

УДК: 622.7

 10.70769/3030-3214.SRT.2.4.2024.058

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ В ОТЛИВКЕ УЛИТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ PRO-CAST ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ



Арипов Аваз Розикович

Доктор философии технических наук (PhD), Навоийский государственный горно-технологический университет, Навои, Узбекистан
E-mail: avaz.arifov.82@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-0428-507X



**Сайфуллаев
Фаррухджон Ибодович**

Ассистент Навоийского государственного горно-технологического университета, Навои, Узбекистан
E-mail: farruxsayfullayev96@mail.ru
ORCID ID: 0009-0005-0641-1956



**Курбанов Мехроб
Нуриддинович**

Ассистент Навоийского государственного горно-технологического университета, Навои, Узбекистан
E-mail: mehrob.qurbonov99@gmail.com
ORCID ID: 0009-0000-4897-9455



**Худжаев Шахзод
Шухрат угли**

Ассистент ДжизПИ, Джизак, Узбекистан
E-mail: smartdone_7771@mail.ru

Аннотация. Данная работа представляет собой процесс разработки литниковой системы для литья в форму из песчаной и глинистой смеси, используя передовые компьютерные технологии в области литья. В данном исследовании применяются передовые методы для создания детали под названием «улитка». Данная деталь из сплава 300Х32Н2М2ТЛ, обладает отличными технологическими свойствами для изготовления фасонных отливок методом гравитационного литья в песчано-глинистую форму. Для создания трехмерных моделей детали и системы литников в соответствии с заданными размерами используется программное обеспечение SolidWorks. Затем деталь будет импортироваться в программу Pro-CAST для проведения моделирования. В этой работе в качестве входных данных были заданы различные временные параметры. Результаты моделирования были проанализированы и выявлены дефекты. Для их устранения реализована новая литниковая система. Процесс был повторен в программном обеспечении, и эффективность была подтверждена отсутствием дефектов.

Ключевые слова: Pro-CAST, SolidWorks, литье, литьё в песчаной форме, литниковая система, Visual cast Simulation.

PRO-CAST DASTURIY TA'MINOTIDAN FOYDALANGAN HOLDA QUYISH TIZIMINI LOYIHALASH VA NUQSONLARINI BARTARAF QILISH

Aripov Avaz Rozikovich

*Texnika fanlari falsafa doktori
(PhD), Navoiy davlat konchilik va
texnologiyar universiteti,
Navoiy, O'zbekiston*

**Sayfullayev Farruxjon
Ibodovich**

*Navoiy davlat konchilik va
texnologiya universiteti assistenti,
Navoiy, O'zbekiston*

**Qurbonov Mehrob
Nuriddinovich**

*Navoiy davlat konchilik va
texnologiya universiteti assistenti,
Navoiy, O'zbekiston*

**Xujayev Shaxzod
Shuhrat o'g'li**

*JizPI assistenti,
Jizzax, O'zbekiston*

Annotatsiya. Ushbu maqolada ilg'or kompyuter texnologiyalari qo'llagan holda quymakorlik sohasida qolib tayorlash uchun ishlatiladigan gil qumli aralashmani quyish tizimlari ishlab chiqilgan. Tatqiqotlar davomida "ulita" deb nomlangan detal yaratishning ilg'or usullaridan foydalanilgan. Gil qumli formalarda gravitatsion quyma olish usuli bilan 300X32H2M2TJI markali qotishmadan olingan shakilli quyma o'zining texnologik xususiyatlari bilan ajralib turadi. Quyish tizimlari va uch o'lchamli detal berilgan o'lchamlarni hisobga olgan holda uning namunasini yaratishda SolidWorks dasturiy ta'minotidan foydalanilgan. Modellash jarayonlarini o'tkazish uchun detal Pro-CAST dasturiga yuklangan. Ushbu ilmiy ishda turli xildagi dastlabki ma'lumotlar qabul qilingan. Modellash jarayoni natijalari tahlil qilinib nuqsonlar aniqlangan. Nuqsonlarni bartaraf etish uchun yangi quyish tizimi ishlab chiqilgan. Dasturiy ta'minotda jarayon qayta loyhashtirilgan va samaradorlik nuqsonlarning bartaraf qilinganligi bilan tasdiqlangan.

