

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА ПАКЕТОВ ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК ИЗ СТАЛЕЙ 08X16H13M2Б И 18X11MНФБШ

Чл.-кор. НАН Украины **М. Л. ЖАДКЕВИЧ**, **А. А. БОНДАРЕВ**, д-р техн. наук, **О. Н. КОРСУН**, **С. В. НАЗАРЕНКО**, **М. А. ПОЛИЩУК**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. Ф. МИНЕЦ, **В. И. НОВИКОВ**, **С. И. ДИДЕНКО**, **В. А. ОЛЕКСЕЕНКО**, **М. В. БЕСКОРСКИЙ**, инженеры
(ОАО «Полтавский турбомеханический завод»)

Приведены данные о свариваемости электронным лучом высокохромистой и аустенитной сталей, применяемых при изготовлении турбинных лопаток. Описаны технология и техника сварки пакетов турбинных лопаток. Даны режимы термической обработки лопаток после сварки и свойства соединений.

Ключевые слова: высокохромистые стали, электронно-лучевая сварка, турбинные лопатки, термическая обработка, свойства соединений

Ранее установлено [1], что особенностью электронно-лучевой сварки (ЭЛС) пакетов турбинных лопаток из высокохромистых сталей является их склонность к замедленному разрушению. Теми же авторами установлено, что для предотвращения этого явления сварку необходимо выполнять в диапазоне скоростей $1,7 \text{ мм/с} \leq v_{\text{св}} \leq 2,8 \text{ мм/с}$. Это условие применимо в том случае, когда стали сваривают в термически упроченном состоянии. Поэтому свариваемость высокохромистых сталей в основном обусловлена кинетикой превращения аустенита, которая и определяет характер структуры металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ). При этом причинами образования трещин, встречающихся в соединениях при ЭЛС, являются как структурные изменения и возникающие напряжения, вызванные термическим циклом, так и качество основного металла, содержащего растворенный водород, кислород и примесные элементы, влияющие на ликвационные процессы. Этими же факторами обусловлено появление

в зоне соединений пакетов лопаток дефектов других видов.

С целью предотвращения образования подобных дефектов и обеспечения высокого качества соединений в работе сваривали пакеты лопаток, полученных из сталей электрошлакового переплава, состав которых приведен в табл. 1.

С целью упреждения многих трудностей, вызванных реакцией этих сталей на термический цикл сварки, термическую обработку уже сваренных пакетов лопаток выполняли после их сварки. В табл. 2 приведены режимы термической обработки каждой из марок сталей.

После механической обработки перед сваркой лопаток в пакеты их тщательно обезжировали органическими растворителями. Сборку пакетов осуществляли с использованием вводно-выводных планок, которые закрепляли на прихватках аргонодуговой сваркой.

Таблица 1. Химический состав высоколегированных хромистых сталей, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	V
18X11MНФБШ	0,23	0,45	0,75	11,3	0,93	0,95	0,354	0,38
08X16H13M2Б	0,08	0,40	0,58	16,5	13,7	2,50	0,980	—

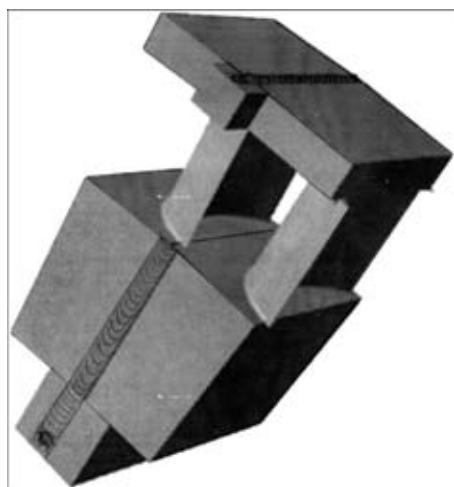


Рис. 1. Макет пакета из двух лопаток (у стыковых соединений расположены вводно-выводные планки)

Таблица 2. Режимы термической обработки пакетов турбинных лопаток

№ п/п	Операция	Температура, °С	Время выдержки, ч
Сталь 08X16H13M2Б			
1	Ступенчатый нагрев	До 200	2
2	Подъем температуры	До 350	1,5
3	Отжиг	720	3
4	Охлаждение на воздухе	С 200	
Сталь 18X11MНФБШ			
1	Ступенчатый нагрев	До 200	2
2	Подъем температуры	До 400	2
3	Подъем температуры	До 600	3
4	Отпуск	720	3
5	Охлаждение на воздухе	С 200	



Таблица 3. Режимы сварки пакетов лопаток из высоколегированных хромистых сталей

Марка стали	Толщина кромок, мм	Параметры режима				
		$U_{\text{св}}$, кВ	$I_{\text{п}}$, мА	$I_{\text{ф}}$, мА	$v_{\text{св}}$, м/ч	$f_{\text{ск}}$, Гц*
18X11МНФБШ	13	30	115...120	58,0	20	125
	60	30	360...370	56,5	10	100
08X16Н13М2Б	13	30	120...125	57,5	20	125
	60	30	370...380	57,0	10	100

* Дискретное сканирование осуществляли по круговой траектории с амплитудой 1,2 мм.

