

УДК 621.74.043.2

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

**ЛИТЬЕ С КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева

Работа посвящена изучению физико-механических свойств биметаллических отливок, полученных литьем с кристаллизацией под давлением (ЛКД) с использованием литейного сплава и вставки из дисперсно-упрочненного композита (ДУКМ), полученного механическим легированием.

Рассмотрено влияние технологических параметров процесса литья и состава композиционного материала на повышение прочностных характеристик переходного слоя биметалла.

Ключевые слова: литье с кристаллизацией под давлением, биметаллическая отливка, дисперсно-упрочненный композиционный материал.

Перспективы развития машиностроения тесно связаны со снижением материалоемкости, энергоемкости и доли механической обработки при получении деталей машин и механизмов, а также с увеличением срока службы этих деталей. В связи с этим большое значение в последние годы приобретают повышенные требования, предъявляемые к материалам, и поиски новых технических решений. Наиболее доступными и дешевыми конструкционными материалами при получении заготовок являются литейные сплавы, а технологическими процессами, реализующими возможности литейных сплавов, - различные виды литья. Однако, обладая хорошей формозаполняемостью при получении отливок практически любой конфигурации и достаточно неплохими механическими свойствами, литейные сплавы имеют и ряд существенных недостатков, среди которых невысокие износостойкость и жаропрочность.

В зарубежной научно-технической и патентной литературе широко освещается вопрос получения литьем с кристаллизацией под давлением биметаллических поршней для двигателей внутреннего сгорания из поршневых алюминиевых и жаропрочных сплавов, а также биметаллических деталей, работающих в условиях активного износа. Перспективность этих исследований обусловлена значительным увеличением срока службы подобных деталей по сравнению с цельнолитыми из алюминиевых сплавов, выигрышем в весе по сравнению с поршнями, изготовленными целиком из жаропрочных материалов, и ужесточением режимов эксплуатации. Опыт получения таких деталей в нашей стране должного распространения не получил.

Факторами, сдерживающими применение биметаллических деталей, является отсутствие достаточно прочных, износостойких, жаропрочных, сравнительно легких и доступных материалов, а также трудности, возникающие при попытках соединить подобные материалы с алюминиевыми сплавами. Этим требованиям, наряду с высокими механическими свойствами, отвечают композиционные материалы на алюминиевой основе, в частности, механически легированные дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ), но они значительно дороже литейных сплавов. Кроме того, они не технологичны при изготовлении деталей сложной конфигурации, которые могут быть получены только различными видами механической обработки со значительными объемами удаляемого материала.

Отсюда следует вывод, что возможности ДУКМ могут быть реализованы применением различного вида вставок или вкладышей из ДУКМ при получении биметаллических отливок литым с кристаллизацией под давлением. В качестве материала вкладышей был использован ДУКМ системы Al-Al₂O₃-Al₄C₃.

С целью проверки возможности получения биметаллических отливок литьем с кристаллизацией под давлением с вкладышами из ДУКМ был проведен ряд экспериментов на установке, показанной на рис. 1.

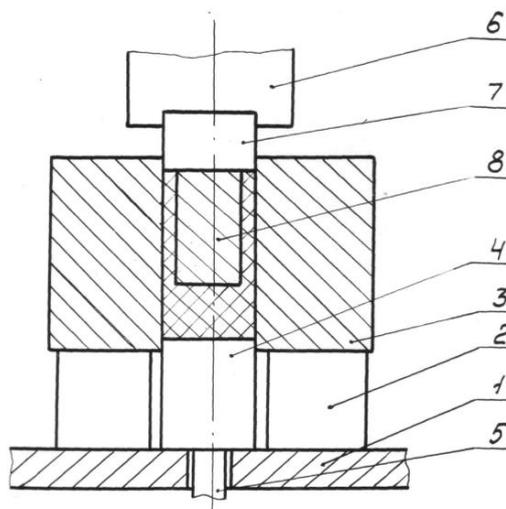


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 – монтажная плита; 2 – опора; 3 – матрица; 4 – поршень; 5 – шток;
6 – держатель; 7 – оправка; 8 – вставка