Kalit so'zlar: Pro-CAST, SolidWorks, quymakorlik, qum-gilli qolib, quyish tizimlari, Visual cast Simulation

DESIGN AND MODELING OF A GATE SYSTEM IN A SPIRAL CASTING USING PRO-CAST SOFTWARE TO MINIMIZE DEFECTS

Aripov Avaz Rozikovich

*Doctor of Philosophy of
Engineering Sciences (PhD), Navoi
State Mining and Technological
University, Navoi, Uzbekistan*

**Sayfullayev Farruxjon
Ibodovich**

*Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan*

**Qurbonov Mehrob
Nuriddinovich**

*Assistant, Navoi State Mining and
Technological University,
Navoi, Uzbekistan*

**Khuzhaev Shakhzod
Shukhrat ogli**

*Assistant JizzPI,
Jizzakh, Uzbekistan*

Abstract. This work is a process of developing a gating system for sand-clay mold casting using advanced computer technology in the field of casting. In this study, advanced methods are used to create a part called "snail". This part is made of 300X32N2M2TL alloy, has excellent technological properties for the manufacture of shaped castings by gravity casting in a sand-clay mold. SolidWorks software is used to create 3D models of the part and the gating system according to the specified dimensions. Then the part will be imported into the Pro-CAST program for simulation. In this work, various time parameters were set as input data. The simulation results were analyzed and defects were identified. A new gating system was implemented to eliminate them. The process was repeated in the software, and the effectiveness was confirmed by the absence of defects.

Keywords: Pro-CAST, SolidWorks, casting, sand casting, gating system, Visual cast Simulation

Введение. Процесс литья в песчаноглинистую форму является одним из традиционных методов, используемых для изготовления литых изделий с невысокими размерными точностями. Литье в песок отличается тем, что является старейшим методом литья в истории. На литье в песчаную форму по-прежнему приходится самый большой объем производства фасонных отливок. Неизменная популярность литья в песчаную форму объясняется его экономичностью и возможностью изготавливать отливки из различных материалов весом от нескольких граммов до нескольких тонн.

Анализ литературы и методы. При литье в песчаной форме расплавленный металл заливается в формы, изготовленные из специальной песчаной смеси, обычно содержащей 90% кремнезема, а также связующих веществ, таких как глина, скрепляющих частицы [1].

Потребность в литье с предпочтительными свойствами и направленным или контролируемым затвердеванием растет, поскольку многие литейные изделия, такие как автомобильные, конструкционные и промышленные, из-за плохого набора свойств выходят из строя при воздействии неблагоприятных условий.

В наши дни большое значение имеет численное моделирование процесса затвердевания. В математическом моделировании процесса заполнения формы при традиционном литье успешно применяется метод конечных элементов. Для получения бездефектного изделия необходимо придерживаться определенных правил, начиная с подготовки модели и заканчивая разливкой металла [2]. Обра-

зование дефектов в процессе литья зависит от множества факторов, таких как температура заливки, характеристика формы, скорость заливки и т. д. Если не учитывать перечисленные характеристики, это приводит к высокой степени дефектности изготовленного изделия [3]. Последние разработки в области технологий помогают идентифицировать дефекты и их причины с помощью программного обеспечения для 3D-моделирования. Для достижения наилучшей возможной комбинации начальных факторов мы разработали аналитический эксперимент, моделируя процесс литья для набора изменяющихся параметров.

Изготовление бездефектного литья улитка является одной из самых важных задач в промышленности. Правильное проектирование процесса приготовления изделий, включая литниковую питающую систему, помогает достичь бездефектного литья с использованием методов моделирования программного обеспечения Pro-CAST. В своей работе [4], П. Прабхакар Рао описывает инструмент моделирования и его применение в проектировании отливки дробилки, которая была изготовлена методом литья в песчаную форму. Исследования в области литья продемонстрировали высокую надежность результатов, подчеркнув эффективность инструмента моделирования под названием Pro-CAST.

Pro-CAST — это трехмерный программный комплекс, разработанный для моделирования процессов затвердевания и текучести жидкости. Он предназначен для численного моделирования течения расплавленного металла и явлений затвердевания в различных процессах литья, включая литье в песчаную форму.

