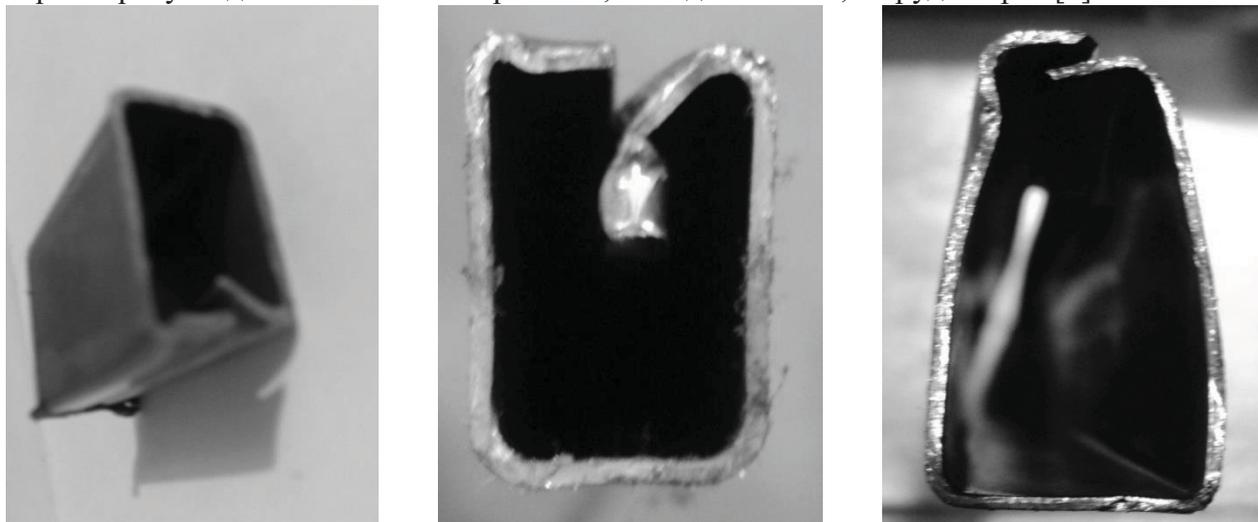


Недостаток штампа состоит в том, что при резке замкнутых профилей (особенно тонкостенных), сохраняется опасность смятия кромки, что препятствует достижению требуемого технического результата [3]. Возможными дефектами данного метода являются смятие, нарушение формы и размеров поперечного сечения профиля, трещины и заусенцы реза, которые требуют дополнительной обработки, а следовательно, и трудозатрат [4].



**Рисунок 6. Дефекты, возникающие при рубке профиля в штампе**

Устранение дефектов отрезки профиля типа "заусенец" возможно путем применения дополнительной обработки (дополнительная обрезка, зачистка, шлифовка), замятины и деформированный край - дополнительной обрезкой.

Точность и качество изготовления деталей зависят от точности и качества самого инструмента, его прочностных характеристик и геометрических параметров режущего лезвия [5]. Для предупреждения дефектов «прижог» необходима своевременная замена изношенного режущего инструмента. Применение соответствующего данным условиям отделки режущего инструмента (профиль и материал ножей, тип инструмента выбирают с учетом состава и свойств разрезаемого материала). Выбор соответствующих значений скорости резания и подачи (хода) пилы.

#### **Литература**

1. Филимонов С.В. Интенсивное формообразование гнутых профилей./ С.В. Филимонов, В.И. Филимонов. - Ульяновск: изд-во УлГТУ,2008.- 444с.
2. Веселовский С.И. Разрезка материалов/ С.И. Веселовский. – М.: Машиностроение,1973.- 360 с.
3. Roll Forming Handbook / Edited by J.T. Halmos. – Boca Raton: CRC Group, 2006. – 583 p.
4. Диамантопуло К.К. Прогрессивная технология разделки исходных материалов в кузнечно-штамповочном производстве/ К.К. Диамантопуло, А.П. Атрощенко.- Мариуполь,1992.- 60с.
5. Справочник конструктора-инструментальщика: под общ. ред. В.И. Баранчикова.- М.: Машиностроение,1994. - 560с.

#### **Развитие и применение наукоемких технологий в производстве летательных аппаратов**

Шандров Б.В., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П.  
Университет машиностроения, ФГУП «НПО «Техномаш»,  
[morgunov@mami.ru](mailto:morgunov@mami.ru), 8(495)223-05-23, доб. 1216

*Аннотация.* В статье обсуждаются перспективы использования физико-химических и вакуумных технологий при изготовлении изделий ракетно-космической техники. Показано, что эти методы обеспечивают технические требования к обработке изделий из современных и перспективных жаропрочных

и коррозионно-стойких материалов. Приведены примеры и обоснована область эффективного применения таких технологий для решения задач ракетно-космического машиностроения.