Установка состоит из гидропресса марки ДГ-2428 усилием 63 тс и пресс-формы, смонтированной на столе гидропресса. Пресс-форма представляет собой следующее. На монтажной плите 1 с помощью жестких опор 2 установлена матрица 3, дно которой образовано поршнем 4, накрутым на шток 5 нижнего цилиндра гидропресса. К верхней траверсе гидропресса прикреплен держатель 6, предназначенный для фиксации оправки 7 со вставкой 8 из ДУКМ, которая играет роль пуансона.

Технология получения биметаллических образцов состоит в следующем. Из прутков ДУКМ изготавливали вставки диаметром 30 мм, длиной 50 мм и с резьбой для крепления к оправке. Вставки из ДУКМ требуемых размеров механически обрабатывали для снятия остатков плакирующего слоя, подвергали дробеструйной обработке, закрепляли в оправках и обезжировали. Затем вставки с оправками помещали в муфельную печь, где подвергали нагреву до температур 380-500°С, которые выбирали на основе анализа рекомендаций по получению биметаллических отливок на алюминиевой основе.

Параллельно этим операциям велась плавка в индукционной печи алюминиевого сплава АК12М2МгН и нагрев оснастки до рабочей температуры, которая находилась в пределах 250-280°С. В качестве контрольных образцов использовали вставки из литейного сплава АК12 с геометрией и подготовкой, идентичной обработке вставок из ДУКМ.

После нагрева вставок и оснастки в матрицу пресс-формы заливалась порция жидкого сплава АК12М2МгН, при этом температура сплава в печи выдерживалась в пределах 720-750°С, что позволяло обеспечивать температуру жидкого сплава в матрице к моменту ввертывания вставки в пределах 550-570°С. Такой интервал температур был выбран с целью сведения к минимуму вероятность потери свойств ДУКМ, которая происходит при температурах (0,85-0,95) $T_{пл}$ алюминиевой основы. Во избежание значительных потерь температуры жидким металлом прессование производилось со скоростью 40 мм/с, что позволяло прикладывать давление к жидкому металлу в минимально возможный промежуток времени.

После заливки порции жидкого сплава верхняя траверса гидропресса включалась на

движение вниз, при этом вставка 8 внедрялась в жидкий расплав, а оправка 7 перекрывала рабочую полость матрицы 3, и расплав, поднимаясь вверх, охватывал вставку под давлением, образуя биметаллическую заготовку. После выдержки под давлением 125 МПа до полного затвердевания расплава верхняя траверса, перемещаясь вверх, освобождала оправку, а нижний цилиндр гидропресса поршнем 4 выталкивал биметаллическую заготовку вместе с оправкой из матрицы.

В результате благоприятных температурных условий формирования биметаллической заготовки, тщательного подбора компонентов биметаллической пары и обеспечения плотного контакта между АК12М2МгН и ДУКМ за счет высокого давления оказалось возможным получение достаточно качественного соединения, что подтвердили механические испытания полученных образцов на растяжение, показавшие рост прочности биметаллического соединения с ростом температур нагрева вставки и расплава. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Группа образцов	Способ получения	T°, C (АК12М2МгН)	T°, C (ДУКМ)	P, MPa	σ_B, MPa
4-0	ЛКД	550	450	125	154,0
4-2	ЛКД	560	450	125	104,0
4-4	ЛКД	560	450	125	178,0
8-4	ЛКД	580	350	125	172,0
7	Кокиль	560	450	-	188,0
1-4	ЛКД	560	400	125	119,0

