

фазы. Последнее связано с повышением температуры образования жидкости в этом случае, так как явление контактного плавления практически не реализуется из-за малого числа металлических контактов между частицами.

Увеличение плотности холоднопрессованной заготовки приводит к возникновению градиента концентрации азота, направленного от поверхности заготовок, спеченных в азоте и изготовленных по третьему варианту, к их центру. Это вызвано уменьшением начального диаметра капиллярных каналов в прессовке, их захлопыванием в процессе образования нитридов и карбонитридов на поверхности частиц и ослаблением переноса молекул азота во внутренние области заготовки. Данного явления нет в стали, спеченной из порошка, предварительно обработанного в атмосфере азота.

При спекании азотированного порошка неомогенность распределения азота носит случайный характер. Изменение концентрации в объеме заготовок, спеченных в азоте или вакууме с предварительной выдержкой в азоте, обнаружено вблизи областей неравномерной усадки, что обусловлено затруднением массопереноса через капиллярные каналы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определена схема получения спеченной быстрорежущей стали с повышенным содержанием азота и параметры процесса. После упрочняющей термиче-

ской обработки предел прочности на изгиб и ударная вязкость стали, изготовленной с использованием комбинированного спекания, составляют, например для Р6М5Ф3-МП, 3200...3300 МПа и 210...240 кДж/м². Вторичная твердость азотсодержащей стали на основе Р6М5Ф3-МП составляет 67...67.5 НРс. Эксплуатационные испытания показали, что стойкость фрез из сталей типа Р6М5К5-МП и Р6М5Ф3-МП с содержанием азота, превышающим равновесное, при обработке деталей из нержавеющей и жаропрочных сталей увеличилась в 1.3...1.6 раз по сравнению с фрезами из быстрорежущих сталей с нормальным содержанием азота.

1. Геллер Ю. А. Инструментальные стали. — М: Металлургия, 1983.—527 с.
2. Натт Р. Е., Варга Дж. Дж. Использование пропитанного серебром вольфрама для сопел неохлаждаемых ракетных двигателей // Тугоплавкие металлические материалы для космической техники. — М.: Мир, 1966.—С. 165—192.
3. Санин А. Ф., Карпинос Д. М., Калиниченко В. И., Доморацкий В. А. Распыление быстрорежущих сталей водой // Порошковая металлургия.—1983.—№ 12.—С. 1—3.

POWDER METALLURGY HIGH-SPEED STEEL FOR HIGH EFFICIENT CUTTING TOOL

A. F. Sanin

The technology of the nitrogen contained powder metallurgy high-speed steels manufacturing has been researched. The influence of the main technological parameters and production methods on the volume and distribution of nitrogen, sintering porosity, steels operation properties is discussed.

УДК 620.179.1:62:45.454

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИДКОСТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

© И. В. Федчишина, Б. П. Ефимчук, З. Д. Черный

Відкрите акціонерне товариство «Український науково-дослідний інститут технології машинобудування»

Розглядається стан та можливості здійснення різноманітних методів неруйнівного контролю найбільш напружених конструкцій рідинних виробів ракетно-космічної техніки — паливних баків, включаючи ультразвукові рентгенівські, капілярні методи контролю та випробування на герметичність, як в процесі виготовлення вузлів чи їх виборки, так і в процесі зберігання або експлуатації.

Уровень неразрушающего контроля (НК) изделий ракетно-космической техники, особенно жидкостных ракет-носителей космических аппаратов, явля-

ется одним из базовых показателей их качества, а поэтому во многом определяет ресурс надежности при проведении ЛКИ, в процессе хранения и экс-

плуатации. Наиболее напряженной конструкцией изделия, влияющей на его надежность в целом, является его топливный бак (ТБ). Дефектация узлов ТБ (заготовок, обечаек, днищ, его продольных и поперечных швов, околошовных зон и др.) на всех этапах изготовления прослеживается документально, причем высокий уровень НК дефектов сварных швов и утонений полотна стенки бака обеспечивается как технологически за счет рационального назначения норм дефектов конструктором в чертеже и ТУ, так и оптимальным выбором методов и средств НК, а всей конструкции ТБ — методами и средствами контроля герметичности на последнем этапе. Но если норма испытаний на герметичность назначалась конструктором в 8 — 10 раз выше допустимой эксплуатационной негерметичности, то при назначении нормы НК конструктор вынужден был руководствоваться, как правило, пороговой чувствительностью возможных к применению аппаратурных средств НК.

