

КАЛИБРОВКА ОСЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КРУГЛОШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА С ЧПУ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

В статье рассмотрен вопрос калибровки модернизируемого круглошлифовального станка Jones & Shipman 1049E с системой ЧПУ Mach3 с помощью лазерного интерферометра. Рассказано об устройстве и компоновке экспериментального шлифовального станка. Исследованы показатели точности позиционирования, определены и устранены основные причины, влияющие на отклонение фактических перемещений от заданных. Предложена методика калибровки осей с применением системы Mach3.

Ключевые слова: шлифовальный станок, наладка оборудования, лазерный интерферометр, Mach3.

Введение. Тенденции современного машиностроения направлены в сторону повышения точности и автоматизации производства. Одним из самых распространенных способов решения стал перевод металлорежущего оборудования на управление системой числового программного управления (СЧПУ).

На базе Омского государственного технического университета проводится модернизация станочного парка, а именно оснащение станков системами ЧПУ и новыми комплектующими [1]. Большое внимание уделяется модернизации и совершенствованию шлифовального оборудования [2, 3]. В данной статье рассмотрен экспериментальный модернизированный круглошлифовальный станок Jones & Shipman 1049E, который оснастили системой ЧПУ и произвели замену приводов по координатам.

Для круглошлифовального станка с компьютерным программным управлением в качестве системы управления использована компьютерная программа Mach3 с официального источника.

Mach3 позволяет использовать обычный компьютер как контроллер станка с ЧПУ. Эти богатые возможности составляют большую ценность для тех, кто нуждается в СЧПУ для персонального компьютера [4]. Mach3 работает на большинстве ПК с Windows XP/Vista/7 и применяется, чтобы управлять движением двигателей (шаговые и серво) путем переработки G-Code. Mach3 настраивается и используется для многих приложений с многочисленными типами оборудования [5]. Было подключено перемещение круглошлифовального станка Jones & Shipman 1049E по двум координатам: X — перемещение стола и Z — перемещение салазок со шпинделем. После его сборки появилась необходимость произвести калибровку и оценить фактически достигну-

тые точностные характеристики модернизированного оборудования.

Основной целью испытаний машин является оценка показателей технического уровня и качества станков, и на основе этой информации разработка мероприятий, которые позволяют достигнуть работоспособности станка в соответствии с показателями его технических условий [6].

Основное значение диагностики состоит в повышении надежности объектов на этапе их производства, эксплуатации или хранения. Главными показателями качества систем диагностирования являются гарантируемые ими полнота обнаружения и глубина поиска дефектов. Среди доступных в университете средств диагностики наиболее качественным и точным является лазерный интерферометр модели XL-80 фирмы Renishaw. Данный прибор позволяет производить проверку большинства точностных характеристик линейных и поворотных осей [7]. Точность прибора составляет 0,1 мкм, что вполне удовлетворяет требованиям исследования. В нашем эксперименте мы проводим линейные измерения точности позиционирования, а также динамические измерения перемещения исполнительного органа.

Калибровка станка лазерным интерферометром: методика и специфика. В первую очередь, лазерная система коммутируется и подключается к ПК, после чего её устанавливают таким образом, чтобы луч лазера был параллелен измеряемой оси. Затем устанавливается вся необходимая оптика и производится окончательная юстировка интерферометра (рис. 1). После чего производится выполнение теста, т. е. серия перемещений исполнительного органа станка на заданное программно перемещение, разделенных паузами для фиксации значений измерений лазерной

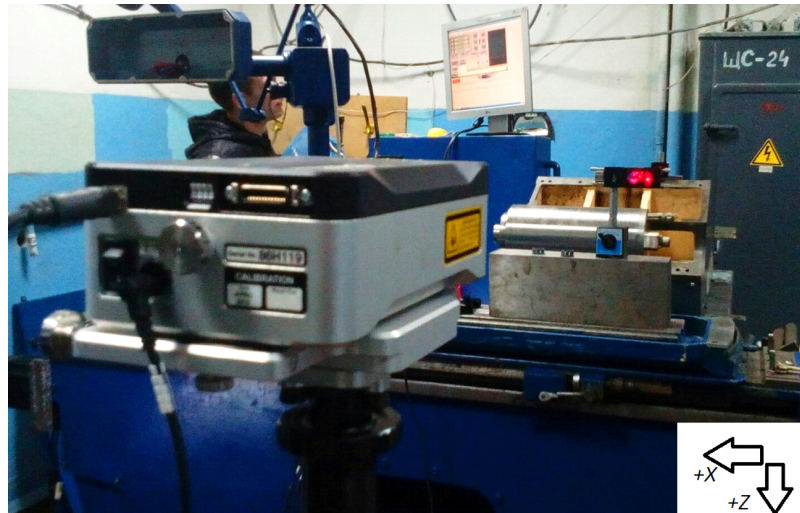


Рис. 1. Фотография процесса юстировки лазерной системы вдоль оси Z

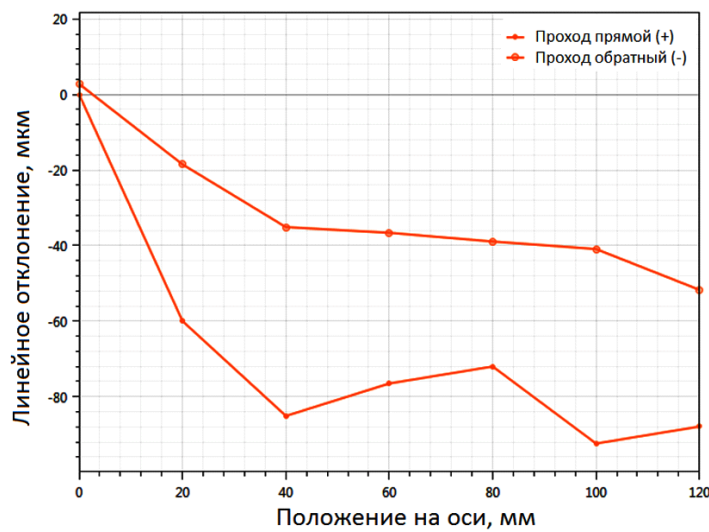


Рис. 2. Зависимость точности позиционирования при установленном кожухе

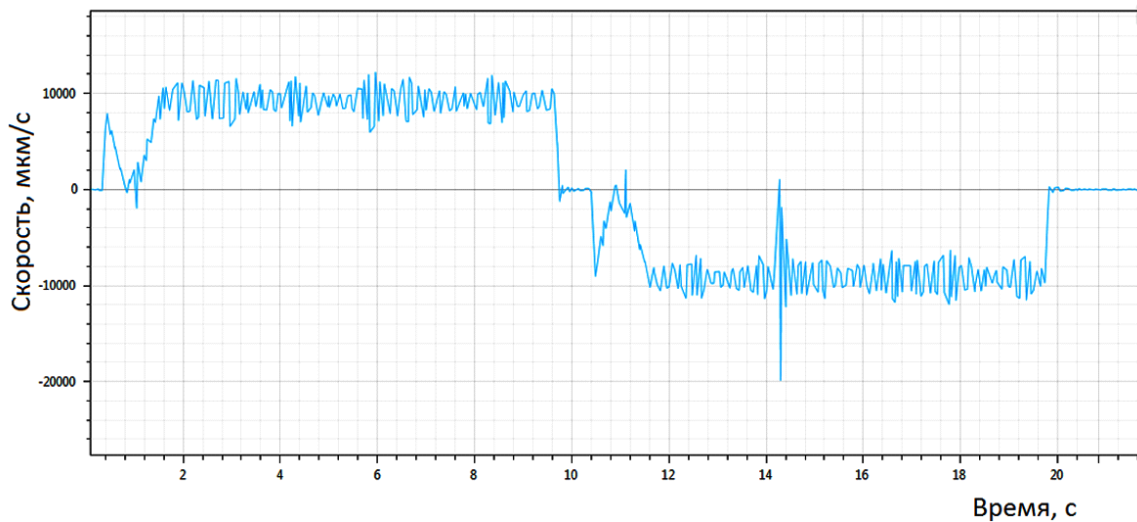


Рис. 3. График зависимости скорости от времени при динамическом измерении точности станка с установленным защитным кожухом

системы. Затем производится программная коррекция люфта встроенными средствами Mach3. Калибровка оси станка с помощью встроенных функций выполняется многократно с целью увеличения точности позиционирования. Так, каждый последующий прогон уменьшает ошибку позиционирования

в 1,5–2 раза. Осуществив калибровку оси на длину $L = 120$ мм таким образом, чтобы ошибка позиционирования в точках $z = 0$ и $z = 120$ не превышала 5 мкм, проведем измерение. Тест выполняется как двунаправленный проход. Пробный тест на собранном станке производили с параметрами шаг $P = 10$ мм,



Рис. 4. Фотография салазок станка со снятым кожухом

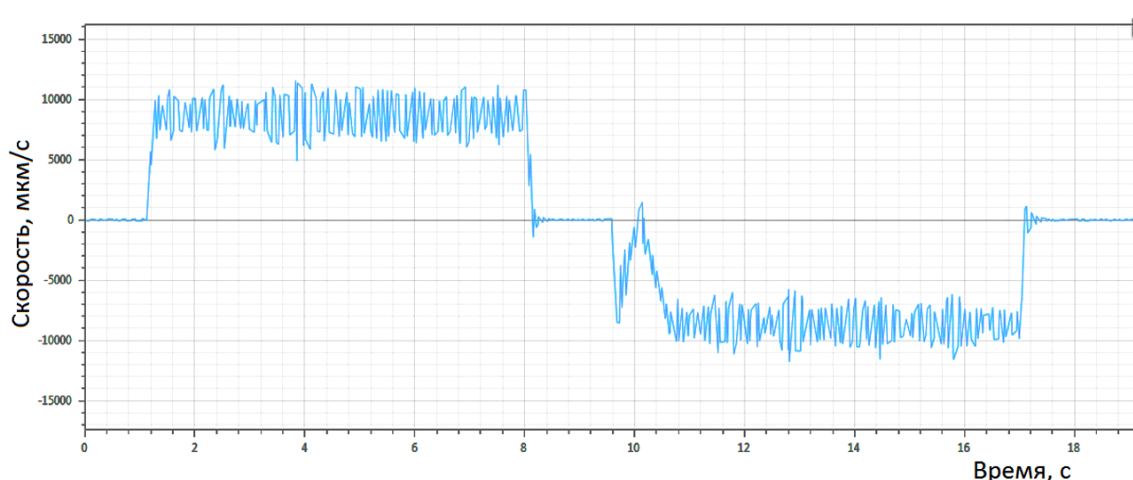


Рис. 5. График зависимости скорости от времени при динамическом измерении точности станка со снятым защитным кожухом

длина измерения $L_{изм} = 120$ мм. Результаты представлены на рис. 2.

Анализ результатов. В результате анализа стало очевидно наличие сопротивления перемещению в координатах от 0 до 40 мм с увеличением силы в сторону уменьшения тестовой координаты. Кроме того, на результатах динамических измерений (рис. 3) заметны резкие скачки скорости при $t = 14,3$ с, причиной которых является отсутствие плавности хода кожуха. Было принято решение снять защитный кожух, установленный в рабочей зоне станка и фиксируемый с помощью пружин, и провести повторный эксперимент.

После снятия кожуха резкие удары на графиках динамических измерений исчезли (рис. 4, 5). Видимые неровности при старте движения можно отнести к неточностям динамики процесса выборки люфта СЧПУ Mach3.

Повторный эксперимент (рис. 6) показал, что откалиброванный станок достиг следующих параметров: точность (максимальное расхождение при позиционировании) 31,6 мкм, среднее отклонение 17,2 мкм, фактическая ошибка реверса 16,7 мкм. Для исследования причин, влияющих на величины отклонений при позиционировании, была проведена калибровка на $L_k = 50$ мм. Результаты измерения $L_{изм} = 50$ мм, $P = 2$ мм представлены на рис. 7.

Калибровка оси на перемещения, меньшие или сопоставимые с шагом винта $P_b = 5$ мм, дают значительную погрешность, превышающую несколько миллиметров на 100 мм перемещения, и не пригодна для применения ни в режиме макроперемещений, ни в режиме микроперемещений.