Исследование [5] показало, что моделирование литья оказалось весьма эффективным при выявлении мест дефектов и их устранении, предоставляя визуальное представление процессов заполнения формы, затвердевания и охлаждения. Корректировки, внесенные в размеры и геометрию стояка и литниковой системы, успешно устранили дефекты усадочной пористости в литой детали. После импорта 3D-модели в Pro-CAST, исследователи наблюдали за ключевыми параметрами, включая время затвердевания, усадочную пористость и процент затвердевания.

Улитка – часть корпуса насоса, используемого для перемещения жидкостей представлено на рисунке 1. Улитки насоса используются в различных типах насосов, включая насосы для перекачки воды, мазута, нефти, химических веществ, а также продукции пищевой и фармацевтической промышленности. Они эффективны для работы с вязкими и плотными жидкостями, а также при перекачке материалов с высоким содержанием твердых частиц. Материал улитки, как правило, изготавливаемая в основном методом литья — износостойкий белый чугуун.

Результаты. С развитием науки и техники, использование технологий компьютерного моделирования в процессе литья стал популярным. Процесс литья улитки, смоделированный с использованием численного моделирования, позволяет визуализировать и анализировать динамику жидкого металла, предоставляя ценные рекомендации для практического производства. Программное обеспечение Pro-CAST даст возможность прогнозировать влияние изменения

температуры заливки на качество отливки [5], а также местоположение и размер усадки пористости и отслеживать поток жидкого металла в процессе разлива. Причины могут быть проанализированы для руководства фактическим производством, что обеспечит научную основу для оптимизации процесса литья и повышения качества отливки.



Рис.1. Трехмерная модель улитки насоса.

Цель этого проекта — смоделировать механизм затвердевания улитки и проанализировать результаты, чтобы дать некоторые аспекты логического обоснования назначения компонентов, а также оптимизировать параметры литья для достижения лучших свойств отливок деталей. Деталь была создана в программном обеспечении САПР: Solidworks 2022 для моделирования программное обеспечение CAE: Visual-CAST (решатель – Pro-CAST).

Материалом для отливки является высоколегированный белый чугун 300X32H2M2ТЛ, применяемый для изготовления отливок деталей горно-металлургического оборудования габаритами до 2500x2500x300 мм и весом до 3000 кг. Химический состав 300X32H2M2ТЛ при-

веден в таблице 1. На рисунке 2 показано трехмерная модель отливки улитка вместе с литниковой системой, которые созданы с помощью программного обеспечения SolidWorks. Габаритный размер отливки улитка составляет 928 мм х 795 мм х 470 мм. Разница в толщине отливки невелика. Самая тонкая часть составляет 30 мм, а самая толстая - 35 мм, а структура сложна.

Требуемое качество отливки проверяется в соответствии со стандартной методикой контроля. Расположение отливки внутри формы и выбор плоскости разреза в процессе литья определяются с учетом геометрических и конструктивных особенностей детали. Этот выбор важен для обеспечения правильного наполнения формы, предотвращения дефектов и обеспечения эффективного извлечения детали из формы. Применение программ моделирования и анализа литья помогает оптимизировать расположение отливки и плоскости разреза, повышая качество и эффективность процесса производства.

При проектировании литниковой системы следует учесть различные параметры, включая усадочную пористость, наличие газовых пузырей, вероятность образования трещин и образование пригара. Эти аспекты оказывают существенное влияние на качество и надежность литых деталей, и, следовательно, требуют тщательного анализа и оптимизации в рамках процесса проектирования.

Еще одним важным аспектом является снижение турбулентности путем поддержания скорости потока в затворах на уровне 10–12 кг/с. После определения траекторий движения затвора необхо-

димо произвести расчеты для определения размеров элементов литниковой системы в соответствии со стандартными методами. Результаты расчетов приведены в таблице 2. Только при правильных значениях размеров можно обеспечить эффективную литниковую систему и получение отливки без дефектов.

В целях приближения моделирования к реальной ситуации, в программное обеспечение были введены следующие входные значения.

В модуле Mesh-CAST размер ячейки отливки равен 10 мм, и всего насчитывается 2517790 ячеек. В модуле Pro-CAST выбирается режим литья в песчаную форму и соответствующие параметры, указанные в таблице 3. Условия теплопередачи поверхности формы и стояка задаются как воздушное охлаждение.

