

Анализ на иновативни методи за формование на кухини в отливки ляти под високо налягане

Иван Иванов

Резюме — Проучването е относно някои перспективни и иновативни методи, даващи нови възможности за приложение на процеса леене под високо налягане. Основна цел е оценка на възможностите на разглежданите методи за прилагането им при производството на детайли за автомобилната индустрия. Характерно за този тип детайли е сложната форма и високите изисквания за качество. Самият бранш изисква те да бъдат все по-комплексни и сложни, което поставя нови задачи към технологичните процеси и методи. Необходимостта да се направи детайл, който да съвместява функциите на няколко налага той да има затворени кухини - повърхнини и елементи от геометрията, които не могат да се формоват с традиционните постоянни форми. Конструкцията на такива инструменти обикновено осигурява изваждането, чрез механично задвижвани елементи, които в почти всички случаи са с праволинейно движение. Това от своя страна драстично ограничава възможностите относно сложността на засенчената зона. Друга цел, поставена пред методите е получаването на отливки, които имат вътрешни канали за трансфер на хидравлична течност с работно налягане или такава за temperиране.

Ключови думи — леене под високо налягане, пресформи, отливки, алуминиеви сплави, заложи, засенчени зони, канали със сложна форма, автомобилна промишленост, електромобили, батерии, солни сърца

I. ВЪВЕДЕНИЕ

От средата на миналия век леките сплави са намерили голямо приложение в промишлеността и бита [1]. Поради своите механични и тегловни показатели, те успешно конкурират и в много случаи са изместили стоманите и чугуните. Чрез процеса леене под високо налягане, от тях могат да се правят здрави и тънкостенни детайли със значителна по сложност форма. Тяхното приложение е в редица динамични по отношение на пазара отрасли на машиностроенето. Такива са автомобилостроенето, производството на електроинструменти, битова електроника, военна техника и др. Към самите отливки се предявяват високи изисквания относно здравината и надеждността им (особено на тези, ползвани в автомобилостроенето), тъй като от тях зависи сигурността и надеждността на изделието. Характерна особеност на процеса леене под високо налягане е необходимостта от скъпа и времеемка за изработване инструментална екипировка (пресформи) [1].

Екипировката може да се причисли към клас "постоянни форми". Самите формообразуващи са

изработени от топлоустойчиви стомани. Тъй като в крайната фаза на процеса леене върху стопилката се прилага налягане от порядъка на 200-800 bar и за разлика от методите за леене под ниско налягане и с противоналягане, тук не е възможно да се използват еднократни пясъчни сърца (най-често изградени от пясък свързан с фуранови смоли), поради малката им якост. Това от своя страна ограничава метода "леене под високо налягане" и той е неприложим за детайли със засенчени зони и вътрешни кухини, които не могат да бъдат формовани, чрез традиционните конструктивни елементи прилагани в инструменталната екипировка - плъзгачи, лифтери и др.

Друго ограничение е наличието на определени леярски дефекти като шупли в удебелените зони (характерно за процеса) на отливките, което силно намалява възможността на метода да се използва за леене на детайли с вътрешни канали, по които тече флуид под високо налягане, прилагани в областта на хидравликата.

II. РАЗГЛЕЖДАНИ ПРОБЛЕМИ

В резултат на развитието на нивото на техниката, към метода леене под високо налягане са се оформили няколко важни насоки за подобряване на наличните и за добавяне на нови технологични възможности. Основните въпроси, на които се търси решение, са:

- нуждата от все по-комплексни отливки, които включват геометрия, чиято функция досега се е изпълнявала от няколко детайла.
- необходимост от технология, която да позволява производството на отливки с кухини и засенчени зони, които не могат да се формоват с подвижни постоянни елементи.
- необходимост от вътрешни канали с произволна пространствена форма за трансфер на флуид под високо налягане за задвижване на хидравлични елементи.
- необходимост от вътрешни канали с произволна пространствена форма за трансфер на флуид с цел temperиране на дадени агрегати и възли.

III. ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ, ЧРЕЗ КОИТО Е ВЪЗМОЖНО ДА СЕ ФОРМОВАТ ЗАСЕНЧЕНИ ЗОНИ И ВЪТРЕШНИ КУХИНИ В ОТЛИВКИТЕ ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ МЕТОДА "ЛЕЕНЕ ПОД ВИСОКО НАЛЯГАНЕ" [2].

