

19. Грабовый В. М., Дьяченко С. С., Волков Г. В. Метод управления структурой промышленных сплавов // Металл и литье Украины. – 1995. – № 11-12. – С. 41-45.
20. Влияние ЭГИО на структуру ближнего порядка расплава многокомпонентного сплава на основе алюминия / Ю. А. Базин, Б. И. Бутаков, А. П. Тишкин и др. // Расплавы. – 1992. – № 3. – С. 89-91.
21. Ершов Г. С., Позняк Л. А. Структурообразование и формирование свойств сталей и сплавов. – Киев: Наук. думка, 1993. – 281с.
22. Эволюция дислокационной структуры зоны термического влияния сварных соединений из стали 20 при ЭГИО / Р. И. Маркашова, В. С. Опара, Л. Я. Резникова и др. // Металлофизика и новейшие технологии. – 2000. – Т. 22, № 4. – С. 67-70.

Поступила 06.06.2011

УДК 669.141.246:62-412:594.1:542.65

**Е. Д. Таранов, А. С. Нурадинов, А. С. Эльдарханов\*,  
В. М. Дука**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

\*Научный центр «Новейшие материалы и технологии», Москва

### **ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ, СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОЛУНЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ**

*На алюминиевом сплаве АД31 изучено влияние вибрации на процессы кристаллизации, структурообразования и свойства полунепрерывнолитых заготовок. Установлено, что наложение вибрации на затвердевающую заготовку устраняет транскристаллизацию, измельчает макро- и микроструктуру заготовок и повышает свойства металла.*

**Ключевые слова:** вибрация, кристаллизация, структура, свойства, заготовка, сплав.

*На алюмінієвому сплаві АД31 вивчено вплив вібрації на процеси кристалізації, структуроутворення та властивості напівбезперервнолитих заготовок. Встановлено, що накладання вібрації на твердіючу заготовку усуває транскристалізацію, подрібнює макро- і микроструктуру заготовок та підвищує властивості металу.*

**Ключові слова:** вібрація, кристалізація, структура, властивості, заготовка, сплав.

*On aluminum alloy AD31 influence of vibration on processes of crystallization, structurization and property continuously preparations is studied. It is established that vibration imposing on hardening preparation eliminates transcrystallization, crushes macro- and a microstructure of preparations and raises properties of metal.*

**Keywords:** vibration, crystallization, structure, properties, preparation, an alloy

**А**нализ современных представлений о характере влияния вибрации на кристаллизующиеся сплавы показывает, что она играет важную роль в формировании кристаллической структуры и ее дисперсности при затвердевании непрерывнолитых заготовок [1]. Вместе с тем, результаты по измельчению кристаллической структуры получены, в основном, при низкочастотной вибрации затвердевающих стальных заготовок. Что касается формирования непрерывнолитых заготовок из

алюминиевых сплавов в условиях вибрационного воздействия, то здесь еще многое неясно из-за малого количества исследований по этому вопросу, а также их глубины. В настоящей работе изучено влияние вибрации на процессы кристаллизации и структурообразования полунепрерывнолитых заготовок из алюминиевого сплава АД31.

Объектом исследования были круглые заготовки диаметром 63 мм, отливаемые на лабораторной установке с медным водоохлаждаемым кристаллизатором. Сплав выплавляли в индукционной печи с графитовым тиглем. Температура заливки составляла 930 °С (расплав перегревали с целью гарантированного получения в заготовке транскристаллической структуры). Вибрацию накладывали на кристаллизатор, а также на кристаллизатор и заготовку с частотой 133 Гц и амплитудой 1 мм и ориентацией последней в вертикальной плоскости. Вибратор эксцентрикового типа крепили к плите кристаллизатора и затравке заготовки. Параметры вибрации (частота – 0-150 Гц, амплитуда – 0-3 мм) регулировали посредством изменения напряжения, питающего электродвигатель, и диаметра эксцентрика.

