Bulgarian Society for NDT
International Journal "NDT Days"
Volume VI, Issue 1, Year 2023

ISSN: 2603-4018
eISSN: 2603-4646

Investigation of the Effect of Non-Stick Coatings Based on Corundum, Zircon and Graphite on the Formation of the Surface of Complex Relief Castings in Combination with the "Capillary Molding" Method

Daniela SPASOVA

Technical University of Varna, Varna, Bulgaria,
e-mail: danielats@tu-varna.bg

Abstract
The present paper is related to investigating the possibility of obtaining complex-relief castings by wax models combined with the "Capillary molding" method and use of coatings guaranteeing low surface roughness. Using the "Capillary Molding" method, it has been found that a very good bond is achieved between the coatings used and the mold support over the entire surface. Coatings based on corundum, zircon and graphite and binder water glass and carbophen resin were used. The influence of the coatings used on the formation of the surface of complex relief castings is significant because coated surfaces are obtained with low roughness (Ra = 1.2 ÷ 1.5), corresponding to the coating roughness. Also, there are no gas defects in the volume of the casting, which indicates that the gases formed as a result of the interaction of the melt and the non-stick coating are insignificant and do not get into the volume of the casting, but seep into the pores of the casting mold as a result of its vacuuming.

Keywords: vacuum casting, surface roughness, the non-stick coating, capillary molding

Изследване влиянието на противопригарни обмазки на основата на корунд, циркон и графит върху формирането на повърхността на сложнорелефни отливки в съчетание с метода „Капилярно формоване"

Даниела СПАСОВА

1. Увод

Качеството и свойствата на отливките до голяма степен се определят и от качеството на повърхнината на отливката. По-доброто качество на повърхността на отливката повишава точността на отливките, намалява трудоемкостта на операциите по почистване, подобрява обработваемостта и намалява допуските за обработка [1, 2]. Качеството на повърхността на отливката се оценява с определяне на нейната грапавост, която зависи от наличие на повърхностни дефекти под формата на пригар [3].

Пригарът е слой от формовъчна или сърцева смес, образуван от взаимодействието на стопилката с кислорода в атмосферата. Той е здраво закрепен върху повърхността на отливката, което рязко влошава качеството на повърхнината ѝ. Различават се три вида пригар – механичен, химичен и термичен. За да се предотврати образуването на пригар на повърхността на отливката, върху стените на леярската форма се нанасят обмазки, които предотвратяват взаимодействието на стопилката с леярската форма [2, 4].

Друг важен момент за подобряване качество отливката е да се предотврати отделянето на газове, както на повърхността, така и в обема на отливката, което може да се осъществи чрез вакуумиране на леярската форма в момента на заливане. Леенето

с вакуумиране на леярската форма е една от съвременните технологии за производство на прецизни отливки, с малка дебелина на сечението и такива, които изискват високо качество на стопилката, освободена от всякакви неметални включвания и газове [5, 6]. Същността на процеса се състои в това, че сплавта запълва кухината на леярската форма под действие на разликата в атмосферното налягане и налягането, създадено в кухината на формата, чрез вакуумирането ѝ. С изменението на разликата между атмосферното налягане и налягането създадено в леярската форма може да се регулира скоростта на запълване на формата със стопилката. Чрез леене в условия на вакуум се получават тънкостенни отливки, с дебелина на стените 1-1.5 mm, без наличие на газови дефекти, с висока точност на размерите и повишени механичните свойства [5].

В настоящата работа са отразени резултатите от изследване на възможността за получаване на сложно-релефни отливки по стопяеми модели в условия на леене във вакуум, в съчетание с метода „Капилярно формоване“ и използване на обмазки гарантиращи ниска грапавост на повърхнините. „Капилярно формоване“ е сравнително нов метод за изработване на леярски форми, защитен с патент [7]. При конвенционалните методи за изработване на сложнорелефни отливки по стопяеми модели се използват етилсиликатни черупкови форми, или леярски форми, изработени от течноналивни формовъчни смеси, които са с ниска газопропускливост, и за които се изисква изпичане на формата при високи температури преди да бъде залята. В настоящите изследвания е избран метода „Капилярно формоване“, описан в т. 2, т.к. удовлетворява следните изисквания: 1) при формоване на опорната част на формата, която трябва да бъде пореста, с висока газопропускливост, не трябва да се нарушава целостта, на обмазката, т. к. използваните обмазки в сурово състояние имат ниска технологична якост; 2) необходимо е да се осъществи много добра връзка между обмазката и опорната пориста форма; 3) за да не се наруши целостта на обмазката е необходима ниската температура на нагряване на формата (150-200°C).

