

триангуляционных моделей (рис. 4). В качестве исследуемых признаков при определении значений информационной энтропии $I(K)$, $I(H)$ использовались гауссова K и средняя кривизна поверхности H . Поверхности и триангуляционные модели на базе экспертных оценок расположены в порядке увеличения степени сложности (рис. 3, 4). Анализ результатов показал, что полученные оценки не являются представительными.

Поэтому для получения более представительных показателей сложности было решено использовать комплексные показатели с диапазоном возможных значений $[0, 1]$. В качестве таких комплексных показателей рассматривались полусумма информационных энтропий $I(K)$, $I(H)$ и их произведение:

$$I_1 = \frac{1}{2}(I(K) + I(H)); I_2 = I(K) \cdot I(H).$$

Анализ результатов показал, что на базе тестовых поверхностей и моделей (рис. 3, 4) использование комплексного показателя I_2 позволяет добиться лучших результатов по сравнению с I_1 . Поэтому в качестве показателя сложности целесообразно использовать I_2 , определяемого как произведение информационных энтропий гауссовой и средней кривизны поверхности.

Выводы

Рассмотрена возможность разработки количественного показателя оценки сложности поверхностей промышленных изделий на базе их триангуляционных 3D моделей для использования при технологической подготовке производства на этапе предшествующем материализации.

Предложен количественный показатель и расчетные зависимости для оценки сложности поверхностей промышленных изделий. В качестве показателя сложности рекомендуется использовать произведение информационных энтропий гауссовой и средней кривизны поверхностей.

Информационно-статистический подход к оценке степени сложности поверхностей промышленных изделий на базе анализа их триангуляционных 3D моделей создает предпосылки к дальнейшей их классификации и повышению уровня подготовки специалистов предметной области интегрированных генеративных технологий.

Результаты работы могут быть использованы при технологической подготовке производства сложных изделий на этапе предшествующем материализации.

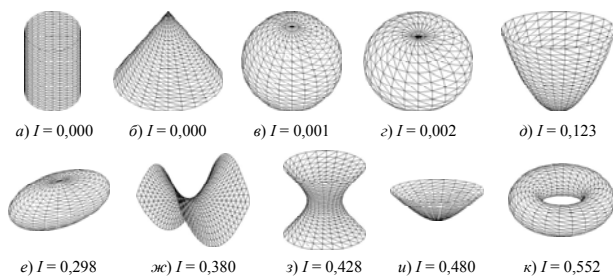


Рисунок 3 – Основные аналитические поверхности, расположенные в порядке увеличения величины сложности, определяемой на базе информационной энтропии I : а – цилиндрическая; б – коническая; в – сферическая; г – тор закрытый ($r < R$); д – эллиптический параболоид; е – эллипсоид; ж – гиперболический параболоид; з – однополостный гиперболюид; и – двуполостный гиперболюид (часть); к – тор открытый ($r > R$)

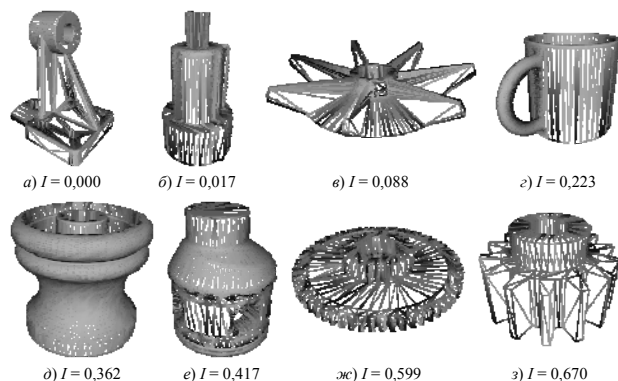


Рисунок 4 – Тестовые триангуляционные 3D модели изделий, расположенные в порядке увеличения величины сложности, определяемой на базе информационной энтропии I : а – кронштейн; б – корпус детали; в – винт; г – кружка; д – корпус соединительного устройства; е – хвостовая часть детали; ж – центральная шестерня; з – ходова шестерня

Разработанный подход к оценке степени сложности поверхностей промышленных изделий на базе анализа их триангуляционных 3D моделей вошел составной частью в систему морфологического анализа, разрабатываемую на кафедре «Интегрированные технологии машиностроения» им. М.Ф.Семко Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