На совмещенном графике (рис. 8) представлены результаты линейных измерений станка при калибровке на $L_k = 120$ мм (синий) и на $L_k = 50$ мм (красный). Очевидным становится повторяемость траектории не только на реверсных проходах, но и на проходах с разной калибровкой. Причиной этому может служить неравномерность шага винта шариковинтовой передачи (ШВП). Эта гипотеза была подтверждена тем, что, снова откалибровав ось на $L = 120$ мм и сравнив результат с полученным ранее, мы наблюдаем аналогичную картину (рис. 9).

Согласно ОСТ 2 Р31-7-88, по точностным параметрам шариковинтовые передачи разделяют на позиционные и транспортные. Позиционные ШВП позволяют произвести косвенное измерение осевого перемещения в зависимости от угла поворота и хода резьбы винта. В станке установлены энкодеры угловых перемещений на выходном валу двигателя привода, поэтому ШВП относятся к типу позиционных. Классы кинематической и геометрической точности ШВП должны соответствовать ОСТ 2 РЗ 1-4-88.

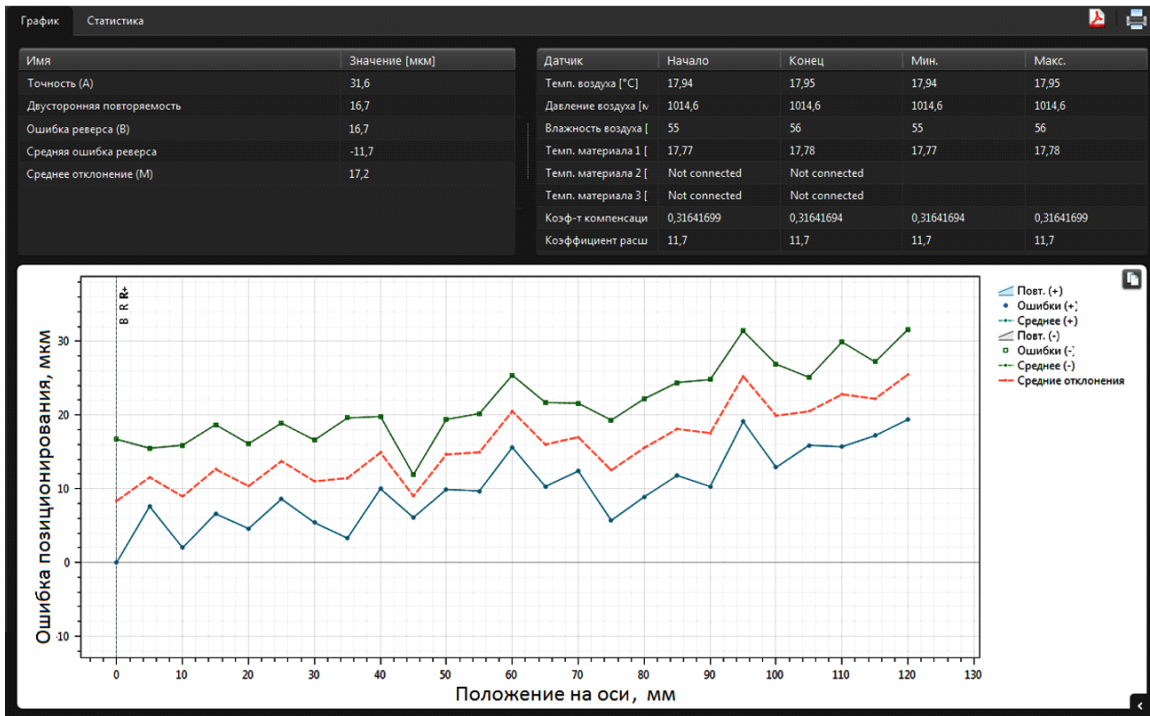


Рис. 6. Отчет системы Renishaw и график линейных измерений станка на длине $L_{изм} = 120$ мм, $P = 5$ мм

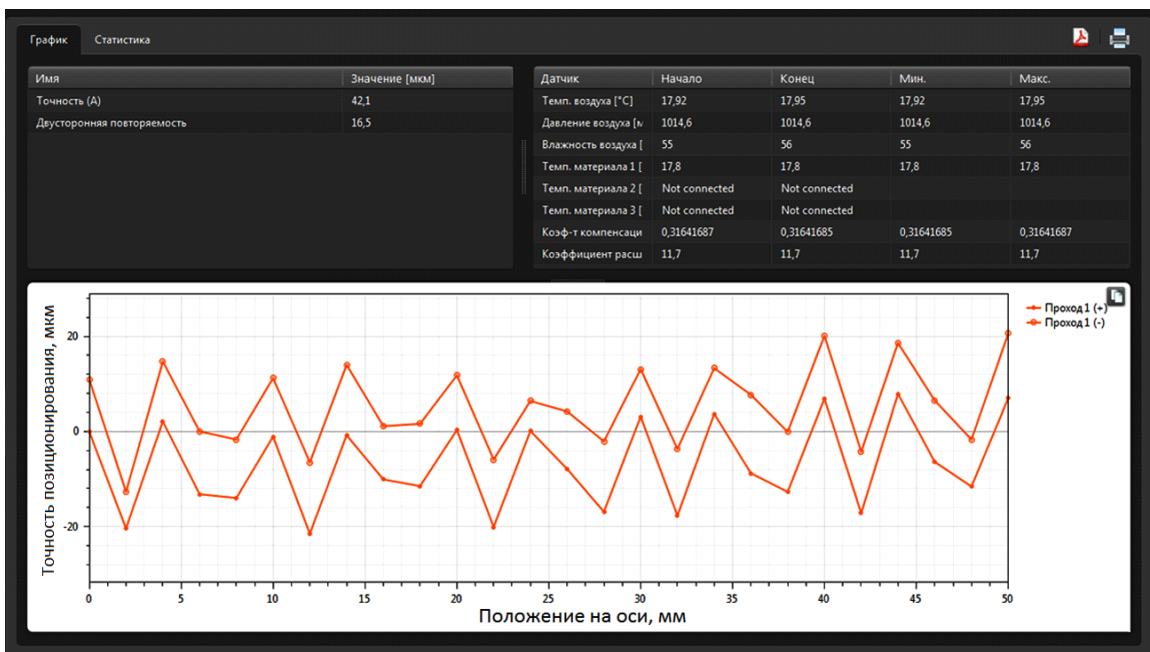


Рис. 7. Отчет системы Renishaw и график линейных измерений станка на длине $L_{изм} = 50$ мм, $P = 2$ мм

Кинематическую точность ШВП характеризуют кинематической погрешностью винтовой пары — разностью между действительным и номинальным осевыми перемещениями одной из сопряженных деталей винтовой пары в их относительном движении.

ГОСТ устанавливает для позиционных ШВП класса П7 ограничение на максимальную кинематическую погрешность 0,052 мм. Согласно проведенным линейным измерениям, максимальная кинематическая погрешность не превышает 0,041 мм при калибровке на $L_k = 120$ мм.

Выводы.

1. Для достижения минимальной погрешности позиционирования необходимо проводить калибровку оси с помощью системы ЧПУ Mach3 на максимально возможной величине хода винта.
2. Система ЧПУ Mach3 работает корректно и согласно с тем, что угловой энкодер установлен на валу двигателя, отследить фактическую погрешность перемещений без применения средств диагностики не представляется возможным.
3. Шарико-винтовая пара, согласно ОСТ 2 РЗ 1-4-88, соответствует классу П7, и её использование

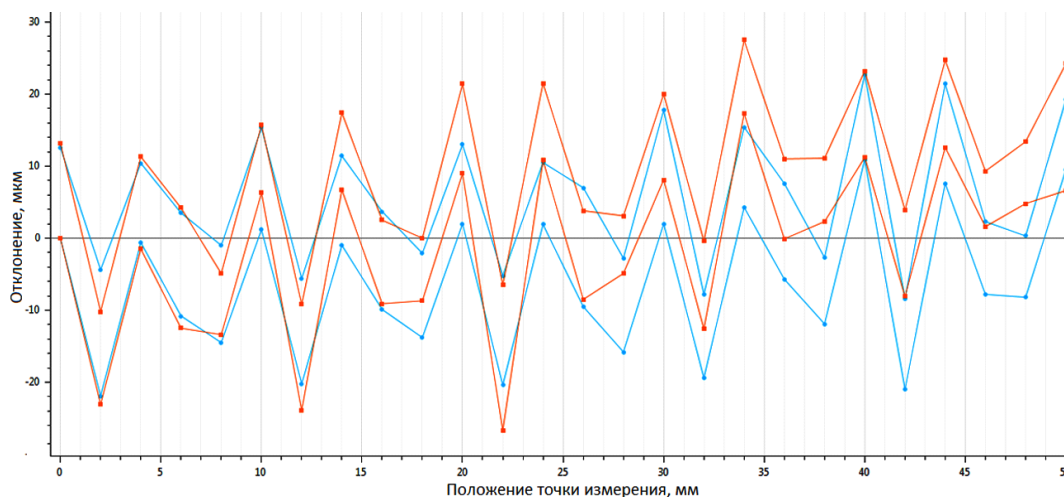


Рис. 8. Совмещенный график измерений станка при калибровке на $L_k=120$ и на $L_k=50$ мм

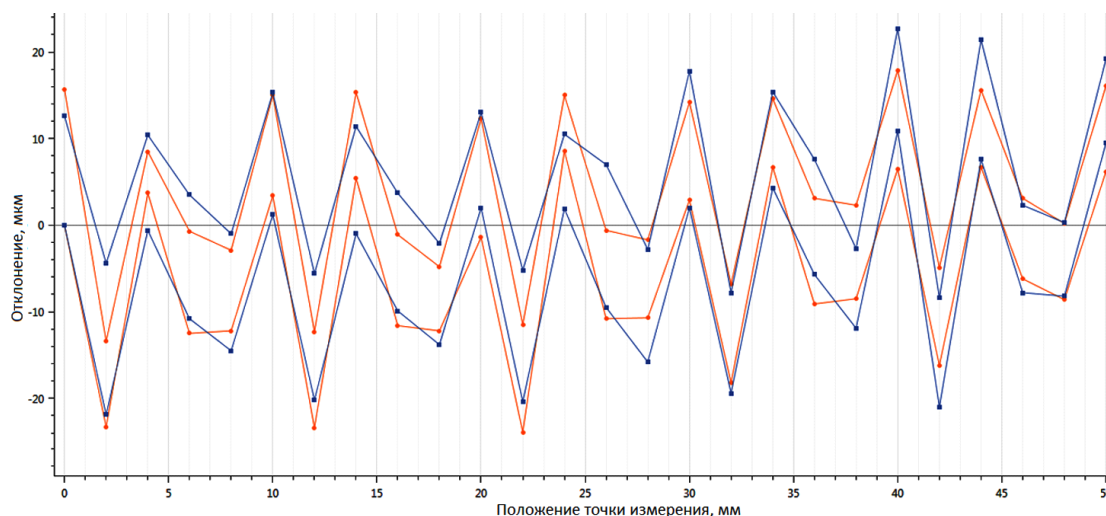


Рис. 9. Совмещенный график линейных измерений на длине 50 мм до и после повторной калибровки на $L_k=120$ мм

может быть рекомендовано только для применения в станках с ЧПУ, не требующих точности позиционирования точнее 52 мкм.

4. Защитный кожух, установленный на пружинах, вносит значительный вклад в отклонение от точности позиционирования. Рекомендуется либо применение более слабых пружин, либо резиновых защитных полос.

5. Для повышения точности позиционирования исследованного станка необходимо или установить СЧПУ более высокого уровня, чтобы в ней была возможность внести таблицу компенсаций, либо применение шарико-винтовой пары более высокого класса.