В съвременното машиностроене за част от изложените проблеми са намерени съответните

решения. Тези, които касаят качеството на отливките, тяхната плътност и др. аналогични показатели, в голяма степен са решени, чрез усъвършенстване на самия процес на леене. На първо място, това става с прецизно управление на параметрите на процеса чрез въвеждане на CNC управление на леярските машини. Прилагането на по-прецизно управление на технологиите за вакуумиране на формата също подобрява значително възможностите за получаване на плътни отливки, които могат да се използват за хидравлични елементи.

Тези подобрения дават възможност да се произвеждат достатъчно плътни отливки със сложна, но постижима само с възможностите на постоянните форми (инструменти) геометрия. Като цяло отворите, които са по-плътни, се формират от подвижни сърца. Подълбоките е възможно да се свредловат директно. Тук местното удебеление, създава възможност за поява на шупли и по същество това налага ограничение.

Относно отливането на детайли с вътрешни канали са налични няколко иновативни метода. Те дават перспектива леенето под високо налягане да се прилага за отливки които да се използват в новите области на автомобилостроенето, а именно при електромобилите.

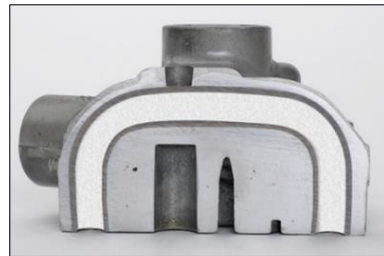
При тях, чрез заложки е възможно да се постигнат канали със сложна форма в отливката лята под високо налягане. Самият материал на заложката дава възможност за голяма якост, издръжливост на високи налягания и херметичност. Заложките са от материал, който им придава достатъчна якост по време на леенето, а след това се отстранява. Каналите в отливката могат да се ползват както за охлаждане, така и за трансфер на хидравлична течност и имат сложна пространствена форма. Използването на заложки при леенето под високо налягане не е новост. Но традиционно ползваните заложки в повечето случаи са стоманени елементи, чиято форма е проста и се вписва в контурите на постоянно сърце от формата, като обикновено го обхваща отвън. Тази схема, съчетана с материала, осигурява достатъчна здравина на заложките, за да понесат високите налягания при леене. Налични са и решения за прилагане в автомобилните трансмисии на стоманени тръби – заложки с цел задвижване на хидравлични елементи (скоростната кутия 8HP на ZF Friedrichshafen AG).

Директното използване на кухи заложки от сплав аналогична на леярската не е решение, тъй като има опасност налягането да ги деформира (смачка). В случая иновацията в методите е сърцевината, която осигурява устойчивост на тръбата по време на самия процес. Тъй като всъщност заложката е екструдирана тръба от аналогичен материал на леярската сплав, по време на процеса възниква свързване на тръбата с останалия материал на отливката. Това от своя страна осигурява условия за подобряване на топлопроводността. Самата екструдирана тръба има достатъчна якост и херметичност, за да бъде използвана за пренасяне на флуид под високо налягане. Тя получава и допълнително укрепване от заобикалящия я основен материал на отливката. Тази комбинация позволява да отпадне необходимостта цялата структура

на отливките да се получи плътна (херметична) от самия леярски процес, а само да удовлетворява изискванията за якост. В случая могат да се допуснат известни компромиси с процеса, като това може да донесе ползи, изразяващи се във възможността да се произвеждат по-големи и/или по-сложни тънкостенни отливки. Една от разглежданите технологии е Combicore [3].

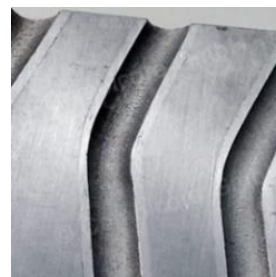
A. Metocd „Combicore“

Combicore произвежда иновативни леярски сърца за всички процеси на леене. Чрез него, за първи път в световен мащаб, стабилни сърцевини могат да се използват и при леене под налягане с налягане на леене над 1200 бара. С тази основна технология се предлагат на пазара множество иновативни и ориентирани към бъдещето продукти с нови геометрии. Тя се базира на екструдирана тръба или профил с укрепваща солна сърцевина, която се отмива на крайния етап на процеса (фиг.1).