При създаденият метод за капилярно формоване се осъществява много добра връзка между използваните обмазки и опорната част на формата, т.к. в обмазките на основата на корунд, циркон и графит, като свързващо вещество са използвани карбофенова смола и водно стъкло, както и при изработването на опорната част на леярските форми. Предвид на приложимостта на такъв вариант на изработване на леярски форми, експериментите бяха насочени към използване на медна сплав CuZn38Pb2 за получаване на сложнорелефни отливки.

2. Експериментална част

2.1 Приготвяне на противопригарните обмазки

Както беше споменато в т. 1, използвани са обмазки на основата на корунд, циркон и графит, чийто състав е даден в табл. 1.

Таблица 1. Състав използваните противопригарни обмазки

Обмазка	Основна съставна	Допълни материали
1	корунд	Карбофенова смола ALKAFEN C 150- 4%, вода (1:3)
2	корунд	Водно стъкло- 4%, вода (1:3)
3	циркон	Карбофенова смола ALKAFEN C 150- 4%, вода (1:3)
4	циркон	Водно стъкло- 4%, вода (1:3)
5	графит	Карбофенова смола ALKAFEN C 150- 4%, вода (1:3)
6	графит	Водно стъкло- 4%, вода (1:3)

Предвид обстоятелството, че обмазките се нанасят върху стопяемия модел (изработен от восъчно-парафинена смес), а не върху повърхнината на леярската форма, избора на свързващи вещества за обмазките беше определен от обстоятелството, че трябва да бъдат същите, каквито са свързващите вещества на опорната част на леярската форма, за да се изгради здрава връзка между обмазката и леярската форма. Всеки един вид обмазка се използва в два варианта – със свързващо вещество карбофенова смола и със свързващо вещество водно стъкло. Едрината на частиците на основния пълнител е с размери 2-10 μm, а свързващото вещество не трябва да се разрежда с вода повече от 1:4.

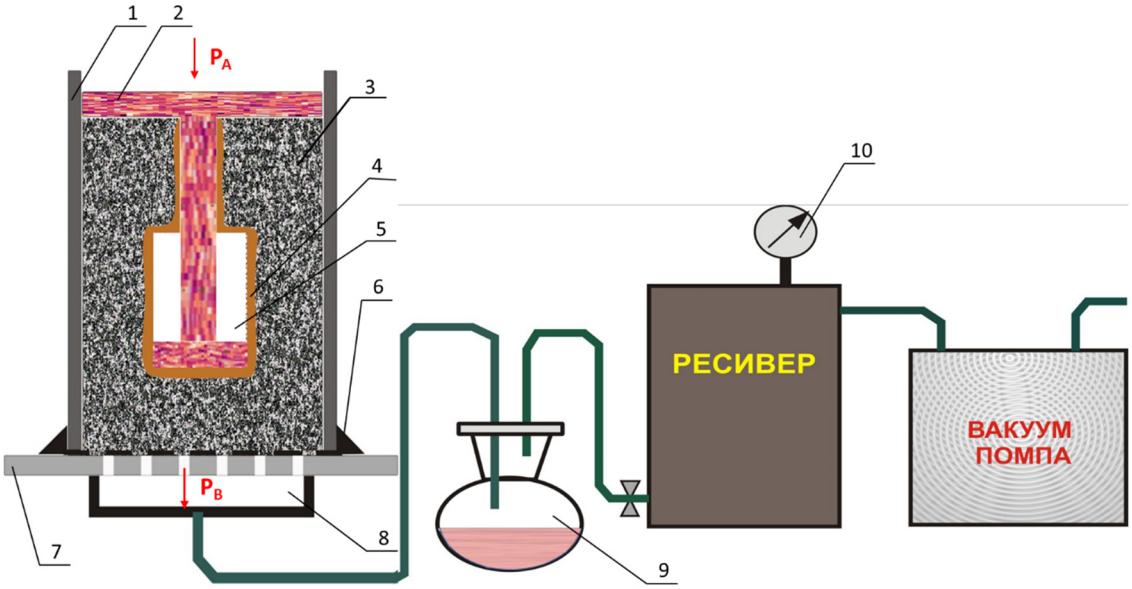
2.2 Изработване на леярската форма

Първоначално, с цел уточняване на параметрите на работния режим, моделите се изработваха с опростена форма, във вид на плоска призма с дебелина 3 mm, от восъчно-парафинена смес. На по-късен етап експериментите се продължиха с използване на сложнорелефни модели. Изработения восъчен комплект (модел и леякова система) се обмазват с избраната за целта обмазка.