Библиографический список

1. Назаров, П. В. Модернизация специального станка, предназначенного для шлифования передней поверхности и стружечной канавки протяжки / П. В. Назаров, Е. В. Васильев, В. А. Сергеев, М. В. Васильева // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2015. — № 3 (143). — С. 175–176.
2. Nazarov, P. V. Increase of profile grinding accuracy of high-precision nonrigid broaches on machines with CNC / P. V. Nazarov, E. V. Vasilyev, A. Y. Popov // 2014 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2014, pp. 1–4. DOI: 10.1109/Dynamics.2014.7005685.
3. Назаров, П. В. Разработка конструкции специального станка, предназначенного для черновой обработки труднообрабатываемых материалов / П. В. Назаров, Е. В. Васильев, П. Е. Попов, А. Ю. Попов // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии. — 2014. — № 3 (133). — С. 131–132.
4. Трофименко, О. В. Малогабаритный пятикоординатный станок с компьютерным программным управлением / О. В. Трофименко, А. Ю. Белавин, А. Р. Абзалов // Современные проблемы науки и образования. — № 1-2. — 2015. — С. 112–121.
5. Galantucci, L. M. Semi-Automatic Low cost 3D Laser scanning systems for reverse engineering / L. M. Galantucci, E. Pileri, F. Lavecchia, A. Zhavo // 3rd CIRP Global Web Conference. — Procedia CIRP 28. — 2015. — P. 94–99. — Режим доступа : <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.04.016> (дата обращения: 04.10.2016).
6. Юркевич, В. В. Жизненный цикл металлорежущих станков: мониторинг состояния : моногр. / В. В. Юркевич, А. Г. Схиртладзе, В. П. Борискин. — Старый Оскол : ТНТ, 2014. — 552 с.
7. Koltsov, A. G. The influence of kinematic characteristics of Stewart platform for precision moving measuring mechanism / A. G. Koltsov, D. A. Blokhin, A. V. Khabarov, D. A. Redorovich //

КОЛЬЦОВ Александр Германович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

БЛОХИН Дмитрий Андреевич, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов, студент гр. КТОМ-151 факультета элитного образования и магистратуры.

БУГАЙ Иван Анатольевич, ассистент и аспирант кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

НАЗАРОВ Павел Владиславович, ассистент и аспирант кафедры металлорежущих станков и инструментов.

Адрес для переписки: a.g.koltsov75@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 12.10.2016 г.

© А. Г. Кольцов, Д. А. Блохин, И. А. Бугай, Е. В. Васильев, П. В. Назаров

УДК 621.95:669.295

**А. С. НИТЕЙСКИЙ
А. В. РАСЦУПКИН**

Омский государственный
технический университет

Публичное акционерное общество
«Сатурн», г. Омск

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОЗУБОЙ ФРЕЗЫ ПРИ ЧИСТОВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТОНКОСТЕННЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены преимущества, связанные с применением однозубых твердосплавных фрез при чистовом фрезеровании криволинейных поверхностей заготовок из титановых сплавов. Проанализированы факторы, определяющие возникновение вибрации инструмента в процессе обработки. На основе экспериментальных данных произведен анализ параметров процесса резания, влияющих на геометрические и качественные характеристики обрабатываемой поверхности. Определена специальная для данного вида обработки геометрия концевой фрезы, способствующая уменьшению вибрационной активности в зоне резания, приведены параметры обработки.

Ключевые слова: титановые сплавы, шероховатость, числовое программное управление, фреза, радиальная глубина, стойкость инструмента.

Тонкостенное фрезерование труднообрабатываемых материалов на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) характеризуется возникновением технологических проблем, связанных с получением геометрических характеристик искомого профиля и заданных параметров шероховатости поверхности, обусловленных возникновением вибраций инструмента и заготовки в процессе резания. Стратегия совершенствования станков с ЧПУ, режущего и вспомогательного инструмента оказывает огромное влияние на производственные и технологические процессы современного машиностроения.

Уменьшение влияния негативных характеристик обработки является основной задачей для технологов и инженеров механической обработки, которая успешно решается специалистами ПАО «САТУРН»

г. Омск. Применение специального инструмента успешно реализуется в ответственных работах на фрезерном оборудовании с ЧПУ при обработке жаропрочных и титановых сплавов.

Основной недостаток стандартных концевых фрез заключается в том, что, имея небольшой угол подъема винтовой канавки, они воспринимают большую ударную радиальную нагрузку [1]. Частота периодического силового воздействия фрезы первого порядка на заготовку равняется частоте удара режущего зуба фрезы, т.е. произведению частоты вращения фрезы на число зубьев фрезы. Форма импульсов воздействия зависит от технологических параметров обработки, при этом, как правило, импульсы имеют пилообразную форму (рис. 1а).

Для снижения воздействия гармоник колебаний с частотами, кратными частоте удара зуба, необхо-

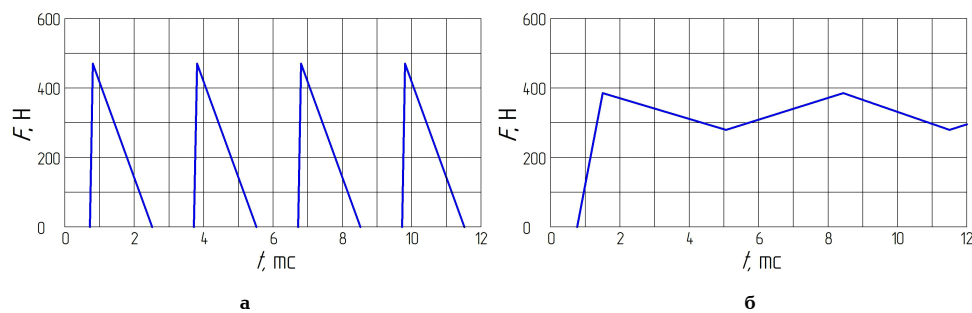


Рис. 1

Таблица 1

Марка инструмента	Фактический диаметр [*] , мм	Обороты шпинделя S , мин ⁻¹	Подача на зуб f_z , мм/об.	Радиальная глубина срезаемого слоя a_{er} , мм	Осевая глубина срезаемого слоя a_p , мм	Номинальный размер, мм	\uparrow , мкм	\downarrow , мкм	Δ , мкм
SECO	9,93	6000	0,03	0,05	10	48	35	40	5
SGS	9,97	6000	0,03	0,05	10	48	32	38	6
Однозубая фреза	9,99	6000	0,03	0,05	10	48	23	27	4
SECO	9,95	10000	0,05	0,02	10	47	41	48	7
SGS	9,99	10000	0,05	0,02	10	47	38	45	7
Однозубая фреза	9,99	10000	0,05	0,02	10	47	18	21	3

димо использовать инструмент с минимально возможным количеством зубьев, поэтому рекомендуется в данном случае, при тонком фрезеровании, использовать фрезы с одним или двумя зубьями. Применение подобного инструмента сводит к минимуму действие низкочастотных колебаний на закон вибрационной активности, распространяющейся от инструмента в зоне резания [2].

Для решения этой задачи в попытках совместить достоинства фрезы и резца инженеры предприятия ПАО «САТУРН» (г. Омск) проводили исследование по разработке положительной геометрии инструмента, результатом которых стала однозаходная фреза с малой глубиной винтовой канавки, которая шлифована под углом 56 – 58 градусов. Угол винтовой канавки для этой фрезы обусловлен материалом заготовки, формой и размером обрабатываемой детали. Задняя поверхность фрезы обладает небольшими шлифованными канавками, предназначенными для вывода и дробления стружки, таким образом защищая фрезу от налипания стружки. Данная фреза является однозубой и обладает значительным преимуществом над другими фрезами, имея при этом большую жесткость и меньшее радиальное биение вследствие упрощенной геометрии. При оптимальных режимах резания и правильной стратегии обработки, фреза имеет большую стойкость по сравнению со стандартными чистовыми фрезами. Это происходит потому, что один из зубьев стандартной фрезы раньше остальных изнашивается, что приводит к ухудшению поверхности и переменной величине срезаемого слоя для обработки последующими зубьями. Как правило, износ происходит по одному зубу, поскольку, при тонком фрезеровании, глубина срезаемого слоя варьируется в пределах от 0,05 до 0,02 мм, то данные ограничения оказывают значительное влияние на протекание процесса резания.

Недостаточная жесткость фрезы приводит к дисбалансу, вследствие чего инструмент начинает воспринимать большие радиальные нагрузки и теряет свойства стабильного резания [3, 4].

Лезвие зуба в процессе обработки вследствие геометрических особенностей при достаточной осевой глубине резания находится в контакте по двум точкам с обрабатываемой поверхностью, что благоприятно действует на стабильность процесса резания [5]. Форма силовых импульсов, оказываемых данным инструментом на заготовку, схематично изображена в виде графика (рис. 1б).

Преимущество однозубой фрезы было выявлено эмпирическим методом, по результатам сравнения качественных и геометрических параметров получаемой поверхности при равных режимах резания. Данные измерений приведены в табл. 1 и на рис. 2–3.

В табл. 1 приведены показания измерений геометрической точности поверхностей обработанных цилиндрической частью фрез и отклонения от их номинальных значений. Обработка сплава ВТ-14 производилась наиболее распространенными производителями цельного осевого твердосплавного инструмента. Измерения линейных размеров проводились на двух уровнях относительно осевой глубины резания, чтобы определить радиальное отклонение инструмента в процессе резания. Данные показывают, что процесс фрезерования однолезвийным инструментом с рекомендованной геометрией проходит в более стабильных условиях, способствующих снижению сил резания, следовательно, повышающих точность обработки поверхностей.

Прогнозирование результатов тонкого фрезерования титановых сплавов является особо важной составляющей для работы технологов в области точного машиностроения. Проведен ряд измерений, при которых были выявлены наиболее благоприятные области комбинации режимов резания.

