

Mansurov Yu.N., Belov N.A., Aksenov A.A., Reva V.P.

INFLUENCE OF PRESSURE UPON STRUCTURE AND PROPERTIES OF ALLOYS WITH THE RAISED MAINTENANCE OF COMPONENTS

Mansurov Yu.N., Russia, Far Eastern Federal
University, Vladivostok

Belov N.A., Russia, National Research University
"MIS&A", Moscow

Aksenov A.A., Russia, Far Eastern Federal University,
Vladivostok

Reva V.P., Russia, Far Eastern Federal University,
Vladivostok

Abstract

Use of high technologies will allow the enterprises of the industry to become competitive in the internal and external markets. On the Far East the enterprises of various branches of the economy which number rapidly grows are concentrated. Unique places are taken by ship-repair and ship-building enterprises which require the new scientific decisions aimed at providing high quality and minimizing product costs. In present article the new solutions on use of traditional alloys with a major aluminum element, which acts as an base and as an alloy element are proposed. Scientific solutions of increase of properties of alloys due to molding under pressure and application of isostatic pressing are submitted. And both technologies provide and are directed on increase of density of castings and, respectively, on decrease in their porosity that provides additional increase of mechanical properties of alloys with aluminum.

Keywords: the eutectic alloys, porosity, density, operational properties, molding with excessive pressure, isostatic pressing, structure and properties.

Введение.

7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 2015

Отрасли экономики, основанной на знаниях, требуют все большего количества новых металлических материалов, которые существенно должны отличаться по своим эксплуатационным свойствам от существующих. При этом потребителей не интересует вопрос природы возникновения материалов, источников и качества сырья, их интересуют только улучшенные свойства материалов. В свою очередь, разработчики сплавов, пытаясь обеспечить улучшенный комплекс эксплуатационных свойств, разрабатывают, чаще всего сплавы эвтектического типа, где эвтектика, как правило, многофазная и она обеспечивает хорошее сочетание технологических и эксплуатационных свойств [1-5]. С другой стороны, сплавы эвтектического типа имеют повышенную пористость, что, в свою очередь, снижает механические свойства сплавов [6-8]. В данной работе была предпринята попытка уменьшения пористости сплавов за счет применения внешнего давления, поскольку известно [3], что избыточное давление или изостатическое прессование слитков дает существенное увеличение свойств материалов и изделий из них. В работе рассмотрены вопросы влияния избыточного давления и горячего изостатического прессования на пористость и механические свойства сплавов на основе алюминия с повышенным содержанием примесей, а также на первичные эвтектические сплавы алюминиды титана. Выбор объектов исследования связан с тем, что в сплавах алюминия с повышенным содержанием примесей образуются многофазные эвтектики, следовательно, представляла интерес степень пористости этих сплавов, ее влияние на свойства и количественные показатели возможности повышения свойств за счет уменьшения пористости, поскольку качественно известно, что некоторые из примесей оказывают положительное влияние на свойства вторичных сплавов [8]. Вторую группу сплавов с первой объединяют эвтектические составляющие. Поэтому и для них важны также количественные показатели снижения пористости и повышения свойств. Все вместе позволит обогатить статистику количественного металловедения.

Использованные материалы и методики исследования

В качестве объектов исследования выбраны сплавы на основе системы Al – Mg и Ti - Al. Выбор первой системы связан с тем, что на Дальнем Востоке приоритетной отраслью экономики являются судоремонт и судостроение, на предприятиях которой в большом объеме используют коррозионностойкие магнелии с высоким уровнем

7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 2015

механических свойств. Однако достаточный уровень эксплуатационных свойств обеспечен путем использования высокочистых первичных металлов и сплавов, что приводит к удорожанию продукции, снижение стоимости которой можно обеспечить за счет использования технического алюминия или отходов алюминиевых сплавов.

Выбор второй системы связан с необходимостью повышения эксплуатационных свойств и долговечности деталей ответственного назначения, типа винтов плавающих объектов. Использование алюминидов титана обеспечивает решение не только этой проблемы, но и позволяет внедрять наукоемкие отечественные технологии на судостроительные и судоремонтные предприятия региона.