Основната идея на настоящите експерименти е да се изработи леярска форма, която да е пориста и в съчетание с обмазките да осигури получаването на качествена отливка, като леярската форма да бъде нагрята до температура не повече от 150-200°C. Тази температура е достатъчна за освобождаване на леярската форма от стопяемия модел, за разлика от конвенционалните методи, където е необходима висока температура на изпичане на формата, респективно обмазката. Тези температури за гипсовите форми са 750°C, за керамичните на базата на етилсиликат са над 900°C. Както беше споменато по-горе, тези условия се удовлетворяват с използване на метода „Капилярно формоване“. Характерното за метода е, че приготвянето на формовъчната смес се осъществява в самата леярска каса и формирането на необходимия слой свързващо вещество около пясъчните зърна, т.е. получаването на формовъчната смес, се осъществява без прилагане на механично въздействие върху компонентите й. Методиката за изработване на леярски форми по този метод е визуализирана на фиг. 1.

Изработването на леярската форма се осъществява в следната последователност: върху филтърната мрежа 8 се позиционира стопяемият модел с предварително нанесена обмазка. Пространството между модела 5 и касата 1 се запълва със сух пясък 2 (Dп.з. = 0.20 mm), който се доуплътнява, чрез леки вибрации. Върху пясъка се налива свързващото вещество (карбофенова смола или водно стъкло разредени с вода, в съотношение 1:2). След което се включва вакуум системата и в резултат на разликата в налягането над свързващото вещество и под него, то принудително прониква в капилярните пространства между пясъчните зърна, като ги омокря по цялата им повърхност. Вакуум системата продължава да работи, докато почти цялото количество свързващо вещество попадне в междинния съд 10. В леярската форма остава само тази част от свързващото вещество, която е омокрила песъчинките в леярската форма. Така получената леярска форма, изградена от пясък, омокрен със свързващото вещество карбофенова смола или водно стъкло се втвърдява чрез продухване с CO_2. Това е и едно от предимствата на тези свързващи вещества, че се втвърдяват без изпичане при високи температури. Трябва да се отбележи, че при продухване с въглероден двуокис от горната страна на формата, вакуумсистемата продължава да работи. По този начин се интензифицира проникването на въглеродния двуокис в пространството между пясъчните зърна. Освобождаването на леярската формата от стопяемия модел се осъществява при температури 150°C, в продължение на 1 час. Това е температурата,

над която свързващото вещество карбофенова смола губи своята свързваща способност и обмазката започва да се рони, а при използване на свързващо вещество водно стъкло над тази температура, обмазката се напуква.