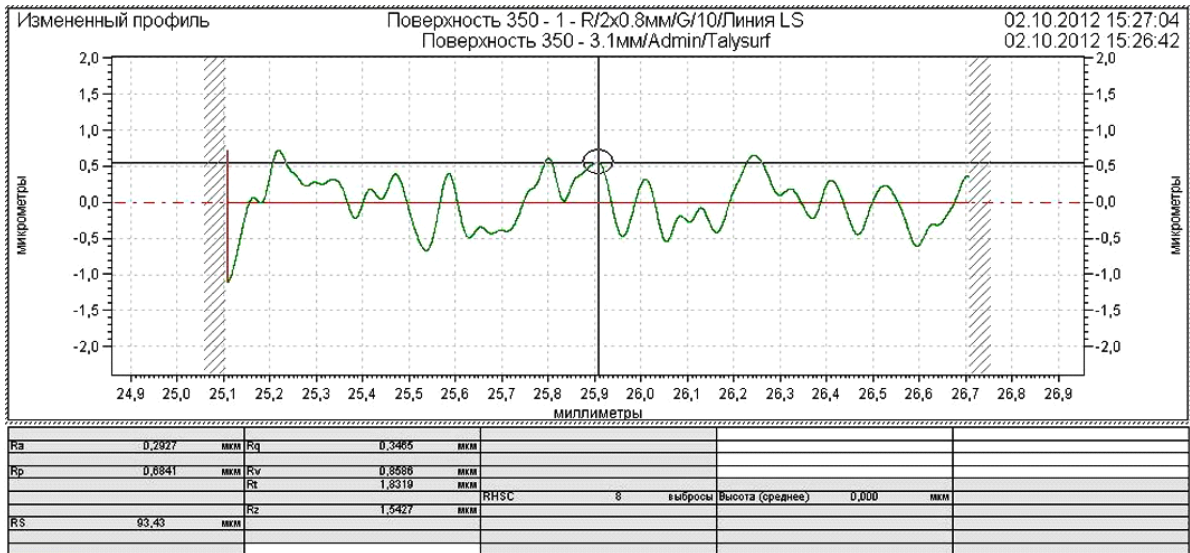


Рис. 2

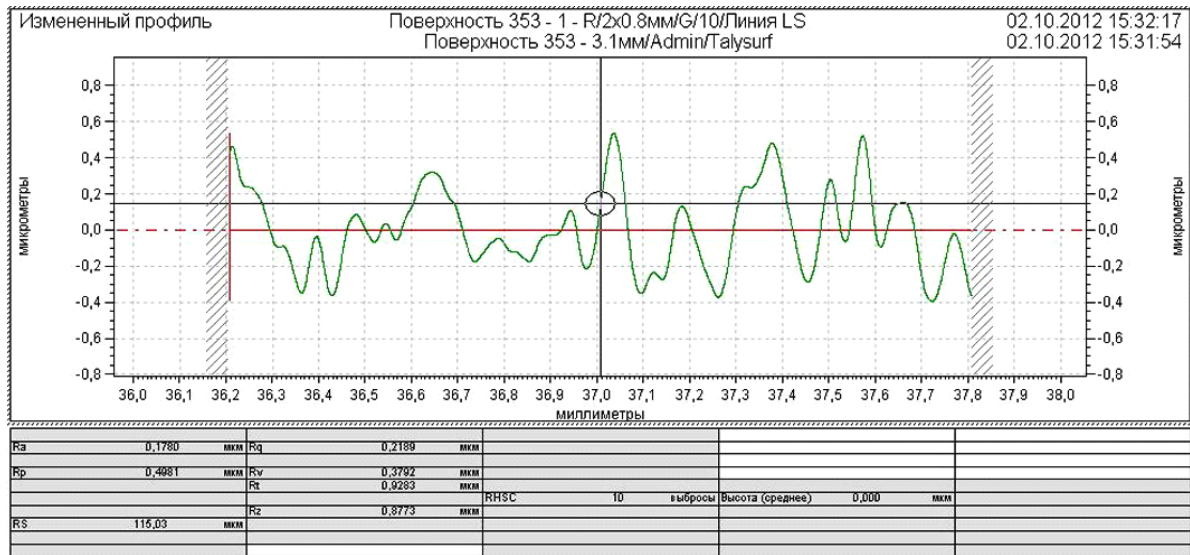


Рис. 3

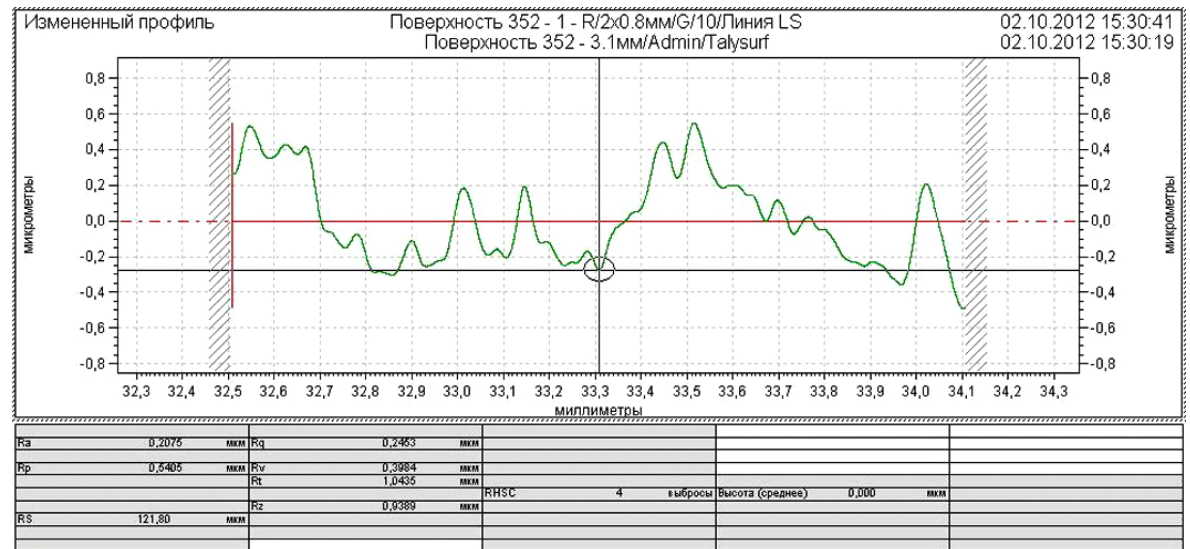


Рис. 4

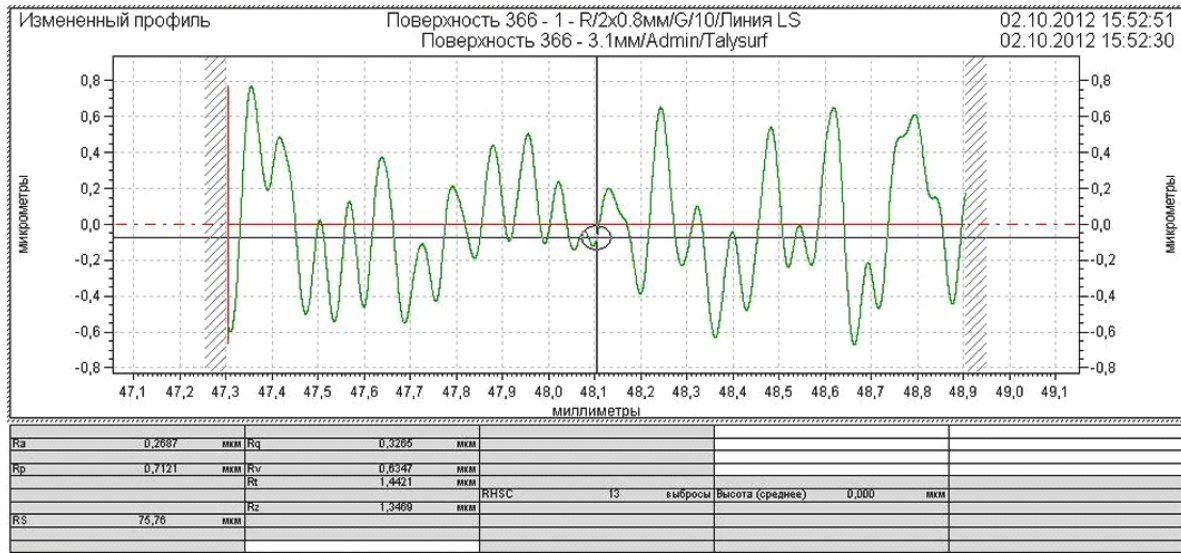


Рис. 5

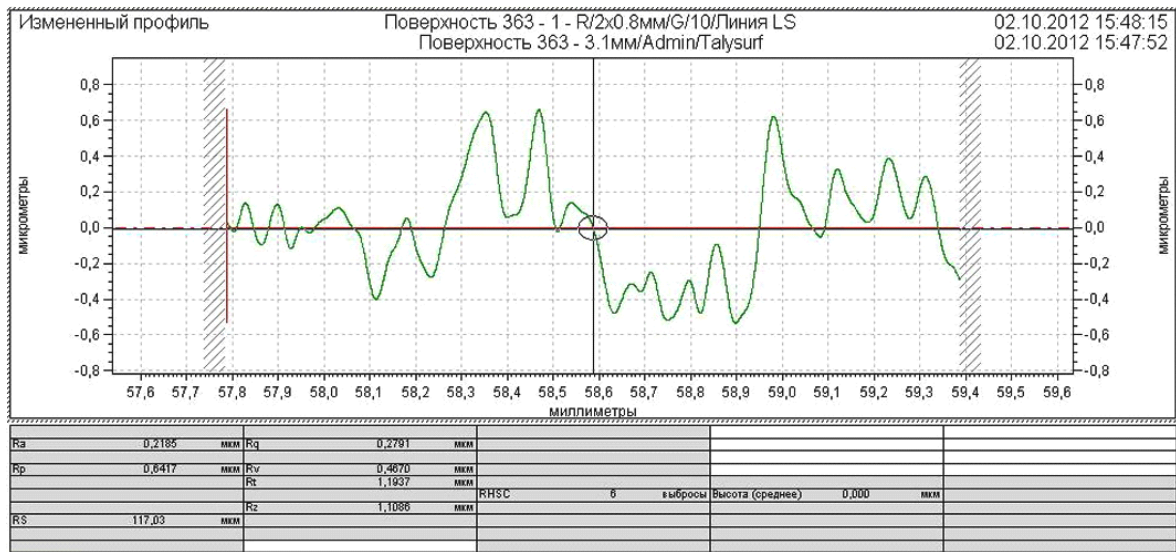


Рис. 6

Скорость вращения шпинделя, об./мин	Подача, мм/мин	Глубина резания, мм	Толщина среза, мм							
			0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,09	0,1	
600	30	10								
800	30	10								
1000	50	10								
3000	80	10								
4000	100	10								
6000	100	10								
8000	100	10								
9000	200	10								
10000	200	10								
12000	200	10								
14000	250	10								
15000	300	10								
16000	300	10								
17000	300	10								
18000	350	10								

Рис. 7

Используя эти данные, инженер может учитывать прогнозируемую стабильность на протяжении всего цикла чистовой лезвийной обработки. На рис. 4 – 6

приведены качественные характеристики профиля поверхности, обработанной однозубой фрезой при величине срезаемого слоя осевой $t = 10$ мм и радиальной $a_p = 0,05$ мм, число оборотов шпинделя составляет 800 об./мин, 3000 об./мин и 6000 об./мин соответственно, при пропорциональной радиальной подаче.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, сведены в таблицу и представлены в виде схемы (рис. 7), для выбора оптимальных режимов обработки в базовых условиях, которые позволят получить более стабильный результат.

Очевидно, что фрезерование инструментом, который имеет только одну режущую кромку, имеет более стабильные показатели вибрационной активности в процессе резания. Более того, при жестком креплении обрабатываемой детали такая фреза снижает вероятность возникновения паразитирующих колебаний в зоне резания, что привело бы к значительным вибрациям всей системы СПИД. Благодаря тому, что фреза оснащена только одним режущим зубом, показатели шероховатости обрабатываемой поверхности при корректном подборе режимов резания могут соответствовать показателям при растачивании.

Однозубые фрезы отличаются относительно высокой стойкостью в процессе тонкого фрезерования труднообрабатываемых материалов — их конструкция исключает неравномерный износ зуба. Неравномерный износ лезвия многозубых фрез приводит к динамическому изменению такого параметра, как «подача на зуб», что, в свою очередь, приводит к резкому повышению радиальной нагрузки на инструмент. Изменение этого параметра способствует снижению точности обработки, повышению вибраций и, как следствие, ухудшению параметров шероховатости и повышенному риску поломки инструмента. Очевидно, что применение режущего инструмента с одним зубом значительно снижает влияние вышеперечисленных факторов.

Вывод. Однозубая фреза менее требовательна к качеству закрепления обрабатываемой заготовки. При нежёстком креплении возникающие при обработке вибрации заготовки на порядок ниже вследствие меньших сил резания и более стабильного процесса фрезерования, которые не оказывают столь разрушительного влияния на фрезу. Кроме того, рациональный выбор режимов резания позволяет легко добиться желаемой шероховатости обрабатываемой поверхности, по этому показателю однозубая фреза практически не имеет себе аналогов.

Библиографический список

1. Андреев, Ю. С. Исследование микрогеометрии поверхности пары трения скольжения в период приработки /

Ю. С. Андреев, В. А. Валетов // Трибология и надежность : сб. науч. тр. XI Междунар. конф. / Петербургский гос. ун-т путей сообщения. — СПб., 2011. — № 11. — С. 44–52.

2. Валетов, В. А. Возможные критерии оценки шероховатости обработанных поверхностей / В. А. Валетов // Сб. тр. Ленингр. кораблестроит. ин-та. — Л., 1976. — С. 135–140.

3. Мамаев, И. И. Комплексная оптимизация параметров режущего инструмента / И. И. Мамаев // Станки и инструмент. — 1991. — № 2. — С. 11–12.

4. Табенкин, А. Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт / А. Н. Табенкин, С. Б. Тарасов, С. Н. Степанов. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. — 136 с.

5. Шагун, В. И. Режущий инструмент / В. И. Шагун. — Мн. : Пион, 2002. — 495 с.

НИТЕЙСКИЙ Антон Сергеевич, кандидат технических наук, преподаватель кафедры инженерной геометрии и САПР Омского государственного технического университета.

Адрес для переписки: antongth@gmail.com

РАСЦУПКИН Артем Вадимович, инженер-технолог 1-й категории, ПАО «Сатурн», г. Омск.

Адрес для переписки: archijoke@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.10.2016 г.

© А. С. Нитейский, А. В. Расцупкин

УДК 622.276.7

В. А. ПЕННЕР

Омский государственный
технический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СБОРКИ КОНИЧЕСКОГО РЕЗЬБОВОГО СОЕДИНЕНИЯ МУФТЫ И НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОЙ ТРУБЫ

В статье рассмотрен анализ факторов, влияющих на относительное расположение муфты и насосно-компрессорной трубы (НКТ) при их сборке. Приведены зависимости углов перекосов деталей с резьбовым коническим соединением от глубины ввода и смещения осей («муфта–НКТ»). Представлены зависимости для определения погрешности базирования при установке сопрягаемых деталей на роликовые опоры.

Ключевые слова: насосно-компрессорная труба, муфта, погрешности базирования.

