

Актуальность разработки. Одной из основных конструктивных особенностей зенитных управляемых ракет (ЗУР), применяемых в современных отечественных комплексах воздушно-космической обороны, является применение корпусов ракет из высокопрочных магниевых сплавов, обеспечивающих оптимальное соотношение массы и мощности изделия и тактико-технические характеристики изделия в целом.

В советский период существовали предприятия, обеспечивавшие поставки крупногабаритных магниевых отливок для ЗУР на серийные предприятия. В постсоветский период данная система была нарушена стабильная система поставок, снизился уровень качества поставляемых отливок, не совершенствовались технологические процессы (ТП) магниевого литья, что негативно отражалась на выполнении предприятиями, в том числе и АО «ММЗ «АВАНГАРД», государственного оборонного заказа (ГОЗ).

Учитывая проведение специальной военной операции, сложную международную обстановку, введение западными странами огромного числа «жестких» санкций против Российской Федерации, задача дальнейшего совершенствования ТП магниевого литья с использованием современных достижений в области металлургии лёгких сплавов и технологий производства отливок из них приобрела **критическую степень важности и актуальности.**

При этом производство отливок для ЗУР должно быть организовано на территории Российской Федерации из отечественных высококачественных материалов по российским современным технологиям.

Основные научно-технические идеи настоящей работы могут быть представлены в следующем:

- **создание уникальной современной системы автоматизированного проектирования (САПР)**, отличающейся от известных зарубежных и отечественных систем компьютерного моделирования тем, что наряду с обеспечением выполнения технических условий она рассчитывает требуемые параметры литниково-питающих систем (ЛПС) и средств управления направленностью затвердевания и питания отливок, предупреждающих

возникновение внутренних дефектов при минимальной металлоёмкости;

- разработка основных принципов бесфлюсовой плавки магниевых сплавов, выбора композиций нетоксичных, недефицитных газовых защитных сред (ГЗС) и определение механизмов защитного действия ГЗС;

- разработка принципов совмещения процессов плавки, модифицирования и рафинирования расплава для обеспечения повышенного уровня механических свойств отливок и определение механизмов модифицирующего и рафинирующего действия газовых смесей;

- разработка основ автоматизации плавки и литья и создание на их основе:

- системы управляемого процесса плавки и обработки расплава, совмещающего защиту, модифицирование и рафинирование расплава смесями инертных и бескислородных углеродсодержащих газов;

- системы контролируемого управляемого процесса нагрева крупногабаритных металлических форм с использованием инфракрасных горелочных устройств для обеспечения заданного градиента температур по высоте формы, обеспечивающего изготовление отливок с повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками.

Описание результатов и их значение для практики. В ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» совместно с АО «ММЗ «АВАНГАРД» создано современное уникальное производство крупногабаритных сложноконтурных корпусных литых заготовок для ЗУР типа 48Н6 и 40Н6.

В серийном производстве используются ***впервые разработанные:***

1. - уникальная САПР ТП литья крупногабаритных корпусных отливок, основанная на решении уравнений теплового баланса, фильтрации сплава, теплообмена с кокилем и внутренним песчаным стержнем, моделировании гидравлических и теплофизических процессов литья магниевых сплавов в комбинированную форму. На рис.1 представлены схемы спроектированной ЛПС, расположение холодильников и трёхмерные модели отливки и стержня, обеспечивающие получение отливки с заданными свойствами. Рисунок 2 иллюстрирует процессы затвердевания и

возникновения усадочных дефектов.