Список использованных источников: 1. Александров А.Д. Выпуклые многогранники / Александров А.Д. – М.: Гостехиздат, 1950. – 428 с. 2. Бакельман И.Я. Введение в дифференциальную геометрию «в целом» // И.Я. Бакельман, А.Л. Вернер, Б.Е. Кантор. – М.: Наука, 1973. – 440 с. 3. Бобенко А.И. О принципах дискретизации дифференциальной геометрии. Геометрия сфер / А.И. Бобенко, Ю.Б. Суриц // Успехи математических наук. – 2007. – Т. 62, Вып. 1. – С. 3-50. 4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М.: АСТ: Астрель, 2006. – 991 с. 5. Гильберт Д. Наглядная геометрия / Д. Гильберт, С. Кон-Фоссен; пер. с нем. – М.: ОНТИ НТКП СССР, 1936. – 302 с. 6. Доброскок В.Л. Интегральные характеристики триангуляционных 3D моделей изделий / В.Л. Доброскок, Л.Н. Абдураимов, С.И. Чернышов // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – Вып. 80. – С. 92-101. 7. Интегрированные генеративные технологии : учеб. пособие [для студ. высш. учеб. заведений] / [Грабченко А.И., Вилков Ю.Н., Доброскок В.Л. и др.]; под ред. А.И. Грабченко. – Х.: НТУ «ХПИ», 2011. – 416 с. 8. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления : монография / [Товажнянский Л.Л., Грабченко А.И., Чернышов С.И. и др.]; под ред. Л.Л. Товажнянского, А.И. Грабченко. – [2-е изд.]. – Харьков: ОАО «Модель Вселенной», 2005. – 224 с. 9. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения: ГОСТ 2.052-2006. – [Действ. с 2006-09-01]. – Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2006. – 14 с. 10. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1977. – 832 с. 11. Коршунов А.И. Введение в теорию конструктивно-технологической сложности изделий машиностроения / Коршунов А.И. // Современные наукоемкие технологии. – 2004. – № 2. – С. 66-67. 12. Коршунов А.И. Исследование конструктивно-технологической сложности машиностроительного изделия / Коршунов А.И. // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 11. – С. 36-37. 13. Коршунов А.И. Создание автоматизированных систем управления машиностроительными производствами на основе теории конструктивно-технологической сложности : автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук : спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (машиностроение)» / А.И. Коршунов. – Ижевск, 2008. – 44 с. 14. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник / Маталин А.А. – [2-е изд.]. – СПб.: Изд-во «Лань», 2008. – 512 с. 15. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с. 16. Погорелов А.В. Внешняя геометрия выпуклых поверхностей / Погорелов А.В. – М.: Наука, 1969. – 760 с. 17. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия / Погорелов А.В. – [6-е изд.]. – М.: Изд-во «Наука», 1974. – 176 с. 18. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории / Радзевич С.П. – К.: Растан, 2001. – 592 с. 19. Раивеский П.К. Курс дифференциальной геометрии / Раивеский П.К. – [3-е изд.]. – М.: Гос. изд-во тех.-теор. лит., 1950. – 428 с. 20. Степанов С.Е. Теорема Гаусса-Бонне / С.Е. Степанов // Сорский образ. журнал. – 2000. – Т. 6, № 9. – С. 116-121. 21. Теория сложности: монография / [Шарин Ю.С., Якимович Б.А., Толмачев В.Г., Коршунов А.И.]. – Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 1999. – 132 с. 22. Троицкий Д.И. Количественная оценка сложности машиностроительных деталей / Троицкий Д.И. // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2011. – № 3. – С. 62-65. 23. Шарин Ю.С. Теория сложности и ее использование в машиностроении / Ю.С. Шарин, Т.Ю. Поморцева. – Екатеринбург: ЦНТИ, 1996. – 237 с. 24. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. М.: Изд-во ин. лит-ры, 1963. – 829 с. 25. Якимович Б.А. Теоретические основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур стратегий производственных систем машиностроения: монография / Якимович Б.А., Коршунов А.И., Кузнецов А.П. – Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 2007. – 280 с. 26. Magid E. A comparison of Gaussian and mean curvature estimation methods on triangular meshes of range image data / E. Magid, O. Soldea, E. Rivlin // J. of Computer Vision and Image Understanding – 2007. – Vol. 107. – Iss. 3. – P. 139-159. 27. Rigau J. Shape complexity based on mutual information / J. Rigau, M. Feixas, M. Sbert // Proceeding of SMF2005. – 2005. – P. 357-362.