В работе использованы литье под давлением и горячее изостатическое прессование, практически все методы структурного анализа, стандартные методы определения механических свойств, оценки плотности и пористости исследованных сплавов.

Плавку алюминиево-магниевых сплавов проводили в температурном интервале 720-740 °С. Перед разливкой при температуре 700 °С расплав обрабатывали гексахлорэтаном, выдерживали в течение 10-15 минут, после чего заливали в металлические формы, имеющих комнатную температуру. Подпитку отливки струей жидкого металла проводили до окончания полного завершения процесса кристаллизации.

Сплав алюминидов титана были приготовлены в виде отливок в вакуумной плавно-заливочной установке с медным водоохлаждаемым тиглем. Образцы этих сплавов были подвергнуты термообработке (включая ГИП-обработку), после чего была экспериментально определена их плотность (методом взвешивания на аналитических рычажных весах на воздухе и воде).

Расплав жидкого алюминия после рафинирования и модифицирования известными способами, заливали в установленный в автоклаве кокиль. После заливки создавали избыточное давление до 5 атм. Максимальный эффект уменьшения газовой пористости достигается при быстром заполнении автоклава воздухом. Соотношение времени от конца заливки формы (кокиля) до начала приложения избыточного давления (t_1) и длительности времени от начала приложения избыточного давления до достижения максимального значения (t_2) составляет 1 : (1-1,5). Минимальное отношение t_1 : t_2 достигается при максимальном объеме литейной формы и минимальном объеме автоклава. Максимальный эффект

7th International Scientific and Practical Conference «Science and Society» 2015

достигается, когда объем формы составляет 40-60% от внутреннего объема автоклава.

Образцы, вырезанные из отливок, полученных в вакуумной плавильно-заливочной установке с медным водоохлаждаемым тиглем, были подвергнуты термообработке. ГИП-обработку образцов проводили в атмосфере аргона на установке с графитовым нагревателем при давлении 170 МПа в течение 3 часов. Температуру ГИП-обработки варьировали в пределах от 1080 до 1220°C. Последующий отжиг проводили в муфельной печи СНОЛ в воздушной атмосфере при 800°C в течение 3 часов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Известно [4-6], что с увеличением концентрации примесей в алюминиевых сплавах увеличивается объемная доля избыточных фаз эвтектического происхождения, следовательно, должна повышаться и доля эвтектической пористости [5 - 8]. Это, в свою очередь, может сказываться на снижении механических свойств алюминиевых сплавов, как, например, сплавов системы Al – Mg с повышенным содержанием примесей.

Для установления степени влияния эвтектической пористости на структуру и механические свойства приготовлены сплавы (табл. 1), отвечающие по составу литейным алюминиево-магниево-магний (содержание магния в пределах 4 - 8%). Сплавы 1,4,7-9 (табл. 1) отливали в ИМЕТ им.А.А.Байкова в печи фирмы “LEYBOLD-HERAEUS” с избыточным внешним давлением $P=0,7\text{атм.}$. Кроме того, заготовки этих сплавов, вырезанные из кокильной отливки диаметром ~55мм, были подвергнуты всестороннему газовому изостатическому прессованию на газостате в ВИАМ. Экспериментально пористость определяли методом гидростатического взвешивания на образцах для испытаний на растяжение.

В табл. 2 представлены механические свойства, расчетные ρ_T и экспериментальные ρ_E значения плотности сплавов алюминия с 4,6,8%Mg и сплава Al + 6%Mg с примесями на различных уровнях (сплавы 1,4,7-9 по табл.1). Содержание магния варьировали в пределах их концентрации в литейных сплавах, примесей – в пределах их содержания в ломе и отходах по нижнему и верхнему уровням.

Из результатов механических испытаний, анализа плотности и пористости П двойных сплавов (табл. 2) следует, что изостатическое прессование способствует повышению механических свойств и уменьшению пористости сплавов.