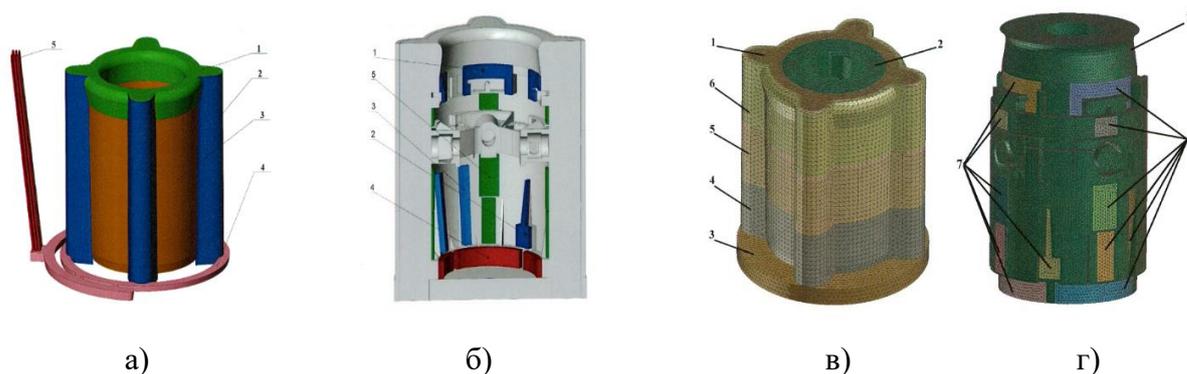


Рис.1. Схема спроектированной ЛПС (а) и расположение спроектированных холодильников на бобышках и рёбрах на внутренней поверхности (б) и трёхмерные модели отливки (в) и стержня (г) 40H6.0402.1 «Корпус отсека 4»

а) и б) 1-5 холодильники на бобышках, горизонтальном ребре и напротив четырёх колодцев. в) и г) 1-отливка; 2-стержень; 3-поддон; 4-нижняя часть кокиля; 5-средняя часть кокиля; 6-верхняя часть кокиля; 7-холодильники.

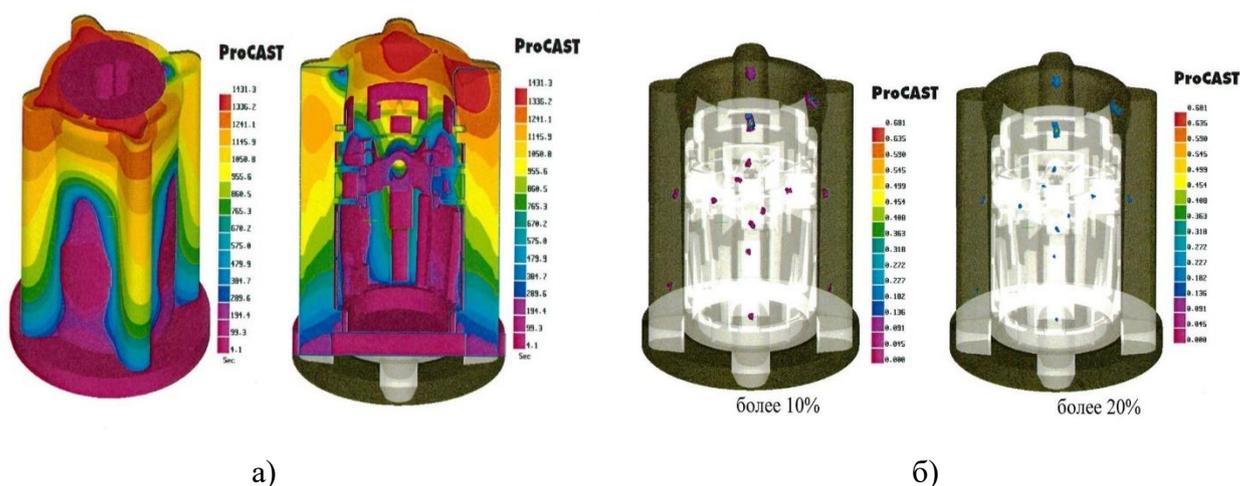


Рис.2. Продолжительность процесса затвердевания (а) и образование усадочной пористости (б).

2. автоматизированная система контролируемого и управляемого в режиме реального времени процесса бесфлюсовой плавки и совмещённого во времени процесса модифицирования и рафинирования расплава смесями инертных и бескислородных углеродсодержащих газов, гарантирующего повышение механических свойств сплава не менее чем на 20-25% с использованием оптимизированных по составу и количеству газовых смесей при существенном (на 70-80%) снижении расхода газов-ингибиторов; Анализ широкой гаммы составов ГЗС позволил разработать и внедрить современную технологию бесфлюсовой плавки полностью исключаящую

возможность воспламенения, излишне активного окисления и испарения магниевых сплавов. Наиболее эффективными как с технологической, так и экономической точки зрения, могут быть ГЗС с использованием ингибиторов: элегаза, хладона 14 в смеси с аргоном или воздухом, характер взаимодействия магния с которыми иллюстрирует рисунок 3. Защитные свойства газовых смесей гарантированно сохраняются до температур 750-770°C (рис.4).

