

**УДК 621.746.6:669.046.516.4:669.715**

**Ю.В. ДОЦЕНКО**, канд.техн.наук, доц.,НМетАУ, Днепропетровск  
**В.Ю.СЕЛИВЕРСТОВ**, докт.техн.наук, проф.,НМетАУ, Днепропетровск,

**ЗАТВЕРДЕВАНИЕ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК5М ПРИ  
КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА РАСПЛАВ**

Приведені результати досліджень впливу реалізації комбінованої технології модифікування нанодисперсним модифікатором TiCN та газодинамічного впливу на механічні властивості алюмінієвого сплаву фасонного вилівка, що твердіє в кокілї.

**Ключові слова:** комбінована технологія, газодинамічний вплив, модифікування, механічні властивості.

Приведены результаты исследований влияния реализации комбинированной технологии модифицирования ультрадисперсным модификатором TiCN и газодинамического воздействия на механические свойства алюминиевого сплава фасонной отливки, затвердевающей в кокиле.

**Ключевые слова:** комбинированная технология, газодинамическое воздействие, модифицирование, механические свойства.

The results of researches of influencing of realization of the combined technology of retrofitting by the nano- modifier of TiCN and gaz-dynamyc influence are resulted on mechanical properties of aluminium alloy of the shaped founding solidifiable in kokyl'.

**Keywords:** combined technology, gaz-dynamyc influence, retrofitting, mechanical properties.

**Введение**

В связи с возрастающими требованиями, предъявляемыми к изделиям из алюминиевых сплавов, актуальна разработка способов повышения качества литого металла. Поэтому задачей специалистов-литейщиков неизменно является модернизация действующих и разработка новых эффективных процессов литья.

**Анализ предыдущих публикаций**

В настоящее время в арсенале литейщиков имеется ряд способов и технологических решений позволяющих оказывать активное влияние на процесс структурообразования, в том числе с помощью внешних физических воздействий или модифицирования [1-14]. При этом указанные процессы имеют свои достоинства и недостатки.

Одним из эффективных способов изменения морфологии кристаллизующихся фаз является затвердевание в резко неравновесных условиях [2-4, 6-13]. При этом происходит измельчение кристаллической структуры, повышение растворимости в твердом состоянии и повышение плотности металла. В технологических схемах литья с кристаллизацией сплавов под давлением существенно изменяется характер кристаллизации. При увеличении скорости охлаждения повышается скорости кристаллизации изменяющаяся в результате влияния давления на число центров и скорость роста зародышей. В настоящее время во многих работах достаточно подробно рассмотрены вопросы получения качественных отливок при кристаллизации под давлением, создаваемым поршнем, пуансоном, либо всесторонним газовым давлением [1, 7, 10]. При всех указанных способах эффективность воздействия в течение времени

затвердевания отливки обратно пропорциональна толщине затвердевшего слоя металла, т.к. внешнее давление в том или ином виде прикладывается к ее поверхности. С технологической точки зрения этот процесс имеет ряд ограничений по массе, виду сплава, конфигурации литых заготовок, а также требует наличия специального оборудования и дополнительного квалифицированного персонала. Также одним из способов воздействия на затвердевающий металл является газодинамическое воздействие [15, 16].

При осуществлении технологии газодинамического воздействия, динамика изменения давления в системе отливка-устройство для ввода газа определяется динамикой изменения прочностных свойств слоя затвердевшего металла, увеличивающегося от поверхности отливки [17]. За возможный максимальный уровень давления газа (МПа) в определенный момент времени может быть принято значение, близкое значению временного сопротивления ( $\sigma_B$ ) затвердевшего слоя с соответствующей температурой [18, 19] и с учетом растягивающих напряжений, возникающих в твердой корке, которые зависят от конфигурации и размеров отливки. При этом напряжения в растущей корке в течение всего процесса затвердевания поддерживаются практически на уровне наибольшей нагрузки, предшествующей разрушению. Данный вариант реализации технологии применим в условиях металлической формы и позволяет добиться максимального результата с точки зрения качества литого металла (прежде всего механических свойств), однако приводит к деформации отливки из-за наличия у сплава относительного удлинения. При условии стабильности геометрических размеров отливки, затвердевающей в кокиле или в разовой песчаной форме, в качестве параметра, необходимого для расчета динамики нарастания давления в системе отливка-устройство для ввода газа используется сопротивление деформации материала отливки ( $\sigma$ ) в диапазоне рабочих температур.