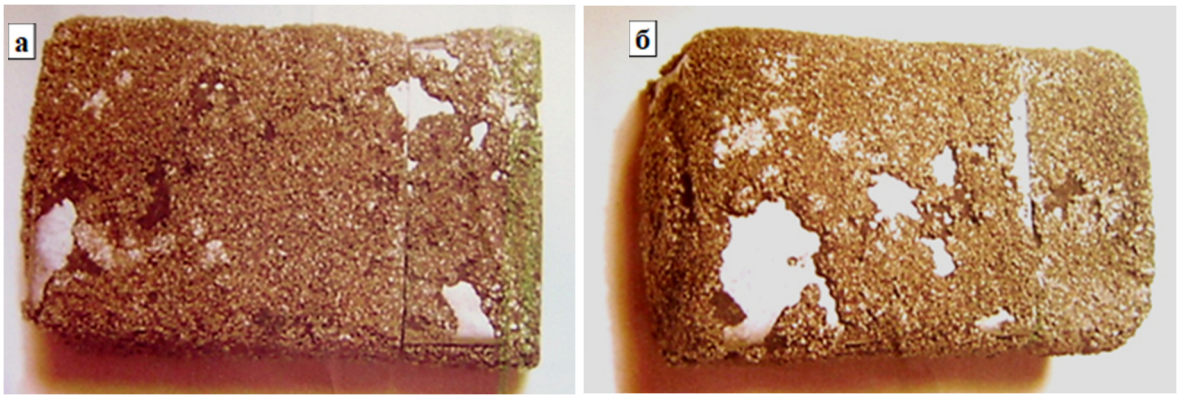


Фигура 1. Лабораторна уредба за заливане в условия на вакуум; 1 - леярска каса, 2 - стопилка, 3 - формовъчна смес, 4 - обмазка, 5 - кухина на леярската форма, 6 - уплътнение, 7 - подмоделна плоча, 8 - предпазна камера, 9 - междинен съд, 10 - вакуумметър

3. Резултати и анализи

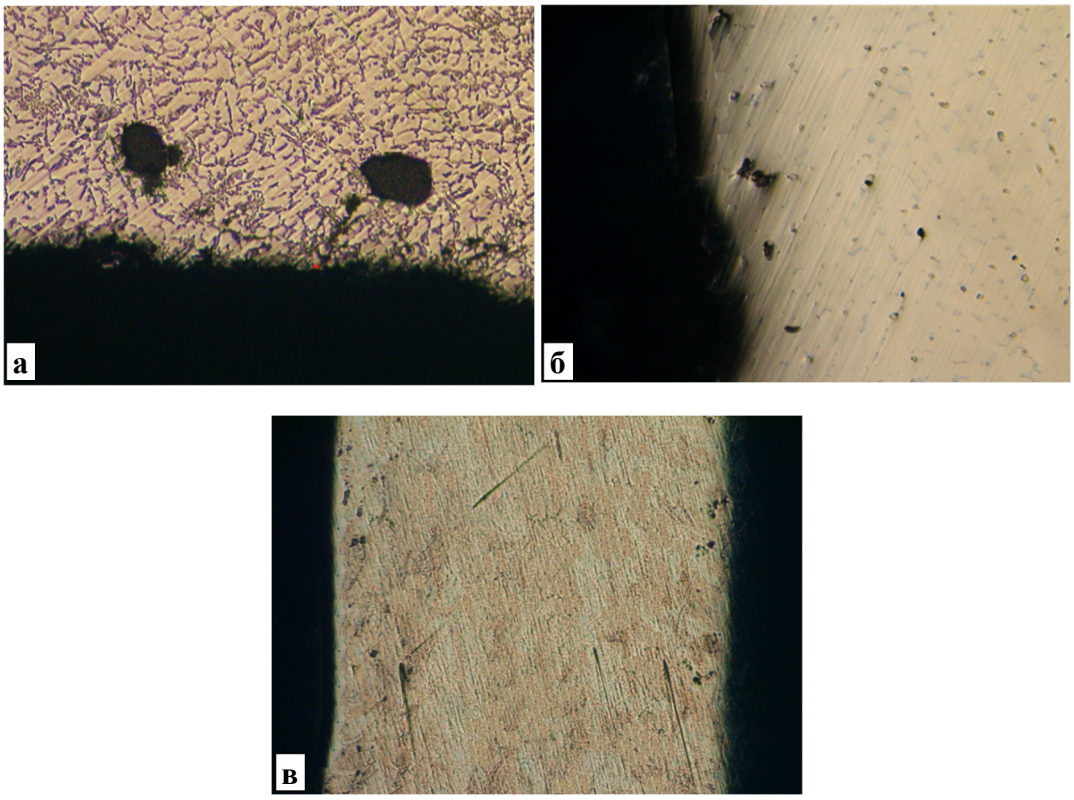
3.1. Резултати и анализи от проведения структурен анализ на изследваните образци

Както беше казано по-горе, първоначално, с цел уточняване на параметрите на работния режим, моделите се изработваха с опростена форма, във вид на плоска призма. От фиг. 2 се вижда, че обмазката е взаимодействала с леярската форма, но образувалият се слой се отстранява лесно и под него получените отливки са с видимо ниска грапавост.