Поступила в редакцию 25.04.2012

УДК621.822.5:677.494.743.41

Е.Н. Еремин, д-р техн. наук, Д.А. Негров, канд. техн. наук, Губин Д.С., Омск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРЕССОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

У статті розглядається вплив параметрів ультразвукового пресування на механічні та триботехнічні властивості композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену і розробці на цій основі технології виготовлення підшипників ковзання.

В статті розглядається вплив параметрів ультразвукового пресування на механічні та триботехнічні властивості композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену і розробка на цій основі технології виготовлення підшипників ковзання.

In article it is considered influences of parameters of ultrasonic pressing on mechanical and tribotechnical properties of composite materials on a basis PTF and development on this basis of manufacturing techniques of bearings of sliding.

В настоящее время детали узлов трения, изготовленные из различных металлов и сплавов, постепенно заменяются полимерами и полимерными композиционными материалами, в частности на основе политетрафторэтилена [1]. Это позволяет понизить себестоимость изделий, повысить их надежность и долговечность. В тоже время область применения этих материалов очень ограничена, поскольку они обладают недостаточно высоким пределом прочности и модулем упругости, что приводит к значительному деформированию поверхностных слоев при трении и интенсивному изнашиванию.

Существующие способы повышения механических и триботехнических свойств, политетрафторэтилена, такие как, введение модификаторов в полимерную матрицу и изменение режимов технологических операций (измельчение и перемешивание компонентов, прессование, термообработка) позволяют частично решить эту проблему [2].

Для более эффективного решения этой задачи необходимо применение новых методов и технологических способов, которые бы позволили существенно повысить механические и триботехнические свойства полимеров, и тем самым расширить область их применения в производстве. Поэтому данная работа, посвященная совершенствованию технологии изготовления подшипников скольжения из композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, является актуальной.

Основой технологии, используемой при производстве изделий из полимерных композиционных материалов, является прессование из порошков заготовок и их последующее спекание. При прессовании фактически закладываются будущие свойства изделий – плотность, прочность, упругость, из-

носостойкость и равномерное распределение этих характеристик по всему объему изделия.

Для повышения качества прессования получили применение способы уплотнения порошков с наложением вибрации. Под действием вибрации силы трения и сцепления частиц уменьшаются. При этом повышаются: текучесть порошков, равномерность укладки частиц полимера, разрушаются арочные структуры.

Перспективным способом вибрационного воздействия является наложение ультразвуковых колебаний на прессуемый материал, благодаря которым существенно облегчается возникновение и развитие пластической деформации частиц порошка. Это положительно влияет и на характер изменения сил трения от давления прессования, дает возможность формовать изделие сложной формы при сравнительно небольших усилиях. Прессование с применением ультразвуковых колебаний является активным технологическим приемом, повышающим эффективность модификации структуры матрицы и оказывающим существенное влияние на процессы структурообразования в ней [3, 4].

Целью данной работы является исследование влияния параметров ультразвукового прессования на механические и триботехнические свойства композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и разработка на этой основе технологии изготовления подшипников скольжения.

Объектом исследования являлся композиционный материал на основе политетрафторэтилена с комплексным наполнителем-модификатором: 8% - скрытокристаллический графит; 6% - углеродное волокно; 2% - MoS_2 .

Методика исследования включала два этапа. На первом этапе определялись основные технологические параметры ультразвукового прессования (амплитуда колебаний волновода-пуансона, время и усилие прессования), а также влияние этих параметров на механические свойства (предел прочности и модуль упругости) композиционного материала. Механические свойства образцов при растяжении определяли на разрывной машине Р 0,5 со скоростью деформации 20 мм/мин.

На втором этапе методикой предусматривалось исследование влияния режимов ультразвукового прессования на триботехнические характеристики (скорость изнашивания, коэффициент и момент трения) исследуемого материала.

Для изготовления изделий из полимерных композиционных материалов, методом ультразвукового прессования, была собрана специальная установка на базе гидравлического пресса МТ – 50 (рисунок 1). Применен ультразвуковой генератор УЗГ 3 – 4, имеющий выходную мощность 5 кВт и работающий в частотном диапазоне от 17,5 до 23 КГц. В качестве источника ультразвуковых колебаний был взят магнитострикционный преобразователь ПМС 15-А-18, с резонансной частотой колебаний 17,8 кГц.