Во всех образцах разрушение происходило по наименее прочному компоненту биметалла, в частности, по АК12М2МгН, а не по переходному слою между компонентами. Контрольные образцы (все без исключения) разрушались по переходному слою. Кроме испытаний на растяжение, были проведены испытания кольцеобразных образцов, вырезанных из полученных биметаллических заготовок на выпрессовку в виде шайб из ДУКМ и АК12, охваченных сплавом АК12М2МгН. Результаты испытаний на выпрессовку приведены в табл. 2, и позволяют косвенно судить о прочности биметаллического соединения, поскольку коэффициент линейного термического расширения ДУКМ, использовавшегося в опытах, выше, чем у АК12М2МгН ($K_{ЛТР} = 20,5 \cdot 10^{-6} 1/град$). Данные по $K_{ЛТР}$ брались для всех материалов при температуре 300°C. Высокие показатели испытаний на выпрессовку у образцов из АК12, охваченных АК12М2МгН, объясняются более высоким $K_{ЛТР}$ у АК12, что приводит к механическому «заклиниванию».

Таблица 2

№ группы образцов	Материал вставки	$K_{ЛТР}$ вставки, $\times 10^{-6} 1/град$	T металла в матрице, °C	T вставки, °C	Скорость нагружения, мм/мин	Разрушающее напряжение среза, МПа
1	ДУКМ	21,0	560	430	2	61,4
2	ДУКМ	21,0	590	400	2	75,4
3	ДУКМ	21,0	600	500	2	87,3
4	АК12	23,3	570	300	2	92,8
5	АК12	23,3	580	350	2	49,6
6	АК12	23,3	560	450	2	65,6

Для качественной оценки биметаллического соединения были проведены металло-

графические исследования и измерения микротвердости. Металлографический анализ исследуемых образцов проводили на оптическом микроскопе «Неофет-30», а измерения микротвердости вблизи границы раздела на микротвердомере ПМГ-3 при нагрузках 50 и 100 г. Исследования распределения микротвердости проводили по обе стороны раздела биметалла, причем волокна ДУКМ расположены вдоль оси образца. Установлено значительное изменение микротвердости вблизи границы раздела на расстоянии порядка десятой доли миллиметра от места соединения. Значения микротвердости H_{μ} исследуемых образцов в зависимости от направления вырезки темплета приведены в табл. 3.

Таблица 3

Обозначение материала	Направление вырезки темплета	H_{μ} , МПа		
		ДУКМ	AK12M2MgH	AK12
ДУКМ- AK12M2MgH	Продольное	164	136	-
ДУКМ- AK12M2MgH	Продольное	169	129	-
ДУКМ- AK12M2MgH	Продольное	-	138	106

На основании проведенных металлографических исследований показано, что в месте соединения двух материалов хорошо видна граница их раздела, по которой и вблизи ее расщелений и микротрещин не наблюдается. Структура ДУКМ плавно переходит в структуру AK12M2MgH (рис. 2). Ширина переходной зоны колеблется в пределах 0,1–0,2 мм. При ширине более 0,1 мм разрушение происходит исключительно по литому металлу.

С целью исследования переходной зоны биметаллического соединения был проведен микрорентгеноспектральный анализ по элементам. Не определялось содержание С и Mg (вследствие наложения спектральных линий Mg и Al и отсутствия в AK12M2MgH углерода). Сплав AK12M2MgH с известным химическим составом взят в качестве эталона. Состав переходной зоны полученной биметаллической заготовки приведен в табл. 4.

Таблица 4

Элементы	AK12M2MgH	Переходная зона	ДУКМ
Si	11,70	11,30	0
Ni	1,10	0,90	0
Vn	0,45	0,20	0
Cu	2,20	-	-
Mg	1,10	-	-
Fe	0,80	0,60	0,40

Без учета содержания Mg и Cu состав переходной зоны близок по составу к сплаву AK12M2MgH. Несколько меньшее содержание легирующих элементов (Si, Ni, Mn) и примесь (Fe) в переходной зоне является следствием взаимного проникновения сплава AK12M2MgH и подплавленного слоя ДУКМ.