Фиг. 1. Разрез на отливка със сърце Combicore. Солния пълнеж не е отстранен [4].

Самата заложка става монолитна с основния материал на отливката. Налице е здрава структура и добри възможности за топлопренасяне от заложката към останалата структура, получена чрез леене (фиг. 2).



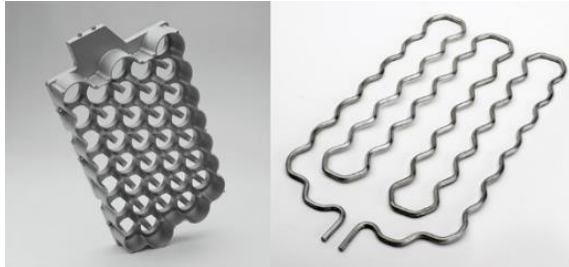
Фиг. 2. Свързване на тръбите и стопилката Combicore [3]

При Combicore формата на канала може да бъде с голяма сложност, като ограничението е само от възможностите за огъване на тръбата и разполагането и във формата (фиг.3).



Фиг. 3. Възможност за получаване на канали със сложна пространствена форма чрез Combicore [3]

При използване на технологията за производство на отливки с охлаждащи канали, тяхната форма може да бъде произволна. Самата отливка може да бъде оптимизирана откъм габарити и функция спрямо възможностите, предлагани от наличните до момента технологии (фиг. 4).



Фиг. 4. Сложна отливка с вътрешни охлаждащи канали, получена с технология Combicore. Заложка за охлаждащите канали. Дължина на каналите 1500мм, диаметър 4 mm [4].

Технологията е изключително подходяща за отливане на детайли, представляващи основната структура на батерията на електромобилите (фиг.5).



Фиг. 5 Корпус на батерията – отливка, получена с технология Combicore [3].

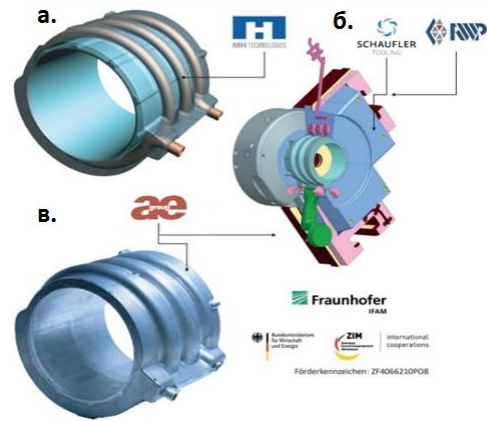
Чрез Combicore могат да се получат достатъчно яки и сложни по конфигурация отливки, с приложение в хидравликата (фиг. 6).



Фиг. 6 Лята под налягане част с полумрежова форма с интегриран маслен канал Combicore [3]

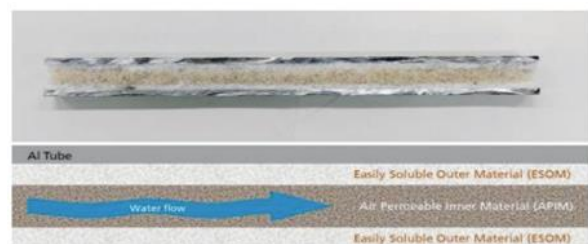
В. Метод „ZLeak Tube pipes“

ZLeak Tube pipes [5] е аналогична технология, която се въвежда от корейската фирма MH Technologies в сътрудничество с фирмите AE group AG (леене под налягане), Schaufler Tooling GmbH (производство на инструменти) и RWP GmbH (симулация) и в сътрудничество с Fraunhofer IFAM (фиг.7).



Фиг. 7. Демонстратор на технологията ZLeak Tube pipes [5]: а) CAD модел на демонстратора в полупрозрачно представяне за визуализиране на позицията на охлаждащия канал в отливката; б) Представяне на отлятата част с леак, преливници и вентилация в частично скрита форма; в) Готова отливка (иллюстративно изображение).