Перед прессованием проводится смешивание порошков полимерного композиционного материала в смесителе с частотой вращения ножей не менее 2800 мин⁻¹, с последующим засыпанием его в закрытую пресс-форму 3, закрепленную на шаровой опоре 2. Ультразвук включали одновременно с касанием волновода-пуансона 4 поверхности порошка. При этом ультразвуковые колебания передавались пресс-форме и всей массе порошка. Под действием колебаний пуансона частицы порошка совершают также колебательные движения, при этом происходит перемещение и укладка частиц. Мелкие частицы распределяются и заклиниваются между крупными, что способствует уплотнению и укрупнению контактов между частицами.

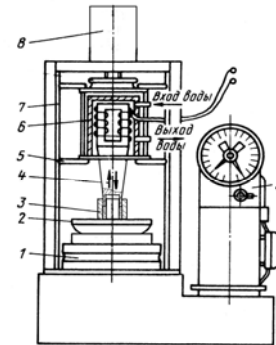


Рисунок 1 – Схема установки для прессования изделий из политетрафторэтилена с наложением ультразвуковых колебаний:
1 – основание; 2 – шаровая опора; 3 – пресс-форма; 4 – волновод-пуансон; 5 – траверса; 6 – магнитострикционный преобразователь; 7 – направляющая колонна; 8 – гидроцилиндр; 9 – гидравлическая система

После ультразвукового прессования отпрессованную заготовку подвергают спеканию, технология которой включает в себя следующие этапы: 1 – нагрев до температуры 360 ± 5 °С со скоростью 1,5 – 2,0 °С/мин; 2 – выдержка при этой температуре (8 – 9 мин на 1мм толщины стенки изделия); 3 – охлаждение до температуры 327 °С со скоростью 0,3 – 0,4 °С/мин; 4 – охлаждение от 327 °С до комнатной температуры вместе с печью.

Соблюдая те же режимы спекания, для сравнения, изготавливали образцы без воздействия ультразвуковых колебаний на прессуемый композиционный материал

Анализ экспериментов показал, что влияние амплитуды колебаний волновода-пуансона на предел прочности композиционного материала носит ярко выраженный экстремальный характер с максимумом 15 мкм (рисунок 2). При этом усилие прессования составляло 65 МПа, а время прессования 90 секунд.



Рисунок 2 – Зависимость предела прочности полимерного композиционного материала от амплитуды колебания волновода-пуансона

Результаты исследований зависимости предела прочности от времени прессования показали, что оптимальное время прессования составляет 90 секунд (рисунок 3, 4). При этом у образцов изготовленных методом ультразвукового прессования предел прочности выше на 15%, а модуль упругости на 23%, по сравнению с образцами, изготовленными по технологии без применения ультразвука. Дальнейшее увеличение времени прессования не приводит к изменению предела прочности и модуля упругости.

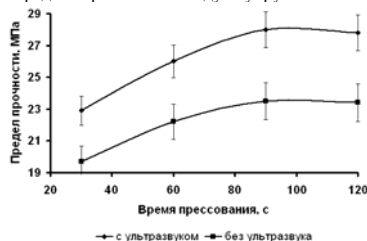


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности от времени прессования

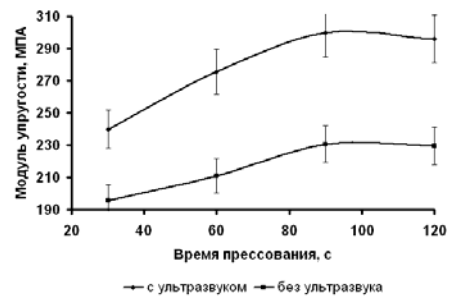


Рисунок 4 – Зависимость модуля упругости от времени прессования

Зависимости предела прочности и модуля упругости от усилия прессования показаны на рисунках 5, 6. Как видно, графики зависимостей имеют экстремальный характер с максимумом при усилии 65 МПа. При этом образцы, изготовленные методом ультразвукового прессования, имеют больший предел прочности и модуль упругости.