Актуальной задачей является установление зависимости процесса обеспечения точности относительного положения собираемых деталей, дающих возможность выявить и количественно оценить влияние основных показателей, характеризующих определенные характеристики оборудования и собираемых деталей [1, 2].

Схема предварительного этапа навинчивания при сборке конического резьбового соединения «муфта — насосно-компрессорная труба» (рис. 1):

1) сопряжение — цилиндрическая выточка муфты — конусная резьба трубы;

2) наживление и навинчивание муфты на конусную резьбу трубы.

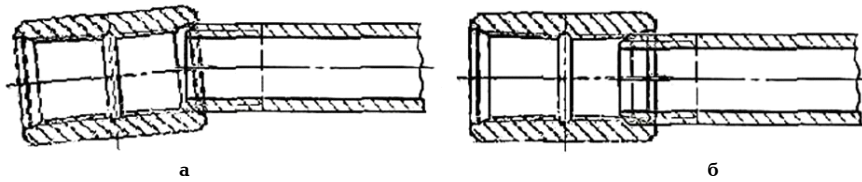


Рис. 1. Схема этапа предварительного навинчивания:
а — сопряжение; б — наживление и навинчивание

Технологическое обеспечение сборки конического резьбового соединения «НКТ — муфта» представляется возможным только после анализа факторов, которые влияют на относительное положение муфты и трубы.

Погрешность базирования муфты на вращающиеся ролики определяется в общем случае, когда радиусы базовых роликов различны (рис. 2) и в частном случае равенства радиусов роликов [3].

Обозначения: r_1, r_2 — радиусы роликов (77 мм); r_H — радиус наружной поверхности детали (44,45 мм); h — расстояние от оси наружной цилиндрической поверхности до прямой, проходящей через оси роликов; l_1, l_2 — расстояние от осей роликов до точки пересечения перпендикуляра, проведенного от оси наружной цилиндрической поверхности к прямой, проходящей через оси роликов, с прямой, проходящей через оси роликов; m — расстояние между осями роликов (160 мм).

$$l_{1max} = \frac{m + \frac{\delta_m}{2}}{2} -$$

$$\frac{\left(r_2 - \frac{\delta_2}{2} - \frac{\delta_{p2}}{2} + r_H - \frac{\delta_H}{2}\right)^2 - \left(r_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_{p1}}{2} + r_H + \frac{\delta_H}{2}\right)^2}{2\left(m + \frac{\delta_m}{2}\right)}; \quad (1)$$

$$l_{1min} = \frac{m - \frac{\delta_m}{2}}{2} -$$

$$\frac{\left(r_2 + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_{p2}}{2} + r_H + \frac{\delta_H}{2}\right)^2 - \left(r_1 - \frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_{p1}}{2} + r_H - \frac{\delta_H}{2}\right)^2}{2\left(m - \frac{\delta_m}{2}\right)}; \quad (2)$$

$$h_{max} = \sqrt{\left(r_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_{p1}}{2} + r_H + \frac{\delta_H}{2}\right)^2 - l_{1min}^2}; \quad (3)$$

$$h_{min} = \sqrt{\left(r_1 - \frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_{p1}}{2} + r_H - \frac{\delta_H}{2}\right)^2 - l_{1max}^2}. \quad (4)$$

Полученные выводы позволяют определить погрешность базирования в зависимости не только от допуска на диаметр наружной поверхности муфты ($\delta_H = 1,8$ мм), но и допусков на все другие конструктивные элементы — на диаметры обрешиненных роликов ($\delta_1 = \delta_2 = 0,1$ мм), на межосевое расстояние ($\delta_m = 0,2$ мм), на величины радиального биения поверхностей роликов при их вращении ($\delta_{p1} = \delta_{p2} = 0,1$ мм).

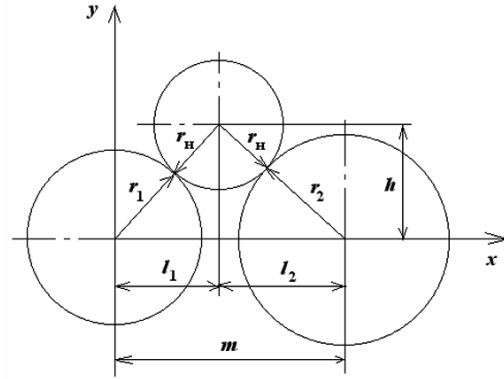


Рис. 2. Расчетная схема для определения погрешности базирования

В вертикальном и горизонтальном направлениях погрешность базирования определяется как разность между наибольшим и наименьшим значением величины h и l_1 .

При равенстве радиусов роликов и требований точности к ним может быть применена упрощенная формула:

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{(r_1 + r_H)(\delta_H + \delta_1 + \delta_{p1})}{m}. \quad (5)$$

Для принятых конструктивных размеров и допусков $\varepsilon_{\sigma} = 1,48$ мм.

Графики зависимости угла перекоса осей собираемых деталей от глубины ввода второй детали в первую и смещения оси второй детали относительно оси первой детали представлены на рис. 3а и рис. 3б для конического соединения ($d = 67,682$, $S_{max} = 33,35$, $2tg\alpha = 0,0625$). На рис. 3а поворот второй детали происходит в направлении, противоположном смещению детали, а на рис. 3б — в направлении смещения [4–6].

Полученные зависимости позволяют назначать допуски на отклонения относительного положения базовых поверхностей собираемых деталей.

В результате теоретических исследований получены зависимости для суммарных погрешностей смещений и перекосов собираемых деталей, уточнены зависимости угла перекоса осей собираемых деталей от глубины ввода второй детали в первую и смещения оси второй детали относительно оси первой детали. Получены формулы для определения погрешности базирования собираемых деталей при установке их на роликовое приспособление. Данные формулы учитывают не только допуски на диаметр наружной поверхности детали, но и допуски на другие конструктивные элементы — на межосевое расстояние, на диаметры роликов, на величины радиального биения поверхностей роликов при их вращении.

Методика проведения исследований включает следующие этапы: выверку исходного положения

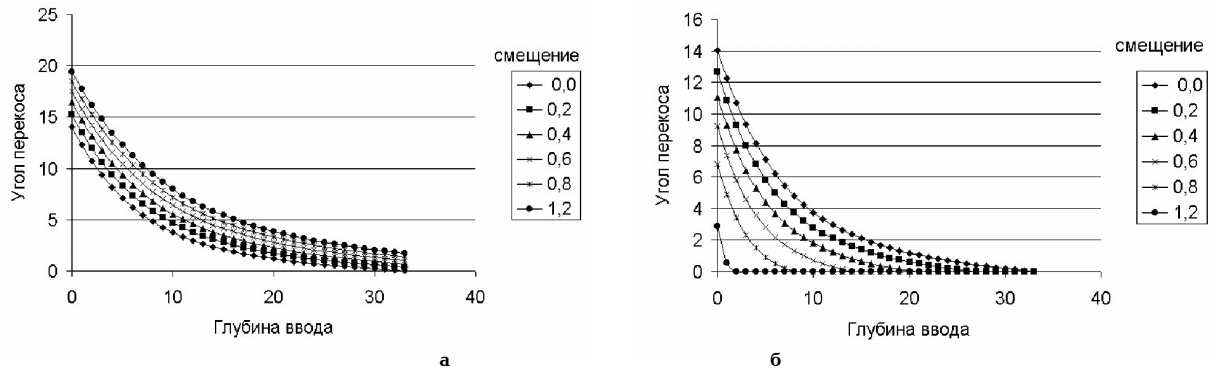


Рис. 3. Зависимости угла перекоса осей (в мин) сопрягаемых деталей от глубины ввода (в мм)

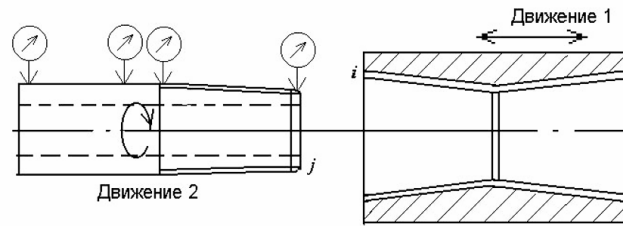


Рис. 4. Выверка исходного положения образцов

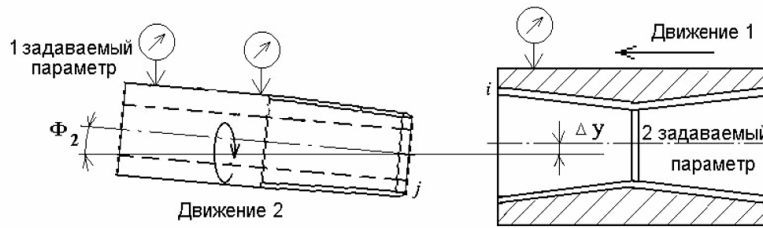


Рис. 5. Выверка заданного положения образцов с параметрами Φ_2 и Δy

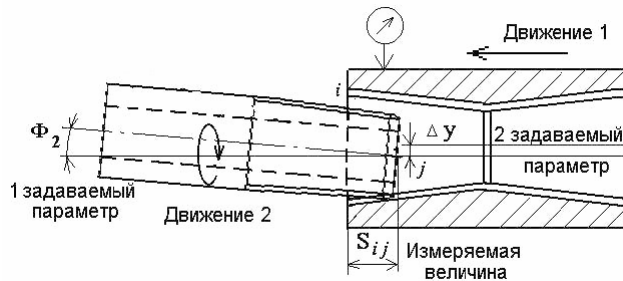


Рис. 6. Измерение глубины ввода, S

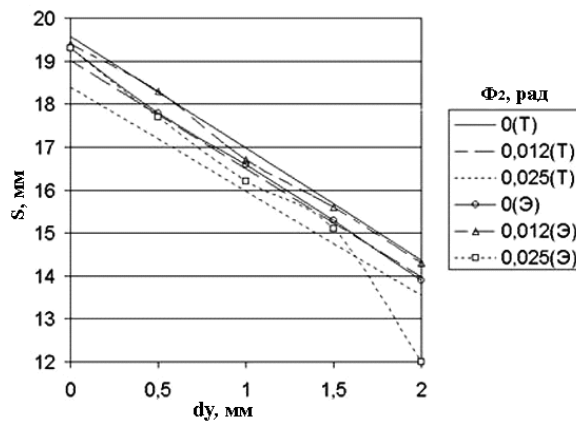


Рис. 7. Зависимости глубины ввода S от радиального смещения dy и угла перекоса осей собираемых деталей Φ_2 :
(Т) — теоретические зависимости;
(Э) — экспериментальные зависимости

резьбового элемента НКТ и муфты (рис. 4), выверку заданного положения образцов (рис. 5) и измерение глубины ввода (рис. 6). Результаты эксперимента представлены на рис. 7.

Выводы.

1. В статье проведен анализ факторов, которые влияют на относительное положение муфты и насосно-компрессорной трубы при их сборке.

2. Уточнены зависимости углов перекосов деталей с резьбовым коническим соединением от глубины ввода и смещения осей («муфта — НКТ»).

3. Получены зависимости для определения погрешности базирования при установке на роликовые опоры.

Библиографический список

1. Биргер, И. А. Резьбовые соединения / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич. — М. : Машиностроение, 1973. — 256 с.

2. Моргунов, А. П. Определение допустимых отклонений относительного положения собираемых деталей при автоматической сборке / А. П. Моргунов, В. А. Пеннер, В. Б. Масыгин // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения : материалы III Междунар. технолог. конгресса, Омск, 7–10 июня 2005 г. : в 2 ч. — Омск : ОмГУ, 2005. — Ч. I. — С. 171–116.

3. Пеннер, В. А. Особенности схемы базирования на вращающихся роликах при автоматической сборке резьбовых соединений / В. А. Пеннер, В. Б. Масыгин // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. тр. / под ред. Е. А. Памфилова. — Брянск : БГИТА, 2004. — Вып. 3. — С. 64–66.

4. Пеннер, В. А. Применение выверки при исследовании собираемости деталей / В. А. Пеннер, В. Б. Масыгин // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения : материалы III Междунар. технолог. конгресса, Омск, 7–10 июня 2005 г. : в 2 ч. — Омск : ОмГУ, 2005. — Ч. I. — С. 164–166.

5. Рабинович, А. Н. Автоматизация и механизация сборочных процессов в машиностроении и приборостроении / А. Н. Рабинович. — Киев, М. : Машгиз, 1956. — 174 с.