**7th International Scientific and Practical Conference
«Science and Society» 2015**

Анализ структуры излома (рис. 1) подтверждает этот вывод. Так, если в изломе сплава Al + 6%Mg (рис. 1а) наблюдали участки, соответствующие порам (рис. 1а показаны стрелками), то в структуре излома того же сплава, подвергнутого изостатическому прессованию, характерный для пор рельеф отсутствовал (рис. 1б).

Таблица 1.

Составы алюминиево-магниевого сплава
с повышенным содержанием примесей.

№ сплава	Концентрация, %								
	Mg	Si	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb	Ni	Mn
1.	4	-	-	-	-	-	-	-	-
2.									
3.	4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3
4.	4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,5	0,6
5.	8	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3
7.	8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,5	0,6
8.	6	-	-	-	-	-	-	-	-
9.	6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3
10.	6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,5	0,6

Таблица 2.

Влияние плотности на механические свойства литых магналиев

Условный номер плавки	Плотность, пористость и механические свойства															
	рп, г/см	К					Д					И				
		рз, г/см	П, %	σв, МПа	σ0,2, МПа	δ, %	рз, г/см	П, %	σв, МПа	σ0,2, МПа	δ, %	рз, г/см	П, %	σв, МПа	σ0,2, МПа	δ, %
1	2,653	2,631	0,81	204	88	28	2,638	0,56	193	100	28	2,651	0,05	209	92	29
4	2,609	2,580	1,07	286	115	13	2,590	0,88	232	144	14,5	2,600	0	338	147	26
7	2,628	2,600	0,92	263	110	27,5	2,605	0,55	233	123	26	2,618	0	299	128	29
8	-	2,645	-	226	134	5	2,648	-	223	129	4,8	2,671	-	264	138	5,5
9	-	2,653	-	226	156	2	2,658	-	186	155	1,9	2,689	-	249	146	2,1

Структура излома сплава Al + 6%Mg с наибольшим содержанием примесей (рис. 2а), отлитого в кокиль, отличается от структуры того же сплава, подвергнутого изостатическому прессованию (рис. 2б), меньшей дисперсностью. Это отличие является, по всей видимости, результатом уменьшения размеров включений избыточных фаз за счет их растворения при изостатическом прессовании в α(Al) - твердом растворе (и, возможно, их дробления). В то же время излом сплавов соответствует хрупкому разрушению. Наблюдаемое после изостатического прессования повышение плотности (а значит и снижение пористости) сплавов с примесями не оказывает влияния на механические свойства исследованных сплавов.

**7th International Scientific and Practical Conference
«Science and Society» 2015**

Примечания: 1. Условный номер плавки соответствует составу сплавов в табл.1. 2. Литье: К - в кокиль; Д - в кокиль с избыточным внешним давлением; И - в кокиль с изостатическим прессованием.

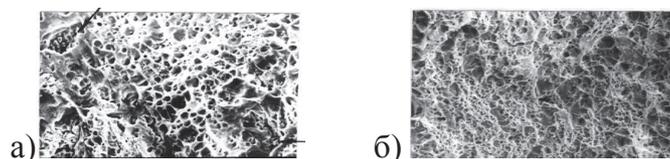


Рис. 1. Структура поверхности разрушения сплава, РЭМ, х500:
а – литье в кокиль; б - литье в кокиль с последующим изостатическим прессованием

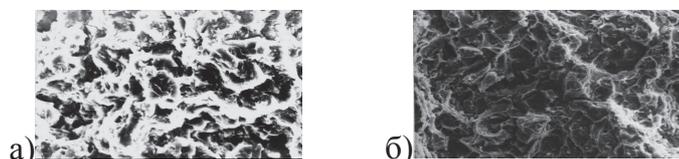


Рис. 2. Структура поверхности разрушения сплава с примесями, РЭМ, х500: а – литье в кокиль; б - литье в кокиль с последующим изостатическим прессованием

Таким образом, литье под избыточным газовым давлением ($P=0,7\text{атм}$) практически не повлияло на плотность (пористость) отливок всех сплавов. Вероятно, для увеличения плотности отливок и некоторого улучшения механических свойств необходимо применить литье с кристаллизацией под давлением или приложить большее избыточное внешнее газовое давление ($P>2-5\text{атм}$).