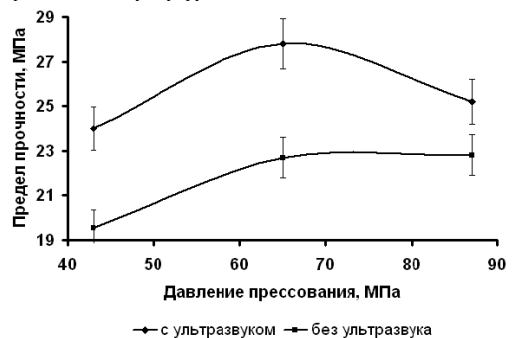


Рисунок 5 – Зависимость предела прочности от давления прессования

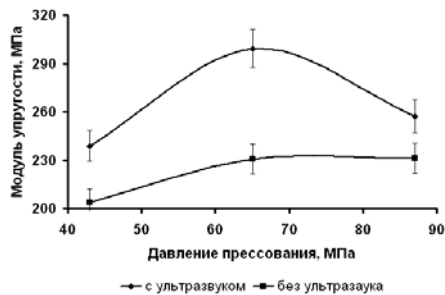


Рисунок 6 – Зависимость модуля упругости от усилия прессования

Механические испытания при повышенных температурах показали, что у образцов изготовленных ультразвуковым прессованием предел прочности практически не изменяется до 80 °С, а от 80 °С до 110 °С изменяется на 15 % (рисунок 7). Предел прочности образцов, изготовленных без ультразвука, с повышением температуры монотонно уменьшается и при 110 °С изменяется на 30 %.

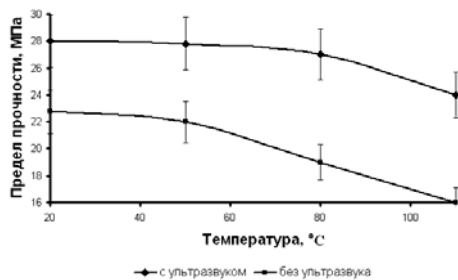


Рисунок 7 – Зависимость предела прочности от температуры

Образцы для триботехнических испытаний были изготовлены методом ультразвукового прессования, на режимах обоснованных полученными результатами первого этапа исследования (амплитуда колебаний волновода пуансона 15 мкм, усилие прессования 65 МПа, время прессования 90 секунд).

Испытания образцов проводили на специальном стенде МДС – 2, скорость скольжения составляла $V=0,75$ м/с, при давлении $P=2$ МПа без смазки.

Результаты триботехнических испытаний приведены на рисунке 8.

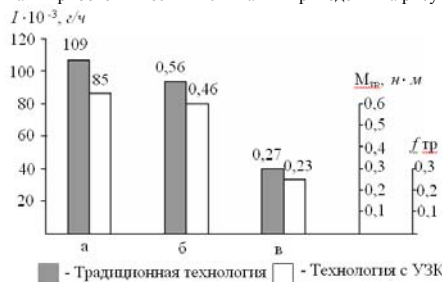


Рисунок 8 – Характеристики триботехнических свойств ПКМ:

1 – скорость изнашивания, I ; 2 – момент трения, $M_{тр}$; 3 – коэффициент трения, $f_{тр}$

В результате проведенных исследований установлено, что применение ультразвукового прессования, в технологии производства подшипников скольжения (время прессования – 90 секунд, усилие прессования – 65 МПа, амплитуда колебаний волновода пуансона – 15 мкм), позволяет повысить предел прочности на 15%, модуль упругости на 23%, при этом скорость изнашивания снижается на 23%, а коэффициент трения на 15%.

Список использованных источников: 1. Ю. К. Машков Трибофизика и свойства наполненного фторопласта: Науч. издание. Омск: Изд-во ОмГТУ, 1997. 192 с.; 2. А. А. Охлопкова Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями / Охлопкова А. А., Андрианова О. А. и др. // Якутск : ЯФ изд-ва СО РАН, 2003. – 240 с.; 3. Д.А. Негров Исследование влияния ультразвуковых колебаний на структуру и механические свойства полимерного композиционного материала / Негров Д.А., Еремин Е.Н. // Омский научный вестник. – 2011. – №2(100). – С. 17-20.; 4. Д.А. Негров Исследование процесса ультразвукового прессования композиционного материала на основе политетрафторэтилена / Негров Д.А., Еремин Е.Н. // Омский научный вестник. – 2010. – №2(90). – С. 9-11.

Поступила в редакцию 12.05.2012

УДК 669.046.516:621.791.793

Е.Н. Еремин, д-р техн. наук, В.В. Шалай, д-р техн. наук,
Ю.О. Филиппов, В.К. Сумлининов, Омск, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Запропоновано для виготовлення кільцевих заготовок, що використовуються в авіаційному двигунобудуванні, застосовувати електрошлакове зварювання комбінованим електродом з модифікацією металу шва дисперсними частинками карбонітрида титану. Наведено результати досліджень металу шва при зварюванні сплаву ХН77ТЮР. Показані переваги нової технології зварювання.