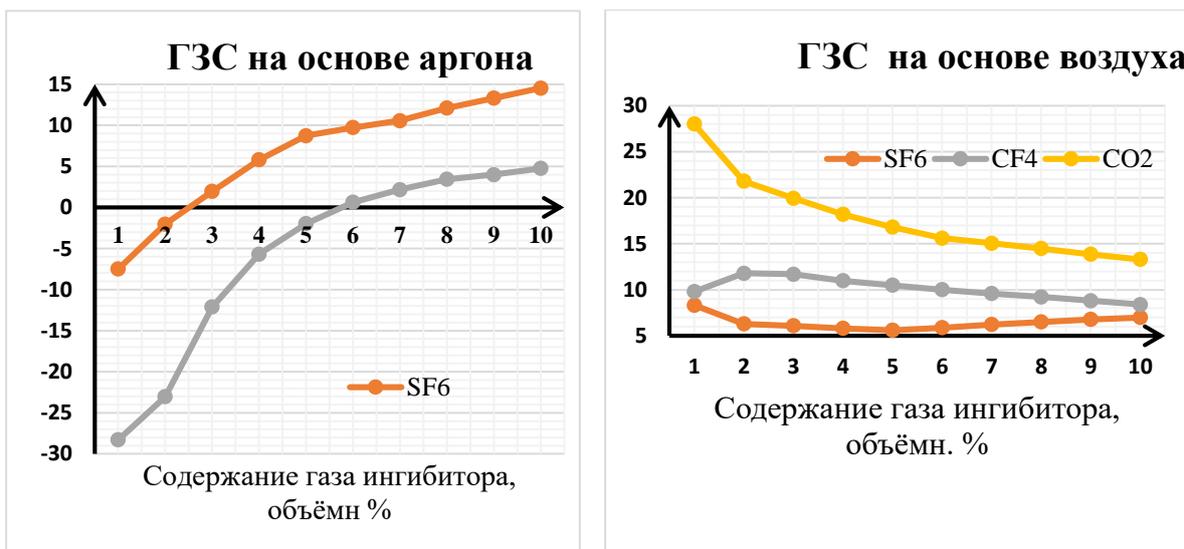


Рис.3. Характер взаимодействия магния с ГЗС на основе аргона (а) и воздуха (б). Ось ординат – относительное изменение массы поверхностной плёнки, мг/см²·с.



Рис.4. Поверхность расплава при плавке в ГЗС воздух+R14 (а) и воздух+элегаз (б). T=740°C.

В процессе плавки обязательными являются трудоёмкие и сложно контролируемые операции модифицирования и рафинирования. В настоящей работе впервые в РФ разработан способ, совмещающий во времени эти операции, создана конструкция, изготовлены и внедрены в производство автоматизированные установки (УПГ-1) для бесфлюсовой плавки, модифицирования и рафинирования магниевых сплавов (рис.5). Контроль и управление процессом плавки осуществляется в режиме реального времени с фиксированием всех параметров на мониторе и в памяти компьютера.



Рис.5. Шкаф управления УПГ-1.

Механизм модифицирования и рафинирования расплава разработанными газовыми смесями представлен на рисунке 6.

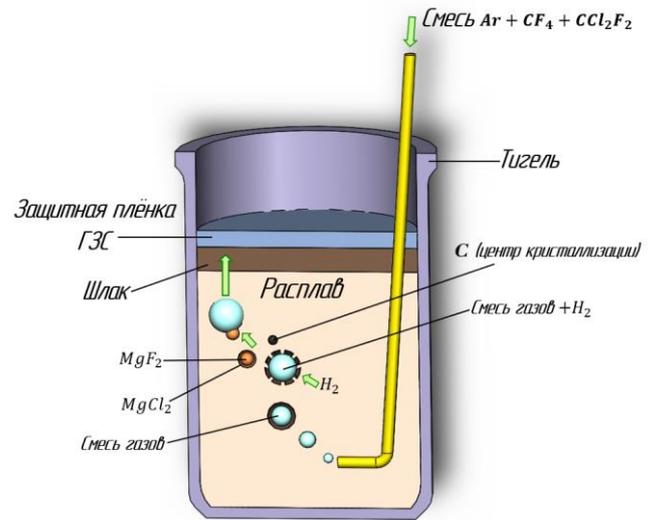


Рис.6. Схема действия модифицирующе-рафинирующей смеси.