К числу методов воздействий на процесс кристаллизации, получивших наибольшее распространение в практике литейного производства, относятся методы традиционного модифицирования. В последние десятилетия все большее применение в качестве модификаторов литейных сплавов получают ультрадисперсные порошки химических соединений (нанопорошки), которые выполняют роль дополнительных центров кристаллизации при первичной кристаллизации. Поэтому актуальной задачей представляется проведение исследований, направленных на определение возможности совместного применения модифицирования и затвердевания сплава в неравновесных условиях, обеспечиваемых газодинамическим воздействием.

**Целью работы** является определение влияния газодинамического воздействия и модифицирования ультрадисперсным порошком TiCN на механические свойства металла и образование пористости в фасонных отливках из сплава АК5М с повышенным содержанием железа затвердевающих в кокиле при реализации соответствующей комплексной технологии.

#### **Основной материал**

В литейном цехе ЗАО «Горизонт» внедрена технология газодинамического воздействия на расплав при производстве отливок деталей «Опорный наконечник

стойки конвейера». Отливки данной номенклатуры изготавливают из сплава SC51A (по ASTM США), отечественный аналог – сплав АК5М (ДСТУ 2839 – 94) способом литья в кокиль. Отличительной особенностью технологии является включение в порядок технологических операций изготовления отливки следующих этапов: проведение рафинирования (препарат DEGASAL T 200) и ввод модификатора TiCN в расплав, введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона), последующее наращивание давления и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки.

Основой расчетов режимов газодинамического воздействия при различных вариантах осуществления технологии являлись результаты моделирования процесса затвердевания фасонной отливки из алюминиевого сплава АК5М в системе компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «Полигон» [8].

Отливку «Опорный наконечник стойки конвейера» массой 1,1 кг заливали в подогретый и окрашенный чугунный кокиль с минимальной толщиной стенки 40 мм. Температура заливки – 640 °С. Химический состав сплавов представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сплава АК5М

Содержание элементов, %							
Mn	Si	Fe	Al	Mg	Cu	Ti	Zn
0,5	5,5	0,6	ост.	0,6	1,45	0,15	0,3

Для учета растягивающих напряжений, возникающих в слое затвердевшего металла отливки под влиянием гидростатического давления, проводили расчет их значений в соответствии с кинетикой затвердевания отливки по методике, изложенной в работе [18]. Затем рассчитывали динамику изменения максимально возможного давления в системе отливка-устройство для ввода газа, основываясь на значениях временного сопротивления материала отливки ( $\sigma_B$ ) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя [18, 19, 20]. При расчете средней температуры затвердевшего слоя металла отливки в качестве большей выступала температура солидус, а меньшей – температура поверхности отливки. Величину и динамику изменения рабочего давления в данном варианте реализации технологии газодинамического воздействия рассчитывали как разность значений временного сопротивления и величины растягивающих напряжений в затвердевшем слое металла.

Для реализации варианта технологии, предусматривающего минимальную деформацию металла отливки, затвердевающего под регулируемым газовым давлением, расчет динамики его увеличения проводили основываясь на значениях сопротивления деформации металла ( $\sigma$ ) при средней температуре образующегося затвердевшего слоя. Далее величину и динамику изменения рабочего давления рассчитывали как разность значений сопротивления деформации и величины растягивающих напряжений в затвердевшем слое металла, возникающих вследствие гидростатического напора.

На рис. представлены результаты расчета величины напряжений в затвердевающем слое металла, возникающих вследствие гидростатического давления, а также области допустимых значений давления при газодинамическом воздействии на расплав в литейной форме при разных вариантах реализации технологии. Кривая 1 на рисунке – это динамика изменения значений  $\sigma_B$  для рассматриваемых сплавов, кривая 2 – динамика изменения максимального рабочего давления, кривая 3 - динамика изменения  $\sigma$  для рассматриваемых сплавов, кривая 4 - динамика изменения рабочего давления, кривая 5 – динамика изменения величины напряжений, возникающих вследствие гидростатического давления, штриховка – область допустимых значений давления.

