

**ПРОЦЕССЫ МНОГОМАСШТАБНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ
ЗАГОТОВОК ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА
КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО ЭЛЕКТРОННО-
ЛУЧЕВОЙ СВАРКОЙ**

Муравьев В.И., Бахматов П.В., Григорьев В.В.

Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре

Из аналитической оценки известно [1, 2], что основными дефектами неразъемных соединений (НС) при изготовлении титановых конструкций летательных аппаратов (ЛА), выполняемых сваркой плавлением, более 45 % составляют поры, вызывающие снижение механических свойств, трудоемкость при исправлении дефектов и возможные катастрофы в процессе эксплуатации ЛА.

Многообразие работ по исключению пористости в НС металла шва титановых конструкций направлено не на улучшение качества стыкуемых поверхностей, а на интенсификацию процессов удаления уже образовавшихся пор из расплавленной ванны. Остается нерешенным вопрос образования пор в металле шва при ЭЛС в глубоком вакууме.

Исследованиями [3] установлено, что важнейшую роль на порообразование, в процессе сварки титановых сплавов, играет влага в объеме дефектов торцевой поверхности, которая диссоциирует и абсорбирует атмосферу дуги кислородом и водородом, что позволяет количественно определить последний спектральным методом [4].

В работе [5] было предложено использовать в качестве критерия оценки качества подготовки поверхности заготовок и проволоки для НС, при сварке титановых конструкций сваркой плавлением, насыщенность капиллярно-конденсированной влагой (ККВ). Первые исследования влияния разделительных операций на качество подготовки стыкуемых кромок и проволоки по критерию насыщенности ККВ, показали удовлетворительные результаты. Используя этот критерий в работе [6] было найдено одно из перспективных направлений получения беспористых НС при изготовлении титановых конструкций сваркой плавлением – высокоскоростная механическая обработка.

Для обработки резанием использованы два образца из сплава ВТ20 с габаритными размерами 10×20×220. Первый образец обработан с использованием фрезы со сколами на радиусах и режущей части, которая была сдана на списание (изношенный инструмент). Второй образец обработан новой фрезой без видимых сколов и повреждений (новый инструмент). Режимы резания представлены в таблице 1. Обработку резанием плоскости образцов из титанового сплава ВТ20 производили как цилиндрическим, так и торцевым фрезерованием концевой фрезой МТ190VB-016Z16R05-32-L100-Т (СКИФ-М, Россия). Содержание водорода определяли спектральным методом с применением низковольтного и импульсивного разряда методом 3 эталонов на спектрографе ИСП51 в соответствии с ОСТ 1 90034-81. Насыщенность поверхности капиллярно-конденсированной влагой оценивали по отношению поверхностного содержания водорода к содержанию в основном металле:

$$N = \frac{H_p}{H_0},$$

где H_p – поверхностное содержание водорода; H_0 – содержание водорода в основном металле.

Таблица 1. Режимы резания образцов из сплава ВТ20

Режим	Номер прохода					
	1	2	3	4	5	6
Обороты, об/мин	400	500	600	700	800	900
Подача, мм/мин	60	70	80	90	100	110
Скорость резания $V_{рез}$, м/мин	20	25	30	35	40	45

Как видно из данных рисунка 1 и таблицы 1, при традиционных режимах резания сплава ВТ20 наблюдается неравномерное распределение значений шероховатости поверхности (скорости резания $V = 20 \dots 30$ м/мин). При переходе к высокоскоростной обработке сплава ВТ20 (скорости резания $V = 35 \dots 45$ м/мин) устанавливается практически равномерное распределение параметров шероховатости. При этом необходимо отметить, что при торцевом фрезеровании плоскости сплава ВТ20 показатели шероховатости практически на порядок меньше показателей при цилиндрическом фрезеровании плоскости образцов.

Также установлено, что высокоскоростная механическая обработка позволяет практически полностью исключить насыщение поверхностного слоя водородом, особенно это касается торцевого фрезерования сплава ВТ20 (см. рисунок 1, б). Содержание водорода в основном металле образцов из сплава ВТ20 составляет $H_2 = 0,0013 \%$, а в поверхностном слое $H_2 = 0,0015 \dots 0,0017 \%$.