Модифицирование разработанными газовыми смесями гарантированно обеспечивает повышение уровня механических свойств сплава на 20-25%.

Существующие способы модифицирования кроме традиционных недостатков (загрязнение расплава оксидами, необходимость флюсового рафинирования и загрязнение хлоридами) обеспечивают лишь кратковременный (до 40 минут) эффект модифицирования.

Разработанный способ обеспечивает сохранение повышенного уровня механических свойств в течение не менее 4-х часов (рис.7).

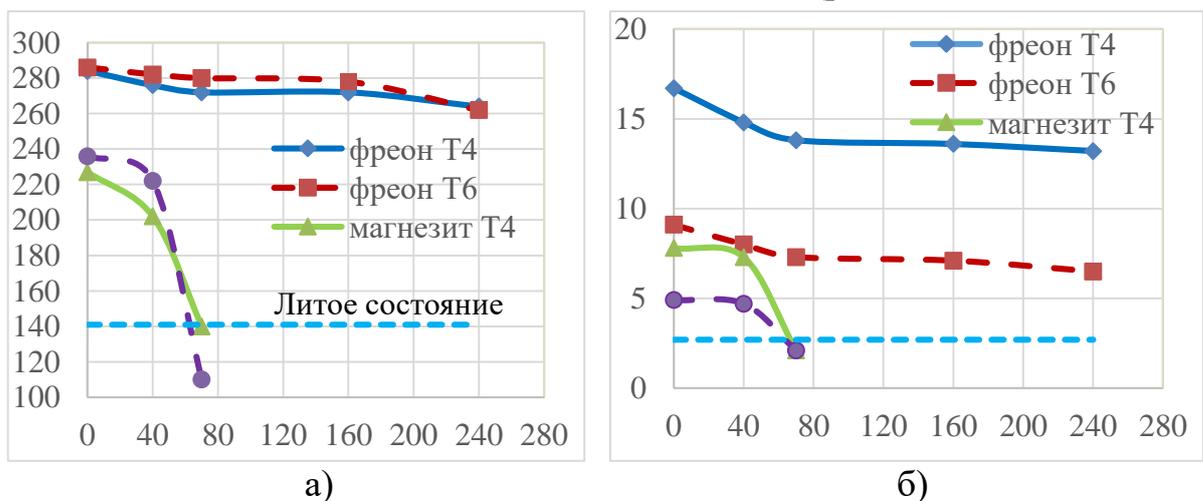


Рис.7. Изменение свойств сплава МЛ5, модифицированного различными способами при выдерживании расплава при температуре 740°C, Т4. Ось абсцисс – время, мин. а) – предел прочности, МПа. б) – относительное удлинение, %.

Рисунки 8 и 9 подтверждают сохранение мелкозернистой равноосной микроструктуры сплава МЛ5 в термообработанном состоянии (Т4 и Т6) при длительной выдержке расплава в плавильном агрегате (а-после модифицирования; б-через 60 мин., в-через 240 мин.).

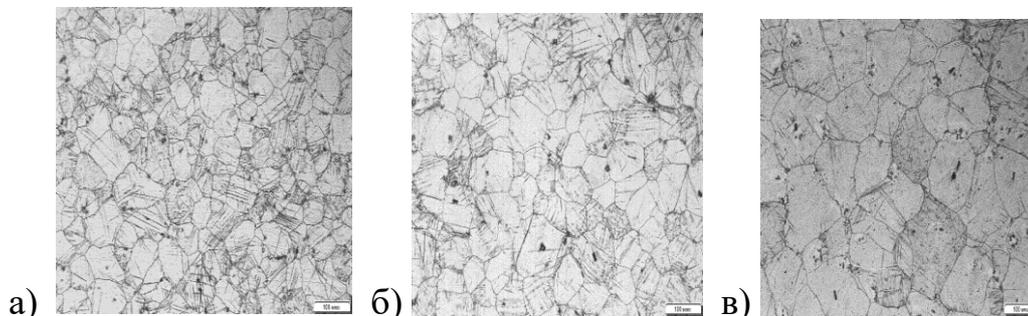


Рис.8. Микроструктура сплава МЛ5. Аргон- R12 (1:1), Т4. х200.