6. Максимович, Б. Д. Автоматизация проектирования технологических процессов автоматической сборки / Б. Д. Максимович // Машиностроитель. — 1999. — № 4. — С. 50–52.

ПЕННЕР Виктор Андреевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры нефтегазового дела, стандартизации и метрологии, секция «Метрология и приборостроение».

Адрес для переписки: penner1102@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.10.2016 г.

© В. А. Пеннер

УДК 535.6:655.2:655.3

**И. А. СЫСУЕВ
Е. А. КОБЕНКО
М. Ф. ФЕДОРЧУК
Н. Н. КОЗИНА**

**Омский государственный
технический университет**

ОЦЕНКА ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ В ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ

В статье рассматриваются вопросы воспроизведения цветных изображений с использованием технологии электрофотографии (лазерные и светодиодные принтеры). Рассматриваются критерии оценки, в частности, цветовой охват систем печати «лазерный (светодиодный) принтер — бумага». Приведены результаты оценки цветовоспроизведения шести систем печати с использованием различных технологий оценивания. Показаны особенности цветовоспроизведения современных моделей лазерных и светодиодных принтеров.

Ключевые слова: электрофотография, лазерные принтеры, система печати, цветовой охват, объем тела цветового охвата.

Цифровая печать — это печать с помощью устройств, печатающих при непосредственной передаче данных из компьютера. Среди технологий цифровой печати одно из ведущих мест занимает технология электрофотографии, реализуемая в лазерных и светодиодных принтерах. Изображение в этих устройствах формируется в результате переноса тонера (при цветной печати — последовательно четырех тонеров) со светочувствительного барабана на запечатываемый материал с использованием электрического заряда. В лазерных принтерах для создания изображения на светочувствительном барабане применяют лазеры, а в светодиодных — линейку светодиодов.

Качество цифровой печати оценивают посредством значительного количества показателей: оптическая плотность фона, равномерность печати, оптическая плотность изображения, градиционная передача, разрешение печати, разрешающая способность и др.

При цветной печати особое значение имеет оценка цветовоспроизведения. Качество цветовоспроизведения — один из основных показателей качества печати цветного принтера. В этой связи исследования в области цветовоспроизведения в цифровой печати являются актуальными.

Цель настоящего исследования — комплексная оценка цветовоспроизведения лазерных и свето-

Характеристика цветового охвата систем печати «лазерный принтер–бумага»

Таблица 1

Печатающее устройство	Подложка	Объем тела охвата цветов, ΔE_{00}
Принтер HP Laser Jet Pro 300 Color 351a	Глянцевая бумага Lomond Color Laser paper DS Glossy	108 406
	Матовая бумага Xerox Colortech + iGen 3	107 399
Принтер Konica Minolta с 364 series PS	Глянцевая бумага Lomond Color Laser paper DS Glossy	99 592
	Матовая бумага Xerox Colortech + iGen 3	93 789
Принтер OKI C96 55	Глянцевая бумага Lomond Color Laser paper DS Glossy	92 582
	Матовая бумага Xerox Colortech + iGen 3	84 698

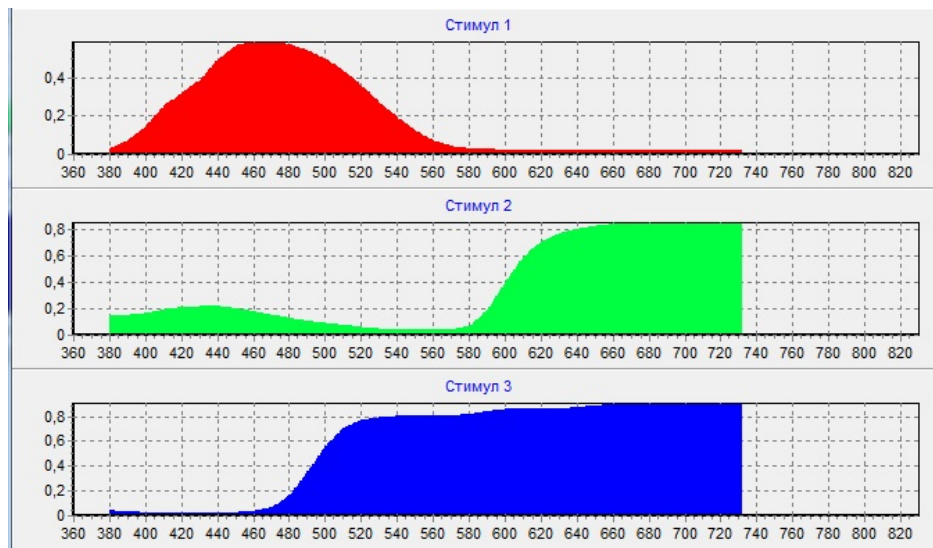


Рис. 1. Система печати «Лазерный принтер марки HP LaserJet Pro 300 Color M351a – бумага глянцевая марки Lomond Color Laser paper DS Glossy»: характеристики основных стимулов — спектральные кривые отражения (1 — голубой, 2 — пурпурный, 3 — желтый тонер)

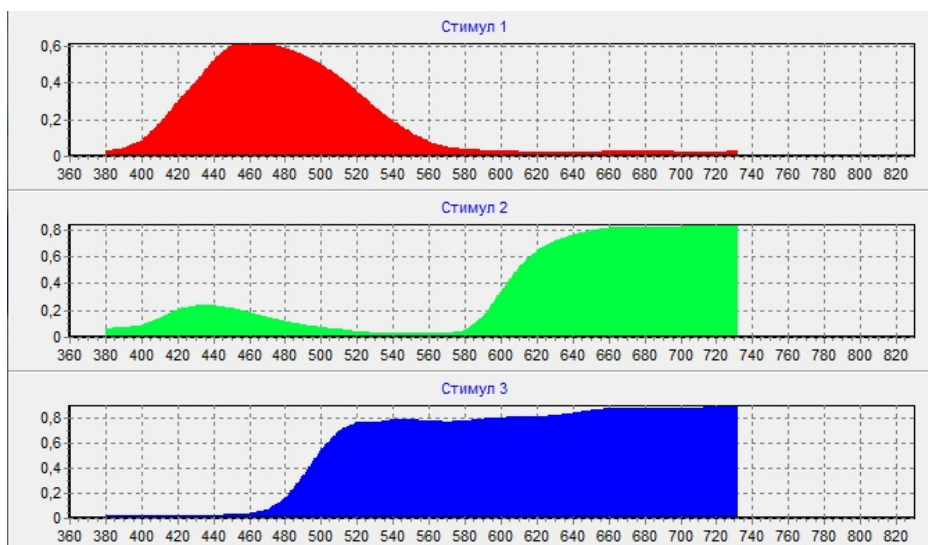


Рис. 2. Система печати «Лазерный принтер марки HP LaserJet Pro 300 Color M351a – бумага матовая марки Xerox Colortech+ iGen 3»: характеристики основных стимулов — спектральные кривые отражения (1 — голубой, 2 — пурпурный, 3 — желтый тонер)

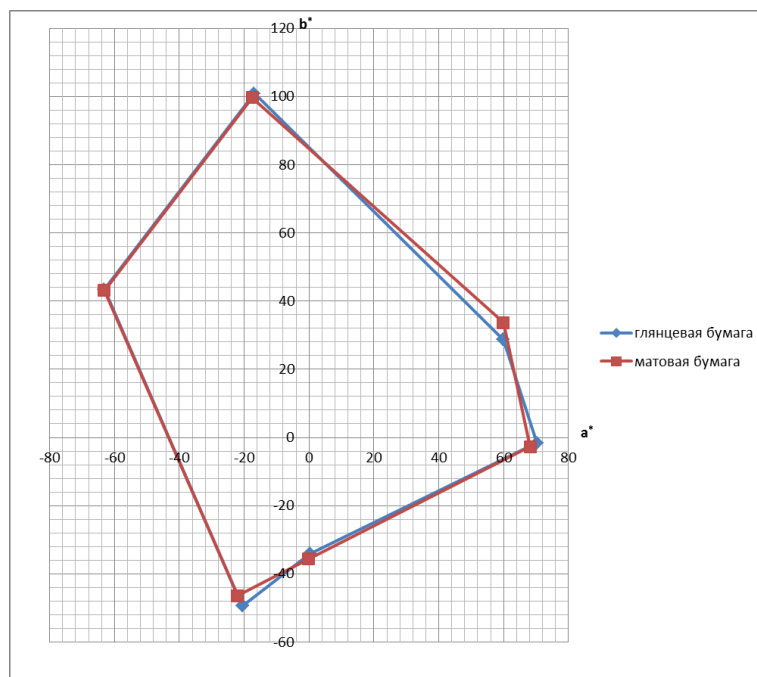


Рис. 3. Диаграмма цветности $a^* b^*$ с шестиугольниками цветового охвата систем печати на базе принтера HP LaserJet Pro 300 Color M351a: глянец бумага – Lomond Color Laser paper DS Glossy; матовая бумага – Xerox Colortech+ iGen 3

диодных принтеров, реализующих технологию электрофотографии, при печати на различных бумагах.

Стандартная методика описания цветового охвата цветопроизводящей системы, в частности, системы печати, заключается в оценке площади шестиугольника, отображенного на диаграмме цветности $a^* b^*$ колориметрической системы CIE $L^* a^* b^*$ -1976. Вершинами шестиугольника являются точки основных цветов субтрактивного синтеза (голубой, пурпурный, желтый) и точки цветов, образующихся при их попарном наложении (синий, зеленый, красный) [1].

Описанная методика является неточной: трехмерную величину — цвет — оценивать двухмерными графиками некорректно, так как тело охвата цветов является объемным, а график цветности — плоским. В [2–4] показано, что точной характеристикой цветового охвата цветопроизводящей системы является объем тела цветового охвата, который является мерой количества воспроизводимых цветов. Конфигурацию тела цветового охвата можно наглядно представить с помощью набора сечений тела плоскостями, параллельными плоскости $a^* b^*$ при различных значениях L^* .

В Омском государственном техническом университете разработаны и апробированы метод, алгоритм и программа (Project1) для расчетов объема тела охвата цветов систем печати [3, 5]. Программа Project1 рассчитывает объем тела цветового охвата и координаты цвета a^* , b^* , необходимые для построения сечений тела, плоскостями, параллельными плоскости $a^* b^*$ при различных значениях параметра L^* . Для выполнения указанных расчетов необходимо измерить спектральные характеристики отражения красок субтрактивного синтеза: голубой, пурпурной и желтой — значения коэффициента отражения на интервале длин волн видимого диапазона спектра (380–780 нм) через каждые 10 нм. Подготовленные во вспомогательном файле Excel данные импортируются в программу Project1, где

выполняются построения спектральных кривых отражения для трех стимулов субтрактивного синтеза (подобные изображенным на рис. 1, 2), рассчитывается объем тела цветового охвата и данные, необходимые для построения набора сечений тела охвата цветов.

Для проведения исследований были отобраны современные модели лазерных и светодиодных принтеров ведущих мировых производителей (Hewlett Packard, Konica Minolta, OKI) и проведены исследования шести систем электрофотографической печати: «лазерный (светодиодный) принтер — бумага» (табл. 1).

На выбранных моделях принтеров получали на различных марках бумаги распечатки тестовой шкалы IT-8, проводились спектрофотометрические измерения (рис. 1, 2), рассчитывались объемы тела охвата цветов (табл. 1). Кроме того, были построены отображения тел цветового охвата по чистым цветам (рис. 3–5) и построены сечения тел цветового охвата (рис. 6–7).

В результате проведенных исследований установлено:

1. Цветовой охват исследованных систем электрофотографической печати на базе лазерных (HP Laser Jet Pro 300 Color 351a, Konica Minolta с 364 series PS) и светодиодного (OKI C96 55) принтеров составляет 84 000–108 000 единиц ΔE_{00} (табл. 1). Это хороший показатель для принтеров (как систем субтрактивного синтеза цвета) — от 30 до 42 % от максимально возможного (объем тела охвата цветов идеального субтрактивного синтеза — 250 000 единиц ΔE_{00}).

2. Для систем электрофотографической печати характерна незначительная зависимость цветового охвата от типа применяемой бумаги.