В этом случае первый фактор — рациональное назначение норм дефектности — сводился ко второму фактору, т. е. оптимальности применяемой аппаратуры НК, а поэтому всегда оставалась опасность недостаточной вероятности надежности изготовленного изделия.

Для устранения этого в 1950—1980-е гг. эта проблема обеспечения качества и надежности изделий решалась несколькими путями. Во-первых, каждая используемая аппаратура НК, прежде чем быть окончательно записанной в техпроцесс изготовления, согласовывалась как конструкторским бюро-разработчиком, так и заводом-изготовителем изделия. Но до этого согласования (и в процессе его проведения) достоверность и возможность НК с помощью рекомендованных к применению средств оценивалась пробными испытаниями — отработкой средств — на специально изготавливаемых контрольных узлах с последующей их (узлов) разрезкой и сравнением данных разрушающего и неразрушающего контроля (с учетом обнаруживаемости соответственно закладываемых в эти узлы предполагаемых дефектов, подлежащих обнаружению отрабатываемыми средствами НК). Во-вторых, при отсутствии подходящих средств НК конструктор (а за ним изготовитель) мог настаивать на своем повышенном требовании, изложенном в чертеже или ТУ на изделие, и тогда технолог вынужден был отказываться от использования неудовлетворяющего серийного средства НК и организовывать через технологическое отраслевое НИИ или другого контрагента разработку нестандартизованного дефектоскопа, толщиномера или другого мерителя. Последнее особенно показательно на примере не-

разрушающих измерений утонений стенки ТБ в районе доннышек вафель составляющих его обечаек, когда вместо ручного (приборного, по точкам) ультразвукового контроля был разработан в Украинском НИИ технологии машиностроения и введен в ПО ЮМЗ автоматизированный многоканальный контроль толщины полотна ячеек вафельных обечаек. В-третьих, конструктором ТБ с достаточно хорошей сходимостью результатов теории и практики были использованы статистические данные отказов работы сосудов давления (СД), относящихся к резервуарам химической и нефтехимической промышленности и энергетическому оборудованию. Причем из всего массива информации выбрано главное и определяющее, а именно: тип дефекта, в основном влияющий на разрушение СД в процессе эксплуатации, а также факторы, используемые при выборе методов и средств НК для их поиска и устранения. Установлено, что основным эксплуатационным дефектом, который может привести ТБ к отказу в эксплуатации, следует считать трещину. Согласно статистическим данным она располагается, как правило, в сварном шве или в зоне термического влияния сварки. Главными причинами, приводящими к развитию трещины, по разным литературным источникам являются: коррозионно-механическая усталость металла СД и раскрытие необнаруженных при изготовлении СД дефектов. Вероятно поэтому отказ СД после трехлетней эксплуатации может быть и не связанным с технологическими дефектами, а только с эксплуатационными. По нашему глубокому убеждению, роль технологических необнаруженных дефектов сварного шва, околошовной зоны и основного полотна бака со временем эксплуатации должна возрастать, и это обстоятельство должно быть учтено в процессе изготовления конструкции ТБ выбором оптимальных методов и средств НК.

При этом, имея в виду специфичность условий эксплуатации СД в качестве ТБ РКТ, для последнего надо учесть, чтобы металл стенки не был утонен (в т. ч. и дефектом внутри) и смог выдерживать нагрузку статической деформации веса наполнителя и воздействия агрессивных компонентов последнего. Что касается упомянутого выше дефекта стенки ТБ от использованного материала, то его можно не учитывать. Во-первых, такие дефекты никогда не фиксировались. Во-вторых, эти дефекты отсеиваются выбраковкой материала еще при входном и входном НК (например, УЗК на ПО ЮМЗ). В-третьих, они, как правило, могут быть только внутренними и не подвергаться воздействию наполнителя ТБ в дальнейшем, и поэтому не могут быть включенными в ранее «развивающихся». В-

четвертых, если такие дефекты после НК и остаются (за порогом чувствительности аппаратуры), то они считаются в дальнейшем технологическими дефектами. В результате самым опасным утонением будет брак по вине механической или химической обработки (вафель, панелей) ТБ.