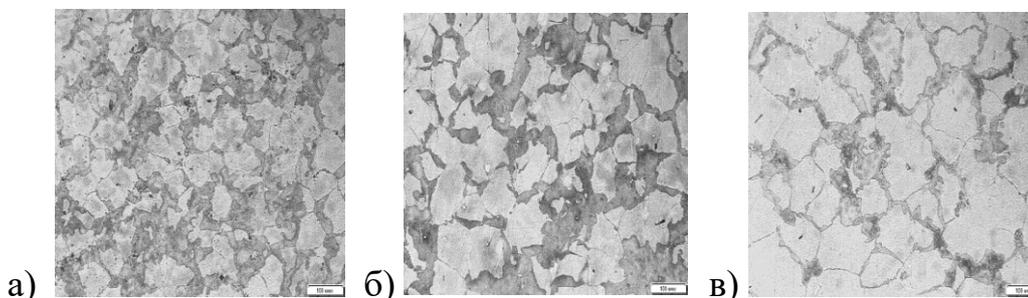


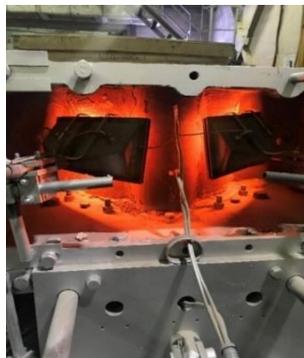
Рис.9. Микроструктура сплава МЛ5. Аргон- R12 (1:1), Т6. х200.

3. **- автоматизированная система контролируемого и управляемого нагрева крупногабаритных, протяжённых по высоте металлических форм инфракрасными горелочными устройствами.**

Замена традиционного, длительного по времени факельного нагрева металлических форм, приводящего к неравномерному нагреву кокилей по высоте и существенному ухудшению условий труда в цехе, на



а)



б)

инфракрасный нагрев (рис.10), гарантированно обеспечивает заданный градиент температур кокиля, изменяющийся по высоте до 2 м на 200-250°C, условия направленного затвердевания отливки и получение заданной

Рис.10. Факельный (а) и инфракрасный (б) нагрев. плотности и структуры металла.

Разработанная и внедрённая в производство автоматизированная установка контроля и регулирования нагрева кокилей (УРНК-1) уменьшает расход



а)

б)

природного газа не менее чем на 30-50%, обеспечивает КПД при теплообмене не менее 97% и уменьшает время нагрева металлических форм в 3-4 раза. Автоматический контроль и управление процессом нагрева происходит в режиме реального времени с фиксированием всех параметров на экране и в памяти компьютера (рис.11).

Рис.11. УРНК-1. Шкафы газовоздушного оборудования (а) и управления с блоком контроля и вывода результатов (б).

В короткие сроки, впервые в Российской Федерации, на ограниченных производственных мощностях создано современное наукоемкое, экологически безопасное ресурсо- и энергосберегающее литейное производство крупногабаритных сложноконтурных корпусных отливок мощностью более 1000 т годного литья (более 40 тыс. отливок) в год.