Это подтверждается спектральными характеристиками основных стимулов субтрактивного синтеза (рис. 1, 2, системы печати на базе принтера HP Laser Jet Pro 300 Color 351a с двумя различными бумагами), а также шестиугольниками цветового охвата по чистым цветам (рис. 3–5).

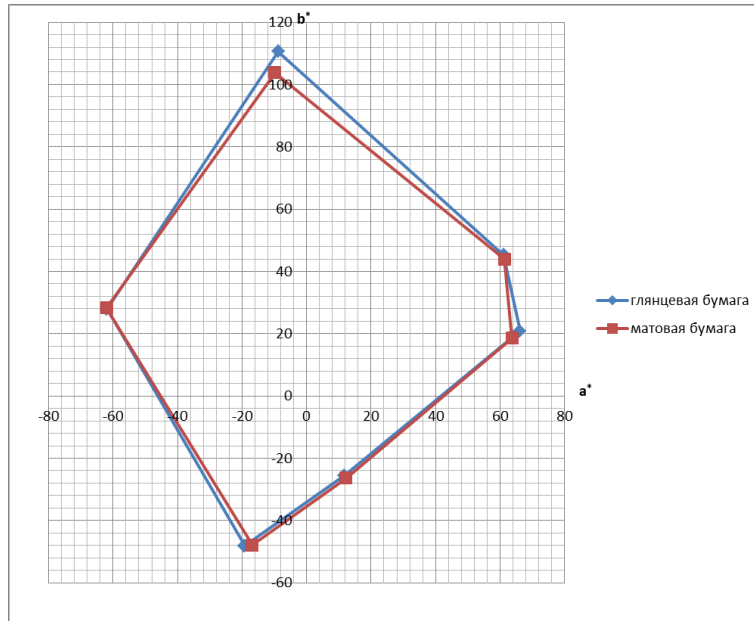


Рис. 4. Диаграмма цветности $a^* b^*$ с шестиугольниками цветового охвата систем печати на базе принтера Konica Minolta с 364 series PS: глянцевая бумага – Lomond Color Laser paper DS Glossy; матовая бумага – Xerox Colortech+ iGen 3

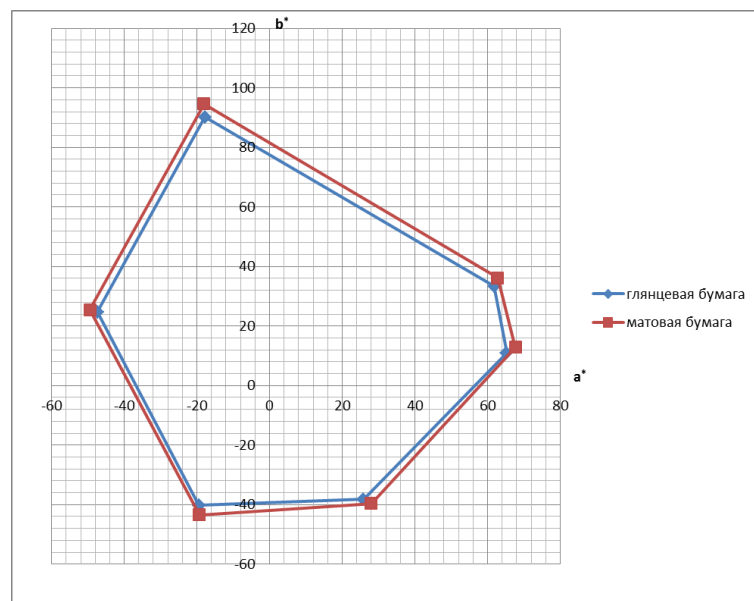


Рис. 5. Диаграмма цветности $a^* b^*$ с шестиугольниками цветового охвата систем печати на базе принтера OKI C96 55: глянцевая бумага – Lomond Color Laser paper DS Glossy; матовая бумага – Xerox Colortech+ iGen 3

В исследованных системах печати используются универсальные бумаги — глянцевая бумага марки Lomond Color Laser paper DS Glossy и матовая бумага марки Xerox Colortech+ iGen 3. Шестиугольники цветового охвата по чистым цветам для указанных бумаг примерно одинаковы по площади.

Это подтверждается и оценкой цветовоспроизведения, согласно полученным значениям объема тела цветового охвата (табл. 1). Указанный объем для исследованных систем печати отличается не более чем на 9 %, или в абсолютных единицах от 1 до 7,5 тыс. единиц ΔE_{00} .

Последнее также наглядно представлено на диаграммах цветности a^*b^* с наборами сечений тела

цветового охвата систем печати на базе принтера HP Laser Jet Pro 300 Color 351a (рис. 6, 7).

3. Наибольший цветовой охват обеспечивает принтер HP Laser Jet Pro 300 Color 351a при печати на глянцевой бумаге Lomond Color Laser paper DS Glossy. Наименьший цветовой охват имеет система печати «принтер OKI C96 55 — матовая бумага Xerox Colortech+ iGen 3».

4. Для систем печати на базе лазерных принтеров (HP Laser Jet Pro 300 Color 351a, Konica Minolta с 364 series PS) характерен проблемный синий цвет (голубая + пурпурная краски). На диаграммах цветности a^*b^* шестиугольник цветового охвата практически вырождается в пятиугольник (рис. 3, 4), а в одном

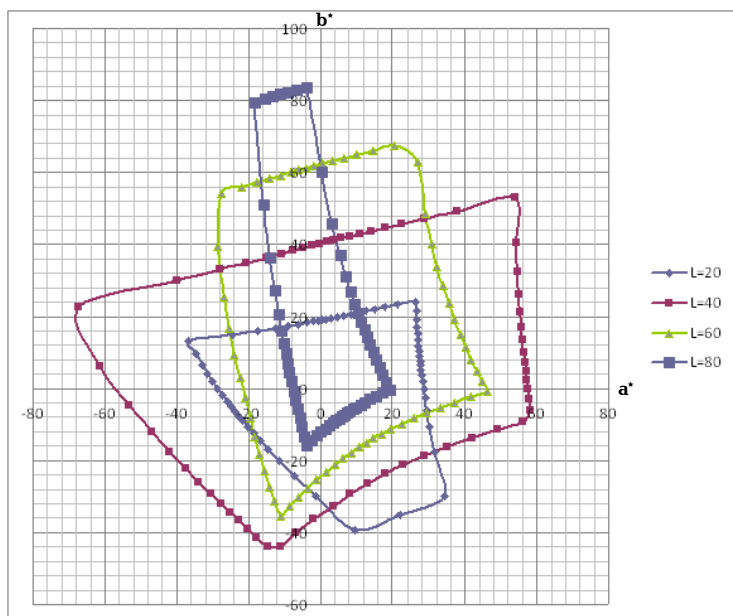


Рис. 6. Диаграмма цветности a^*b^* с набором сечений тела цветового охвата системы печати «HP LaserJet Pro 300 Color M351a – глянцевая бумага Lomond Color Laser paper DS Glossy»

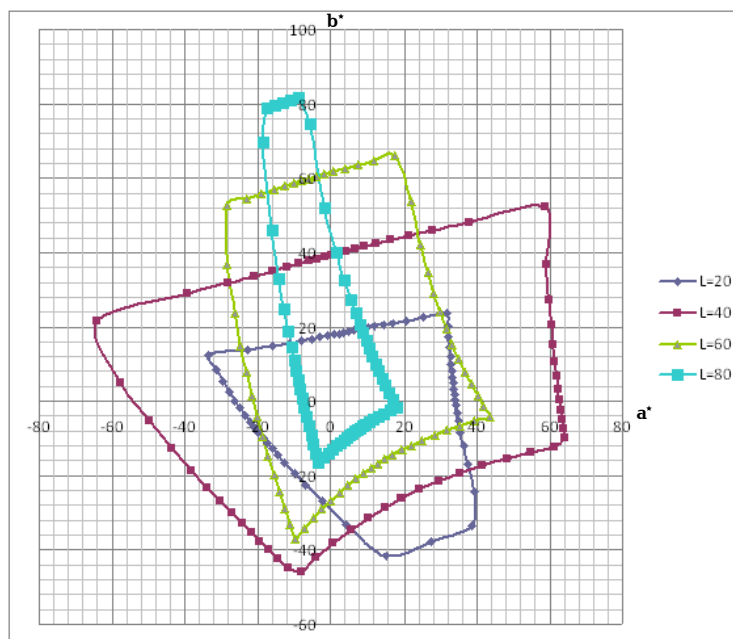


Рис. 7. Диаграмма цветности a^*b^* с набором сечений тела цветового охвата системы печати «HP LaserJet Pro 300 Color M351a – матовая бумага Xerox Colortech+ iGen 3»

случае имеет ярко выраженную вогнутую форму (рис. 3, глянцевая бумага). У систем печати на базе светодиодного принтера (ОКІ С96 55) шестиугольник цветового охвата по чистым цветам имеет классическую шестиугольную форму (рис. 5).

5. Основные цвета субтрактивного синтеза — голубой, пурпурный, желтый — исследованные принтеры воспроизводят следующим образом.

Наилучший желтый обеспечивает принтер Konica Minolta с 364 series PS (рис. 4), наилучший пурпурный — принтер HP Laser Jet Pro 300 Color 351a (рис. 3). Наилучший голубой, воспроизводимый указанными выше принтерами, примерно одинаков по своим колориметрическим параметрам (рис. 3, 4). Это следует из положения точек указанных цветов на

диаграммах цветности a^*b^* : они расположены наиболее близко к точкам соответствующих идеальных цветов субтрактивного синтеза.

6. Получено подтверждение положения о неточности описания цветового охвата с использованием диаграмм цветности. Так, если судить о цветовом охвате систем печати на базе принтера ОКІ С96 55 (рис. 5) по шестиугольникам цветового охвата на диаграмме цветности, то больший охват имеет система печати на матовой бумаге.

Однако в действительности больший цветовой охват имеет система печати на глянцевой бумаге: объем тела цветового охвата — 92 582 единиц ΔE_{00} , против 84 698 единиц ΔE_{00} у системы печати на матовой бумаге.

Библиографический список

1. Шашлов, Б. А. Цвет и цветовоспроизведение / Б. А. Шашлов. — М. : Мир книги, 1995. — 286 с.
2. Пожарский, А. О. Оценка цветового охвата системы печати посредством объема тела охвата цветов, вычисленного с использованием уточненных функций цветовых различий / А. О. Пожарский, И. А. Сысуев // Омский научный вестник. — 2005. — № 4 (33). — С. 180–182.
3. Пожарский, А. О. Оценка цветового охвата системы печати посредством объема тела охвата цветов, вычисленного с учетом неоднородности цветового пространства / А. О. Пожарский, И. А. Сысуев // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. — 2006. — № 4 (октябрь–декабрь). — С. 3–12.
4. Сысуев, И. А. Комплексная оценка цветового охвата цветопроизводящих систем / И. А. Сысуев, А. О. Пожарский, А. А. Захаренко // Омский научный вестник. — 2006. — № 9 (47). — С. 107–110.
5. Свидетельство № 50200601138 РФ. Вычисление объема тела охвата по базовым точкам его поверхности / Пожарский

А. О., Пожарский Т. О., Сысуев И. А. — М. : ГКЦИТ ОФАП, 2006.

СЫСУЕВ Игорь Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры оборудования и технологии полиграфического производства.

КОБЕНКО Екатерина Александровна, магистрант гр. ТПм-141 факультета элитного образования и магистратуры.

ФЕДОРЧУК Марина Федоровна, магистрант гр. ТПм-151 факультета элитного образования и магистратуры; ведущий инженер научного издательства.

КОЗИНА Надежда Николаевна, студентка гр. ТП-141 нефтехимического института.

Адрес для переписки: sia1960@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.10.2016 г.

© И. А. Сысуев, Е. А. Кобенко, М. Ф. Федорчук, Н. Н. Козина

УДК 621.791.16:621.397

**Л. А. ШЕСТЕЛЬ
С. С. ВОЛКОВ
Ю. А. САЯПИН
Д. А. КУТАШОВ
М. В. АФАНАСЬЕВА**

Омский государственный
технический университет

Московский государственный
технический университет
им. Н. Э. Баумана

ТЕРМОУЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИЗ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ

Показано, что применение термоультразвуковой сварки при изготовлении дыхательного мешка изолированных дыхательных систем — средств индивидуальной защиты человека, выполненных из сложносвариваемых полимерных пленок, позволяет повысить производительность процесса изготовления изделий, снизить их себестоимость, улучшить качество сварных соединений и, следовательно, изделия в целом.

