

A. E. Mikheyev, A. V. Girn, D. V. Orlova, E. V. Vakhteev, T. V. Trushkina

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON ELEMENT STRUCTURE OF MDO COVERINGS OF ALUMINIUM AND TITANIC ALLOYS

Researches on definition of element structure of MDO of coverings of aluminum and titanic alloys are performed. Dependence of chemical composition of covering on technological modes and various compositions of electrolytes is traced back.

Keywords: micro-arc oxygenating, titanic alloys, aluminum alloys, element analysis.

© Михеев А. Е., Гирн А. В., Орлова Д. В., Вахтеев Е. В., Трушкина Т. В., 2012

УДК 621.74.04.01

Л. А. Оборин, В. А. Колмыков, В. П. Назаров

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ГАЗОСТАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛИТЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Рассмотрены особенности технологии высокотемпературной газостатической обработки литых корпусных деталей, изготовленных из жаростойких и жаропрочных сталей и сплавов. Приведены результаты исследований и оптимальные режимы обработки.

Ключевые слова: температура, газ, давление, время.

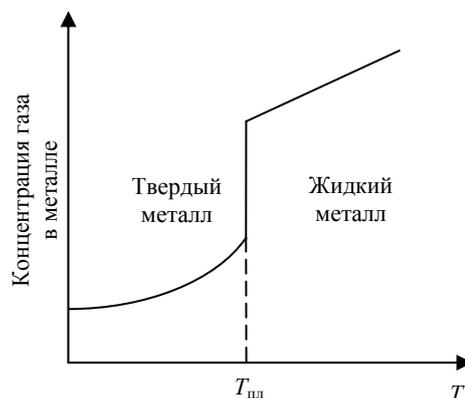
Корпусные детали турбокомпрессорных агрегатов многих современных жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) изготавливаются из жаростойких сталей ВНЛ-1, ВНЛ-6 и жаропрочного сплава ВЖЛ-14 методом точного литья по выплавляемым моделям. В связи с напряженными температурными и динамическими параметрами рабочей среды к отливкам предъявляются высокие требования не только по прочности и тепловой стойкости, но и герметичности (газонепроницаемости) конструкции. Для тонкостенных деталей газового тракта это требование особенно трудно выполнимо, поскольку в материале отливки имеются раковины, рыхлоты, пустоты и другие микронеплотности, нарушающие герметичность стенок корпуса в процессе испытаний и эксплуатации двигателя.

Уменьшить или исключить раковины изделия в процессе литья не всегда удается. Поэтому применяют различные методы обработки отливок с целью удаления или уменьшения размеров и количества раковин в отлитом изделии. К наиболее эффективным из них следует отнести:

- высокотемпературную газостатическую обработку (ВГО);
- покрытие поверхности отливки специальными герметиками.

Исследовали влияние ВГО на газонепроницаемость изделия. Металлографический анализ показал, что раковины в отливке имеют размер ~ 1 мм. Как известно, металлы в расплавленном и твердом состояниях заметно растворяют газы. Основными растворяемыми газами являются водород H_2 , кислород O_2 и, в малой степени, азот N_2 . Например, растворимость водорода в никеле достигает $3-15 \text{ см}^3$ на 100 г

[1]. Это часто наблюдается в сплавах металлов на основе железа Fe и никеля Ni (элементы 8-й группы периодической системы Д. И. Менделеева) [1]. Растворимость водорода в расплаве металлов выше, чем в твердом металле, при этом растворимость скачкообразно уменьшается при затвердевании расплавленного металла, как показано на рисунке.



Растворимость газов в металлах в зависимости от температуры

Поэтому при затвердевании расплавленного металла пузырьки выделившегося газа иногда не успевают удалиться в расплав и захватываются затвердевшим металлом, образуя раковины, заполненные газом.

При больших скоростях кристаллизации пустоты, как правило, сферические, а при медленных они имеют вытянутую форму вдоль направления кристалли-

зации, что и наблюдалось в наших экспериментах. Особенности этих пустот заключаются в том, что газ в них находится под большим избыточным давлением как в молекулярном состоянии H_2 , O_2 , так и абсорбируется жидким или твердым слоем на стенках раковины.

Поскольку давление газа в раковине намного больше, чем в атмосфере, окружающей отливку, то газ постоянно проникает из раковины через твердый металл наружу отливки.