Предложено для изготовления кольцевых заготовок, используемых в авиационном двигателестроении, применять электрошлаковую сварку комбинированным электродом с модифицированием металла шва дисперсными частицами карбонитрида титана. Приведены результаты исследований металла шва при сварке сплава ХН77ТЮР. Показаны преимущества новой технологии сварки.

It is offered for manufacturing of the ring preparations used in aviation engine-building, to apply electroslag welding by the combined electrode with modifying of metal of a seam by disperse particles of the carbonitrid titan. Results of researches of metal of a seam are given when welding alloy ХН77ТЮР. Advantages of new technology of welding are shown.

Изделия ответственного назначения, изготавливаемые из жаропрочных сплавов, широко применяются в авиационном двигателестроении. Производство заготовок таких изделий в сварном варианте позволяет существенно повысить коэффициент использования дорогостоящих сплавов (КИМ). Однако такие сплавы обладают низкой свариваемостью и поэтому заготовки изготавливаются большей частью различными методами горячего передела –ковки, прошивки, раскатки, что обуславливает высокую трудоемкость их получения и низкий КИМ. Применение таких технологических процессов является вынужденным решением, к которому прибегают из-за низкого качества сварных соединений. Поэтому изыскание технологии изготовления таких заготовок в сварном варианте является весьма актуальной задачей.

В этом отношении перспективно применение электрошлакового способа, обеспечивающего однопроходную сварку конструкций различной толщины. Однако широко зарекомендовавшие себя способы электрошлаковой сварки пластинчатым, проволочным и пластинчато-проволочным электродами не всегда обеспечивают необходимое качество сварных соединений из жаропрочных никелевых сплавов. В первую очередь, это связано с образованием в сварных соединениях специфических дефектов – непроваров, подрезов, усадочных раковин. Для их устранения значительно завышают размеры прибылей, что не решает задачи в целом и к тому же приводит к увеличению расхода электрод-

ного металла и существенному повышению затрат на последующее механическое снятие излишка металла шва из труднообрабатываемых сплавов.

С целью устранения отмеченных недостатков использовали электрошлаковую сварку комбинированным электродом, осуществляемую одновременным вводом в шлаковую ванну неплавящегося и плавящегося электродов (рисунок 1) с устройствами сигнализации оплавления корня шва и вывода усадочной раковины на специализированной установке, созданной на базе унифицированных узлов электрошлаковых аппаратов А-612 и А-433Р и источника питания ТШС-3000 [1, 2].

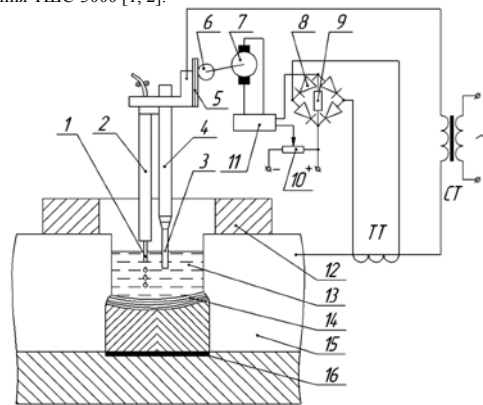


Рисунок 1 – Схема сварки комбинированным электродом: 1 – проволока; 2 – направляющий канал; 3 – неплавящийся электрод; 4 – мундштук; 5 – рейка; 6 – зубчатое колесо; 7 – электродвигатель; 8 – выпрямитель; 9 – сопротивление; 10 – потенциометр; 11 – усилитель; 12 – формирующая накладка; 13 – шлаковая ванна; 14 – металлическая ванна; 15 – свариваемые кромки; 16 – заправка

Отработка технологии электрошлаковой сварки комбинированным электродом проводилась на образцах из сплава ЭИ-437БУВД (ХН77ТЮР) толщиной 22-43 мм. В качестве неплавящегося электрода использовался вольфрамовый пруток диаметром 10 мм. Плавящимся электродом служила проволока ЭП-533 диаметром 3 мм.

Основной трудностью сварки жаропрочных никелевых сплавов являются низкие механические свойства металла шва и его жаропрочность. В связи с этим провели исследование качества сварных соединений с помощью металлографии, механических испытаний и испытаний на жаропрочность. Образцы