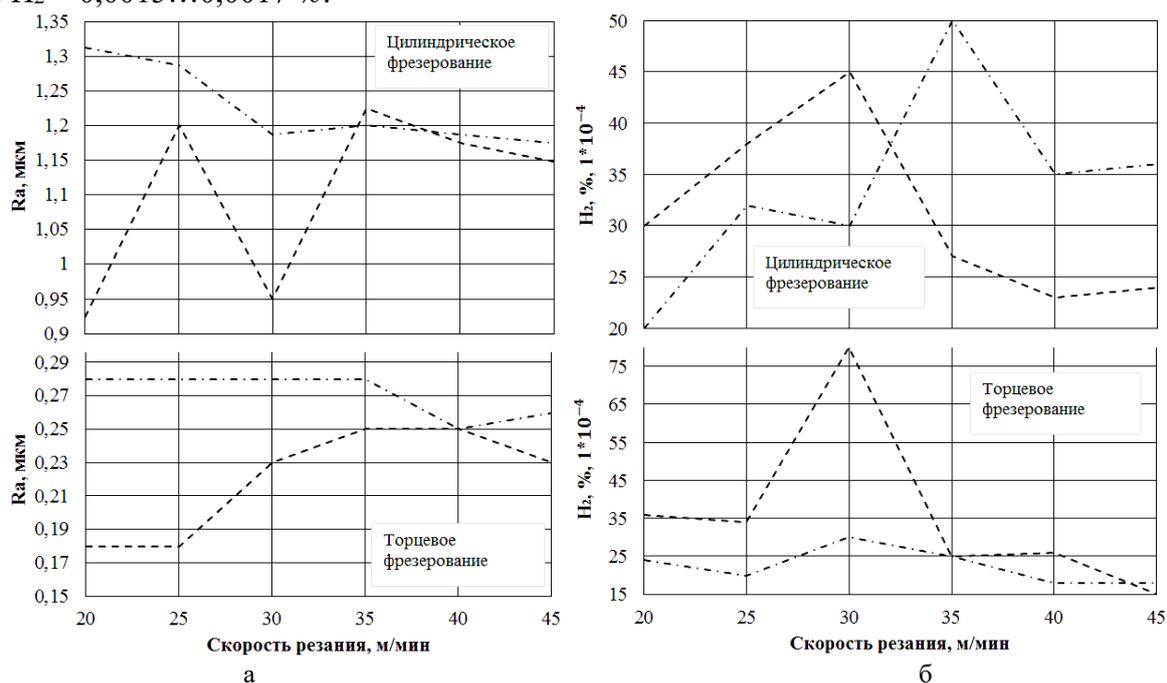


Рис. 1. Влияние режимов механической обработки на шероховатость поверхности (а) и изменение содержания водорода (б) образцов из сплава ВТ20.
 - - - - изношенная фреза; — — — — новая фреза

Полученные результаты были апробированы в технологическом процессе электронно-лучевой сварки (ЭЛС) на установке КЛ-144 (КнААЗ им. Ю. А. Гагарина). Апробирование произведено на сплаве ВТ20 толщиной 30 мм после высокоскоростной механической обработки заготовок под сварку торцевым и цилиндрическим фрезерованием. После сварки произведён радиографический контроль с использованием аппарата РАП 150/300, недопустимых дефектов, согласно РТМ 1.4.1379-84, не обнаружено.

1. Редчиц В.В., Фролов В.А., Казаков В.А., Лукин В.И. Пористость при сварке цветных металлов. М: Изд-во Технология машиностроения. – 2002. – 448 с.
2. Муравьев В.И., Бахматов П.В., Долотов Б.И. Обеспечение надежности конструкций из титановых сплавов. Москва, Эком. – 2009. – 752 с.
3. Редчиц В.В., Никифоров Г.Д., Фролов В.В., Колачев Б.А. Основные закономерности образования пор при сварке плавлением титана и его сплавов. Сварочное производство. 1987. № 5. С. 28–30.
4. Муравьев В.И., Бахматов П.В., Григорьев В.В. и др. Исследование влияния электронно-лучевой сварки титановых сплавов на распределение водорода в сварном шве // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. Т. 18, № 4. С. 157–168.
5. Муравьев В.И., Бахматов П.В., Лончаков С.З, Физулаков Р.А. Накопление водорода в поверхностном слое Ti-заготовок при изготовлении конструкций // Металлургия машиностроения. 2011. № 6. С. 23–29.
6. Муравьев В.И., Бахматов П.В., Григорьев В.В. Влияние режимов механической обработки стыкуемых кромок на качество неразъемных соединений, выполненных сваркой плавлением, при сборке титановых конструкций летательных аппаратов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2021. № 6(735). С. 67–79.