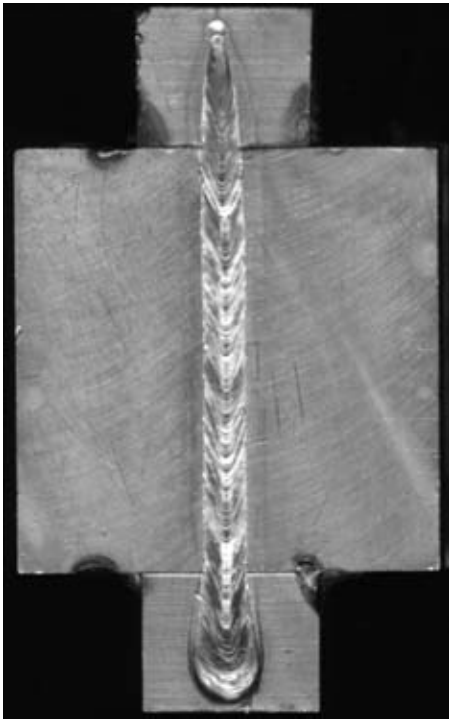


Рис. 2. Внешний вид стыкового соединения со стороны бандажа

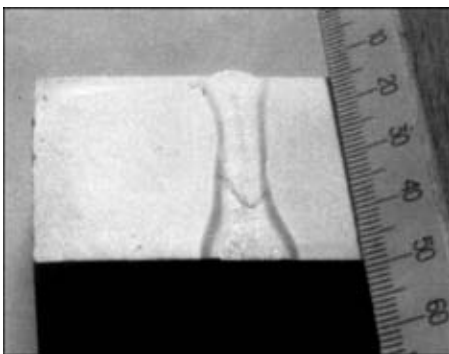


Рис. 3. Макрошлиф двухстороннего шва при сварке пакета из двух лопаток со стороны их хвостовой части

Вводно-выводные планки изготавливали из той же марки стали, что и пакеты лопаток. Ширина планок была несколько больше ширины ЗТВ, установленной в процессе оптимизации параметров сварки. Размер планок вдоль стыков (рис. 1) был выбран из условия достаточности для выхода на режим сварки и последующего в конце сварки вывода пучка по мощности до нуля.

Параметры процесса сварки лопаток как со стороны бандажа, так и хвостовой части приведены в табл. 3.

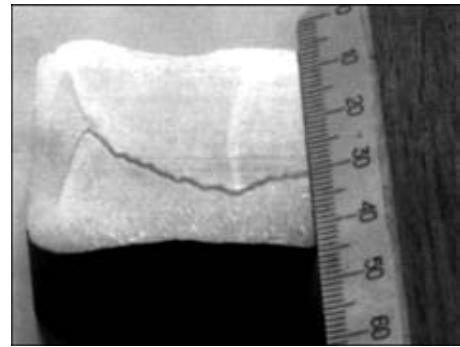


Рис. 4. Макрошлиф двухстороннего шва (вырез выполнен вдоль его оси)

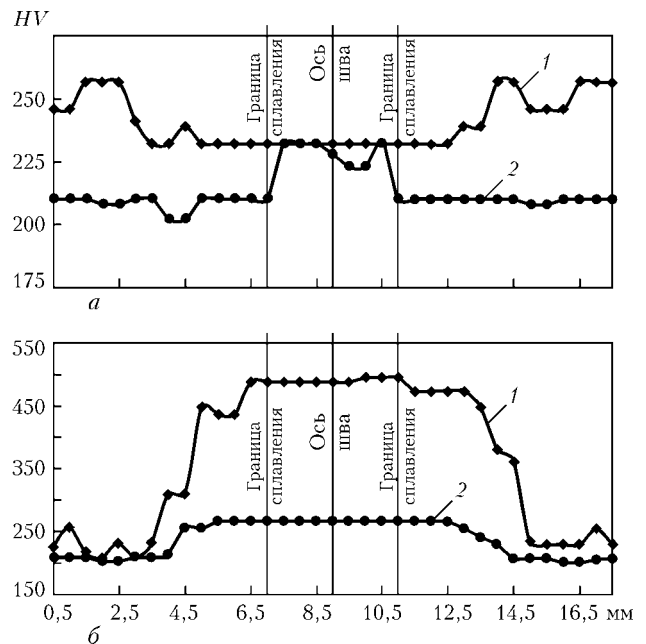


Рис. 5. Характер распределения твердости в соединении стали 18X11МНФБШ (а) и 08X16Н13М2Б (б) после ЭЛС (1) и последующей термической обработки (2)