Дефекты, образующиеся в процессе сварочных работ, могут быть необнаруженными также из-за неудовлетворительной дефектоскопической технологичности контролируемого узла. Так, если при изготовлении ТБ обеспечивается двухсторонний доступ к сварному шву для проведения самого оптимального контроля внутренних трещин — рентгеновского, и возможно осуществление самого чувствительного метода для обнаружения поверхностных трещин, в том числе и выходящим на поверхность, — цветного метода, то в процессе хранения, а тем более эксплуатации, это полностью исключается.

Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что возможный пропуск дефектов обуславливается прежде всего недостаточной чувствительностью средств НК. Так, большая часть существующих методов НК дефектов в крупногабаритных узлах типа ТБ не может полностью обнаруживать все трещины малых размеров, окисные пленки, не выходящие на поверхность металла, и др.

И в то же время каждый метод НК специфичен, ограничен и работает строго в определенной области, т. е. не универсален. Например, капиллярный, цветной служит для обнаружения только поверхностных дефектов, трещин и окисных плен, выходящих на поверхность; ультразвуковые, радиационные методы — для контроля внутренних дефектов. Однако рентгенконтроль, цветной метод фактически не применяются для контроля изделий в процессе хранения и эксплуатации и где, в основном гипотетически, можно использовать ультразвуковой и токовихревой методы. Ультразвук контролирует главным образом внутренние дефекты, а токовихревой — поверхностные и подповерхностные, но указанные методы еще менее чувствительны, чем капиллярный контроль и, кроме того, требуют разработки спецаппаратуры, спецобразователей, соответствующих методик контроля и тщательной отработки их в производственных (а тем более полевых) условиях.

Таким образом все методы НК дополняют друг друга, и в этой связи эффективен комплексный НК — с использованием нескольких методов, однако получаемая в этом случае более высокая достоверность НК зачастую входит в противоречие с производительностью и стоимостью контрольных операций в общем технологическом процессе, что может поставить под сомнение рентабельность изготовле-

ния данного узла. Поэтому, как правило, выбирают компромиссный вариант.

1. Подбирают оптимальный метод контроля, максимально технологичный и чувствительный. При этом субъективные ошибки оператора пытаются минимизировать за счет применения механизированных и автоматизированных средств НК. Этим самым обнаруживаются все критические, недопустимые в зависимости от их потенциальной опасности дефекты для данного узла конструкции. Примером может служить уже упомянутый выше ультразвуковой контроль разнотолщинности ячеек вафельных обечаек на ПО ЮМЗ. Сравнительная оценка контроля минимальной толщины в ячейке ручными и автоматизированными толщиноизмерительными ультразвуковыми средствами, сделанная В. А. Протопоповым, свидетельствует в пользу автоматизированных средств НК.

2. Аналогичным образом методически поступали при проведении рентгенконтроля ТБ. Так, бывают случаи, когда наряду с просвечиванием сварных швов, околошовной зоны, основного материала при нестандартных, непредвиденных обстоятельствах возникает необходимость в параллельном применении других методов контроля. Это такие случаи, как уточнение места течи, обнаруженного при испытаниях на герметичность; сомнительного дефекта малого раскрытия, выходящего на поверхность, при визуальном осмотре; места забоины, вмятины, удара; контроль полноты удаления дефекта. Для контроля наличия указанного дефекта назначался метод цветной дефектоскопии, позволяющий выявлять дефекты, выходящие на поверхность, с раскрытием 5—8 мкм. Применение этих двух методов — радиографического и капиллярного — на практике изготовления изделий РКТ показало их большую эффективность в выявлении недопустимых дефектов сварных швов и позволило гарантировать надежность и работоспособность ТБ в составе изделия на весь гарантийный срок его эксплуатации. Следует указать также и на комплексное использование методов и в других случаях НК, ТБ. Так, ультразвуковые методы НК показали большую чувствительность к непроварам сварных швов, а вот для НК сварных швов подводящих трубопроводов в труднодоступных местах предпочтение было отдано не рентгеновским установкам типа РУП и РАП с острофокусной трубкой 0.3 БПВ-6-150, а импульсным рентгеновским аппаратам типа «Мира-2Д», хотя радиографическая чувствительность их к выявлению дефектов ниже.