Для металлографического и термического анализов, а также определения плотности и механических свойств металла из различных зон заготовок вырезали темплеты и образцы. Образцы сплава АД31 травили на макро- и микроструктуру стандартными реактивами. Проявленные структуры фотографировали. Термический анализ образцов, вырезанных из центральных зон контрольной и опытных заготовок, производили на установке, состоящей из аналого-цифрового преобразователя N/USB 9162, хромель-алюмелевых термопар и специальной пробницы. Образец помещали в пробницу, расплавляли, перегревали до 760 °С и затем охлаждали до полного затвердевания в специальных условиях. Полученные кривые охлаждения анализировались согласно методике [2] при помощи компьютерной программы «Анализатор сплавов Thermex». Программа позволяет в автоматическом порядке разметить кривую охлаждения на участки, отвечающие за тепловыделения различных структурных составляющих анализируемого сплава. При этом предполагается последовательный характер образования структурных составляющих. Разрывные образцы испытывали по ГОСТу 1497-84.

Химический состав алюминиевого сплава АД31 приведен в табл. 1.

**Таблица 1. Химический состав сплава АД31**

Содержание элементов, %						
Al	Si	Mn	Mg	Ti	Cu	Fe
Основа	0,10	0,0083	0,010	0,012	0,006	0,26

Экспериментальные кривые охлаждения с расчетными кривыми темпа охлаждения приведены на рис. 1.

Данные по температурным интервалам выделения фаз, процентному их содержанию и скорости кристаллизации определены по трем кривым охлаждения и сведены в табл. 2.

Анализ приведенных данных позволяет говорить о следующем характере структурообразования. Основным фазовым превращением является образование первичных кристаллов Al  $\alpha$ -твердого расплава. Для исследуемых заготовок № 1-3 оно происходит соответственно в интервале температур 660-647, 660-644, 660-631 °С и занимает до 90 % фазового перехода, а предшествующая виброобработка способствует увеличению объемной доли этой фазы с одновременным увеличением интервала температур выделения (см. табл. 2). При этом переохлаждение с рекалесценцией составляет порядка 0,3-0,6 °С.

Следующим превращением, вероятно, является образование неравновесной вырожденной эвтектики  $\alpha$ -Al+FeAl<sub>3</sub> в интервале температур от 647 (644 и 631) и примерно до 590 °С. Содержание данного превращения составляет порядка 9-14 %.

