

1. Z.-J. Liu, P.W. Shum, Y.G. Shen. Hardening mechanisms of nanocrystalline Ti-Al-N solid solution films / Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 468. – P. 161 – 166.

**УДК 621.791**

## **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Д. В. Юшкевич, А. Д. Губко, Н. И. Цыганков**  
*Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск*

Одним из направлений, существенно расширяющих технологические возможности процесса обработки материалов, является использование концентрированных потоков энергии (струи плазмы, лазерного, электронного, ионного лучей и др.). В настоящее время во всем мире ни одна отрасль промышленности, связанная с получением соединений и обработкой материалов, не обходится без электронно-лучевого нагрева. При сварке узлов из равнотолщинных, однородных, хорошо свариваемых сталей сложностей, ведущих к появлению дефектов, как правило, не возникает. Однако на производстве часто возникает потребность в получении сварных соединений из разнотолщинных, разнородных, ограниченно- или трудносвариваемых материалов. Это приводит к необходимости поиска перспективных современных способов сварки. Применение электронно-лучевой технологии для сварки разнородных сталей позволяет достаточно точно регулировать степень проплавления за счет изменения положения электронного луча относительно стыка. Кроме того, электронный луч оказывает локальное тепловое воздействие, что позволяет получать очень узкие швы при значительно менее интенсивном разогреве околошовной зоны, что приводит к снижению неблагоприятных сварочных напряжений и деформаций.

Целью работы являлся выбор оптимальных технологических параметров электронно-лучевой сварки (ЭЛС) деталей машиностроения, изготавливаемых из разнородных материалов.

ОАО «Борисовский завод агрегатов» выпускает широкую гамму турбокомпрессоров типа ТКР. Колесо турбины изготавливают из жаропрочных никелевых сплавов, преимущественно из INCO 713 С, и приваривают к валу ротора из стали 40Х сваркой трением. При этом возникает

высокая вероятность образования интерметаллидных соединений в зоне контакта материалов, резко снижающих механическую прочность, пластичность и ударную вязкость сварных соединений.

В ФТИ НАН Беларуси проведены исследования по электронно-лучевой сварке указанных материалов на оборудовании на базе энергоблока ЭЛА-15 (ускоряющее напряжение 60 кВ, мощность луча до 15 кВт). Согласно конструкторской документации, глубина сварного шва для ротора КБПА 451100240 должна составлять 9 мм, а для ротора 600-1118072 – не менее 5 мм.

Детали перед проведением ЭЛС размагничивали, т.к. их остаточная намагниченность вызывает эффект «блуждания» луча. Отклонение луча от стыка может привести к непроварам и другим дефектам сварного шва.

Детали во время сборки закрепляли в сварочной оснастке и прижимали с усилием для обеспечения плотного прилегания по стыку и уменьшения коробления и поволоки после сварки. Совмещение стыка с электронным лучом осуществлялось поступательным движением каретки с установленной на ней оснасткой.

Выбранные режимы ЭЛС деталей приведены в табл. 1. Общий вид ротора КБПА 451100240 после сварки показан на рис. 1.

Таблица 1

Режимы электронно-лучевой сварки роторов

Режимы	КБПА 451100240	600-1118072
Ток фокусировки, мА	680	680
Ток сварки, мА	47	30
Частота вращения детали, об/мин	5	5

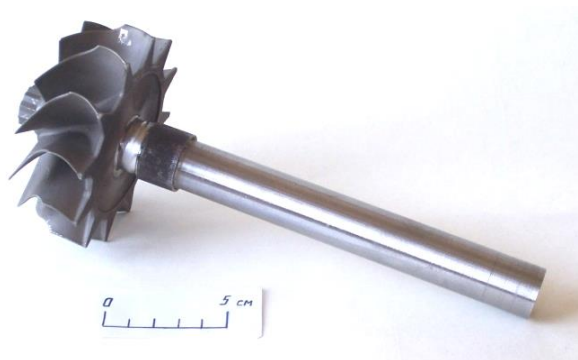


Рис. 1. Ротор КБПА 451100240 после ЭЛС

После электронно-лучевой сварки в ОАО «БЗА» выполнены исследования прочности сварного соединения деталей на разрывной машине РД-20. Одна часть экспериментальных образцов роторов испытывалась без термической обработки, другая часть – после обработки. Для уменьшения хрупкости, повышения пластичности и улучшения прочностных свойств сварных соединений в ОАО «БЗА» проводится объемный отпуск роторов в печи с последующей объемной закалкой вала ротора до твердости 35-41 HRC. Прочность на разрыв ротора 600-1118072 (турбокомпрессор ТКР-6) без проведения термообработки составила 75 кН, после обработки – 80 кН (по требованиям конструкторской документации – не менее 80 кН).

В ОАО «Амкодор» для изготовления корпусов фрикциона, шестерен и валов применяют сталь 40Х и сталь 20ХГТ. Эти стали относятся к условно свариваемым при всех методах сварки плавлением. Поэтому для предотвращения образования трещин в сварном соединении перед проведением ЭЛС и после сварки выполняли подогрев локального участка вблизи сварного шва. Режимы для подогрева и сварки детали типа шестерня из сталей 40Х и 20ХГТ с глубиной шва 8 мм приведены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы предварительного, последующего подогревов и электронно-лучевой сварки шестерен

Технологические параметры	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток сварки, мА	Ток фокусировки, А	Скорость сварки, см/с	Расстояние до детали, мм
Подогрева	60	25	690	1,7	600
ЭЛС	60	55	740	1,7	600

Результаты исследований были использованы при изготовлении опытных партий деталей 120.17.01.060, 120.17.01.070, 120.17.01.120, 120.17.01.130, 120.17.01.160, 120.17.01.210 для ОАО «Амкодор» (рис. 2).



Рис. 2. Детали ОАО «Амкодор», изготовленные с помощью ЭЛС

Таким образом, выбраны оптимальные технологические параметры ЭЛС деталей машиностроения из разнородных материалов: никелевый сплав INCO 713С и сталь 40Х, сталь 40Х и сталь 20ХГТ. Изготовлены опытные партии роторов турбокомпрессоров для ОАО «БЗА» и шестерен, валов, корпусов фрикциона для ОАО «Амкодор».

**УДК 621.794.61:539.23**

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ АЛЮМООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ И АЛМАЗОПОДОБНОГО УГЛЕРОДА**

**Н. М. Чекан, С. И. Багаев, И. П. Акула, А. А. Паршутто**

*НИЦ «Плазмотег»*

*Физико-технического института НАН Беларуси, Минск*

В настоящее время в машиностроении наблюдаются тенденции к замене деталей из сталей деталями из сплавов легких цветных металлов, таких как магний, алюминий, титан и цирконий, имеющих меньший удельный вес. Использование таких деталей приводит к снижению общего веса конструкции, что сказывается на улучшении эксплуатационных характеристиках изделия. Проблема снижения веса изделий при обеспечении надежности их функционирования является актуальной. В настоящей работе предлагается использовать для вышеуказанных целей новый композиционный материал на основе алюмооксидной керамики и алмазоподобного углерода.

Формирование композиционного материала проходило в три этапа. На первом этапе осуществлялась электролитно-плазменное полирование