3. В процессе подготовки производства каждого изделия и его элементов, в том числе и ТБ, обнаруживаемость с помощью использованных се-

рийных или стандартных средств НК всех дефектов, оговоренных в техническом задании, подтверждают разрезкой детали, узла или его элемента, образца и сравнением с металлографическим анализом. Кроме того, для постоянной поднастройки аппаратуры НК и проверки ее в процессе контроля изготавливаемых изделий разрабатываются и используются рабочие образцы, аттестованные, как и средства НК, метрологической службой предприятия.

4. О комплексном применении, наряду с другими методами и средствами НК — метода контроля герметичности ТБ, необходимо упомянуть особо и отдельно, тем более, что методические приемы технологии контроля герметичности являются, наверное, единственно приемлемыми для оценки действительного состояния топливных систем, и ТБ в том числе, ампулизованных жидкостных ракет в процессе их эксплуатации.

Технология контроля герметичности предусматривает последовательное выполнение ряда технологических приемов, каждый из которых направлен на обеспечение той или иной стороны достижения заданного уровня надежности контроля протечек в испытываемой системе. Для упрощения рассмотрения проанализируем технологическую схему испытаний герметичности полностью собранного ТБ как заключительной операции его изготовления. Отметим, что все входящие узлы и элементы ТБ были подвергнуты контролю герметичности с безусловным обеспечением ее уровня не менее чем в 20—50 раз выше допустимой негерметичности для бака.

Итак, полностью собранный бак подвергается комплексу подготовительных операций с целью безусловного раскрытия сквозных дефектов, наличие которых недопустимо в данном изделии, от технологических, производственно-технических продуктов и рабочих тел. Традиционными приемами этих операций являются обезжиривание внутренних и наружных поверхностей баков для удаления жировых и механических загрязнений, особенно из устьев сквозных дефектов, что обеспечивает активизацию последующего удаления всех видов жидких компонентов из этих относительно длинных отверстий, и так называемая сушка баков, которая призвана как раз и осуществить это удаление жидкостей из дефектов.

Еще до недавнего времени обезжиривание было сугубо ручной операцией и выполнялось главным образом салфеткой, смоченной органическим растворителем. Сегодня для достаточно высокого уровня герметизации разработаны взрыво- и пожаробезопасные растворители, а УкрНИИТМ создал соответствующее оборудование, позволяющее прово-

дить очистку и обезжиривание, особенно внутренних поверхностей баков, практически без применения ручного труда, что существенно повысило качество и уровень этой трудоемкой операции.

Значительное внимание уделено нашим коллективом технологии и средствам удаления различных жидкостей из сквозных микродефектов. Отработанная на имитаторах дефектов технология предусматривает частичную или полную замену в дефекте трудноиспаряемых жидкостей, которые могут попасть в дефект на предыдущих технологических переделах, с последующим их полным удалением путем испарения. Гарантированное испарение жидкостей осуществляется нагревом всей конструкции и удалением паров продувкой вдоль поверхностей. Однако наиболее эффективной является так называемая термоградиентная сушка, при которой вдоль дефекта в стенке бака создается перепад температуры за счет подвода тепла к одной поверхности бака и его отвода от другой поверхности. Следует отметить, что подготовленный таким образом бак должен до испытаний сохраняться в условиях, исключающих попадание на его поверхности даже атмосферной влаги.

Непосредственно процесс контроля герметичности топливного бака состоит из операции контроля суммарной негерметичности и, при необходимости, операции локализации мест течи с последующим их устранением.

Арсенал возможностей поиска мест течи также достаточно широко отработан и здесь, в зависимости от возможностей производственной базы, могут быть использованы от субъективных трудоемких, визуально фиксируемых методов химических реакций до масс-спектрометрических методов объективной регистрации протечек с использованием большого объема средств: шупов, обдувателей, накладных вакуумных камер (присосок) и т. д.