Таблица 1

Химический состав сплава
300X32H2M2TL

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Ti	P	S
2,40-2,80	0,40-0,80	<2,00	30,00-34,00	1,5-3,00	1,50-2,00	0,10-0,60	≤ 0,10	≤ 0,06

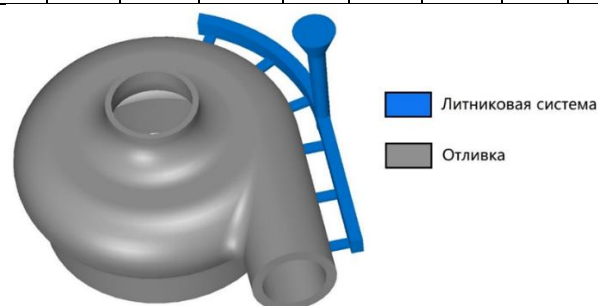


Рис.2. Трехмерная модель отливки улитка вместе с литниковой системой

Таблица 2

Параметры литниковой системы

№	Параметры	Значения
1	Соотношение литниковой системы	1:1,2:1,5
2	Время заливки	30 сек

3	Высота литника	400 мм
4	Верхний диаметр литника	65 мм
5	Диаметр дна литника	60 мм
6	Диаметр стояка	130 мм
7	Высота стояка	90 мм
8	Ширина направляющей	15 мм
9	Длина направляющей	45 мм
10	Объем полость формы	68362141 мм ³
11	Площадь полость формы	5656808 мм ²

В данном исследовании выбор материалов для приготовления формы отливки подразумевает использование следующих компонентов: 90% кварцевого песка, 3% жидкого стекла, 3% бентонита и 3% влаги. Для оптимизации процесса литья и компенсации усадки во время затвердевания отливки в литниковой системе были применены экзотермические вставки. В состав этих вставок входили следующие компоненты: вермикулит, жидкое стекло и каолин. Эти меры позволили снизить тепловые потери в процессе литья и обеспечить более эффективное формирование отливки, что способствует повышению качества исходного продукта.

Таблица 3

Параметры процесса численного моделирования

№	Параметры	Значения
1	Температура заливки	1390 °C
2	Время заливки	30 сек
3	Материал формы	Кварцевый песок
4	Материал холодильника	Сталь
5	Материал экзотермической вставки	Вермикулит
6	Толщина формы корпуса	100 мм
7	Температура формы перед заливкой	20 °C
8	Коэффициент теплопередачи между формой и отливкой	1000 (Вт/(м ² ·K)) [6]
9	Коэффициент теплопередачи между вставкой и отливкой	500 (Вт/(м ² ·K)) [6]
10	Коэффициент теплопередачи между холодильником и отливкой	4000 (Вт/(м ² ·K)) [6]

Литье в песчано-глинистую форму — это один из методов литья металлов, который обладает рядом уникальных преимуществ по сравнению с другими процессами литья. Использование песчано-глинистой формы позволяет лить различные виды металлов, создавать сложные геометрические фигуры, а также детали и менее затратно по сравнению с альтернативными методами. Это связано с доступностью и низкой стоимостью песчаных и глинистых материалов.

Литниковая система проектируется в зависимости от изделия и служит каналом, по которому расплавленный металл поступает в полость формы и компенсирует усадки во время затвердевания отливки. Правильная конструкция литниковой системы играет очень важную роль для обеспечения коротких путей подачи и быстрого потока металла, что предотвращает преждевременное затвердевание и обеспечивает получение качественных отливок. В тепловых участках отливки, которые затвердевают медленнее, требуется непосредственный контакт с литниковой системой или установка прибылей для предотвращения образования усадочных дефектов, возникающих во время затвердевания.

В этих экспериментах использовалась стандартная литниковая система с двумя поворотами. Для полного устранения дефектов переполнения были применены различные комбинации конструкций литниковых систем и заполнения формы.