При този метод уякчаването на тръбите – заложки се извършва с двуслоен пълнеж (фиг. 8). Основната идея е, че външният слой е направен от водоразтворим материал, а вътрешността е от едрозърнести частици и по този начин спомага за стабилизиране на външния слой при огъване. Това позволява на тръбите да бъдат огънати, без да се повредят вътрешните им стени недопустимо и без натрупване на пълнеж на вътрешната стена. В същото време пропускливата сърцевина позволява лесното измиване на пълнежа, който намалява обемната част от солта, което също е благоприятно. Като резултат, технологията ZLeak Tube позволява производство на елементи с канали със сложна форма, имаща както кръгло, така и елипсоидно или правоъгълно напречно сечение. Централната част (вътрешния слой на пълнежа) спомага за по-бързото отстраняване на цялата вътрешност след отливане на детайла.



Фиг. 8 Двуслойна сърцевина на Zleak [9]

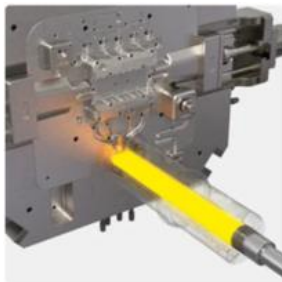
С. Метод „Инжектиране на газ в стопилката по време на процеса на леене“

Швейцарската компания за леене под налягане ALUWAG, базирана в източна Швейцария, е известна на пазара повече от 50 години. В продължение на около четири години компанията разработва технология за газово инжектиране при леене под налягане на алуминий като част от програмата на ЕС за изследвания и иновации „Хоризонт 2020“ и в сътрудничество с TIK, Magit, Surtechno и HS Aalen [6]. Днес компанията може да приложи процеса на "практика с демонстрационни

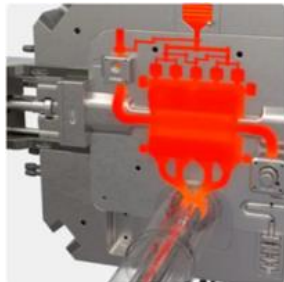
детайли за различни геометрии с цел въвеждане в серийно производство.

Процесът има аналогия с използвания при шприцване на пластмасови детайли, като в случая се предвижда да се прилага и за серийни процеси при леене под налягане на метал.

Фокусът е върху производството на кухини за компоненти чрез процеса на леене на алуминий под налягане. Използвайки технологията за инжектиране на газ, сложни структури и вътрешни канали могат да бъдат създадени по време на процеса на леене без необходимост от допълнителни етапи на обработка.



а. Начало на процеса.



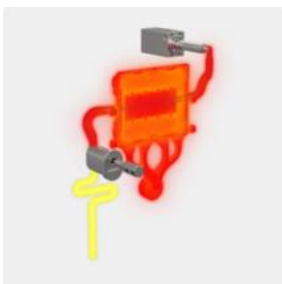
б. Запълване на формата.



в. Начало на подаването на газ. Дюзата пробива кристализирания външен слой.



г. Продуване на останалия течен метал.



д. Окончателна кристализация на отливката.



е. Отстраняване на технологичните елементи и леяците.

Фиг.9. Цикъл на процеса при използване на технологията „Инжектиране на газ в стопилката по време на процеса на леене“ [6].

Инжектирането на газ в стопилката по време на процеса на леене създава кухини, които намаляват теглото на компонентите и в същото време подобряват тяхната здравина. Здравината се подобрява поради наличието на кристализация под налягане подобно на структурата при метода „газово пресоване“ [7]. Това позволява по-ефективно и рентабилно производство на висококачествени компоненти със сложни геометрии. Оптимизирани свойства на материала, по-голямо

запълване на формата и намаляване на изкривяването и порьозността са допълнителни предимства на процеса. Резултатът е висококачествени алуминиеви лати части с кухини и/или вътрешни канали.

Налични са много предимства, особено за компоненти в силовата електроника, също и за детайли с канали за течности, или когато става въпрос за целенасочено намаляване на теглото, тъй като детайлът, произведен с газово инжектиране, обикновено замества няколко и спестява инструменти и/или допълнителни процеси за заваряване, монтаж и др.