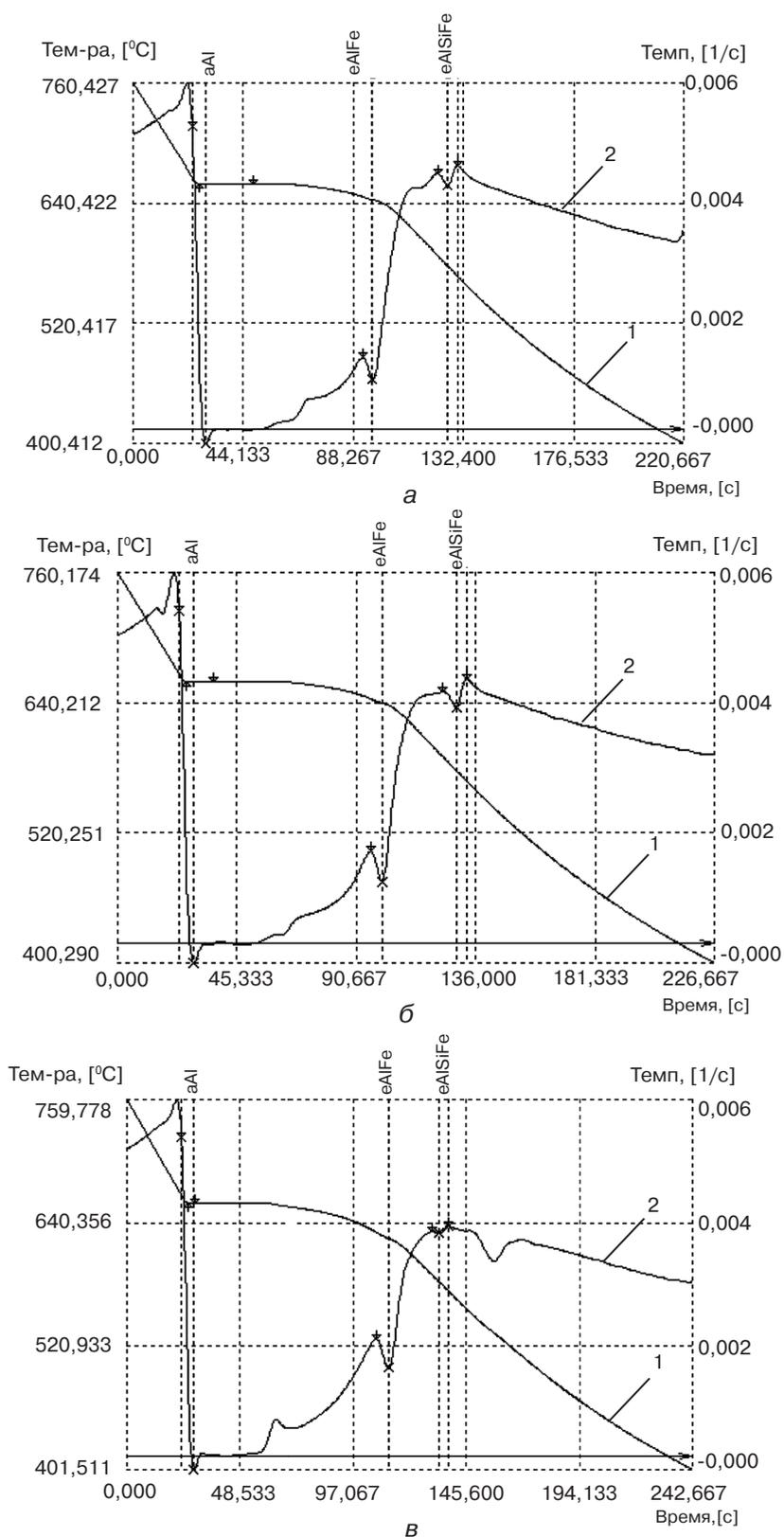


Рис. 1. Термограммы алюминиевого сплава АД31: 1 – кривая охлаждения, 2 – темп охлаждения; образцы № 1-2 (а), 2-2 (б), 3-2 (в)

**Таблица 2. Параметры кристаллизации фаз сплава АД31**

Номер образцов	Тип фазы	Интервал кристаллизации фаз, °С	Объемная доля фаз, %	Скорость кристаллизации фаз, %/с
1-2	$\alpha$ -Al	660-646	85,5	1,28
	$\epsilon(\alpha\text{-Al+FeAl}_3)$	647-588	14	0,47
	$\epsilon\text{AlSiFe}$	588-568	0,5	0,06
2-2	$\alpha$ -Al	660-644	86,9	1,24
	$\epsilon(\alpha\text{-Al+FeAl}_3)$	644-591	12,3	0,44
	$\epsilon\text{AlSiFe}$	591-568	0,8	0,09
3-2	$\alpha$ -Al	660-631	90,5	1,09
	$\epsilon(\alpha\text{-Al+FeAl}_3)$	631-590	9,3	0,41
	$\epsilon\text{AlSiFe}$	590-575	0,3	0,05

Примечание: образцы 1-2 – контрольный; 2-2 – вибрация кристаллизатора; 3-2 – вибрация кристаллизатора и заготовки

Последним превращением (в районе 590-568 °С) является образование низкотемпературной эвтектики на основе Al-Si-Fe. Содержание данного превращения составляет порядка 0,3-0,8 %.

Следует отметить, что вибрация мало повлияла на скорость кристаллизации как отдельных фаз, так и образцов в целом. По-видимому, это связано с идентичными теплофизическими условиями охлаждения центральных объемов контрольной и опытных заготовок, что подтверждается кривыми темпа охлаждения образцов, приведенными на рис. 1. Здесь необходимо отметить, что авторами сделано допущение о последовательной кристаллизации фаз (температурные интервалы кристаллизации фаз определены по кривым охлаждения, приведенным на рис. 1). На самом деле температурные интервалы кристаллизации фаз несколько смещены по отношению друг к другу, то есть имеет место «накладка». Однако это обстоятельство не изменяет очередность кристаллизации фаз. При этом температурные и временные интервалы кристаллизации фаз определяются их составом.