Фиг. 3. Пробни отливки: *а* - с противопригарна обмазка от корунд и свързващо вещество водно стъкло; *б* - с противопригарна обмазка от циркон и свързващо вещество карбофенова смола

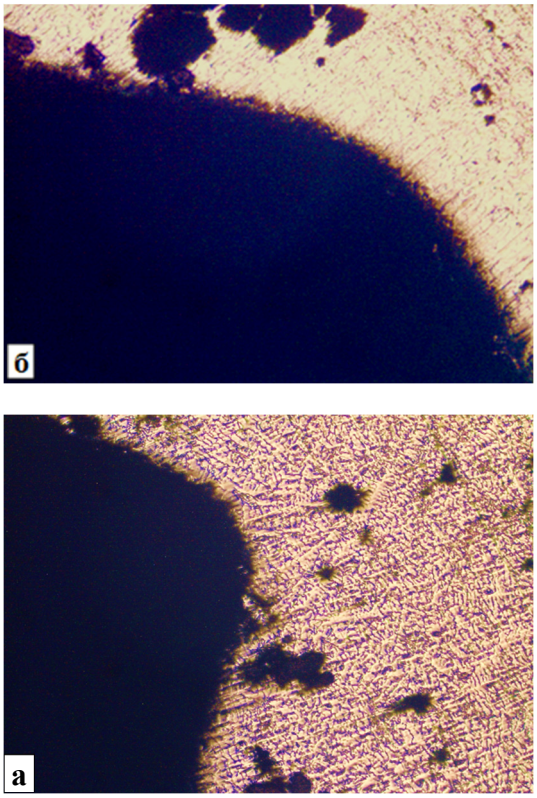
Експериментите, проведени в леярски форми със свързващо вещество карбофенова смола, съответно и с обмазки със свързващо вещество карбофенова смола, не дадоха особено добри резултати. Видимо повърхността се получи с ниска грапавост, но при проведения микроструктурен анализ се наблюдаваха газови дефекти в близост до повърхностния слой, и при трите вида обмазки (фиг. 3), въпреки че заливането на леярската форма се осъществи в условия на вакуум. Характерно за смолите е, че имат висока газотворна способност, и т.к. като свързващо вещество се използваха в обмазките, това е довело до взаимодействие на стопилката с отделилите се газове при изгарянето на карбофеновата смола от обмазката и впоследствие до образуване на газови дефекти във повърхностния слой на отливката.



Фиг. 3. Микроструктура на пробни отливки: *а*- с противопригарна обмазка от циркон *x100*, *б*- с противопригарна обмазка от корунд *x65*, *в*- с противопригарна обмазка от графит *x35* и свързващо вещество карбофенова смола

Тъй като малко по-добри резултати се получиха при отливките, чийто модел е обмазан с графитна и корундова обмазка (фиг. 3, в), то бяха проведени и експерименти за изработване на сложнорелефни отливки – фиг. 4, като свързващото вещество на обмазката (карбофенова смола) се разреди в по-ниска концентрация (1:4). Но и при тези експерименти се наблюдаваха газови дефекти в повърхностния слой на отливката, въпреки че привидно се получаваха с ниска грапавост (фиг. 5).

Фиг. 4. Сложнорелефна отливка, при която модела е обмазан с графитна противопригарна обмазка и свързващо вещество карбофенова смола



Фиг. 5. Пробни отливки: *а*- с противопригарна обмазка от корунд и свързващо вещество карбофенова смола *x100*; *б*- с противопригарна обмазка от графит и свързващо вещество карбофенова смола *x100;*

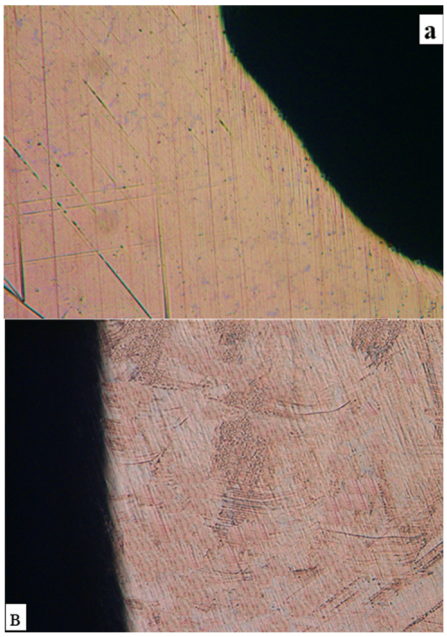
В случаите, в които опорната част на леярската форма се изгради със свързващо вещество водно стъкло и съответно същото се използва като свързващо вещество при противопригарните обмазки, резултатите са значително по-добри. На фиг. 6 са показани получените сложнорелефни отливки. Както се вижда от фиг. 6 влиянието на използваните обмазки върху формирането на повърхността на отливките е значимо, т.к. видимо обмазаните повърхнини са с добра грапавост. Вижда се също, че в обема на отливката липсват газови дефекти (фиг. 7), което показва, че газовете, формирани вследствие на взаимодействие на стопилката и обмазката са незначителни и не попадат в обема на отливката, а пропиват в порите на леярската форма, следствие нейното вакуумиране. Тези резултати доказват, че обмазката не се нарушава при избрания метод за капилярно формоване и също така са косвено доказателство за подобряване на връзката между обмазката и опорната част на формата. Също така за да бъде доказано това твърдение, в един от експериментите обмазката се нанесе частично (върху едната половина) по повърхността на стопяемия модел. След отливане се установи, че повърхността на обмазаната част се получи както при останалите експерименти, т.е. не се е получило разрушаване на обмазката по избрания метод на формоване, също така няма наличие на газови дефекти, а в областта на необмазаната част се наблюдава силно изразен механичен пригар (фиг. 7, а).