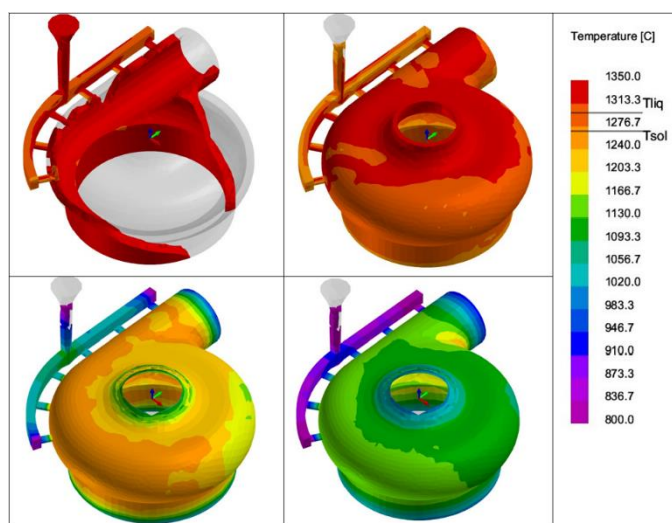


Рис.3. Схема заполнения формы и температурные колебания первой литниковой системы на различных стадиях.

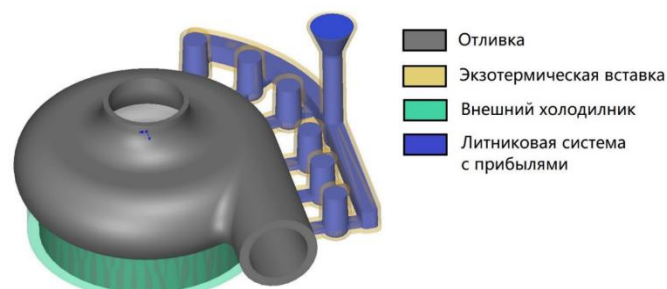


Рис.4. Трехмерная модель отливки улитка вместе с новой литниковой системой.

Для первого испытания была разработана традиционная литниковая система для чугунных отливок среднего бакового типа. Это решение было выбрано из-за ограничений в конструкции отливки, которая не позволяла использовать альтернативные методы подачи металла в форму. Анализ данных выявил дефект в процессе затвердевания, проявившийся в усадке, охватывающей все области изделия, как показано на рисунке 7 (б). Макропористость затвердевания, указанное на рисунке 7 (б), свидетельствует о

наличии значительной усадки внутри детали, подтверждая неэффективность использованной литниковой системы. В связи с этим были внесены изменения в систему подачи металла, чтобы избежать необходимости разработки новой системы для последующих экспериментов.

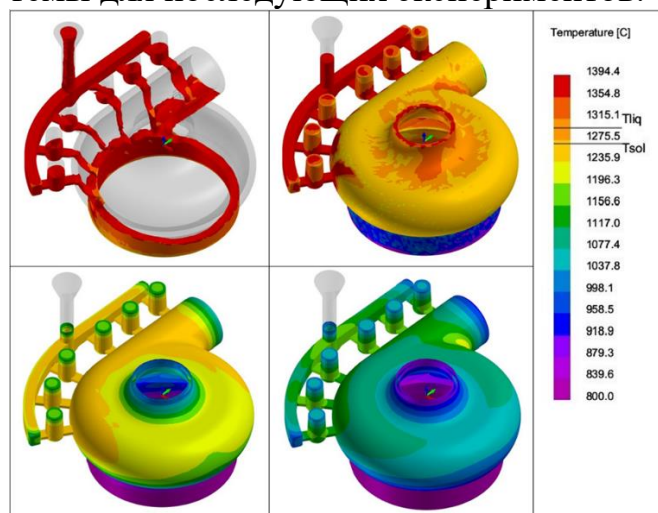


Рис.5. Схема заполнения формы и температурные колебания второй литниковой системы на различных стадиях.

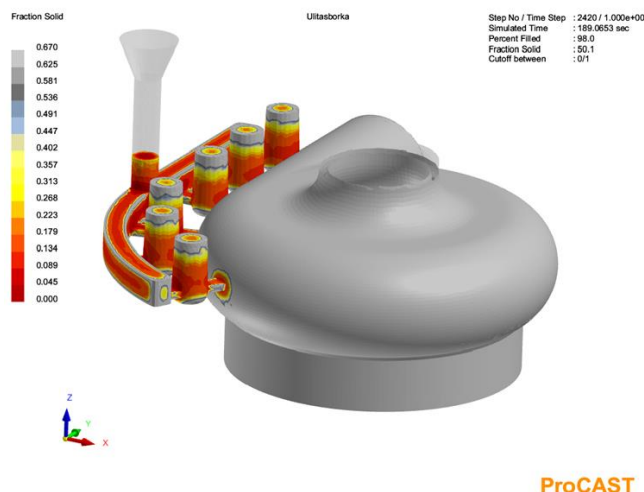


Рис.6. Процесс затвердевания отливки.