Результаты исследований позволили разработать технологию ЛКД для получения биметаллических отливок поршней для двигателей внутреннего сгорания, роликов и шкивов мотальных машин. На рис. 3 приведен макрошлиф биметаллической отливки «шкив», где видна четкая границы между вставкой из ДУКМ и основной массой металла. Макрошлиф подтверждает правильность выбора технологии получения биметаллической отливки и составляющих компонентов.

Разработанная технология и полученные биметаллические отливки позволяют сделать вывод о перспективности применения биметаллов с ДУКМ на алюминиевой основе.

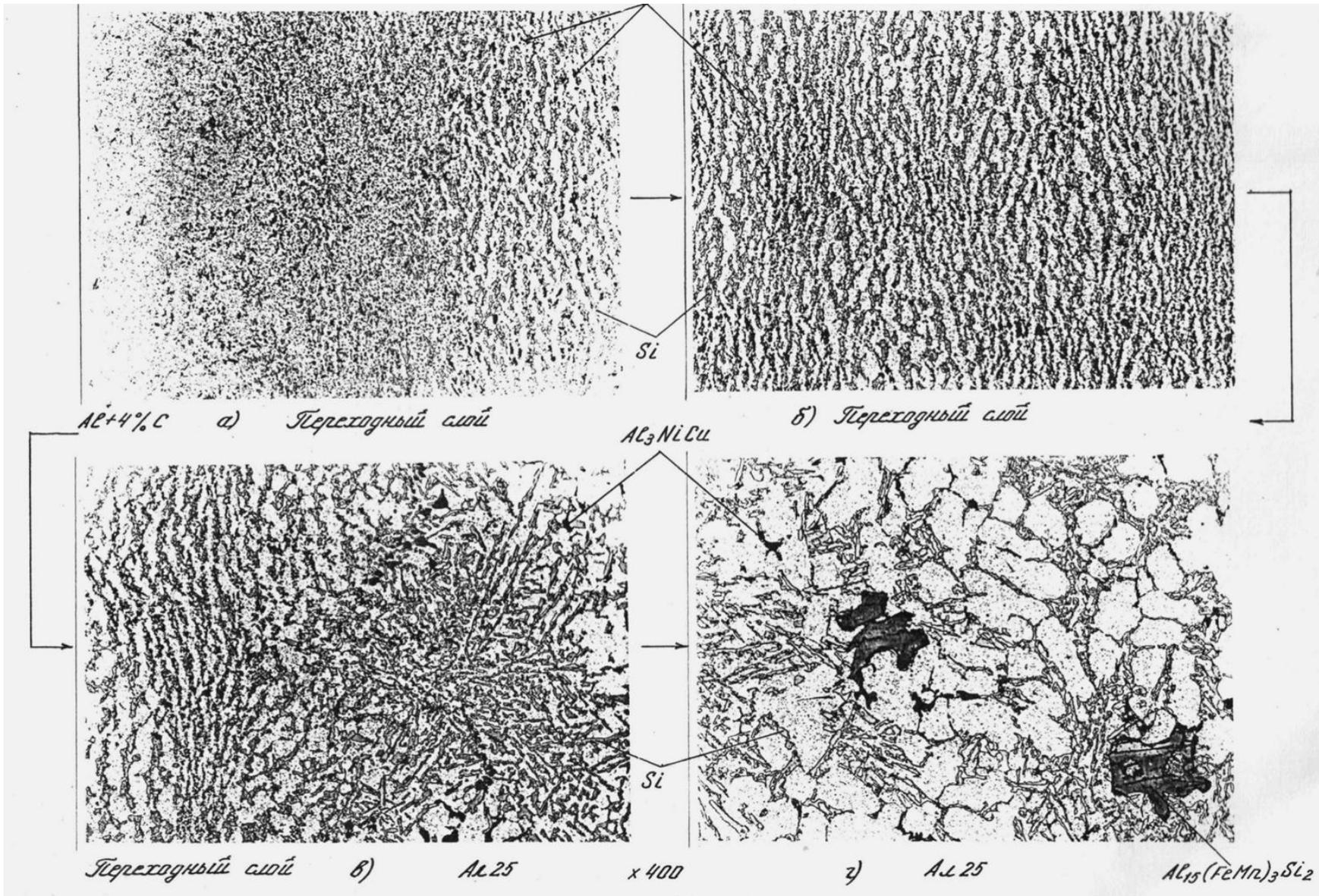


Рис. 2. Структура переходного слоя (ДУКМ- АК12М2МгН)

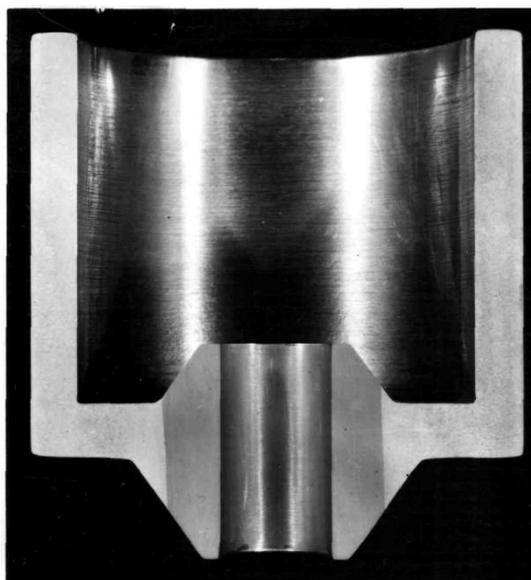


Рис. 3. Макрошлиф детали «шків»

Библиографический список

1. Штамповка жидкого металла / А.И. Батышев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 200 с.
2. Основы процессов получения биметаллических отливок. – Киев, 1990. – 20 с.
3. **Батышев, А.И.** Литье с кристаллизацией под давлением сплавов цветных металлов / А.И. Батышев, В.И. Безпалько. – М.: ЦНИИТЭИ. 1985. – 48 с.
4. **Зарапин, Ю.Л.** Производство композиционных материалов обработкой давлением / Ю.Л. Зарапин, Н.А. Чиченев, Н.Г. Чернилевская. – М.: Metallurgy. 1991. – 350 с.
5. **Мусин, Р.А.** Соединение металлов с керамическими материалами / Р.А. Мусин, Г.В. Конюшков. – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.