Согласно ранее установленным рекомендациям и с целью обеспечения более высокой производительности при реализации «групповой» технологии скорость сварки во всех случаях превышала 3 мм/с, с учетом ограниченного объема вакуумной камеры за одну загрузку (в сборочном приспособлении) сваривали от 6 до 8 пакетов лопаток. Сварку осуществляли на установке У-212 от источника питания У-250А. Ввиду небольшой массы собранных пакетов, а также с учетом выполнения термической обработки их после сварки, предварительный подогрев перед сваркой не применяли. На рис. 2

показано формирование шва со стороны бандажа, а на рис. 3 — макрошлиф поперечного сечения свариваемых швов со стороны хвостовой части лопаток. На рисунке видно гарантированное перекрытие зоны проплавления при наложении двухстороннего шва.

Одним из наиболее опасных участков при неполном проплавлении стыка в хвостовой части пакетов лопаток была зона вывода электронного пучка на полную мощность, начиная с момента включения перемещения сварочного манипулятора и выхода на заданную скорость.

Для предотвращения образования корневых дефектов сварку осуществляли дискретно-сканирующим пучком с программированием плотности мощности в пятне нагрева [2]. Амплитуда круговой развертки при частоте 100...125 Гц составляла 1,2 мм. На макрошлифе, приведенном на рис. 4, видно плавное нарастание глубины проплавления в каждом шве при полном отсутствии корневых дефектов. Наиболее характерным признаком предупреждения появления корневых дефектов является формирование корня шва оплавленной зоны с закруглением радиуса более 1 мм (см. рис. 3).

При исследовании распределения твердости (рис. 5) в соединениях на поперечных макрошлифах после сварки в ЗТВ видны участки частичной закалки небольшой протяженности.

Последующая термическая обработка (см. табл. 2) приводит практически к полному выравниванию твердости как металла шва, так и ЗТВ к твердости основного металла. Других дефектов в виде микротрещин, рыхлот, корневых дефектов как при ультразвуковом контроле, так и при металлографических исследованиях, в швах не было обнаружено.

Таким образом, предложенная технология и параметры процесса сварки пакетов турбинных лопаток, изготовленных из высокохромистых сталей, позволили обеспечить высокое качество и надежность изделий, не прибегая к использованию средств и приемов их ремонта.

1. *Электронно-лучевая сварка* / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
2. *Бондарев А. А., Скрябинский В. В.* Сварка алюминиевых сплавов с программированием распределения плотности мощности электронного пучка по пятну нагрева // Автоматическое управление технологическим процессом электронно-лучевой сварки. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1987. — 130 с.

Data are given on weldability in electron beam welding of high-chromium and austenitic steels, applied in manufacture of turbine blades. Technology and technique of welding turbine blade packs are described. Modes of heat treatment of blades after welding and joint properties are given.

Поступила в редакцию 08.01.2004

НОВОСТИ НКМЗ

Новокраматорский машиностроительный завод выиграл тендер на поставку шахтам Печорского угольного бассейна десяти комбайнов

Обойдя в острой конкурентной борьбе семь зарубежных фирм, Новокраматорский машиностроительный завод завоевал право на изготовление и поставку шахтам Печорского угольного бассейна сразу десяти проходческих комбайнов П1110 и П220 (5+5).

Основанием для выигрыша в тендере стали технико-экономические и ценовые показатели П1110 и П220. Достаточно сказать, что по компоновочным решениям проходческая техника Новокраматорского машиностроительного завода, как утверждают специалисты, превосходит отдельные современные образцы австрийской, немецкой и английской. По сравнению же с эксплуатирующимися ныне российскими комбайнами среднемесячные темпы проходки, например, П1110 — в несколько раз выше.

Надежно обосновались в угольной отрасли и более мощные комбайны П220. Одно из важных их отличительных качеств — способность проходить выработки большей протяженности и сечения по крепким породам. Они уверенно работают как в Украине, так и за рубежом, в том числе и в России. Принимая во внимание просьбу российских угледобытчиков провести техническое перевооружение шахт «Воркутауголь» и «Интауголь» в предельно сжатые сроки, новокраматорцы начнут отгрузку первых комбайнов уже в марте.