

УДК 539.374.

Г. Г. Крушенко

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И БЛОКИРОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРИСТОСТИ НА СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Описан механизм образования пористости в отливках из алюминиевых сплавов, меры предупреждения их образования и способы блокирования их отрицательного воздействия на свойства отливок.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, отливки, пористость.

Литейные сплавы на основе алюминия [1] широко применяются для получения отливок машиностроительного профиля [2], включая корпусные детали силовых агрегатов авиационной [3] и космической техники [4], вследствие того, что эти сплавы характеризуются высокими технологическими [5] и механическими свойствами [6], гарантирующими надежность их работы в сложно-нагруженных условиях, например, в составе топливо-насосных агрегатов (рис. 1, 2) ЖРД [7; 8].



Рис. 1. Литая деталь турбонасосного агрегата [4] (<http://www.yuzhmash.com/ru/product.php?page=uzliavto>)

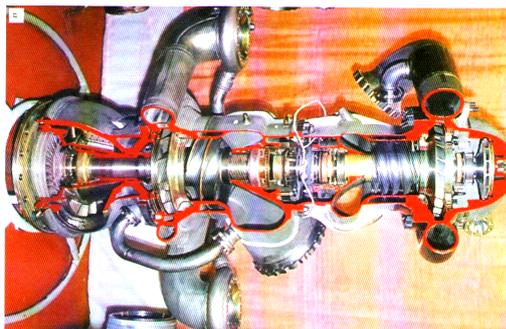


Рис. 2. Основной турбонасосный агрегат ЖРД в сборе [8]

В основном с этой целью применяют сплавы на основе системы Al-Si и Al-Mg с легированием их различными упрочняющими добавками [9].

Однако известно, что алюминиевые сплавы в процессе их приготовления в той или иной степени растворяют водород [10], содержание которого в жидком металле определяется температурно-временными режимами плавки и обработки расплава средствами, препятствующими насыщению его водородом [11]. Обычно дегазация производится введением в расплав

хлорсодержащих соединений, например, хлористого магния $MnCl_2$ или более эффективного гексахлорэтан C_2Cl_6 . В результате взаимодействия этих соединений с водородом образуются пары HCl , которые улетучиваются из расплава. Существуют и другие средства и способы уменьшения содержания водорода в расплаве (прямая продувка хлором или азотом, обработка током, ультразвуком и др.). Эффективный способ повышения плотности отливок без засорения их продуктами взаимодействия дегазаторов с водородом и футеровкой плавильных агрегатов заключается в создании направленной кристаллизации металла в форме – от нижних слоев отливки к верхним, в результате охлаждения низа кокиля [12].

Растворенный в жидком металле водород в процессе кристаллизации отливок, получаемых из алюминиевых сплавов с узким интервалом кристаллизации (температура от начала до окончания кристаллизации – от линии ликвидуса до линии солидуса, к которым относятся сплавы системы Al-Si (рис. 3) [13] в интервале содержания кремния от 8,0 до 11,5 % (например, АК9ч, АК7ч и др.), образует в их объеме рассеянную пористость.

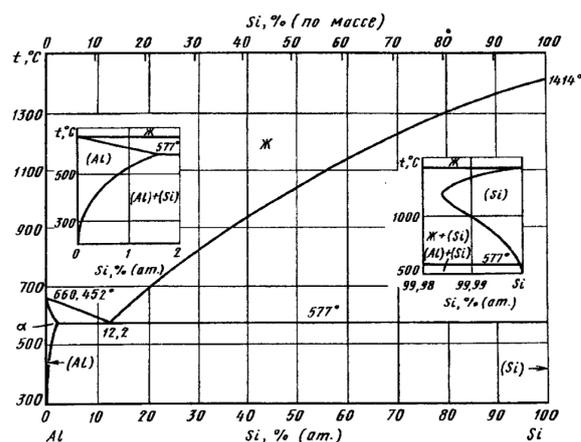


Рис. 3. Диаграмма состояний Al-Si [13]

Оценка пористости отливок (то есть количество и размеры пор) производится в условных баллах (см. таблицу, рис. 4) при изучении рентгеновских пленок, экспонированных с помощью рентгеновского просвечивания при наложении на них вырезанных из детали-представителя темплетов (плоские образцы). При этом усадочная рыхлость или центральная пористость исключается.

