: Verfahrensübersicht zur Herstellung von Zylinderköpfen. IfG-zpráva č. 99-155.
- [11] Peters, D. M. – Rodgers, R. C.: INTERMET's big push into aluminium, Foundry mangement & technology, červen 1993, s. 34 – 38.
- [12] Sanford, P. – Dawson, W.A.: The optimisation of yield in gravity die castings. The foundryman, 1991, červen, s. 216 – 219.
- [13] Smith, R.A. – Wilkins, P.S.A.: Niederdruck-Sandguss – Erfahrungen mit einem neuen Prozess. Giesserei-Praxis 17, 1987, s. 247 – 252
- [14] Thiemann, W. – Finkbeiner, H. – Brüggemann, H.: Der neue Common-Rail-Dieselmotor mit Direkteinspritzung für den smart. Motortechnische Zeitschrift, 1999, listopad, s. 722 – 733.
- [15] Weiss, F. – Fuchs, H.A.: Niederdruckgießen von Zylinderköpfen und Zylinderblöcken. Giesserei-Praxis, 1990, srpen, s. 129 – 137.
- [16] Wesp, S. – Kahn, F.: Eine automatisch arbeitende 12-Stationen-Karussell-Kokillen-Gießanlage für Aluminium-Zylinderköpfe. Giesserei, 1982, červen, s. 331 – 335.
- [17] Bearbeitungsanlagen für ungarische VAW-Tochter. Giesserei-Erfahrungsaustausch, 1998, srpen, s. 367 – 368.
- [18] Der neue V6-Vierventilmotor von Volkswagen. Motortechnische Zeitschrift, 1999, listopad, s. 756 – 765.
- [19] Untersuchung des komplexen Prozessablaufes der Schmelzeherstellung, des Schmelzetransportes, der Schmelzebehandlung und des Eingießens in eine Form. Magdeburger Forschungsinstitut für Fertigungsfragen e.V., zpráva, 1999.
- [20] Firemní podklady firmy Foseco
- [21] Firemní podklady firmy VAW Aluminium AG
- [22] Firemní podklady firmy Vulcan Engineering Co.
- [23] Firemní podklady firmy Rautenbach Guss GmbH
- [24] Firemní podklady firmy GF Disa AG
- [25] Firemní podklady firmy HWS Maschinenfabrik GmbH
- [26] Patent č. DE 19720056
- [27] Patent č. DE 19720183
- [28] Patent č. DE 19223178
- [29] Patent č. DE 327226
- [30] Patent č. DE 43 18 252
- [31] Patent č. DE 9421585
- [32] Patent č. DE 195 31 551
- [33] Patent č. DE 39 25 373
- [34] Patent č. DE 19731735
- [35] Patent č. DE 19806272
- [36] Patent č. DE 19547490
- [37] Patent č. DE 3915988
- [38] internetová adresa <http://www.vda.de>
- [39] internetová adresa <http://www.vaw.de>