6. Композиционные материалы: справочник / под общ. ред. В.В. Васильева. – М.: Машиностроение, 1990. – 510 с.
7. **Белявский, Г.И.** Получение биметаллических деталей с вкладышами из дисперсионно-упрочненных порошковых композитов / Г.И. Белявский, Е.П. Шалунов, М.А. Шведов // 8-я международная конференция по порошковой металлургии в ЧСФР. 1992.

*Дата поступления
в редакцию 09.12.2013*

G.I. Beliavsky, S.V. Kuznetsov, Yu.A. Zinoviev, V.D. Shvetsov

PRESSURE CRYSTALLIZATION FOR BIMETAL CASTINGS MANUFACTURING

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

Purpose: Production of bimetal castings that help to prolong machine components life.

Methodology: Usage of pressure crystallization for casting process, where inserts of dispersion-strengthened compound material, and of various geometries, are imbedded into supernatant liquid.

Findings: The mechanical and metallographic examinations showed that the transition layer between the dispersion-strengthened compound material and the casting alloy has a smooth transition, and the destruction resulted from mechanical tests affects the cast material.

Originality/value: The results of the investigation helped to obtain test parts (pistons and rolls), as well as to form a conclusion considering the highly perspective usage of dispersion-strengthened compound materials as casting inserts.

Key words: casting with crystallization under pressure, the bimetallic casting, particulate-reinforced composite material.