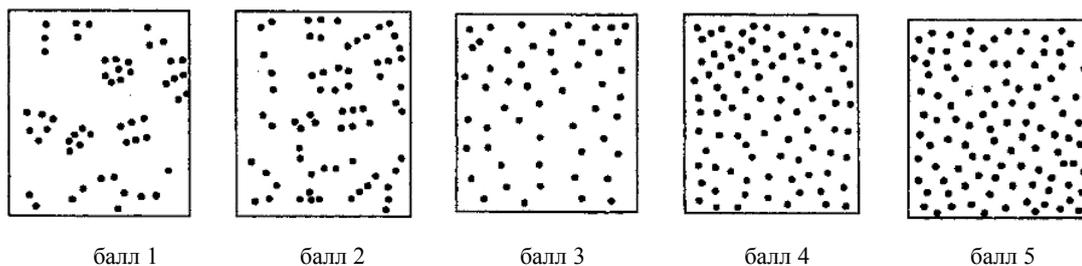


Рис. 4. Пористость по шкале ВИАМ

Оценка пористости отливок [1]

Пористость, балл	Диаметр пор, мм	Количество пор на 1 см ² , шт.
1	до 0,1	до 5
2	до 0,1	до 8
	до 0,2	до 2
3	до 0,3	до 12
	до 0,5	до 3
4	до 0,5	до 14
	до 1,0	до 6
5	до 0,5	до 15
	до 1,0	до 8
	> 1,0	до 2

Пользоваться эталонами степени пористости можно независимо от марки сплава. В основном в производство пропускаются отливки с пористостью не больше 1 и 2 баллов, но на деталях, работающих в условиях высоких давлений, пористость вообще не допускается. Установлено, что плотность отливок из узкоинтервальных алюминиевых сплавов отражает наличие в них несплошностей, и их количество и величина влияют на уровень механических свойств литых деталей.

Присутствующие в алюминиевых отливках поры уменьшают плотность металла, что приводит к снижению их механических свойств [14]. Например, на сплаве АК9ч (8,0–10,5 % Si; 0,17–0,30 % Mg; 0,20–0,50 % Mg; rem. – Al) нами установлено, что при плотности отливок (определяемой методом гидростатического взвешивания) $\rho = 2564 \text{ кг/м}^3$ временное сопротивление составило $\sigma_b = 235 \text{ МПа}$, относительное удлинение $\delta = 5,0 \%$, тогда как при $\rho = 2575 \text{ кг/м}^3$ σ_b повысилось до 260 МПа (на 10,4 %), δ – до 5,6 % (на 12,0 %), а при $\rho = 2658 \text{ кг/м}^3$ σ_b повысилось до 275 МПа (на 17,0 %), а δ – до 8,2 % (на 64,0 %) [15; 16].

При литье деталей из сплавов с широким интервалом кристаллизации, к которым относятся сплавы системы Al-Mg (рис. 5) [13] в интервале содержания магния от 6,0 до 10,5 % (например, АЛ8, АМг10ч и др.), вследствие кристаллизации металла по так называемому «объемному» механизму отливки оказываются пораженными междендритной усадочной пористостью (рис. 6) [17], что снижает их прочностные показатели и герметичность. Этот дефект обычно возникает при медленной скорости кристаллизации сплава, например, при литье в песчано-

глинистые формы. При этом в усадочные пустоты выделяется и растворенный в расплаве водород.

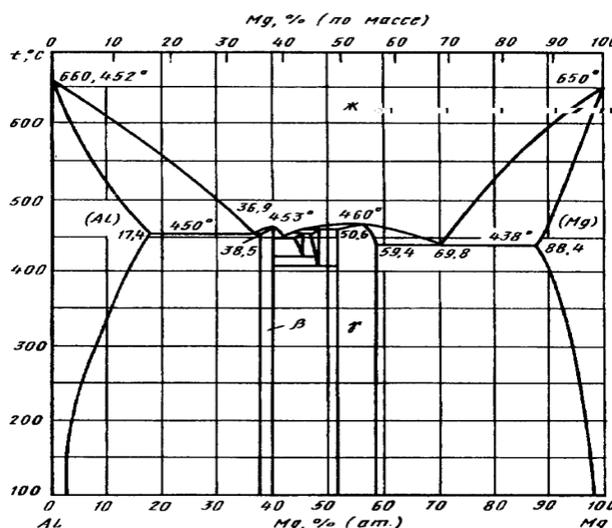


Рис. 5. Диаграмма состояний Al-Mg [13]

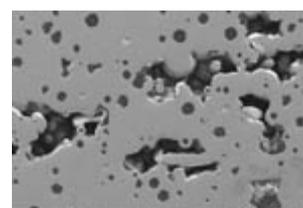


Рис. 6. Усадочная пористость (http://www.lityo.com.ua/li/s_41.html)

Известным металловедом академиком А. А. Бочваром на основании предложенной им теории кристаллизации сплавов под давлением совместно с профессором А. Г. Спасским, в период их работы в Московском институте цветных металлов и золота, была разработана и внедрена в производство технология автоклавного литья деталей авиационных двигателей из алюминиевых сплавов. При этом собранную форму устанавливают в металлическую емкость, в крышке которой находится отверстие, совпадающее с литниковой чашей в литейной форме. После заливки металла в форму быстро закрывают крышку в металлической емкости и подают в нее сжатый воздух под давлением 4...5 атм (1 атм = 0,10133 МПа = 1,0333 кгс/см²) [18].