Далее процесс испытаний повторяется, ибо контроль суммарной негерметичности традиционно является наиболее высокочувствительным, и потому только он может характеризовать степень пригодности топливного бака к хранению и длительной эксплуатации. Отметим, что метод накопления контрольного газа в вакуумной камере в сочетании с отбором контрольной пробы и ее принудительным накоплением в ограниченном объеме, снабженном масс-спектрометрической камерой и средствами избирательной вакуумной откачки, позволяет фиксировать утечки контрольного газа до 1 см^3 в год независимо от габаритных размеров испытываемого изделия.

Ампулизованное изделие во многом напоминает схему контроля суммарной негерметичности ТБ

в вакуумной камере. Более того, стандартные системы жизнеобеспечения изделия в процессе его эксплуатации ведут не только продувку его отсеков, но и фиксируют содержание паров компонентов топлива в каждый данный момент времени. Базируясь на достигнутом в условиях производства уровне негерметичности изделия, начальном уровне паров компонентов топлива в контейнере и динамике этого уровня во времени, можно прогнозировать состояние герметичности всех «мокрых», т. е. затопленных компонентами топлива отсеков изделия в данный момент времени.

Таким образом, сегодняшняя технология производства изделий ракетно-космической техники располагает достаточным арсеналом методов и средств НК и технической диагностики для обеспечения

жизнедеятельности изделия на всех этапах его эксплуатации и хранения на протяжении десятков лет.

REALIZATION OF METHODS AND MEANS OF NONDESTRUCTIVE TESTING OF STRETCHED CONSTRUCTIONS OF LIQUID-PROPELLANTS PRODUCTS

I. V. Fedchyshyna, B. P. Efimchuk, Z. D. Chorny

Status and possibilities to realize of various methods of nondestructive testing of the most stretched constructions of liquid-propellants products of rocket-space technology is considered. These methods include the propellant tanks, including ultrasonic, X-ray, capillary methods of control and sealing test both during fabrication of units or their selection and storage or running.

УДК 669.715

СНИЖЕНИЕ ПОРИСТОСТИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

© Е. А. Ханейчук, Н. Е. Калинина

Дніпропетровський державний університет

Розглянуто проблему покращення фізико-механічних властивостей сплавів системи Al-Zn-Mg-Cu. Запропоновано методику випливання досліджуваних сплавів, що дозволяє зменшити пористість.

Алюминиевые сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu являются наиболее высокопрочными из существующих алюминиевых сплавов, применяемых в ракетостроении и артиллерии.

Выплавка алюминиевых сплавов осложняется большой их склонностью к газонасыщению водородом. Взаимодействие алюминиевых сплавов с газами печной атмосферы связано с высокой химической активностью алюминия. Газовые пузыри при неблагоприятных условиях остаются между дендритами и образуют газовые раковины. Это является причиной газовой пористости при затвердевании.

Было проведено исследование высокопрочных алюминиевых сплавов типа В93-В95, а также сплава системы Al-Zn-Mg-Cu, микролегированный скандием в количестве 0.1—0.3 % по массе.

Содержание скандия должно быть таким, чтобы при литье слитков основная его часть фиксировалась в пересыщенном твердом растворе, который затем распадался при последующих технологических нагревах слитков с образованием частиц опти-

мальной дисперсности.

Чтобы обеспечить полное растворение скандиевых интерметаллидов, расплав подвергается перегреву до 780 °С и выдержке при этой температуре. Сильное модифицирующее влияние скандия позволяет получить слитки алюминиевых сплавов с мелкозернистой структурой, что способствует улучшению технологичности сплавов и наследованию литой, мелкозернистой структуры.

Таким образом, свойства и структура отливок, полуфабрикатов и изделий из алюминиевых сплавов с добавкой скандия в значительной степени зависят от технологии выплавки и кристаллизации слитков.

На основании проведенных исследований была разработана методика выплавки и составы лигатуры Al-Zn, Al-Mg, Al-Cu, Al-Mn. Выплавку производили в 150 кг индукционной печи с вакуумированием расплава. Изменение относительного содержания водорода по ходу плавки оценивали по вакуум-пробам, окончательное содержание газов