

СЕКЦИЯ 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 669

РЕШЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ВОПРОСОВ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ В СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ОКБ СУХОГО

А. А. Филатов, Ю. А. Попова, А. О. Акулинин

*Публичное акционерное общество «Объединенная авиастроительная
корпорация» ОКБ Сухого, г. Москва, Российская Федерация*

Приведены характерные примеры внедрения нескольких новых сплавов в конструкцию изделий авиационной техники ОКБ Сухого, а также примеры решения задач, возникающих при их использовании.

Ключевые слова: конструкционный материал, полуфабрикат, нормативная документация, авиационная техника.

SOLUTION OF KEY ISSUES OF THE USE OF METAL ALLOYS IN MODERN AND PROMISING PRODUCTS OF SUKHOI DESIGN BUREAU

A. A. Filatov, Y. A. Popova, A. O. Akulinin

*Public Joint Stock Company “United Aircraft Corporation”
Sukhoi Design Bureau, Moscow, Russian Federation*

The article provides typical examples of the introduction of several new alloys into the design of aircraft products of Sukhoi Design Bureau, as well as examples of solving problems that arise when using them.

Keywords: structural material, semi-finished product, normative documents, aviation technology.

Требования конструктора к материалам год от года становятся все более и более жесткими. Происходит непрерывный процесс разработки и внедрения новых сплавов, направленный на повышение их прочности, трещиностойкости, усталостных характеристик, жаропрочности, коррозионной стойкости и других функциональных свойств, необходимых для обеспечения высокого качества, надежности, ресурса современной авиационной техники (АТ).

Внедрение нового сплава – многолетний затратный и многоэтапный процесс, затрагивающий все стадии от создания композиции до использования полуфабриката в изделии: получение слитка с наследственным равноосным мелким зерном, отработка процесса деформации (ковка, прокатка, волочение, прессование), формообразование, термическая обработка, сварка, пайка, механическая обработка, гальваническая обработка, сборка, в том числе установка крепежа, контроль структуры и свойств на всех стадиях.

На каждом из вышеперечисленных этапов изготовления деталей из нового сплава неминуемо будут выявляться индивидуальные особенности, отличающие его от предшествующих аналогов. Выявление и учет этих особенностей есть предмет для тщательной работы технологов, результатом которой будет методика работы с материалом, оформленная в нормативную документацию: технические условия (ТУ) на материал и на отдельные типы полуфабрикатов; производственные инструкции (ПИ) на применение, сварку, термообработку, механическую обработку, неразрушающий контроль, гальванические покрытия, сборку; дополнения или изменения в выпущенной ранее документации и т. д.

Для успешного внедрения нового материала необходима слаженная командная работа института-разработчика сплава, металлургического завода, авиационного завода, технологического института и конструкторского бюро.

Внедрение хорошо освоенных в промышленности сплавов алюминия (с 40-х гг. XX в.), титана (с 60-х гг.), стали (с 40-х по 70-е гг.) с момента создания композиции сплава через выплавку опытно-промышленных партий до присвоения серийной литеры А по ГОСТ 2.103–68 требовало не одного десятилетия практической отработки технологии получения и применения полуфабрикатов.

Новый конструкционный материал можно считать полностью освоенным для серийного применения только при полном прохождении цикла его внедрения после полноценных ресурсных и статических испытаний на элементарных и конструкционно-подобных образцах. И даже после этого продолжают периодически «всплывать» технологические вопросы, связанные с применением этого материала. Они могут быть связаны со сменой оборудования на металлургических или авиационных предприятиях, возникшими возможностями оптимизации процесса изготовления продукции, новыми запросами от конструкторов по части расширения номенклатуры типов и размеров полуфабриката, расширения эксплуатационных условий, в которых применяется данный материал, внедрением новых технологических процессов производства и эксплуатации.

Приведем характерные примеры внедрения нескольких новых сплавов в конструкцию изделий АТ ОКБ Сухого ПАО «ОАК» (далее – ОКБ Сухого), а также задач, возникающих при их использовании.

Высокопрочная нержавеющая сталь аустенитно-мартенситного класса ВНС-65-Ш. Предложенный ФГУП «ВИАМ» НИЦ «Курчатовский институт» (далее – «ВИАМ») материал превосходил уже освоенную в промышленности сталь ВНС-5-Ш по прочности и вязкости разрушения.

Исследование опытно-промышленной партии полуфабрикатов из стали ВНС-65 началось в 2004 г. В 2009 г. была поставлена опытная партия полуфабриката.

Дальнейшие исследования проводились ОКБ Сухого совместно с «ВИАМ» и МЗ «Электросталь». При исследовании опытных поковок ВНС-65-Ш был выявлен ряд несовершенств, исправление которых потребовало дальнейшей работы над полуфабрикатом: дефекты металлургического происхождения: карбидные сетки и карбидные мешки, не растворяющиеся при корректировке режимов термообработки; занижение механических свойств по сравнению с заявленными в ТУ, качество поверхности полуфабриката, не позволявшее проводить неразрушающий контроль внутренних дефектов полуфабриката с требуемой точностью.

С проявлением карбидной сетки удалось справиться, увеличив степень укова при изготовлении поковки на металлургическом заводе с 3 до 23.

Также на металлургическом заводе был скорректирован способ выплавки слитка, несколько раз изменены режимы термообработки при изготовлении деталей как из поковок, так и из прутков. В ТУ были понижены минимальные механические свойства полуфабрикатов.

Всего с 2005 по 2016 г. было выпущено:

- 12 изменений к старому ТУ и выпущено новое ТУ на поковки;
- 13 изменений к ТУ на прутки;
- 3 изменения к ПИ на применение и термическую обработку материала.