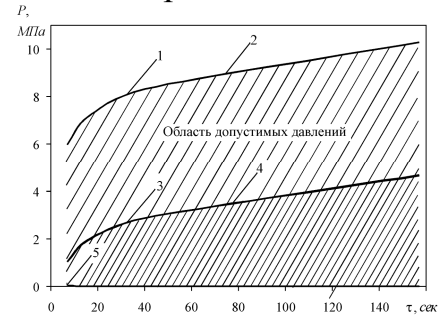


Рис. Результаты расчета величины напряжений, возникающих вследствие гидростатического давления и области допустимых значений давления при затвердевании в кокиле фасонной отливки из сплава АК5М

Технологический процесс газодинамического воздействия на расплав в кокиле проводили с начальными показателями давления 0,15 - 0,2 МПа и последующим наращиванием до 2 - 3,5 МПа в соответствии с расчетной динамикой нарастания давления в системе отливка-устройство для ввода газа.

В таблице 2 приведены результаты испытаний по определению механических свойств металла отливки «опорный наконечник стойки конвейера», полученного с применением технологии газодинамического воздействия (ГДВ), модифицирования TiCN (М), а также комбинированной технологии газодинамического воздействия и модифицирования (ГДВ+М) в сравнении с соответствующими свойствами литого металла, полученного по традиционной технологии литья в кокиль.

Таблица 2. Механические свойства металла отливки «опорный наконечник стойки конвейера»

№ образца		$\sigma_B$ , МПа			НВ			$\delta$ , %			
1	до обработки	162,2			70			1,0			
2		161,8			68			0,9			
3		162,1			68			0,9			
		ГДВ	М	ГДВ+М	ГДВ	М	ГДВ+М	ГДВ	М	ГДВ+М	
4	после обработки	181,3			72			1,25			
5		180,9			71			1,24			
6		181,5			72			1,25			
7			185,2				73			1,27	
8			184,8				72			1,26	
9			185,3				73			1,27	
10					191,4			74			1,29
11					190,9			73			1,28
12					191,3			74			1,29

Пористость отливок оценивали по пятибалльной шкале разработанной ВИАМ. Результаты исследований показали, что до комплексного воздействия отливки имели, в основном, 3 балл пористости, а после – 1 балл пористости.

В результате внедрения указанной технологии количество брака отливок по рыхлотам и газовым раковинам сократилось на 28 %. На данный технологический процесс разработана и применяется соответствующая инструкция.

### **Выводы**

1. В промышленных условиях апробированы варианты реализации технологического процесса получения отливки «опорный наконечник стойки конвейера» массой 1,1 кг из сплава АК5М с использованием модифицирования ультрадисперсным порошком TiCN, газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, а также комплексной технологии, включающей оба процесса.

2. Проведен расчет динамики нарастания газового давления в системе отливка-устройство для ввода газа для реализации технологии газодинамического воздействия. Установлено, что указанный диапазон давлений составляет 0,1-4 МПа.

3. Определены механические свойства металла отливки «опорный наконечник стойки конвейера», полученного с применением технологии газодинамического воздействия, модифицирования TiCN, а также комбинированной технологии газодинамического воздействия и модифицирования в сравнении с соответствующими свойствами литого металла, полученного по традиционной технологии литья в кокиль. Установлено, что временное сопротивление увеличивается на 11-15%, твердость (НВ) – на 4-8%, а относительное удлинение – на 27-30%.

**Список литературы:** 1. *Ефимов, В.А.* Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-65. 2. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст] / А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с. 3. *Калиниченко, А.С.* Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика [Текст] / А.С. Калиниченко, Г.В. Бергман - Мн.: Технопринт, 2001. - 367 с. 4. *Добаткин В.И.* Закономерности формирования структуры слитков алюминиевых сплавов при непрерывном литье с ультразвуковой обработкой кристаллизующегося расплава [Текст] / В.И. Добаткин, Г.И. Эскин, С.И. Боровикова, Ю.Г. Гольдер. - М.: Наука - 1976. - С. 151-161. 5. *Немененок, Б.М.* Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. - 272 с. 6. *Скворцов, А.А.* Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок [Текст] / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов – М.: Металлургия, 1995. - 272 с. 7. *Ефимов, В.А.* Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с. 8. *Эльдарханов, А.С.* Процессы кристаллизации в поле упругих волн [Текст] / А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1996. – 256 с. 9. *Скребцов, А.М.* О некоторых возможностях измельчения зерна металла отливки при внешнем воздействии на затвердевающий расплав [Текст] / А.М. Скребцов, Л.Д. Дан, А.О. Секачев и др. // Металл и литье Украины. 1996. - № 1-2. - С.30-34. 10. *Борисов, Г.П.* Давление в управлении литейными процессами [Текст] / Г.П. Борисов. – К.: Наукова думка, 1988.– 271 с. 11. *Абрамов, О.Б.* Кристаллизация металлов в ультразвуковом поле [Текст] / О.Б. Абрамов. – М.: Металлургия, 1972.- 256 с. 12. *Пилюшенко, В.Л.* Влияние виброимпульсного воздействия на условия затвердевания стали [Текст] / В.Л. Пилюшенко, А.Н. Смирнов. - В кн.: Черная металлургия. Наука – технология – производство.