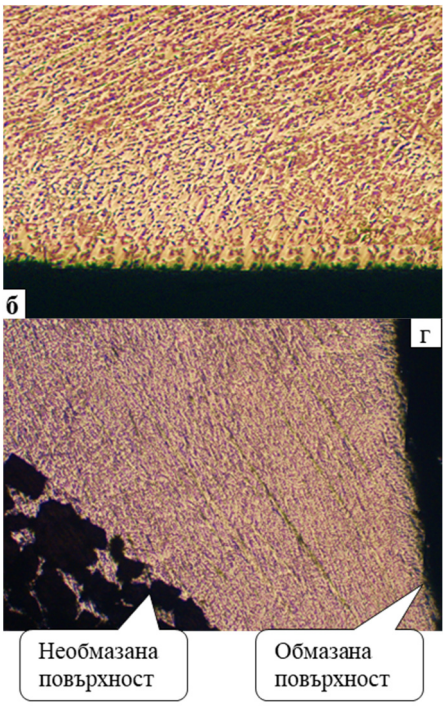
а

б

в

Фиг. 6. Сложнорелефни отливки, при които моделът е обмазан с противопригарна обмазка със свързващо вещество водно стъкло на основата на: *а* – корунд; *б* – графит; *в* – циркон





Фиг. 7. Микроструктура на сложнорелефни отливки с противопригарна обмазка: *а* - циркон и свързващо вещество водно стъкло *x100*, *б* - корунд и свързващо вещество водно стъкло *x65*, *в* - графит и свързващо вещество водно стъкло *x100*, *г* - частично обмазана с графитна обмазка *x35*

3.2. Резултати и анализи след измерване грапавостта на отливките

Измерванията на грапавостта на изследваните образци са извършени с помощта на Профилометър-профилограф „Калибър 205“ по стандартни методики – БДС [ISO] 4287/17, ISO 4288 [8, 9]. Измерванията са усреднени от 5 измервания по базова дължина 0,08 mm. Получените стойности на средноаритметичното отклонение на релефа Ra и височината на релефните неравности с 10 точки Rz, на образците, са дадени в табл. 2. Въпреки, че при експериментите със свързващо вещество карбофенова смола се наблюдаваха газови дефекти в близост до повърхностния слой на отливките, се взе решение на по-сполучливите от тях да се измери грапавостта на повърхнините. От данните в табл. 2 се вижда, че отливките, при които и за обмазките, и за изработване на леярската форма, е използвано свързващо вещество водно стъкло, са получени с грапавост по-ниска от тези с карбофенова смола. Получените стойности за Ra се обясняват с факта, че прахообразната фракция на тези обмазки е с приблизително еднакви размери на прахообразните частици (от порядъка на няколко микрона- 2-5 μm), поради което грапавостта на получените пробни отливки е приблизително еднаква, т.е. формиралата се грапавост на повърхнината на отливката се определя от едрината на твърдата фракция. Получените отливки са с 1 степен на точност на повърхност на отливка [10], а сравнявайки грапавостта с грапавостта след механична обработка, получената повърхност на пробните отливки съответства на повърхност получена след фино струговане и грубо шлифоване.