*Ключевые слова:* физико-химическая обработка, электроэрозионная обработка, электрохимическая обработка

Приоритетным фактором развития наукоемкого машиностроительного производства является разработка и внедрение высокоэффективных технологий, базирующихся на достижениях фундаментальных наук [1, 2]. К их числу относят технологии физико-химической обработки (ФХО), в основе которых лежат немеханические процессы направленного разрушения твердых тел, такие как электроэрозионная (ЭЭО), электрохимическая (ЭХО), лазерная (ЛО), электронно-лучевая (ЭЛО) плазменная (ПО), гидроабразивная (ГО) и др. [3, 4]. Такие технологии находят широкое применение в производстве летательных аппаратов различного назначения [5, 6].

Каждая из перечисленных технологий обладает своими достоинствами и недостатками, которые определяют область ее эффективного использования [4]. Так, химический, электрохимический или тепловой механизмы разрушения твердых тел обеспечивают независимость скорости удаления припуска от механических свойств обрабатываемого материала. Относительно низкий уровень силового и теплового факторов в процессе разрушения материала обеспечивает возможность обработки заготовок малой жесткости и использование инструмента малой жесткости. Вместе с тем, удельная энергоемкость процесса разрушения материала заготовки с использованием технологий ФХО, как правило, выше, чем при обработке резанием, а производительность в ряде случаев ниже [4].

Поэтому технологии ФХО развиваются в условиях жесткой конкуренции с технологиями обработки резанием и выступают в качестве альтернативных вариантов решения технологических задач, выбор которых требует тщательного технико-экономического обоснования.

Обобщение достигнутых результатов позволяет очертить круг технологических задач и определить место и роль указанных технологий в производстве летательных аппаратов.

#### **Заготовительное производство**

Технологии ФХО успешно используют для раскрытия листового проката, резки труб, сортового и фасонного проката. Сказанное относится, прежде всего, к технологиям лазерной, гидроабразивной и плазменной резки. Сравнительная характеристика технологических возможностей этих методов обсуждается в [7, 8]. Они реализуются на функционально схожем оборудовании, обеспечивающем точное перемещение пятна контакта инструмента (поток фотонов, абразивных частиц, плазменная или водяная струя) по поверхности заготовки. Степень фокусировки пятна контакта определяет параметры точности и размеры реза. Для перемещения рабочей головки по заданному числу координатных осей используют модульное оборудование с ЧПУ или КЧПУ.

Считают, что гидроабразивная резка [9] при прочих равных условиях обеспечивает более высокие технологические показатели по точности и качеству обработанной поверхности. При толщине разрезаемого материала более 10...15 мм стоимость погонного метра реза при ГАО становится ниже, чем при ЛО. Существенное значение приобретает тот факт, что при ГАО тепловое воздействие на обрабатываемый материал практически отсутствует (нагрев до 70...80°C), что в ряде случаев является определяющим фактором по отношению к лазерной и, особенно, плазменной резке.

Все сказанное привело к заметному повышению интереса специалистов отрасли к технологиям ГАО, внедрению на предприятиях соответствующего оборудования. Следует отметить, что применение трех- и пятикоординатных технологических систем позволяет не только вырезать сложноконтурную заготовку, но и осуществить подготовку кромок к сборочным операциям. На некоторых видах оборудования можно выполнить очистку поверхности заготовки от поверхностных пленок и загрязнений.

При сравнимых показателях точности реза лазерная резка дешевле при раскрытии тонко-

стенного листового проката. К ее недостаткам следует отнести появление прикромочной зоны термического влияния и образование грата, которое трудно устранить при резке нержавеющей сталей и титановых сплавов [10].

В связи с перспективами расширения объема применения керамических и композиционных материалов в отрасли следует отметить возможности плазменной металлургии – процесса, позволяющего получать толстослойные фасонные заготовки из указанных материалов средствами ПО. Схема получения заготовки аналогична схеме спрейного литья, применяемого для получения точных заготовок с высоким качеством материала [11]. Решение вопросов подбора формообразующего порошкового состава, обеспечения оптимального режима охлаждения, создания автоматизированных средств технологического оснащения позволит получать высококачественные элементы теплонагруженных изделий, таких, например, как камеры сгорания двигателей малой тяги и в перспективе – малоразмерные рабочие колеса и направляющие блоки. Отметим, что технология плазменной металлургии позволяет вводить в конструкцию нагруженных деталей армирующие и демпфирующие элементы, улучшающие функциональные свойства изделий.