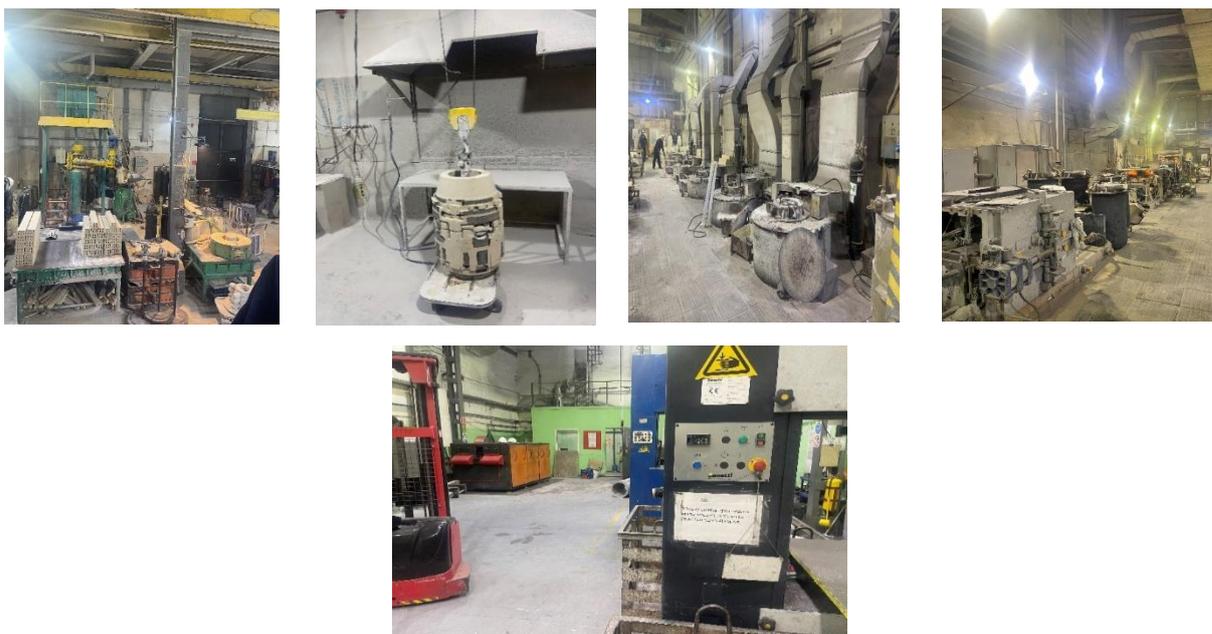


Рис.12. Производственные участки литейного цеха ООО «АВАНГАРД-ЛИТ»

Повышены качество, надёжность и эксплуатационные характеристики отливок в сравнении с зарубежными и отечественными технологиями аналогичного назначения, что обеспечит увеличение ресурса работы изделий.

Обеспечены надёжные серийные поставки корпусных литых заготовок для ЗУР 48Н6 и 40Н6, полностью удовлетворяющие потребности ГОЗ (до 3000 комплектов отливок), что обеспечило импортонезависимость и технологическую безопасность отечественного производства отливок из магниевых сплавов, организацию новых высокотехнологичных рабочих мест.

На рис. 13 приведены изготовленные для ЗУР 48Н6 и 40Н6 отливки и детали из них после механической обработки.



Рис.13. Общий вид отливок и внутренний вид деталей

Работоспособность разработанных технологий подтверждена успешными квалификационными, а также многочисленными, постоянно проводимыми периодическими испытаниями всей номенклатуры отливок для ЗУР 48Н6 и 40Н6.

Автоматизация наиболее трудоёмких и трудно контролируемых операций ТП обеспечила увеличение выхода годного литья и существенное улучшение условий труда в литейном цехе.

На основании результатов работы получено 16 патентов РФ, разработаны, апробированы и внедрены в серийное производство 8 современных ТП литья из магниевых сплавов в комбинированные (кокиль с центральным стержнем) формы, 4 ТП литья в формы из ХТС отливок для ЗУР типа 48Н6 и 40Н6 и более 50 технических условий, технологических

инструкций, содержащих охраняемые объекты интеллектуальной собственности. Опубликовано более 300 научно-технических статей.

Объёмы внедрения. Литые заготовки для ЗУР 48Н6 и 40Н6, изготовленные в ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» по разработанным технологиям внедрены в серийное производство изделий в АО «ММЗ «АВАНГАРД». В период с 2018 по 2023 г. изготовлено более 4000 комплектов литых заготовок из магниевых сплавов ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» и изделий АО «ММЗ «АВАНГАРД». В 2024 году запланировано изготовление более 2000 комплектов литых заготовок, с 2025 г. – по 3000 комплектов.

Экономический и социальный эффект от внедрения.

С 2018 по 2023 год в ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» изготовлено продукции на сумму 1 236 171 тыс. руб., в АО «ММЗ «АВАНГАРД» - 249 331 754 тыс.руб.

Общий оценочный эффект выполнения работы за тот же период в ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» от отчислений в бюджетную систему - 488 069 тыс. руб., в АО «ММЗ «АВАНГАРД» - 58 177 264 тыс. руб.

С 2018 по 2023 год в ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» и АО «ММЗ «АВАНГАРД» организовано 186 высокотехнологичных рабочих мест, в том числе ООО «АВАНГАРД-ЛИТ» - 104, АО «ММЗ «АВАНГАРД» – 82 мест.

Таким образом, в результате выполнения комплекса научно-технических работ, сочетающих в себе расчётную, экспериментальную, конструкторскую, технологическую и аналитическую составляющие, было создано современное, надёжное, высокопроизводительное, малоотходное, ресурсосберегающее, экологически безопасное серийное производство литых заготовок из магниевых сплавов, обеспечивающих выполнение ГОЗ по выпуску ЗУР типа 48Н6 и 40Н6 для АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей».