

УДК 621.74.043.2

Г.И. Белявский, Ю.А. Зиновьев, С.В. Кузнецов

**ЛИТЬЕ С КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ЗАГОТОВОК,  
АРМИРОВАННЫХ МЕХАНИЧЕСКИ ЛЕГИРОВАННЫМИ ГРАНУЛАМИ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Рассмотрены различные способы получения литых заготовок, армированных механически легированными гранулами литьем с кристаллизацией под давлением. Рассмотрено влияние методов введения гранул в жидкий металл и выбран наиболее рациональный.

Приведены данные по микротвердости переходного слоя между гранулами и литейным сплавом. Предложенная технология позволяет повысить износостойкость деталей.

*Ключевые слова:* литая заготовка, литье с кристаллизацией под давлением, механическое легирование, гранулы.

В последние десятилетия успехи материаловедения привели к созданию перспективного класса материалов, названных композиционными, имеющих высокие физико-механические свойства и, благодаря им заставляющие уступать свои позиции традиционные сплавы. В то же время традиционные сплавы и, прежде всего, литейные, отличаются от других материалов легкостью формообразования при использовании литейных технологий, что позволяет им успешно конкурировать при получении сложнопрофильных заготовок.

К сожалению, их возможности ниже, чем у композиционных материалов, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками. Несмотря на это, литейные технологии оказались рационально применимыми при получении биметаллических отливок, одним из компонентов которых являются дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ). Вставки из них хорошо соединяются с литейными сплавами в процессе литья, но представляют собой простейшие геометрические фигуры (диски, кольца, стержни и т.п.).

Следует также отметить, что технология получения вставок длительна и трудоемка. В то же время для достаточно большого ряда изделий, при работе которых градиент температуры плавно изменяется по сечению изделия, а сами изделия работают на истирание, требуется иное решение, позволившее бы упростить технологию и удешевить получение армированных отливок.

Например, использование методов пропитки в ее различных вариантах [1]. Основными преимуществами метода пропитки являются возможность получения практически беспористого материала и равномерное распределение армирующих элементов в композиционном материале. Еще одно преимущество этого метода – возможность получения без дополнительной механической обработки изделий любой конфигурации и использование в большинстве случаев существующего литейного оборудования.

Существует целый ряд разновидностей метода:

- 1) пропитка расплавом при нормальном давлении;
- 2) вакуумное всасывание;
- 3) пропитка расплавом под давлением;
- 4) комбинированные методы пропитки.

Самый простой вариант пропитки заключается в укладке волокон или гранул в форму и заливку в нее под действием гравитационных сил расплавленного или в полужидком состоянии металла.

Существенный недостаток этого метода в наличии после заливки в материале пустот, значительно снижающих прочность композиционного материала.

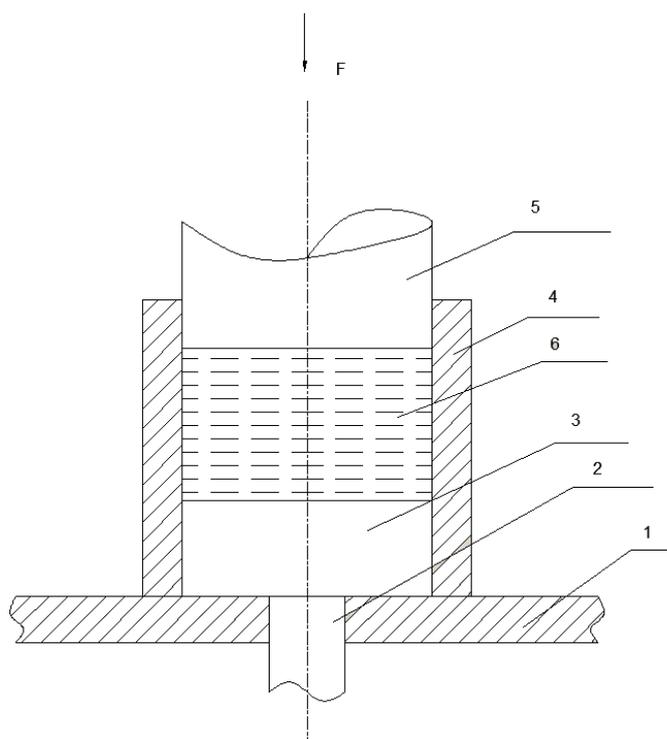
Значительным шагом вперед является метод пропитки вакуумным всасыванием, но и он имеет недостаток, присущий всем методам пропитки, - необходимость нагрева армирующего материала до температур, сравнимых с температурой расплава, что может отрицательно влиять на прочность композиционного материала.

Наибольший интерес представляют комбинированные методы пропитки, например, пропитка под давлением с предварительным вакуумированием формы. Однако все методы пропитки ориентированы на пропитку расплавом, имеющим относительно высокий перегрев. Для ДУКМ на основе алюминия подобная технология не может обеспечить требуемого качества, поскольку ДУКМ теряют значительную часть своих свойств. Кроме того, процессы пропитки имеют и ряд других недостатков: значительная длительность процесса; высокая температура подогрева рабочей оснастки и в связи с этим низкая стойкость оснастки.

Наиболее удачным решением может быть получение алюминиевых отливок, армированных механически легированными гранулами [2], при использовании процесса литья с кристаллизацией под давлением [3].

При исследовании возможностей получения отливок, армированных гранулами ДУКМ, использовали четыре основных варианта: первый – замешивание гранул в расплав перед заливкой его в матрицу; второй – введение гранул в струю жидкого металла, как это обычно делается при суспензионном литье; третий – засыпка порции гранул на дно матрицы с последующей заливкой жидкого металла; четверты – засыпка порции гранул между двумя дозами жидкого металла.

Получение опытных образцов всех четырех вариантов осуществлялось на установке, схематически изображенной на рис. 1.

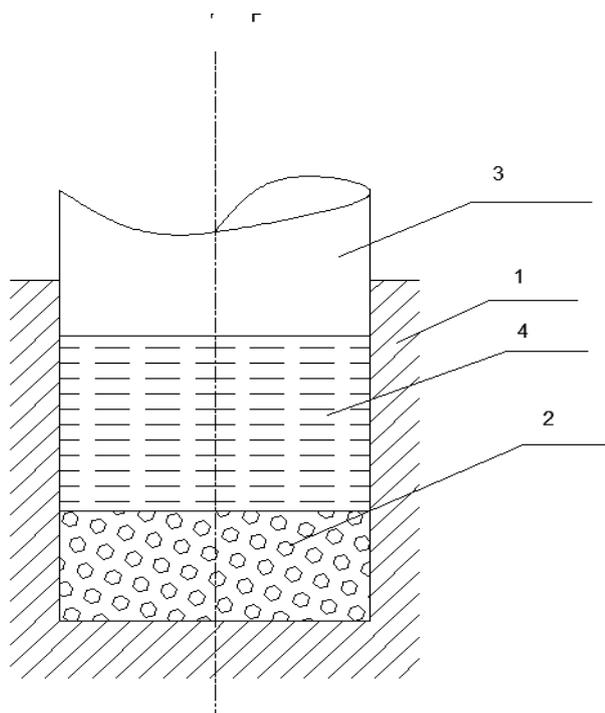


**Рис. 1. Принципиальная схема установки:**

1 - монтажная плита; 2 – шток нижнего цилиндра гидропресса;  
3 – выталкиватель; 4 – матрица; 5 – пуансон; 6 – расплав

Полученные заготовки были подвергнуты исследованиям, при которых оценивался охват жидким металлом гранул и определялось наличие переходного слоя по границам гра-

нул. В образцах первого варианта, в связи с тем, что матричный сплав необходимо перегреть до температуры  $670^{\circ}\text{C}$ , гранулы частично расплавились, что хорошо подтверждается размытыми контурами гранул. В образцах второго варианта при относительно высокой ( $620\text{--}670^{\circ}\text{C}$ ) температуре заливаемого сплава отдельные гранулы растрескивались, но, благодаря высокому давлению, прилагаемому к расплаву ( $120\text{ МПа}$ ), трещины в гранулах заполнялись матричным сплавом. Образцы третьего варианта (рис. 2) дали наихудший результат, поскольку в нижней части заготовки происходило осыпание части гранул из-за недостаточной пропитки, что связано с охлаждением матричного сплава.



**Рис. 2. Схема третьего варианта:**

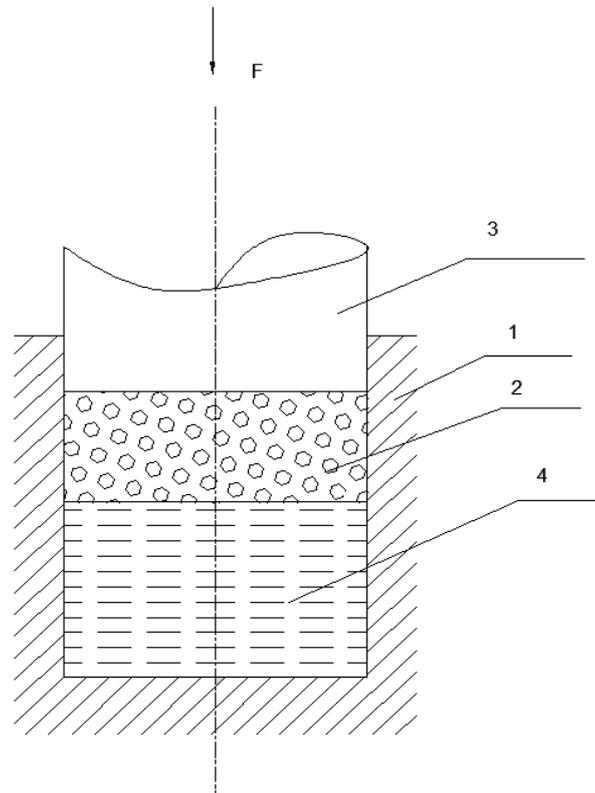
1 – матрица; 2 – слой гранул ДУКМ; 3 – пуансон; 4 – жидкий сплав

Насыпной слой гранул пропитывался не на всю толщину, что связано с быстрой потерей тепла первых порций заливаемого сплава и потерей тепла гранулами, поскольку и сплав, и гранулы отдают тепло, соприкасаясь со стенками и дном матрицы, нагретыми до значительно меньшей температуры ( $240\text{--}320^{\circ}\text{C}$ ). Более высокие температуры нагрева матрицы и гранул приводят к преждевременному выходу матрицы из строя и потере свойств гранулами ДУКМ. Существует и разновидность третьего варианта, когда порция гранул засыпается поверх залитой порции жидкого расплава (рис. 3), что позволяет несколько улучшить охват гранул жидким металлом. Но осыпание гранул имеет место.

Оценивая описанные варианты, можно сказать, что все они имеют значительные недостатки, затрудняющие их использование для получения армированных заготовок.

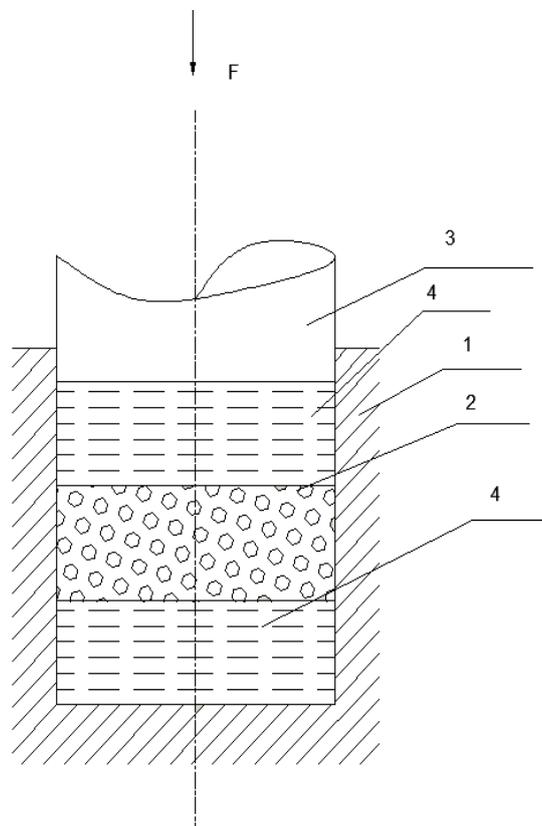
Остается четвертый вариант, который и был выбран как наиболее рациональный. Заливка порции жидкого металла в качестве подложки, на которую насыпается порция гранул ДУКМ, позволяет поддерживать на приемлемом уровне температуру гранул при их пропитке под давлением порцией жидкого металла, залитого поверх засыпанных гранул (рис. 4).

Микроструктура отливок, армированных механически легированными гранулами, состоит из гранул, хаотически расположенных в алюминиевой матрице. Сама алюминиевая основа имеет мелкозернистую структуру без пор и раковин, а границы гранул четкие.



**Рис. 3. Разновидность третьего варианта:**

1 – матрица; 2 – слой гранул ДУКМ; 3 – пуансон; 4 – жидкий сплав



**Рис. 4. Схема четвертого варианта:**

1 – матрица; 2 – слой гранул; 3 – пуансон; 4 – первая порция расплава;  
5 – вторая порция расплава

С целью более детального изучения структуры отливок проводились измерения микротвердости на границе гранул и матричного сплава, данные о которых приведены в табл. 1. Отсутствие части данных по замеру микротвердости на границе раздела связано с тем, что разрешающая способность прибора при замерах составляла 0,1 мм.

Таблица 1

№ п/п	Варианты	Н, кг/мм <sup>2</sup>		
		основа	гранулы	граница
1	Замешивание гранул в расплава	1200	1460	-
2	Засыпка в струю расплава	1225	1360	-
3	Засыпка между дозами расплава	1050	1250	1150

Полученные в четвертом варианте образцы были испытаны на растяжение, в качестве контроля брались свойства матричного сплава по ГОСТ. Результаты испытаний показали, что до известных пределов рост количества гранул в образцах мало влияет на механические свойства, что подтверждается данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Состояние гранул	$\sigma_b$ , МПа	Примечание	Вес засыпки, кг	Давление прессования, МПа
1	Термообработанные	195,52	Все образцы получены за- сыпкой порции гранул между слоями жидкого сплава АЛ25	0,030	125
2	Термообработанные	121,25		0,050	125
3	Термообработанные	137,31		0,070	125
4	Термообработанные	126,25		0,040	125
5	Термообработанные	185,80		0,020	125
6	Нетермообработанные	146,76		0,040	125
7	Термообработанные	84,37		0,024	125

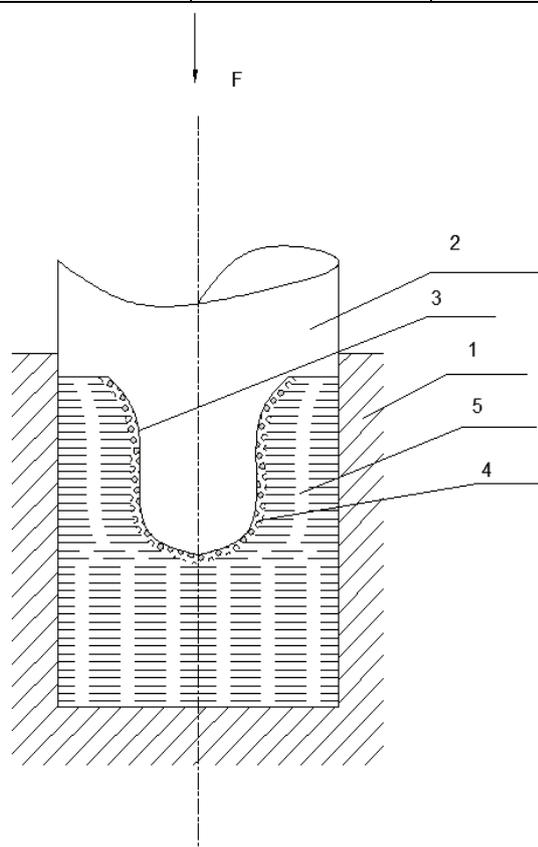


Рис. 5. Схема процесса получения армированной заготовки:

1 – матрица; 2 – пуансон; 3 – замороженный сплав; 4 – гранулы ДУКМ; 5 – расплав

Анализ результатов позволил предложить еще один вариант получения армированных заготовок, схема которого приведена на рис. 5.

Процесс получения заготовок по схеме на рис. 5 представляет следующее. Пуансон погружают на короткое время в матричный расплав для намораживания слоя матричного сплава, затем пуансон с намороженным слоем погружают в емкость с гранулами ДУКМ, где они прилипают к поверхности пуансона. Следующей операцией является прессование пуансоном порции матричного сплава, залитого в пресс-форму.

Такая схема позволила получить поверхностно-армированную отливку типа «стакан», работающую в условиях абразивного износа. Исследования полученных отливок показали, что поверхностный слой с гранулами ДУКМ практически не имеет дефектов, охват гранул расплавом – качественный.

### Выводы

1. Выявлена возможность получения объемно- и поверхностно-армированных гранулами ДУКМ отливок.
2. Проведенные исследования позволили ответить утвердительно на вопрос о высоком качестве опытных отливок. Результаты испытаний на растяжение это подтверждают.
3. Использование гранул ДУКМ, вместо вставок, изготовленных из профилей ДУКМ, в ряде случаев позволяет значительно удешевить процесс получения качественных заготовок и снизить расход упрочняющего материала.

### Библиографический список

1. Структура и свойства композиционных материалов / К.И. Портной [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.
2. Шалунов, Е.П. Алюминиевые материалы, дисперсноупрочненные карбидом алюминия / Е.П. Шалунов, Я.М. Липатов, И.В. Дакилов // Современные технологические процессы получения высококачественных отливок, повышения стойкости литейной оснастки и режущего инструмента: тез. докл. к межреспублик. семинара. – Чебоксары: Чув. ун-т, 1987. С. 152–153.
3. Батышев, А.И. Штамповка жидкого металла / А.И. Батышев. – М.: Металлургия, 1980. – 199 с.
4. Композиционные материалы: справочник / под общ. ред. В.В. Васильева. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.

*Дата поступления  
в редакцию. 09.12.2013*

**G.I. Belyavsky, Yr.A. Zinoviev, S.V. Kuznetsov**

## **PRODUCING CAST BLANKS REINFORCED WITH MECHANICALLY ALLOYED GRAINS VIA CASTING WITH CRYSTALLIZATION UNDER PRESSURE**

Nizhni Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

**Purpose:** Discovery of the most rational method for cast sections manufacturing reinforced with mechanically alloyed grains.

**Methodology:** Usage of crystallization under pressure in casting process for sample production.

**Findings:** The mechanical tests held, and microstructural examination of the obtained samples, showed that the suggested variant of reinforced cast sections production can improve their quality.

**Originality/value:** The suggested technology can be used for surface-reinforced casts that undergo abrasive wear when used.

*Key words:* cast blanks, casting with crystallization under pressure, mechanically alloyed grains.