УДК 669.187.2:621.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА ПРИ ОТЛИВКЕ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Устян Армен Манвелович
магистрант 5 курса, группы СПМ-514, кафедра «Оборудование и технология сварочного производства» ОмГТУ, г. Омск
E-mail: 123@mail.ru
Кагарманов Игорь Игоревич
студент 3 курса, группы СМ-312, кафедра «Оборудование и технология сварочного производства» ОмГТУ, г. Омск
E-mail: ig94rus@gmail.com
Хисматулин Роман Рафикович
студент 5 курса, группы С-510, кафедра «Оборудование и технология сварочного производства» ОмГТУ, г. Омск
E-mail: 124@mail.ru
Лопаев Борис Евгеньевич
научный руководитель, канд. тех. наук, доцент, Машиностроительный институт, ОмГТУ, г. Омск

Исследованы свойства изделий авиационной техники из жаропрочных сплавов при добавлении в них в качестве возврата электрошлакового металла, полученного из литниково-питательных систем и забракованных изделий. Проведенные исследования подтвердили принципиальную возможность и целесообразность переработки отходов жаропрочных сплавов методом электрошлакового переплава.

Ключевые слова: шихта, отходы, тигель, лопатка, кокиль, жаропрочность.

К изделиям авиационной техники относятся лопатки газотурбинных двигателей (ГТД). Они являются высоконагруженными деталями и предназначены для изменения потока газа в турбине.

Для изготовления лопаток турбин применяются жаропрочные сплавы на никелевой основе с содержанием хрома, вольфрама, молибдена, ниобия, алюминия, бора. С учетом условий работы лопаток турбин к этим материалам предъявляются очень высокие требования. Они должны обладать высокой прочностью, пластичностью, сопротивлением ползучести, выносливостью, коррозионной стойкостью, сопротивлением эрозионному разрушению и меньшей чувствительностью к концентраторам напряжений при температуре среды 1200 °*C* и выше. С учетом этих требований для лопаток турбин применяется жаропрочных сплав ЖС6-У.

Рабочие лопатки турбины, применяемые в ГТД, бывают охлаждаемые и неохлаждаемые (монолитные). В связи с необходимостью повышения темпера-

туры перед турбиной в современных авиационных ГТД применяются охлаждаемые лопатки, изготовляемые литьем по выплавляемым моделям без припуска по трактовым поверхностям. Монолитные рабочие лопатки, изготавливаемые из штампованных заготовок в турбинах современных ГТД практически отсутствуют.

Технология получения заготовки лопатки турбины методом литья применяется в тех случаях, когда требуется изготовить деталь с высокой жаропрочностью, и материал лопатки не поддается обработке пластическим деформированием, а также для изготовления пустотелых охлаждаемых лопаток.

Формообразование лопаток методом литья по выплавляемым моделям позволяет применять в качестве материала литейные сплавы, обладающие высокой жаропрочностью и обеспечивающие более высокий ресурс и надежность по сравнению с лопатками, изготовленными из штампованных заготовок [1].

В настоящее время литье по выплавляемым моделям – единственный метод, который позволяет в промышленном масштабе получать экономически целесообразные заготовки всех видов рабочих и сопловых лопаток турбин ГТД, включая разновидности охлаждаемых лопаток. При этом обеспечивается требуемая точность и шероховатость поверхностей газового тракта, внутренней полости и исключается необходимость их последующей размерной обработки.

При производстве литых лопаток ГТД имеет место большое количество отходов жаропрочного сплава ЖС6-У в виде отдельных элементов литниково-питающих систем и забракованных лопаток. Использование этих отходов в шихте строго ограничивается в связи с тем, что в результате многократных переплавок в индукционных печах сплав загрязняется и теряет свои литниково-технологические и служебные свойства. Кроме того тонкостенность и сложность конфигурации лопаток не позволяет производить загрузку тигля шихтой в нужном количестве по ходу плавки, что в условиях вакуума весьма сложно.

Для производства литых охлаждаемых лопаток в качестве шихты нужно использовать только мерную заготовку, что обеспечивает получение чистого металла и, как следствие, повышает качество лопаток.

Восстановление литейно-технологических и служебных характеристик из возврата собственного производства и получение мерной шихтовой заготовки возможно только электрошлаковым переплавом (ЭШП) [2].

Благодаря плотной и однородной структуре электрошлаковых слитков, высокой чистоте по неметаллическим включениям значительно улучшается технологическая пластичность сталей [3].

Были проведены исследования по возврату отходов производства методом электрошлакового переплава (ЭШП).

На первом этапе исследований проверялась возможность получения мерной шихтовой заготовки из стояков блоков, которые предварительно сваривались в расходуемые электроды. Электрошлаковый переплав этих электродов производили на установке А-550У под флюсом АНФ-6 состава: 70% CaF_2 +

30% Al_2O_3 на токе 2200-2300А. В результате ЭШП получили слитки диаметром 0,06 м, которые имели чистую поверхность и хорошую макроструктуру.