М.: Металлургия, 1989. – С. 162-171.**13. Ульянов, В.А.** Кинетика формирования стальных слитков при пассивных и активных внешних воздействиях [Текст] / В.А. Ульянов, Е.М. Китаев, А.А. Скворцов. // Процессы литья. – 1993, №4. – С.38-43.**14. Скребецов, А.М.** Формирование структуры и конуса осаждения слитка или отливки при внешнем воздействии на поверхность расплава [Текст] / Л.А. Дан, В.Б. Килочкин // Металл и литье Украины. - 1994. - №7-8. - С.5-9.**15. Селиверстов В.Ю.** Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Днепропетровск: Системные технологии. - 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.**16. Селиверстов В. Ю.** Перспективы применения комбинированных способов управления структурообразованием литого металла [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко // Вісник ДДМА. - 2009. - № 1 (15). – С.267-273.**17. Селиверстов В.Ю.** Особливості розрахунку газодинамічного впливу на метал, що твердіє в кокілі [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теорія і практика металургії. – 2009. - № 1-2. – С. 41 – 45.**18. Селиверстов В.Ю.** Особенности расчета температурного поля отливки из сплава АК5М, затвердевающей в окрашенном чугуном кокиле [Текст] / В.Ю. Селиверстов // Теория и практика металлургии. – 2008. - № 5-6. – С. 32 - 36.**19. Третьяков А.В.** Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением: Справочник [Текст] / А.В. Третьяков, В.И. Зюзин // М.: Металлургия, 1973. – 224 с.

*Поступила в редколлегию 25.01.2012*

**УДК 621 941**

**Л. Д. МЕЛКОНОВ**, канд. техн. наук, доц., ВНУ им. В. Даля, Луганск

## **ИЗНОС И СТОЙКОСТЬ ПРИНУДИТЕЛЬНО ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАШЕЧНЫХ РЕЗЦОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВАЛКОВЫХ КАЛИБРОВ**

Досліджено процес зносу чашкового інструменту залежно від зміни режимів різання, кута схрещування осей заготовки інструменту, а також від діаметру інструменту. Дані рекомендації по оптимальних значень режимів різання, кута схрещування діаметру інструменту.

**Ключові слова:** знос, стійкість, критерій зносу, режими різання, діаметр інструменту.

Рассмотрен процесс износа чашечного инструмента в зависимости от изменения режимов резания, угла скрещивания осей заготовки и инструмента, а также от диаметра инструмента. Данные рекомендации по применению оптимальных значений режимов резания, угла скрещивания диаметра инструмента.

**Ключевые слова:** износ, стойкость, критерий износа, режимы резания, диаметр инструмента.

The process of wear of cup instrument is considered depending on the change of the cutting modes, corner of crossing of axes of purveyance and instrument, and also from the diameter of instrument. These recommendations on application of optimum values of the cutting modes, corner of crossing of diameter of instrument.

**Key words:** wear, firmness, criterion of wear, cutting modes, diameter of instrumen.

### **1. Введение**

Изменение характера взаимодействия рабочих поверхностей заготовки и инструмента, то есть замена трения скольжения (обычные проходные резцы) трением качения с некоторой долей проскальзывания (чашечные резцы), приводит к уменьшению температуры резания, увеличению длины активной части режущего инструмента, что значительно повышает стойкость инструмента.

### **2. Основное содержание работы**

Износ чашечного резца при обработке рабочих поверхностей валковых калибров происходит одновременно по передней и задней поверхностям. На передней поверхности образуется матовая полоска с незначительным углублением. Это полоска равняется ширине сходимой стружки и в дальнейшем