Таблица 2: Получени стойности на средноаритметичното отклонение на релефа Ra и височината на релефните неравности с 10 точки Rz

Образец	Противопригарна обмазка	Свързващо вещество	Ra, μm	Rz, μm
1	корунд	Карбофенова смола	2.2	11.1
2	графит	Карбофенова смола	1.8	9.2
3	корунд	Водно стъкло	1.3	5.8
4	циркон	Водно стъкло	1.5	6.6
5	графит	Водно стъкло	1.2	5.6

4. Изводи

Въз основа на проведените изследвания и получените резултати може да заключим, че с използване на метода „Капилярно формоване“ се осъществява много добра връзка между използваните обмазки и опорната част на формата по цялата повърхност. Става дума за технология, при която леярската форма не се изпича, както е в класическите технологии за получаване на сложнорелефни отливки, а само се изсушава до 150-200 °C. По този начин нагряването на формата се понижава с няколко стотин градуса, което само по себе си е предпоставка за по- ниска енергоемкост на процеса и също така ниската температура на нагряване на формата е предпоставка за получаване на форма без пукнатини.

Влиянието на използваните обмазки (на основата на корунд, циркон и графит и свързващо вещество водно стъкло) върху формирането на повърхността на сложнорелефни отливки е значимо, т.к. обмазаните повърхнини се получават с ниска грапавост (Ra = 1.2 ÷ 1.5), съответстваща на грапавостта на обмазката. Също така в обема на отливката липсват газови дефекти, което показва, че газовете, формирани вследствие на взаимодействие на стопилката и обмазката са незначителни и не попадат

в обема на отливката, а пропиват в порите на леярската форма, следствие нейното вакуумиране. Тези резултати доказват, че обмазката не се нарушава при избрания метод за капилярно формоване и също така са косвено доказателство за подобряване на връзката между обмазката и опорната част на формата. За съжаление не така стои въпроса са с обмазките на основата на корунд, циркон и графит и свързващо вещество карбофенова смола, т.к. повърхността се получава с ниска грапавост Ra = 1.8 ÷ 2.2, но в близост до повърхностния слой се наблюдават газови дефекти.

Благодарности:
Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени по научно-изследователски проект НП 8/ 2023 в рамките на присъщата на ТУ-Варна научноизследователска дейност, финансирана целево от държавния бюджет.

Литература

1. Nwaogu, Ugochukwu Chibuzoh, and Niels Skat Tiedje. "Foundry coating technology: A review". Materials Sciences and Applications 2.08 (2011): 1143.
2. Противопригарные добавки и покрытия литейных форм. Современные технологии производства https://extxe.com/383/protivoprigarnye-dobavki-i-pokrytija-litejnyh-form/
3. Крушенко, Г. Г., В. В. Москвичев, and А. Е. Буов. «Противопригарные покрытия литейных форм и стержней, содержащие нанопорошки тугоплавких химических соединений». Тяжелое машиностроение 6 (2007): 31-33.
4. Hamasaiid, A., Dargusch, M. S., Davidson, C. J., Tovar, S., Loulou, T., Rezai-Aria, F., & Dour, G. (2007). Effect of mold coating materials and thickness on heat transfer in permanent mold casting of aluminum alloys. Metallurgical and materials Transactions A, 38, 1303-1316.
5. Spasova D., Radev R., Atanasov N., "Production of evaporate pattern molds by the capillary molding method", Third International scientific Congress "50 Anniversary Technical University of Varna", 2012, Proceedings, Volume IV, ISBN 978-954-20-0553-7 Vol. 4, p. 86 -89
6. LUCA, Alina, et al. "Improving the Quality of the Parts Made by Rapid Metal Casting Process", Academic Journal of Manufacturing Engineering, 12, 1 (2014).
7. Радев Р. Й., Спасова Д. Т., Атанасов Н. М., Иванова Р. И., Патент BG 65955 B1 „Метод за изготвяне на леярски форми", 2010
8. Пламен Петров. Topography of Iron after Gaseous Nitrocarburising Andnitrocarbooxidising, Годишник на Технически университет-Варна, Варна 2006, с. 21-28
9. Георгиев Д., Технологични възможности на повърхностното пластично деформиране (ППД) при довършваща обработка на отвори във водещи бронзови втулки, 8. международна конференция „Авангардни машиностроителни обработки", Кранево, 2008, с. 267- 272
10. Национальный стандарт российской федерации ГОСТ Р 53464 – 2009 https://ohranatruda.ru/upload/iblock/524/4293817941.pdf