Проникает газ за счет диффузии в стенках отливки. Масса m протиффундировавшего газа описывается законом Фика:

$$m = D \frac{dc}{dx} S \cdot \tau, \quad (1)$$

где m – масса протиффундировавшего вещества, г; D – коэффициент диффузии компонента (атома или молекулы), $см^2/с$; dc/dx – градиент концентрации компонента на расстоянии диффузии (иногда применяют градиент активности da/dx вместо dc/dx); S – площадь, через которую происходит диффузия, $см^2$; τ – время диффузии, с.

Из всех известных газов только водород находится в металле в виде протона – ионизированного атома водорода, т. е. имеет очень малый размер. Благодаря этому протон диффундирует по междоузлиям металла, и водород имеет самый большой коэффициент диффузии из всех известных газов, т. е. он в первую очередь удаляется из раковины твердого металла.

Коэффициент диффузии D зависит только от температуры T (К) процесса и теплоты активации Q диффузии [2]:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right), \quad (2)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель; R – универсальная газовая постоянная.

Коэффициент D по степенной (экспоненциальной) зависимости существенно увеличивается с ростом температуры, так как показатель экспоненты имеет отрицательный знак. Поэтому диффузия заметно происходит только при повышенных температурах. Исследования проводились при температурах около 1300 К, что ниже температуры плавления сплава. Благодаря этому нами обнаружен эффект уже через несколько часов (более 3 600 с) после ВГО. При комнатной температуре этого эффекта пришлось бы ждать годы, что не приемлемо для исследования.

Для определения расстояния l и времени τ диффузии иногда применяют формулу Эйнштейна

$$l^2 = D\tau. \quad (3)$$

Для многих расплавов коэффициент D имеет величину порядка 10^{-5} $см^2/с$, а в твердом теле намного меньше. В справочных материалах D для газов в металлах приводится очень редко. Попробуем хотя бы очень приблизительно оценить D в наших экспериментах. Толщина стенки $l \sim 0,7$ см, время процесса

$\tau = 3 \text{ ч} = 3 \cdot 3600 = 10800$ с. Тогда из формулы (3) получим

$$D = l^2/\tau = 0,49 \text{ см}^2/10800 \text{ с} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/с. \quad (4)$$

Как видим, получается большое значение D , сравнимое с аналогичным коэффициентом диффузии с D в жидкостях. Не исключено, что эта большая скорость диффузии только протона в молекулярной решетке. Естественно, что скорости диффузии молекулярных H_2 , O_2 и N_2 на несколько порядков меньше 10^{-7} – 10^{-8} . Рассчитанный нами D несопоставим с $D = 2 \cdot 10^{-4}$ $см^2/с$ при 1350 К водорода, приведенном в [1]. Полученный D водорода может использоваться при планировании следующих экспериментов при более высоких и низких температурах. В нашем опыте температура была около 1300 К. Например, при 800 К время процесса достигало 10 ч (36000 с).

Следует обратить внимание на еще один возможный механизм зарастания раковин. При высокой температуре (около 1300 К) происходит не только диффузия газа, но и диффузия атомов металла по стенкам и через газовую раковину. Это также ускоряет процесс зарастания раковин.

Для ВГО отливки необходимо создать на поверхности отливки минимальное давление H_2 , O_2 и N_2 , чтобы ускорить выведение этих газов из раковин отливки. В связи с этим рассмотрели и отработали два способа создания атмосферы над отливкой:

- создание высокого вакуума;
- применение высокочистого аргона или гелия.

Оба процесса равноценны по созданию малого парциального давления водорода и кислорода над поверхностью отливки и ускорения зарастания раковин в отливке. Однако при использовании аргона, находящегося под давлением, исключается подсос воздуха (кислорода) в камеру термообработки. Величина давления аргона до 200 МПа ограничена прочностью стенок емкости для ВГО изделия. Кроме того, требуемая в данном случае толщина стенки емкости меньше, чем для создания вакуума. Поэтому применение аргона более технологично и легче контролируется, по сравнению с вакуумным методом. Результаты исследования показали, что после ВГО микроструктура и химический состав образцов не изменились, а плотность материала, механическая прочность и герметичность изделия повысилась.

Сжатие отливки давлением аргона можно оценить по формуле коэффициента сжатия β :

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right), \quad (5)$$

где V – объем отливки; P – давление.