Давление на жидкий металл в процессе кристаллизации усиливает питание расплавом затвердевающих междендритных пустот, в результате чего получают плотные отливки, механические свойства и герметичность которых удовлетворяют требованиям технической документации.

Существует технология повышения плотности уже отлитых деталей, что достигается пропиткой имеющихся в них усадочных пустот различными веществами с последующим их затвердеванием [19; 20]. В качестве пропитывающего вещества зачастую применяют бакелитовый лак. Пропитка выполняется в автоклаве под давлением с последующей промывкой пропитанных деталей этиловым спиртом и сушкой.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ 1583–93 Сплавы алюминиевые литейные. Минск, 1993.
2. Захаров А. М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. М. : Металлургия, 1980.
3. Starke E. A. Jr., Staley J. T. Application of modern aluminium alloys to aircraft // *Progress in Aerospace Sciences*, 1996. Vol. 32. Issue 2–3. P. 131–172.
4. Крушенко Г. Г., Кашубский А. Н. Применение рентгенографии для выявления и заварки дефектов в отливках ответственного назначения из алюминиево-кремниевых сплавов // *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2010. № 8. С. 47–49.
5. Корольков А. М. Литейные свойства металлов и сплавов. 2-е изд., доп. М. : Наука, 1967.
6. Строганов Г. Б. Высокопрочные литейные алюминиевые сплавы. М. : Металлургия, 1985.
7. Технология производства жидкостных ракетных двигателей / В. А. Моисеев, В. А. Тарасов, В. А. Колмыков и др. ; под ред. В. А. Моисеева, В. А. Тарасова. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.
8. Прочность и ресурс ЖРД / Н. А. Махутов, В. С. Рачук, М. М. Гаденин и др. ; под ред. Н. А. Махутова и В. С. Рачука. М. : Наука, 2011.
9. Альтман М. Б., Стромская Н. П. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов. М. : Металлургия, 1984.
10. Чернега Д. Ф., Бялик О. М. Водород в литейных алюминиевых сплавах. Киев : Техніка, 1972.
11. Постников Н. С., Мельников А. В., Лебедев В. М. Плавка алюминиевых сплавов. М. : Металлургия, 1971.
12. Крушенко Г. Г. Автоматическое регулирование охлаждения литейной металлической формы // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2008. № 4. С. 105–106.
13. Вол А. Е. Строение и свойства двойных металлических систем. М. : Госиздат физико-математической литературы, 1959. 756 с.
14. Porosity reduction and mechanical properties in die engine blocks / M. A. Irfan, D. Schwam, A. Karve, R. Ryder // *Materials science and engineering*. 15 February 2012. Vol. A 535. P. 108–114.
15. Крушенко Г. Г., Василенко З. А. Плотность и механические свойства силуминов, термически обработанных в жидком состоянии // *Расплавы*. 1988. Т. 2. Вып. 6. С. 67–69.
16. Влияние положения в форме литых испытательных образцов на механические свойства алюминиевых сплавов / З. А. Василенко, Г. Г. Крушенко, Б. А. Балашов, А. Н. Тимофеев // *Проблемы прочности*. 1992. № 1. С. 80–82.
17. Gunasegaram D. R., Farnsworth D. J., Nguyen T. T. Identification of critical factors affecting shrinkage porosity in permanent mold casting using numerical simulations based on design experiments // *J. of Materials Processing Technology*. 2009. Vol. 209. P. 1209–1219.
18. Спасский А. Г. Основы литейного производства. М. : Металлургиздат, 1950.
19. Impregnation improves casting quality // *Vacuum*. 1953. Vol. 3. Issue 1. P. 94.
20. Jolly M. Castings // *Comprehensive structural integrity*. 2003. Vol. 1. P. 377–466 (1.18.6.3. Polymer impregnation).

G. G. Krushenko

EXCLUSION OF FORMATION AND BLOCKAGE OF THE NEGATIVE EFFECT OF OPENNESS ON PROPERTIES OF ALUM ALLOYS CASTINGS

The author describes a mechanism of buildup of openness in alum alloys castings, measures for its exclusion and means of blockage of its negative effect on properties of castings.

Keywords: alum alloys, castings, openness.

© Крушенко Г. Г., 2012