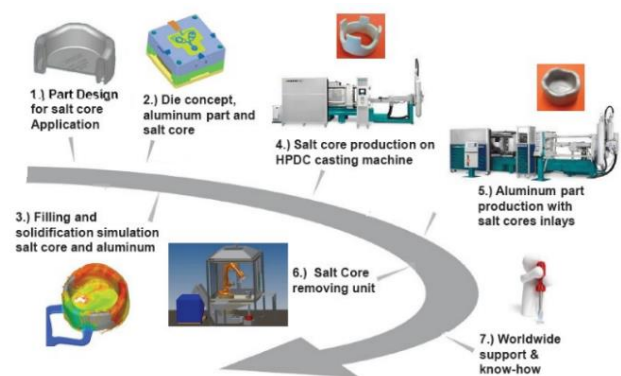
Самата сложност на вътрешните кухини кореспондира с околната външна геометрия - фиг.10.



Фиг. 10 Отливка получена чрез процеса „Инжектиране на газ в стопилката по време на процеса на леене“ [6]

D. Memod Lost Cores.

Технологията е разработена от фирма Bühler в центъра в Узвил. Самата фирма е известна със своите пресгуси и иновациите в областта на леенето под високо налягане. При метода за формоване на кухините се използва заложка отлята от сол, която в последствие се отстранява от отлетият детайл. Цикълът на технологията е описан на фиг. 11.



Фиг.11. Цикъл на технологията „Lost Cores“ [8]

Солни заложки се използват при гравитантно леене и леене под ниско налягане от началото на 21 в. и не представляват новост. За споменатите методи заложките обикновено се произвеждат чрез пресоване на соли в кашеобразно състояние. При леенето под високо налягане, това е свързано с редица трудности за постигане на параметрите на процеса. Причина за това е якостта на солните заложки, получени по споменатия метод.

Предимството заложките, които формират вътрешните кухини на детайлите да се произвеждат от разтопена сол е, че имат висока механична и термична

стабилност [9] и това позволява този метод да се използва при леене под високо налягане. Самите [10] солни зложки (сърца) се получават чрез леене под високо налягане, като технологията и оборудването са аналогични на тези за самия детайл(отливка) (фиг. 12).



Фиг.12. Зложки „Lost Cores“ с леяк. Демонстратор на технологията [11]

Друго предимство, в допълнение към якостта на зложките, е малката грапавост на формованите повърхнини на отливката (респективно получени от тези на зложката). Също така, и липсата на възможност да се получат леярски дефекти поради отделяне на газове в отливката по време на самото леене, каквато има при пясъчните сърца. При пясъчните сърца свързващото вещество деградира в определена степен, което води до отделяне на газове, които водят до споменатите дефекти. Съществено предимство е и лесното отстраняване на зложките от детайла с вода под налягане, както и липсата на остатъци от тях. По отношение на използваната форма за отливане на зложките, са налични следните предимства - лесно почистване без остатъци и липса на износване (сравнено с методите, които използват пясък, който е силно абразивен). Методът на практика няма никакви отрицателни въздействия върху човешкото здраве или околната среда, а материалът е рециклируем.

В резултат на процеса е възможно получаването на детайли ляти под високо налягане със затворени кухини (фиг. 13).



Фиг. 13 Детайл и детайл с неотстранена зложка. Демонстратор на технологията Lost Cores [8]

Самата леякова система е същата, която се използва и при конвенционалното леене под високо налягане (фиг. 14).

Чрез метода може да се произвеждат отливки със значителна сложност (фиг. 15).

Методът Lost Cores спомага за производството на изделия със съвършено различни конструкции от ползваните до момента. Самият технологичен процес не е коренно различен от прилагания до момента, за леене под високо налягане. Използването на зложки от сол, която на краен етап се разтваря с вода, прави възможно

замянната на отливките отлети под ниско налягане в постоянни форми и с пясъчни сърца, с такива ляти под високо налягане.



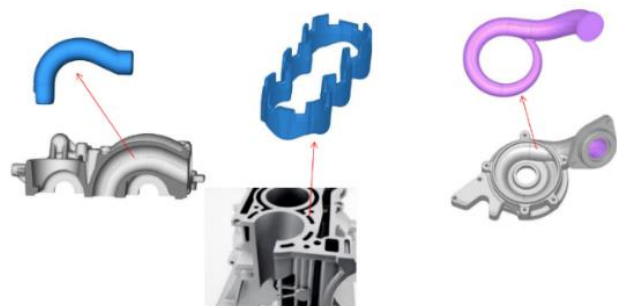
Фиг. 14 Отливка с леяк. Демонстратор на технологията [11]



Фиг. 15 Отливки със сложни вътрешни повърхнини, получени с помощта на метода Lost Cores [11]

В случая се използват предимствата на леенето под високо налягане - спестяване на материали, по-кратки времена на цикъла, по-добри повърхнини и намалена последваща обработка.