Обсуждение. Это вторая модель литниковой системы, показанная на рисунке 4 для следующих симуляционных испытаний. Изначально осуществимость этой модели была под вопросом.

Однако анализ общих размеров детали показал, что она является возможной с использованием имеющихся средств. В рамках разработки данной литниковой системы были внесены различные модификации, включая увеличение размеров литниковой системы, введение литниково-питающих прибылей, использование экзотермических вставок и холодильника, что продемонстрировано на рисунке 4. Эти изменения были внесены с целью перемещения пористости вне детали и получения качественных отливок, как показано на рисунке 5. Вышеуказанная система подачи была преобразована в файл STEP. Затем она была импортирована в программное обеспечение Pro-CAST для проведения симуляции. После ввода всех входных значений снова была выполнена симуляция. Заполненная металлом деталь выглядела, как показано на рисунке 5.

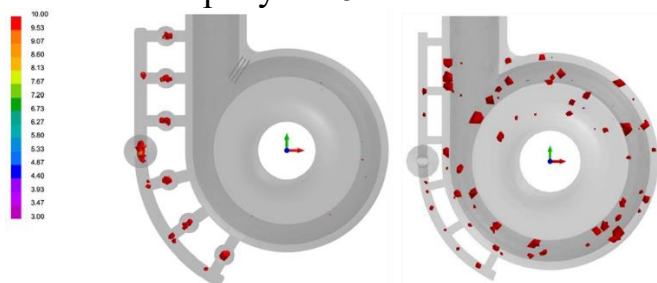


Рис. 7. Сравнение дефектов между испытанием II (а) и испытанием I (б).

Проведен анализ такого же типа, что и в предыдущем случае. Обнаруженные дефекты показаны на рисунке 7 (а). Был проведен анализ температурного контура и потока жидкости. Также был проведен анализ доли твердой фазы на рисунке 6. Интерпретация результатов анализа различных методов привела к следующему выводу.

После затвердевания итоги испы-

тания II было сравнено с результатами испытания I. При использовании литниковой системы первого типа было обнаружено дефектов по всему объему отливки (рисунок 7 (б)). Во второй системе заливки были обнаружены только дефекты литниковой системы (рисунок 7 (а)), которые возникли вне отливки, в области стояка и прибылей. Таким образом, эти дефекты не повлияли на отливку. Поэтому вторая система заливки была выбрана для изготовления отливки на производственном участке. Таблица 2 показывает этапы расчета системы заливки для вычисления коэффициентов системы заливки. Значения коэффициента системы заливки видны выше 1:1,2:1,5. Таким образом, можно обеспечить изготовление отливок без дефектов.

Заключение. Улитки насоса был разработан и спроектирован в соответствии с размерами, указанными в 2D чертежах. Литниковая система была спроектирована с учетом различных факторов, таких как скорость потока, теплопередача, время заливки, и, кроме того, она была спроектирована с коэффициентом заливки более 1:1,2:1,5 при скорости жидкости 10–12 кг/с в соответствии с требованиями, указанными в таблицах 2 и 3.

Отслеживание был проведен с вводом соответствующих значений в программное обеспечение Pro-CAST и запуском моделирования. При моделировании проводился анализ потока жидкости, температуры, контуров и горячих точек для обеспечения отсутствия дефектов в отливки. Поскольку при испытании I были выявлены дефекты по всему объему отливки, этот тип литниковой системы был модифицирован другой

конструкцией с целью их устранения. В испытании II была разработана новая литниковая система для бездефектного литья. Литниковая система было модифицировано с увеличением размеров литниковой системы, введением литниково-питающих прибылей, использованием экзотермических вставок и холодильника.