Из уравнения (5) можно найти относительное изменение объема $\Delta V/V$ отливки в зависимости от внешнего давления P . Для никеля $\beta = 0,538 \cdot 10^{-11}$ н/м² является исключительно малой величиной [3]. Чтобы получить ощутимое сжатие отливки $\Delta V/V \sim 0,001$ (1 %) [4], необходимо применить давление около 10^8 кг/см², что невозможно достичь на имеющемся оборудо-

вании. Поэтому ограничились давлением около 200 кг/см² и получили ощутимый эффект от ВГО.

В процессе экспериментов исследовано влияние высокотемпературной газостатической обработки на газоплотность (герметичность) и механическую прочность литых корпусных деталей турбонасосных агрегатов ракетных двигателей.

По результатам металлографического анализа, рентгенографического контроля, испытаний деталей на прочность и герметичность установлено, что устранение микронеплотностей (рыхлот, пор) в отливках, выполненных из сталей ВНЛ-1 и ВНЛ-2, после высокотемпературной газостатической обработки составляет более 50 %, а в отливках, изготовленных из сплава ВЖА-14, – более 80 %, что способствует повышению механической прочности и герметичности конструкции и обеспечивает высокое качество кор-

пусных деталей и сборочных единиц ТНА ЖРД. Разработанная технология высокотемпературной газостатической обработки отливок может найти применение также при использовании других сталей и сплавов в ракетно-космической промышленности и общем турбостроении.

Библиографические ссылки

1. Галактионова Н. А. Водород в молекулах. М. : Металлургия, 1967.
2. Стильбанс Л. С. Диффузия в полупроводниках. М. ; Л. : Сов. радио, 1980.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М. : Наука, 1978.
4. Мелвин-Хьюз Э. А. Физическая химия. М. : Иностран. лит., 1962.

L. A. Oborin, V. A. Kolmykov, V. P. Nazarov

HIGH-TEMPERATURE GAS-STATIC PROCESSING OF CAST CASE DETAILS OF TURBOPUMP SYSTEMS

The article considers features of technology of high-temperature gas-static processing of the cast case details made from heat-resistant and heatproof metals and alloys. Results of researches and optimum modes of processing are presented

Keywords: temperature, gas, pressure, time.

© Оборин Л. А., Колмыков В. А., Назаров В. П., 2012

УДК 661.632:669

Г. Л. Пашков, В. И. Кузьмин, Ю. С. Кононов, Ю. Т. Филатов, С. Г. Богданов

УТИЛИЗАЦИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ОКИСЛИТЕЛЕЙ РАКЕТНОГО ТОПЛИВА*

Рассматривается проблема экологически чистой технологии утилизации некондиционных окислителей (меланжей) жидкого ракетного топлива. Предложена технологическая схема получения азотной кислоты в абсорбционной насадочной колонне в результате отдувки оксидов азота из меланжа кислородом. При последующем смешении с кубовым остатком образуется товарная азотная кислота 60–65 % (масс.). Приведены основные параметры процесса.

Ключевые слова: утилизация отходов, азотная кислота, оксиды азота, меланж, абсорбция.

Сложившаяся в мире ситуация в области промышленных отходов ведет к опасному загрязнению окружающей среды, определяет нерациональное использование природных ресурсов и приносит значительный экономический ущерб. В то же время, по химико-технологической оценке отходы, например, химических и горно-металлургических производств (шлаки, шламы, кеки и др.), могут являться достаточно ценным вторичным сырьем для получения неорганических веществ и металлов. В этом случае для процес-

сов вскрытия и выщелачивания вторичного сырья требуются растворы минеральных кислот, в том числе азотной. Предложен способ утилизации некондиционных окислителей жидкого ракетного топлива с получением азотной кислоты (60–65 %), которую можно использовать, например, при переработке нефелиновых шламов Ачинского глиноземного комбината для производства комплексной кальций-нитратной добавки к растворам бурения нефтегазовых скважин и бетонным смесям стройиндустрии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» (дополнительное соглашение № 01/12 от 13 июля 2012 г.) в ИХХТ СО РАН при участии научного сотрудника, кандидата химических наук Д. В. Кузьмина, ведущих технологов У. Ф. Куклиной и А. Н. Кокориной.