От гледна точка на конструкцията на изделието, "Lost Core" дава възможност за разработването на напълно нови като функционалност и възможности компоненти. Вътрешното оформление може да включва сложна конструкция и форми, комбинация от множество компоненти в една единствена единица. Налична е висока функционална интеграция, а увеличената свобода на проектиране позволява напълно нов дизайн на компоненти (фиг. 16).



Фиг. 16 Възможности на метода "Lost cores" за производство на комплексни отливки със сложни вътрешни форми [11]

IV. АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ТЯХНОТО ПРИЛОЖЕНИЕ

В Табл.1 е направено сравнение на възможностите на разглежданите методи.

ТАБЛИЦА 1

Разглеждан метод Критерий за сравнение	Метод „Combicore“	Метод „Zleak Tube pipe“	Метод „Инжектиране на газ в стопилката“	Метод „Lost cores“
Метод на получаване на кухините	Метални заложи запълнени предварително със соли.	Метални заложи запълнени предварително с двуслоен пълнеж.	Чрез евакуиране на остъците от стопилка от участъци, със сравнително голяма дебелина, които кристализират последни.	Отляти заложи от соли.
Производител на заложи	При производителя на заложи	При производителя на заложи	Заложи не се използват. Разчита се на специфична конфигурация на детайла	При производителя на детайлите. Технология аналогична на основния процес.
Сложност на формата на разглежданите повърхнини и елементи на отливката	В рамките на сложността на формата на тръбата. Кореспондира с напречния профил и огъването.	В рамките на сложността на формата на тръбата. Кореспондира с напречния профил и огъването.	Сложността е ограничена от възможностите за кристализация на материала.	Заложката се проектира по правила аналогични на тези, които се прилагат в отливките и се изработва с формообразуващ инструмент.
Възможности за получаване на плътни отливки с канали за флуид под високо налягане	Гарантира. Херметичността не зависи от структурата на отливката, а само от тази на тръбата.	Гарантира. Херметичността не зависи от структурата на отливката, а само от тази на тръбата.	В рамките на възможностите на процеса леене под високо налягане. Предимство е, че точно в зоните, където се изисква херметичност металът кристализира под налягане.	В рамките на възможностите на процеса леене под високо налягане.
Ограничения наложени на процеса на леене под високо налягане от спецификата на метода	Не	Не	Необходимо е подаването на газ да бъде в точно определен момент от процеса. Флуктуациите в параметрите могат да доведат до различна дебелина в разглежданите области.	Заложките са с определени якостни показатели и налагат известни ограничения при екстремни режими на леене. Поради това е необходим анализ на конструкцията и процеса.
Възможност за автоматизация на процеса	Заложките могат да се поставят в инструмента с манипулатор	Заложките могат да се поставят в инструмента с манипулатор	Не се различава от конвенционалното леене под високо налягане.	Заложките могат да се поставят в инструмента с манипулатор
Необходимост от допълнителни довършителни дейности за отливката.	Металната част остава, като част от отливката. Укрепващата солна сърцевина се премахва чрез водна струя под високо налягане.	Металната част остава, като част от отливката. Укрепващата солна сърцевина се премахва чрез водна струя под високо налягане. Най-вътрешният слой на заложката спомага за по-бързо разграждане на укрепващата съцевина.	Необходимо е крайните части да бъдат премахнати механично. Зависи от конфигурацията на детайла. В повечето случаи процесът е лесно осъществим.	Чрез водна струя под високо налягане. Процесът е лесно осъществим за повечето детайли. Известни трудности може да има с дълбоките и тесни канали.

От сравнението се вижда, че методите ZLeak Tube и Combicore са идентични и конкурентни един на друг. Те решават проблема относно получаването на отливки с канали със сложна форма за трансфер на флуид под високо налягане или с цел темпериране на детайла.

Методът Lost Cores засяга друга област на приложение. Той е приложим за получаване на отливки с по-сложна форма на кухините. Като цяло, при него не е налично подобрене на херметичността на отливката, каквото има при разглежданите други два метода – функционално поради наличието на здрава тръба-заложка при Combicore и Zleak и забележимо при инжектиране на газ в стопилката, поради кристализацията под налягане.