Химический состав сплава в процессе ЭШП практически не изменился. Микроструктура сплава значительно улучшилась. Вместо строчечного распределения карбидов, в сплаве наблюдается относительно равномерное их распределение в глобулярной форме. При этом механические свойства, пластичность и особенно длительная жаропрочность, значительно возрастают. Плотность металла, проверенная цветной дефектоскопией, также выше плотности исходного сплава.

Последующий вакуумный переплав слитков, полученных методом ЭШП, не улучшает, а даже несколько ухудшает структуру и снижает механические свойства (σ_B, δ, ψ).

Таким образом, из первого этапа исследований следует, что из забракованных лопаток и остальной части отходов изготавливать расходуемые электроды для ЭШП сваркой или брикетированием без предварительной их переплавки невозможно. Поэтому был проведен второй этап работы в данном направлении.

В этом случае забракованные лопатки и другие отходы сплава ЖС6-У были сначала переплавлены в индукционной печи ИО-102 и разлиты в кокили на прутки диаметром 0,04 м и длиной 0,4 м. Затем прутки сваривались в расходуемые электроды и переплавлялись электрошлаковым процессом на мерную шихтовую заготовку диаметром 0,08 м. ЭШП осуществлялся на той же установке и по тем же режимам, что и на первом этапе работы.

Полученные таким образом мерные заготовки в дальнейшем использовались в качестве шихты с различным процентом освежения для отливки образцов в вакуумной индукционной печи по серийной технологии. Образцы были подвергнуты химическому анализу и механическим испытаниям.

В результате испытаний было установлено, что значительных отклонений в содержании легирующих элементов, превышающих пределы требований ТУ, не наблюдается. Длительная жаропрочность, механические свойства, микроструктура сплава также удовлетворяет требованиям ТУ.

Таким образом, исследования, проведенные на двух этапах работы, показали возможность рафинирования отходов жаропрочного сплава ЖС6-У методом ЭШП с одновременным получением мерной шихтовой заготовки для вакуумно-индукционной плавки. При этом служебные свойства сплава получаются выше, чем у исходного сплава завода-изготовителя.

На основании положительных результатов, полученных в процессе исследования, было принято решение о производственной проверке данного способа. При этом изготовление расходуемых электродов производилось как и во втором этапе работы, т.е. выплавкой в печи ИО-120 без подшихтовки с последующей разливкой в чугунные кокили.

Электрошлаковый переплав электродов производился также на установке А-550У под флюсом АНФ-6. В качестве изложницы применялся подвижный

медный водоохлаждаемый кристаллизатор с внутренним диаметром 0,09 м. Поверхность слитков после ЭШП была чистой, без гофр, с тонкой корочкой гарнисажа. Проведенный химический анализ отклонений по содержанию легирующих элементов не установил.

После этого слитки разрезались на мерные заготовки, обдувались и использовались в шихте в качестве возврата для отливки образцов и лопаток по серийной технологии в вакуумно-индукционных печах.

При отливке рабочих лопаток шихта состояла из 50% слитков ЭШП и 50% свежего сплава ЖС6-У. При отливке сопловых лопаток всех ступеней использовалось 80% слитков ЭШП и 20% свежего сплава. Металл каждой плавки подвергался химическому анализу, контролю механических свойств и длительной жаропрочности. Отклонений по химическому составу не наблюдалось.

Применение в шихте в качестве возврата слитков ЭШП из отходов повышает длительную жаропрочность металла, которая растет с увеличением процентного содержания в шихте слитков ЭШП.

После прохождения всего технологического цикла обработки и всех видов контроля опытные лопатки были установлены в соответствующие узлы технологического изделия на длительные испытания.

После длительных испытаний на 250% ресурса никаких дефектов на опытных лопатках обнаружено не было. Для повторного испытания, ремонта или замены опытных лопаток не требуется.

Таким образом, положительные результаты, полученные в данной работе, подтвердили принципиальную возможность и целесообразность переработки отходов жаропрочных сплавов методом ЭШП.

Библиографический список

1. Крымов, В. В. Производство лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / В. В. Крымов, Ю. С. Елисеев, К. И. Зудин. – М.: «Машиностроение – Полет», 2002. – 376 с.

2. Кук, Р. Л. Электрошлаковый переплав сплавов на никелевой основе. // Электрошлаковый переплав: Материалы III международного симпозиума по технологии электрошлакового переплава [Текст] / Р. Л. Кук, Г. У. Риз, Д. М. Гадсби. – Киев: Наук. думка, 1973, с. 119-127.

3. Латаш, Ю. В. Электрошлаковый переплав [Текст] / Ю. В. Латаш, Б. И. Медовар. – М.: Металлургия, 1970. – 239 с.