Вместе с тем, вибрация существенно повлияла на формирование кристаллической структуры заготовок, о чем свидетельствуют данные, представленные в табл. 3 и приведенные на рис. 2 макроструктуры осевых продольных темплетов заготовок. Наложение вибрации на затвердевающую заготовку приводит практически к полному устранению поверхностных и подкорковых дефектов (рис. 2, а, б), транскристаллизации, существенному сужению зоны столбчатых кристаллов и, соответственно, расширению зоны равноосных кристаллов, а также измельчению кристаллической структуры (рис. 2, табл. 3).

При воздействии вибрации на затвердевающий расплав происходит обламывание растущих ветвей дендритов на фронте затвердевания и в расплаве, что значительно увеличивает количество зародышей кристаллизации и приводит к измельчению макроструктуры опытных заготовок. Большой эффект получен при одновременном наложении вибрации на кристаллизатор и заготовку (заготовка № 3).

Дисперсность макроструктуры во многом определяет дисперсность микроструктуры сплава. Об этом свидетельствуют данные о среднем размере микрозерна в периферийной и центральной зонах заготовок (табл. 4).

Как видно, вибрация обеспечила формирование заготовок с дисперсной микроструктурой практически по всему поперечному сечению. Особенно это относится к совместной вибрации кристаллизатора и заготовки (заготовка № 3).

Структура периферийных зон всех заготовок представляет собой кристаллы  $\alpha$ -твердого раствора на основе алюминия и эвтектику, которая кристаллизовалась в междендритных пространствах. По мере продвижения к центру заготовок в структуре доля двойной  $\alpha\text{-Al+FeAl}_3$  и низкотемпературной AlSiFe эвтектики увеличивается.