### **Размерная обработка с удалением материала (субтрактивные технологии)**

*Электроэрозионная обработка* широко применяется при изготовлении рабочих колес из дисковых заготовок и получении отверстий малого диаметра (0,1...1 мм) в форсунках. Современные многокоординатные станки ведущих фирм-производителей оборудования обеспечивают обработку межлопаточных каналов с заданной точностью с одного установка заготовки и прошивку отверстий малого диаметра с точностью 0,005...0,01 мм [12].

Разработка методов и средств повышения производительности ЭЭО является одним из основных условий сохранения и повышения конкурентоспособности этих технологий. К недостаткам существующих технологий ЭЭО относят также необходимость проведения трудоемких операций по доводке рабочих поверхностей (удаление дефектного слоя, снижение параметра шероховатости).

К настоящему времени операции электроэрозионной прошивки гарантируют высокую повторяемость качества отверстий малого диаметра, что позволяет, например, технологически обеспечить заданный допуск по параметрам распыла при контроле форсунок. Некоторые компании выпускают комбинированное оборудование для прошивки отверстий с контролем качества распыла, возможно создание станка с электрохимической калибровкой отверстий после ЭЭО, хорошие результаты достигнуты при совмещенной электроэрозионно-электрохимической прошивке отверстий малого диаметра [13].

*Электрохимическая обработка* обеспечивает изготовление карманов, облегчений, аэродинамических поверхностей, сквозных и глухих отверстий различного сечения [13]. Так, на первом этапе развития ракетно-космических технологий ЭХО обеспечила получение вафельных конструкций днища и обечаек летательных аппаратов высокой жесткости [14]. В настоящее время операции ЭХО используются в отрасли для калибровки сложноконтурных поверхностей и отверстий, удаления дефектного слоя после ЭЭО и ЛО. Следует отметить, что, несмотря на некоторое сужение области эффективного применения ЭХО в результате быстрого совершенствования операций фрезерования с ЧПУ, в том числе скоростного фрезерования, технологические резервы ЭХО далеко не исчерпаны.

Пока недостаточно востребованы операции электрохимической полировки изделий в неводных и водно-органических электролитах. Такие технологии обеспечивают обработку поверхностей с низкими параметрами шероховатости при малых значениях плотности тока и позволяют отказаться от использования кислотных электролитов. Так, при обработке изделий из титановых сплавов в водно-органических средах достигнута шероховатость  $Ra = 0,025$  мкм. Эту операцию используют при удалении дефектного, например, альфированного слоя с получением высококачественной поверхности.

Заметный интерес на предприятиях наукоемкого машиностроения вызывают технологии электрохимического снятия заусенцев, особенно на кромках пересекающихся отверстий

в корпусных деталях. Применение таких технологий позволяет существенно сократить трудоемкость, однако отсутствие серийного оборудования их внедрение.

Считают, что применение операций электрохимического маркирования при наличии на рынке относительно дешевых маркеров с компьютерным обеспечением явно недооценивается, несмотря на позитивный опыт их применения в отрасли авиационного моторостроения.

Создание нового оборудования позволит восстановить технологии электрохимической доводки поверхностей проточной части лопаточных колес с целью снижения доли ручного труда при их изготовлении.

#### **Размерная обработка с наращиванием материала (аддитивные технологии)**

Есть обоснованное мнение, что XXI век – это век аддитивных технологий, основанных на процессах управляемого осаждения материала на исходную заготовку или подложку. К настоящему времени предложено множество способов решения такой задачи, часть из которых реализована в виде технологий и оборудования [4, 11].

Применительно к задачам отрасли следует обратить внимание на технологии селективного лазерного спекания (SLS), селективного лазерного сплавления (SLM) и прямого осаждения металлов (DMD). Эти технологии основаны на перемещении фокуса лазерного излучения по заданной траектории в двумерном или трехмерном пространствах. Мощность излучения достаточна для быстрого нагрева, спекания или оплавления гранулированного материала заданной зернистости из металла, сплава или композита, подаваемого в область фокусировки излучения. При перемещении области фокусировки излучения по заданной программе (компьютерное управление процессом) происходит создание твердой формы из порошкового материала в результате спекания.

Есть позитивные результаты использования таких процессов для изготовления рабочего малоразмерного рабочего лопаточного колеса турбины из жаропрочного материала. Доводка этой технологии, достижение приемлемой производительности позволит уйти от трудоемкой операции электроэрозионной прошивки межлопаточных каналов или заметно снизить ее объем. При определенных условиях технологии лазерного спекания могут быть использованы для изготовления элементов камер сгорания двигателей малой тяги. Эти технологии позволяют также получать многослойные конструкции типа «сэндвич», осуществлять промежуточную термообработку материала во избежание растрескивания. Все это позволяет считать такие технологии перспективными для изготовления изделий, работающих в условиях термоциклических нагрузок.