Методът, при който се инжектира газ в стопилката, засяга областта на приложение и на трите споменати по-горе. Спрямо заложките-тръби на Combicore и Zleak, той има ограничение от минималния диаметър на отвора на канала поради условията на кристализация. Якостта и херметичността на отливката като цяло са по-добри от конвенционалния процес. Спрямо Lost cores

метода има недостатък, изразен в това, че вътрешната форма не е изцяло дефинируема и реално повтаря в известна степен външния контур. Не е възможно в кухнята да се реализира независима локална геометрия.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като цяло, прилагането на разглежданите методи дава възможност за производство на отливки с по-сложни форми и функции, които до момента не е възможно да бъдат изпълнени с наличните технологии. Изключително ценна е възможността един детайл да замени функционално няколко, което опростява конструкцията на агрегатите и намалява цената на изделието. Приложението на разглежданите методи дава едно добро решение за технологично осигуряване на новото направление, в което се развива автомобилостроенето – електромобилите.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работата е финансирана по проект „Национална пътна карта за научна инфраструктура“ към Министерство на образованието и науката на Република България.

Авторът благодари на лаборатория „3D креативност и бързо прототипиране“, част от „Сдружение за научноизследователска и развойна дейност“ към СофияТех Парк.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тодоров Г., Добрев П., Иванов И. „Симулиране на процеса на лееене под високо налягане“, сп. СЮ, бр.8, 2009
- [2] Lehmhus D., “Advances in Metal Casting Technology: A Review of State of the Art, Challenges and Trends—Part I: Changing Markets, Changing Products”, Metals 12, 2022
- [3] <https://www.combicore.com>
- [4] “Interview with Combicore”, Easy Engineering, 10, 5, 2021 <https://easyengineering.eu/>
- [5] Lehmhus D., Pulle C., Borheck D., Bremen F. B., Schegler T., Chingen L., Lee J., Yoo J., In Cheon, Lutze P., Tungen G., Vomhof R., Weiss K., Roetgen, “Leakage-free cooling channels for Die-cast housing components”, Research-Innovation 17, 09, 2021
- [6] Fritsch T., “Gas injection in practice—ALUWAG on the threshold of pre-series production”, Foundry planet, 24, 04, 2024
- [7] Великов А., С. Станев, Бойчев Я., Петров К., “Прогнозиране на температурните промени при лееене по метода „газово пресоване““, XXIII International Conference “Defectoscopia’15”, 2015, 168-170, ISSN 1310-3946
- [8] “Lost core” from Bühler: new die casting technology opens up a wide range of applications, <https://www.foundry-planet.com> (26.12.2012).
- [9] Hançerlioğlu T., “Development of Salt Core Use as an Alternative in Aluminum Alloy Castings”, Celal Bayar University Journal of Science, 1 June 2022
- [10] Bühler AG: Lost core - an industrial process path for high-quality salt cores. <https://www.foundry-planet.com> (17.09.2013).
- [11] Roos H.J “Lost Core Technology. A challenging growth opportunity” 13. Internationaler Deutscher Druckgusstag 2013

Analysis of Innovative Methods for Forming Voids in High Pressure Castings

Ivan Ivanov

Abstract — The study is about some promising and innovative methods giving new possibilities for the application of the high pressure casting process. The main goal is to evaluate the possibilities of the considered methods for their application in the production of details for the automotive industry. This type of detail is characterized by a complex shape and high quality requirements. The industry itself requires them to be increasingly complex and sophisticated, which places new tasks on technological processes and methods. The need to make a part that combines the functions of several requires it to have closed cavities - surfaces and elements of geometry that cannot be formed with traditional permanent forms. The construction of such tools usually provides for removal by means of mechanically driven elements, which in almost all cases have a rectilinear movement. This, in turn, drastically limits the possibilities regarding the complexity of the shaded area. Another object of the methods is to obtain castings that have internal channels for transfer of working pressure or tempering hydraulic fluid.

Keywords — High Pressure Die Casting, Dies, castings, aluminum alloys, molded-in-inserts, shaded areas, channels of complex shape, automotive industry, electric vehicles, batteries, salt cores.