В контрольной заготовке характер кристаллизации приводит к увеличению в ее

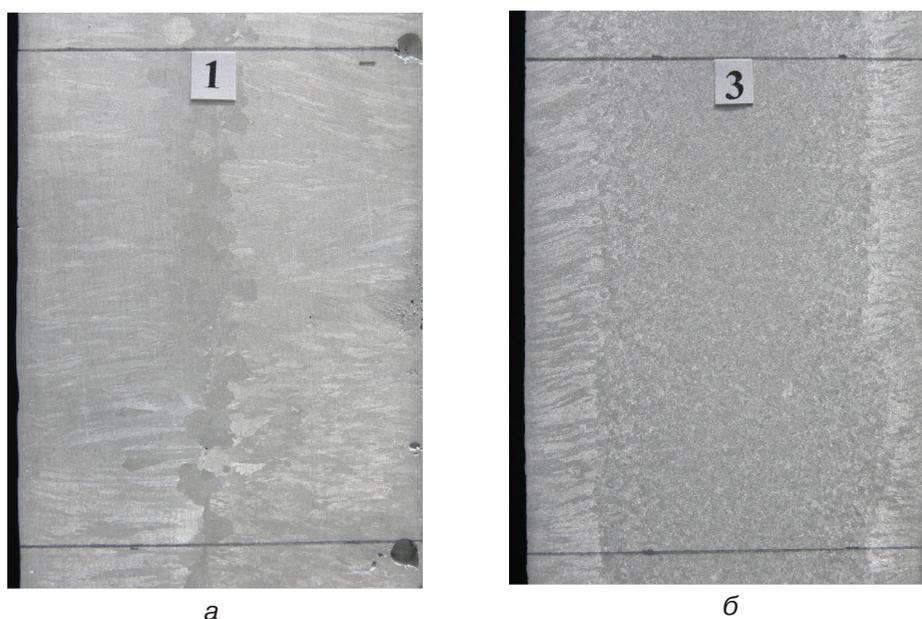


Рис. 2. Макроструктура заготовок из сплава АД31: а – контрольная; б – опытная

**Таблица 3. Параметры структуры заготовок сплава АД31 (до центра)**

Номер образцов	Зона столбчатых кристаллов, мм	Зона равноосных кристаллов, мм	Столбчатые кристаллы		Равноосные кристаллы	
			длина, мм	ширина, мм	длина, мм	ширина, мм
1	20-28	5,0-7,5	1,5-2,0	0,1-0,3	2-5	2-3
2	12-15	17,5-20,0	0,3-0,6	0,1-0,15	0,3-0,55	0,3-0,55
3	10-13	20,0-23,0	0,05-0,1	0,01-0,03	0,1-0,2	0,1-0,2

Примечание: 1 – контрольная заготовка; 2, 3 – опытные

**Таблица 4. Средний размер микрозерна по зонам заготовок**

Номер заготовок	Средний размер микрозерна, мкм	
	периферийная зона	центральная зона
1	380	187
2	178	140
3	160	90

центральной части количества двойной эвтектики, а также количества неметаллических включений и мелких пор. В заготовках, затвердевших под воздействием вибрации, отмечено более равномерное распределение эвтектической составляющей и неметаллических включений.

По мере роста эвтектической колонии  $\alpha$ -Al+FeAl<sub>3</sub> примеси уходят на ее периферию, где создаются условия для кристаллизации тройных эвтектик. Тройные эвтектики, содержащие железо, образуют скелетообразные кристаллы как в контрольной, так и опытных заготовках.

Все заготовки содержат небольшое количество неметаллических включений, которые в самых «загрязненных» местах соответствуют 1 баллу (ГОСТ 1778-70). Строчечные неметаллические включения отсутствуют.

Перечисленные выше изменения в макро- микроструктуре заготовок под воз-

действием вибрации обусловили изменения механических характеристик металла. Так, предел прочности возрос с 67,5 (заготовка № 1) до 86 МПа (заготовка № 3) при небольшом снижении пластичности (с 20,7 до 15,4 %). Предел прочности металла центральной зоны возрос с 55 до 99 МПа при том же снижении пластичности. Как видно, вибрация оказала более существенное влияние на формирование центральной зоны заготовки.

Вибрация обеспечила практически одинаковую плотность металла в периферийной и центральной зонах заготовок (2,707 и 2,702 г/см<sup>3</sup> соответственно). В контрольной заготовке плотность металла в периферийной зоне составляет 2,685 г/см<sup>3</sup>, а в центральной – 2,655.

Выполненные исследования показали, что наложение вибрации на затвердевающую полунепрерывнолитую заготовку из алюминиевого сплава АД31 устраняет поверхностные и подкорковые дефекты, транскристаллизацию, измельчает макро- и микроструктуру заготовки, повышает плотность и прочностные характеристики металла. Более эффективным является наложение вибрации на кристаллизатор и заготовку одновременно.



### Список литературы

1. Ефимов В. А., Эльдарханов А. С. Технологии современной металлургии. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
2. Смутьский А. А., Семенов А. И., Елов С. М. Термический анализ алюминиевых сплавов // Процессы литья. – 2002. – № 1. – С.10-16.

Поступила 09.06.2011

УДК 621.744.4

**В. С. Дорошенко, К. Х. Бердыев**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **КОНВЕЙЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО РАЗОВЫМ МОДЕЛЯМ В ПЕСЧАНЫХ ФОРМАХ, УПРОЧНЯЕМЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВАКУУМА\***

*Описаны конструкции конвейерных устройств, которые служат примерами реализации инновационных возможностей литья по разовым моделям и применения высокой текучести сухого песка с целью получения (в том числе в непрерывном режиме) ячеистых отливок. Рассмотрены примеры получения вакуумируемой формы при непрерывной формовке, а также форм на карусельной установке с заливкой металла при помощи магнитодинамического насоса.*

**Ключевые слова:** отливки, литье, конвейер, непрерывный, ЛГМ, ледяные модели.

\*Работа выполнена под научным руководством О. И. Шинского