Новая модель в испытании II была смоделирована и проанализирована. Анализ показал, что увеличение размеров литниковой системы и введение литниково-питающих прибылей позволяет компенсировать усадки при затвердевании отливка. Использование экзотермических вставок и холодильника обеспечивают направленность кристаллизации при затвердевании и гарантирует получение отливки без дефектов. После застывания отливка имелись дефекты только в литниковой системе и прибыли, которые видны на рисунке 7 (а). Программное моделирование при проектировании литниковой системы ускоряет процесс, увеличивает вариативность дизайна, снижает стоимость и улучшает качество продукции. Визуализация процесса идентифицирует дефекты и горячие точки, в конечном итоге сокращая количество брака и повышая выход продук-

ции.

Процесс литья был смоделирован с использованием программы Pro-CAST путем назначения параметров, таких как температура заливки, скорость потока, время заливки, коэффициент теплопередачи, правильные материалы (форма и металл), излучение. В результате моделирования было установлено, что литниковая система моделируется с учетом различных параметров, таких как длина потока, наличие воздуха, захват инородных материалов, скорость в затворе и коэффициент заливки. Результат на каждом этапе интерпретировался с использованием различных методов, таких как метод скорости входа в затвор, метод доли твердой фазы, метод усадочной пористости, и все необходимые модификации внесены соответственно. Модифицированная система заливки была смоделирована, проанализирована на наличие дефектов и путем симуляции было подтверждено отсутствие дефекта. Из результатов экспериментального исследования было видно, что новая система заливки поможет обеспечить стабильное производство качественных литых изделий с использованием программ Solidworks и Pro-CAST.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Michael F. Ashby, David R.H. Jones Chapter 15 - Processing Metals 1, Int. J. Engineering Materials 2 (Fourth Edition) International Series on Materials Science and Technology 2013, 255-278.
2. Mark Jolly, Prof. John Campbell's ten rules for making reliable castings, J.Minor. Metals Mater. Soc. 57 (2005) 19–28.
3. Rajesh Rajkolhe, J.G. Khan, Defects causes and their remedies in casting process: a review, Int. J. Res. Advent Technol. 2 (2014) 2321–9637.
4. P.Prabhakara Rao, G.Chakraverthi, A.C.S.Kumar, B.Balakrishna, “Application of Casting Simulation for Sand Casting of a Crusher Plate”, International Journal of

Thermal Technologies, Vol.1.No.1 (Dec2011).

5. Liu, J.G., Yang, L., Fang, X.G., Li, B., Yang, Y.W., Fang, L.Z. and Hu, Z.B., 2020. Numerical simulation and optimization of shell mould casting process for leaf spring bracket. China Foundry, 17(1), pp.35-41.
6. Арипов А.Р. и др. Обогащение вермикулитовых руд караузьякского месторождения республики Каракалпакистан // Универсум: технические науки. – 2021. – г.Москва №. 3-13(84).– С. 78-81.
7. Арипов А.Р., Фузайлов О.У., Тошов О.Э., Пирназаров Ф.Г., Мамараимов Г.Ф. Вермикулитовая руда Караузьякского месторождения Республики Каракалпакистан // Journal of Advances in Engineering Technology Vol. 1(3), January - March, 2021. 31-34с.
8. A. Aripov, A. Saidakhmedov, B. Vokhidov. Development of a technology for enrichment of vermiculite ore of the Karauzyak deposit. // Universum: технические науки: научный журнал. - № 12 (93). Часть 7.М., Изд. «МЦНО», 2021. – 5-10 с.
9. Хасанов А.С., Ражаббоев И.М., Вохидов Б.Р., Арипов А.Р., Шодиев А.Н., Саидахмедов А.А. // Изучение вещественного состава и разработка технологии переработки проб руд месторождения Тебинбулак. // Горный вестник Узбекистана №2 (77) 2019. 57-61 с.
10. А.Р. Арипов, Ф.Э. Ахтамов, А.А. Саидахмедов, Б.Р. Вохидов Разработка технологии обогащения вермикулитовых руд караузьякского месторождения // Горный журнал Казакстана. № 2. 2022. 33-39 с.
11. Арипов А.Р., Саидахмедов А.А., Ахтамов Ф.Э. «Вермикулит рудаларини бойитиб турли маҳсулотлар олиш имкониятлари. //«Ўзбекистон кончилик хабарномаси» №4 (87). 2021.–736.