Интерес представляли сплавы первичные, с большим содержанием эвтектики, поскольку, рассуждая далее, можно сделать вывод о том, что и вновь разрабатываемые литейные сплавы, составы которых подбираются таким образом, чтобы, для обеспечения повышенных технологических свойств, было повышенное содержание объемной доли эвтектик, могут иметь также пониженные механические свойства. К группе таких сплавов относятся литейные сплавы на основе алюминидов титана $\text{TiAl} (\gamma)$.

Литейные сплавы на основе алюминидов титана $\text{TiAl} (\gamma)$ представляются одними из наиболее перспективных материалов для получения, например, лопаток газотурбинных двигателей нового поколения.

Особенностью γ -сплавов является высокая чувствительность фазового состава и структуры (следовательно,

**7th International Scientific and Practical Conference
«Science and Society» 2015**

и свойств) даже к небольшим изменениям концентраций легирующих элементов и к параметрам технологического процесса, в частности, к режиму термообработки.

Отливки γ -сплавов практически всегда подвергаются горячему изостатическому прессованию (ГИП). Поэтому целесообразно формировать структуру именно на стадии ГИП-обработки.

Промышленные γ -сплавы, содержат, как правило, различные легирующие добавки (Nb, Cr, Mo, Mn, W, V, Fe и др.), которые также могут образовать эвтектические структурные составляющие с большим количеством фаз, участвующих в эвтектическом или эвтектических превращениях. Поэтому для этой группы сплавов представляет интерес изучение влияния изостатического прессования на структуру.

В табл. 3 представлены составы исследованных модельных сплавов для изостатического прессования.

В литом состоянии структура сплава представлена на рис. 3а. Структура этого же сплава после горячего газостатического прессования представлена на рис. 3б.

Количественный анализ фазового состава показал, что причиной пористости, как и предполагалось, являются эвтектические структурные составляющие (табл. 4).

Таблица 3.

Составы экспериментальных сплавов

Элементы		Al	Nb	Mo	V	C	H	N	O
Исходные слитки	Мол.%	43,5	4,0	1,0	0,1	0,03	0,12	0,01	0,15
	Масс.%	28,6	9,3	2,4	0,03	0,01	0,003	0,005	0,06
Отливки	Мол.%	41,3	4,4	1,1	–	–	–	–	–
	Масс.%	26,7	9,7	2,5	–	–	–	–	–

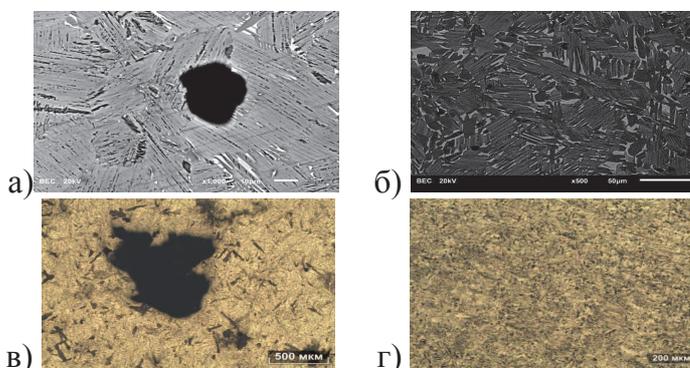


Рис. 3. Влияние ГИП на микроструктуру и пористость экспериментальных сплавов: а) микроструктура сплавов в

**7th International Scientific and Practical Conference
«Science and Society» 2015**

отожженном состоянии; б) микроструктура сплава после ГИП; в) пористость сплава в литом состоянии; г) пористость сплава после ГИП

В тоже время в сплавах после ГИП не обнаружены поры, а их микроструктура более дисперсная, по сравнению с литым состоянием.