В 2019 г. предпринятые меры позволили получать плавки, имеющие стабильную микроструктуру с отсутствием карбидной сетки.

В 2020 г. с целью исключения операции сварки был увеличен габаритный размер поковки из ВНС-65-Ш, что не исключает увеличение неравномерности свойств внутри полуфабриката. В данный момент специалисты ОКБ Сухого совместно с МЗ «Электросталь» и АО «Аквामаш» изучают поковки новых габаритов и следят за стабильностью свойств, структуры полуфабриката для уверенности в качестве деталей изделий АТ.

Работы по совершенствованию качества поковок стали ВНС-65-Ш продолжают.

Высокопрочный двухфазный термоупрочняемый титановый сплав ВТ23.

В ОКБ Сухого этот сплав нашел применение в крупногабаритных сварных деталях, свариваемых в несколько этапов. Ранее этот двухфазный сплав не применялся в таких сложных сварных конструкциях, и для его успешного внедрения было необходимо решить ряд задач, связанных, в первую очередь, с выбором оптимального режима термообработки.

При выборе режимов и последовательности термообработки сварных конструкций необходимо было также учитывать возможности и ограничения, накладываемые имеющимся на авиационном заводе оборудованием, в частности, габариты вакуумных печей с контролируемой атмосферой.

Сплав ВТ23 относится к термически упрочняемым высокопрочным ($\alpha + \beta$)-титановым сплавам. Изменяя температуру нагрева и скорость охлаждения, можно получать широкий спектр структур, изменяя тем самым прочностные показатели сплава. При этом для крупногабаритных полуфабрикатов из ВТ23 характерно образование высоких макро- и микронапряжений, способных вызывать поводки, коробление и даже разрушение изделий. Также для этого сплава характерна высокая неоднородность структуры сварных соединений, негативно сказывающаяся на ресурсе сварных деталей.

При выборе режима термообработки было необходимо соблюсти баланс между термоупрочнением, снятием внутренних напряжений и выравниванием микроструктуры сварного шва и основного металла.

Проведена серия работ, в ходе которых определены режимы ТО, обеспечивающие оптимальные значения механических и ресурсных характеристик материала при минимальном уровне поволоков и внутренних напряжений.

Жаропрочный алюминиевый сплав 1151. Разработанный «ВИАМ» новый тип конструкционного жаропрочного алюминиевого сплава классической системы Al–Cu–Mg. Сплав 1151 имеет повышенную жаропрочность и пониженную чувствительность к концентраторам напряжений.

Из сплава производятся листовые полуфабрикаты толщиной до 5 мм, а также прессованные профили и поковки. В данный момент разрабатывается технология производства ковано-катаных плит толщиной до 80 мм.

22 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

Сплав представляет большой интерес для внедрения в конструкцию изделий АТ как материал для изготовления сварных деталей. ОКБ Сухого совместно с производственным предприятием «КнААЗ им. Ю. А. Гагарина» занималось отработкой режимов сварки сплава на имеющемся на серийном заводе оборудовании. В результате был отработан и успешно внедрен режим точечной сварки листового материала.

При внедрении деталей из сплава 1151, сваренных точечной сваркой, был решен ряд задач: проведена оценка технологичности и степень отработки технологического процесса точечной сварки алюминиевых сплавов, отработаны режимы точечной сварки на элементарных и конструктивно-подобных образцах, проведена оценка качества получаемых сварных соединений, исследованы макро- и микроструктура, определены прочностные и усталостные характеристики сварных соединений.

Из полуфабрикатов сплава 1151 в конструкцию изделий АТ были внедрены листы толщиной от 1,5 до 5 мм, подвергаемые формованию и свариваемые точечной сваркой. Они используются в отсеках, подвергаемых нагреву до 175 °С, в качестве замены титановому сплаву ОТ4-1, что позволило снизить вес конструкции.

Приведенные выше примеры – лишь небольшой фрагмент совместной работы института-разработчика сплава, завода-изготовителя полуфабриката и потребителя материала – конструкторского бюро и серийных заводов. Многоэтапность внедрения материала, своевременные корректировки как технологии получения полуфабрикатов, так и изменений в конструкторской документации (изменение конструкций или выбора режима обработки) явно демонстрирует необходимость придерживаться определенного алгоритма при внедрении нового материала. Процессы отработки режимов получения полуфабрикатов на металлургических заводах, грамотное проектирование с учетом выбора полуфабриката и проверка его на технологическую пригодность (механическая обработка, установка крепежа, сварка, пайка и т. д.) – все эти процессы для эффективности внедрения в конструкцию должны быть не растянуты во времени, а запараллелены.

УДК 621.92

МОРФОЛОГИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА НА ОСНОВЕ НИОБИЯ ПРИ ВРЕЗНОМ ШЛИФОВАНИИ

В. А. Носенко, В. Г. Карпов, Л. Л. Кременецкий

Волжский политехнический институт (филиал)

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Российская Федерация

Морфология обработанной поверхности сплава на основе ниобия свидетельствует об интенсивном адгезионном взаимодействии металла с абразивным материалом при врезном шлифовании. Установлен факт переноса продуктов износа шлифовального круга на обработанную поверхность и внедрения в металл. На основании полученных данных о химическом составе продуктов износа экспериментально доказано присутствие на обработанной поверхности кристаллов карбида кремния, керамической связки и их сочетаний.

Ключевые слова: ниобий, шлифование, карбид кремния, морфология, химический состав, рентгеноспектральный микроанализ.