Ключевые слова: сварка термоультразвуковая, дыхательная емкость, технология, фторсодержащая пленка, модифицированный полиэтилен, средства индивидуальной защиты.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам обеспечения безопасности людей в общественных местах — офисах, гостиницах, развлекательных центрах и т. п. В частности, в гостиницах различного уровня сервиса в каждом номере предусмотрено наличие средств индивидуальной защиты (СИЗ) человека для проживающих, и в случае возникновения чрезвычайной ситуации, например, загазованности при пожаре, эти средства однократного применения должны обеспечивать дыхание человека в течение определенного временного промежутка для безопасной самостоятельной эвакуации людей из задымленных помещений [1].

В состав средства индивидуальной защиты входит дыхательная емкость, соединенная гибким шлангом с маской.

Изделие — дыхательная емкость (далее — емкость) (рис. 1) представляет собой, в сложенном состоянии, плоский пакет прямоугольной формы размерами 180 на 320 мм. В нижней части его имеется два поперечных шва длиной по 110 мм, формирующих при их распрямлении плоское дно пакета, при этом объем мешка может быть увеличен более чем в 3 раза. По двум длинным сторонам от днищевой части до верхней открытой горловины наложены швы с прямолинейными и криволинейными участ-



Рис. 1. Дыхательная емкость

ками суммарной длиной по 320 мм на каждой стороне. Следовательно, общая длина швов в изделии составляет 860 мм, при этом все сварные швы — ранговые или Т-образные [1, 2].

В емкость укладываются реагенты, обладающие высокой химической активностью, поэтому к материалу и сварным соединениям предъявляются высокие требования химической стойкости, прочности, плотности, пластичности. Такие требования может обеспечивать пленка марки фторопласт — 4МБ, а также полиэтиленовая модифицированная пленка — ПЭМ и др. Кратко характеризуя их, можно отметить, что пленка Ф-4МБ входит в класс фторопластов и считается сложносвариваемой, так как при повышении температуры практически не переходит в вязкотекучее состояние, что затрудняет протекание диффузионных процессов в плоскости контакта свариваемых поверхностей [3]. Пленка полиэтиленовая различной плотности без добавлений модификаторов считается хорошо свариваемой, так как имеет широкий интервал вязкотекучего состояния, так называемый температурный интервал свариваемости (ТИС). Введение же в его состав модификаторов, обеспечивающих эксплуатационные характеристики изделия, значительно ухудшает свариваемость материала [3, 4]. Однако стоимость ПЭМ ниже стоимости пленки марки фторопласт — 4МБ, в условиях серийного производства изготовление указанных изделий из ПЭМ является более предпочтительным.

Традиционные схемы сварки сложносвариваемых пленок предполагают выполнение процесса при повышенной температуре, более высокой точности регулирования технологических параметров, а также при увеличении продолжительности сварочной операции [4].

Для сварки емкости из указанной пленки — ПЭМ была использована технологическая схема сварки, при которой использовалось сочетание теплового поля и воздействие ультразвуковых колебаний, так называемая термоультразвуковая сварка (ТУЗС) [3, 5].

Процесс ТУЗ сварки изделий изучали на установке (рис. 2), состоящей из стола 1 и закрепленной на нем консоли 2. В верхней части стола, на торце консоли, установлена направляющая 3 с зажимом 4, в котором закреплен сварочный узел 5 с ультразвуковой головкой 6, помещенной в корпусе охлаждения 7. В нижней части сварочной головки установлен кронштейн 8, на котором крепится нагревательное устройство для непрерывной сварки с парой подпружиненных прижимных прорезиненных роликов 9, расположенных по обе стороны рабочего инструмента сварочной головки. Создание и регулирование усилия сварки обеспечивается набором грузов 10,

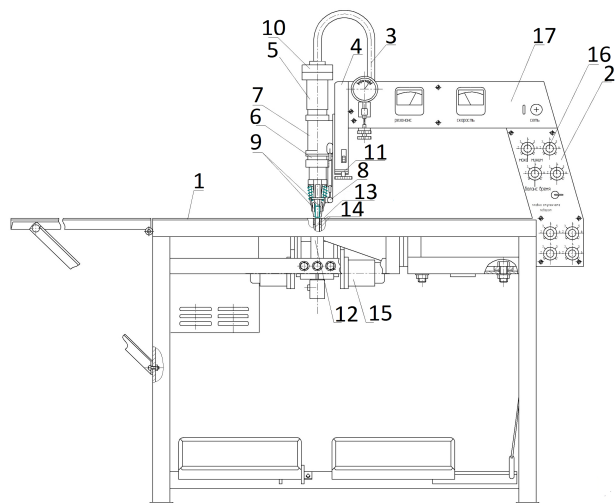


Рис. 2. Общий вид установки

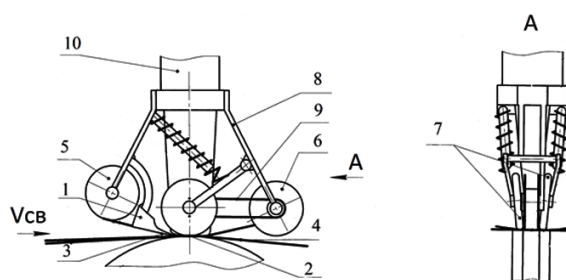


Рис. 3. Устройство для непрерывной термоультразвуковой сварки термопластичных пленок

установленных на верхнем торце корпуса сварочной головки, подъем и опускание которой по направляющей осуществляется рычагом 11. В нижней части, под столом, установлен соосно со сварочной головкой опорный узел 12 с центральным свободно вращающимся опорным роликом 13. С обеих его сторон имеется пара протяжных обрешиненных роликов 14, общий вал которых связан с электроприводом 15, обеспечивающим транспортирование материала в процессе сварки. Блок управления работой установки 16 размещен в полости консоли, а элементы управления и приборы контроля выведены на ее лицевую панель 17.

Особенностями сварочной установки являются оригинальная конструкция транспортирующего узла, обеспечивающего оперативную регулировку и изменение радиуса кривизны швов в процессе сварки, а также применение в качестве ультразвуковой сварочной головки магнитоstrictionной колебательной системы повышенной частоты (42 кГц), что позволяет обеспечивать ввод в зону сварки ультразвуковой энергии необходимого уровня, несмотря на малую величину амплитуды на этой частоте рабочего торца инструмента — 25...27 мкм. Это способствует улучшению условий сварки пленок малой толщины (60...70 мкм), так как величина амплитуды меньше суммарной толщины свариваемых пленок и деформация шва незначительная. Кроме того, габаритные размеры сварочного узла значительно уменьшаются. Сварочная головка комплектуется набором сменных ультразвуковых инструментов с нанесенным на рабочий торец антифрикционным покрытием разной толщины, обеспечивающим переменную, по длине рабочего торца

Оптимальные значения режимов сварки

Амплитуда рабочего торца инструмента A , мкм	Частота ультразвуковых колебаний f , кГц	Сварочное давление $P_{св}$, МПа	Скорость сварки $V_{св}$, мин	Температура нагревательного элемента $T_{нэ}$, С°
25...27	42	0,25...0,3	1,15...1,2	250...280

инструмента, амплитуду колебаний. Это способствует получению стабильности прочности шва по всей его длине [6].

Питание сварочной головки осуществляли от генератора УЗГ1-1, обеспечивающего работу на ее резонансной частоте.

Для совершенствования процесса термоультразвуковой сварки было разработано устройство (рис. 3), в котором использовалась предварительно нагретая фторопластовая лента Ф-4, выполняющая одновременно две функции – передачу теплового поля от нагревателя в зону сварки и в качестве антиадгезионной прокладки [7]. Источником нагрева теплоносущей пленки служил нагреватель из нихромовой проволоки, электрическая схема управления которого позволяла достаточно точно задавать необходимую температуру.

Конструкция устройства содержит нагреватель 1, теплоносущую полимерную ленту из Ф-4 2, с направляющим ее теплоизолирующим желобом 3, расположенным перед рабочей зоной 4 (по направлению движения свариваемого материала), а также сматывающую 5 и наматывающую 6 полимерную ленту катушки, которые вместе с нагревателем и парой подружнинных роликов 7 посредством кронштейна 8 и хомута 9 прикреплены к нижней части корпуса сварочной головки 10.

Кроме того, конструкция сварочного инструмента обеспечивает возможность получения как прямолинейных, так и криволинейных сварных соединений за счет уменьшения протяженности его рабочей зоны 5...6 мм [8, 9].

В ходе работы были проведены эксперименты по определению области оптимальных значений режима сварки указанных пленок по предложенной технологической схеме. В процессе экспериментов переменными параметрами были сварочное давление $P_{св}$, скорость сварки $V_{св}$, температура нагревательного элемента $T_{нэ}$. Постоянными параметрами были частота ультразвуковых колебаний f и амплитуда рабочего торца инструмента A , которые составляли 42 кГц и 25...27 мкм (соответственно).

Результаты экспериментов позволили установить оптимальные значения режимов сварки (табл. 1).

Таким образом, проведенные эксперименты позволили выйти на разработку технологического процесса изготовления дыхательной емкости средства индивидуальной защиты человека при чрезвычайных ситуациях.

Библиографический список

1. Гудков, С. В. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования / С. В. Гудков, С. И. Дворецкий. – М. : Машиностроение, 2008. – 188 с.
2. Пат. 2541948 Российская Федерация, МПК А 62 В 7/08. Изолирующий дыхательный аппарат / Гладышев Н. Ф., Гладышева Т. В., Дорохов Р. В., [и др.] ; заявитель и патенто-

обладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита»». – № 2013125906/12 ; заявл. 04.06.2013 ; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5. – 17 с.

3. Волков, С. С. Сварка фторопластов / С. С. Волков, В. А. Соколов. – М. : Химия, 1992. – 96 с.

4. Волков, С. С. Сварка и склеивание полимерных материалов / С. С. Волков. – М. : Химия, 2001. – 376 с.

5. Волков, С. С. Сварка пластмасс ультразвуком / С. С. Волков, Б. Я. Черняк. – М. : Химия, 1986. – 255 с.

6. Пат. 141349 Российская Федерация, МПК В 29 С 65/08. Устройство для непрерывной термоультразвуковой сварки термопластичных пленок / Шестель Л. А., Саяпин Ю. А., Волков С. С., Соколов В. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ «Омский государственный технический университет». – № 2012140296/05 ; заявл. 20.09.2012 ; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15. – 2 с.

7. Шестель, Л. А. Оборудование для термоультразвуковой сварки полимерных многослойных пленок / Л. А. Шестель, Д. А. Куташов, Ю. А. Саяпин // Инженерный журнал. Справочник. – 2015. – № 1 (214). – С. 7–9.

8. Шестель, Л. А. Многоточечная ультразвуковая сварка корпусных конструкций из жестких пластмасс / Л. А. Шестель, Ю. А. Саяпин, В. А. Соколов, Д. А. Куташов // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2014. – № 2 (130). – С. 99–101.

9. Шестель, Л. А. Комплекс оборудования для ультразвуковой сварки корпусных конструкций из жестких пластмасс / Л. А. Шестель, Ю. А. Саяпин, В. А. Соколов, Д. А. Куташов [и др.] // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2014. – № 3 (133). – С. 161–163.

ШЕСТЕЛЬ Леонид Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры машиностроения и материаловедения, секция «Оборудование и технология сварочного производства» Омского государственного технического университета (ОмГТУ).

ВОЛКОВ Станислав Степанович, кандидат технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры сварки и контроля Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

САЯПИН Юрий Александрович, старший преподаватель кафедры машиностроения и материаловедения, секция «Оборудование и технология сварочного производства» ОмГТУ.

КУТАШОВ Дмитрий Анатольевич, ассистент кафедры машиностроения и материаловедения, секция «Оборудование и технология сварочного производства» ОмГТУ.

АФНАСЬЕВА Мария Владимировна, магистрант гр. Мм-152 факультета элитного образования и магистратуры ОмГТУ.

Адрес для переписки: weld_techn@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.10.2016 г.

© Л. А. Шестель, С. С. Волков, Ю. А. Саяпин, Д. А. Куташов, М. В. Афанасьева