Таблица 4
Состав фаз в экспериментальных модельных сплавах

Фазы	Ti		Al		Nb		Mo	
	Мас.%	Мол.%	Мас.%	Мол.%	Мас.%	Мол.%	Мас.%	Мол.%
$\alpha + \gamma$	61,79 - 63,2	51,00 - 51,55	26,84 - 25,2	41,23 - 39,15	9,37 - 9,26	4,10 - 4,05	2,00 - 2,38	0,85 - 1,01
β	62,7 - 63,2	51,36 - 51,55	20,32 - 20,4	32,64 - 32,71	11,00 - 10,9	4,84 - 4,83	5,99 - 5,61	2,58 - 2,41
γ	58,9 - 59,0	49,81 - 49,86	30,1 - 30,0	45,29 - 45,13	9,57 - 9,56	4,19 - 4,21	1,39 - 1,40	0,59 - 0,58

Необходимо отметить, что благоприятная структура сплава получена ГИП при температурах выше эвтектоидного превращения в сплавах, в фазовой области $\alpha + \beta + \gamma$. Поэтому ГИП-обработка сплавов такого типа возможна для деталей, которые в последующем не будут нагреваться выше температур эвтектоидного превращения. Параметры обработки конкретных деталей их алюминидов титана можно определить после изучения многокомпонентных диаграмм состояния и их изо- и политермических разрезов, что представляет интерес для дальнейших исследований системы Ti – Al – Nb – Mo.

Выводы. 1. Установление количественных параметров малой пористости и, соответственно, механических свойств алюминиево-магниевого сплава с повышенным содержанием примесей, отлитых в кокиль с избыточным внешним давлением, подвергнутых изостатическому прессованию позволило предприятиям Дальнего Востока рекомендовать литье деталей с избыточным внешним давлением не менее 2 атмосфер, либо применить горячее изостатическое прессование выше температур неинвариантных фазовых равновесий.

2. На примере сплавов на основе алюминидов титана установлено, что общий характер микроструктуры сплавов после вакуумного отжига и после ГИП-обработки при 1250 °С примерно одинаковый: эвтектоидные колонии $\gamma + \alpha_2$ и относительно компактные частицы фаз β и γ . Однако вакуумный отжиг в отличие от ГИП не приводит к устранению литейной пористости.

**7th International Scientific and Practical Conference
«Science and Society» 2015**

Работа выполнена в соответствии с планом совместной деятельности между НОЦ «НАНО» каф. МВ и ТМ ИШ ДВФУ и Инжиниринговым центром каф. ТЛП НИТУ «МИСиС» в рамках государственного задания с регистрационным номером 3.8646.2013, Владивосток, кампус ДВФУ, Москва, Ленинский проспект, 6

References

- [1]. Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh metallov i splavov. – 4-e izd., M.: MISiS, 2005, 432 s.
- [2]. Polmear I.J. Light Metals: From Traditional Alloys to Nanocrystals, 4th edition. Elsevier, 2005. 421 p.
- [3]. Belov N.A. Diagrammy sostojanija trojnyh i chetvernyh sistem (uchebnoe posobie dlja vuzov) – M.: MISiS, 2007. 360 s.
- [4]. Yan C., Lifeng W., Jianyue R. // Chinese Journal of Aeronautics, 2008. Vol. 21. P.578.
- [5]. Muasavi Abarghoule S.M.R., Seved Reihani S.M. // Materials and Design. 2010. Vol. 31. P. 2368.
- [6]. Beffort O., Long S. Cayron C., Kuebler J., Buffat P. – A. // Composites Science and Tehnolodgy, 2007. Vol. 67. P. 737.
- [7]. Kolachev B.A., Il'in A.A. Sistema Ti – Al – Mo kak osnova diagrammy fazovogo sostava otozhzhennyh titanovyh splavov. Izv. Vuzov. Cv. Met., 2005, №6, S.56-61.
- [8]. Mansurov ju.n. Innovacii v metallurgii. – tashkent «spectrum scope», 2008. 196 s.