#### **Модификация свойств поверхностного слоя изделий**

Модификацию свойств поверхностного слоя осуществляют путем изменения его состава и физико-механических свойств (ионная имплантация, химико-термическая обработка, лазерное упрочнение) или создания тем либо иным способом функционального покрытия с заданными свойствами.

В условиях единичного и мелкосерийного типов производства, свойственных предприятиям отрасли, выгодно использовать технологию химико-термической обработки в электролитах, обеспечивающую быстрый нагрев поверхностного слоя, насыщение его углеродом, азотом, бором с последующей фиксацией структурно-фазового состава [15]. Такая технология не требует дорогостоящего оборудования и значительных производственных площадей для его размещения и обеспечивает обработку широкой номенклатуры деталей относительно небольших размеров.

Упрочнение поверхностного слоя изделий осуществляют также путем сканирования по поверхности фокусного пятна источника лазерного излучения или пучка заряженных частиц, обеспечивающего создание локального температурного поля с очень высокой скоростью нагрева и охлаждения материала. Технологии лазерного упрочнения более универсальны, реализуются на относительно дешевом оборудовании, не требуют вакуума, обеспечивают высокую степень автоматизации [4]. Эти технологии характеризуются высокой избира-

тельностью и позволяют отдельные участки поверхностного слоя, формируя упрочненные сетки, дорожки и пр.

Для нанесения функциональных покрытий используют многообразные методы и средства [4]. Наибольшее распространение получили технологии плазменного, детонационного, сверхзвукового газопламенного нанесения покрытий.

Все шире применяют PVD (physical vapor deposition) и CVD (chemical vapor deposition) методы и технологии. Получение покрытий PVD-методом основано на процесса конденсации паров металла или его соединений в вакууме на заданной подложке-изделии.

Термохимическое осаждение покрытий из газовой фазы (CVD) основано на термическом разложении газообразного вещества на поверхности изделия, которая служит катализатором термохимической реакции. Продуктом реакции является твердофазное вещество, осаждающееся на поверхности подложки. Очевидным преимуществом CVD-метода является возможность нанесения покрытия в труднодоступных местах в связи с использованием газообразных рабочих сред.

PVD и CVD методы нашли применение в производстве газотурбинных двигателей для нанесения жаростойких и термобарьерных покрытий на детали горячей части двигателя (камера сгорания, лопатки турбины). Считают, что применение таких технологий на предприятиях отрасли будет расширяться.

#### **Комбинированные методы и технологии**

Создание новых и совершенствование существующих комбинированных методов физико-химической обработки позволяет успешно решить ряд технологических задач [16]. К этому направлению примыкает создание интегрированных технологических систем на основе процессов физико-химической обработки. На предприятиях отрасли используют технологии электроконтактной и анодно-механической обработки для обработки отливок, резки отливок и поковок. Считают, что перспективным направлением совершенствования технологий получения отверстий малого диаметра является применение комбинированного метода электроэрозионно-электрохимической обработки. Следует возобновить работы по созданию и применению технологий электроэрозионно-ультразвуковой и электрохимико-ультразвуковой обработки (получение малых отверстий и пазов), электрохимико-лазерной обработки (маркировка и микрообработка), электрохимико-абразивной (высокопроизводительное резание без заусенцев). Есть основание полагать, что одна из «вечных» технологических задач отрасли – удаление заусенцев после фрезерования охлаждающих пазов на соплах и камерах сгорания может быть решена на базе комбинированных методов обработки.

#### **Литература**

1. Общероссийская дискуссия «Промышленность, наука и образование – пути развития и ожидаемые результаты». – М.: Союзмаш РОССИИ. 2007. – 70 с.
2. Саушкин Б.П. Инновационная деятельность в области физико-химических методов и технологий / Материалы конференции V Форума «Высокие технологии XXI века». – М.: РФРВТ. 2009. – С. 616–619.
3. Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Изд. Дрофа, 2002. – 656 с.
4. Научные технологии машиностроительного производства: Физико-химические методы и технологии / Под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Издательство «Форум». 2013. – 928 с.
5. Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Баумана. 2010 – 437 с.
6. Электрохимическая обработка изделий авиационно-космической техники / Под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Форум, 2013. – 480 с.
7. Процессы механической и физико-химической обработки в производстве авиационных двигателей: Учеб. Пособие / А.Г. Бойцов, А.П. Ковалев, А.С. Новиков и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 584 с.: ил.
8. Астахов Ю.П., Кочергин С.А., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Повышение эффективности изготовления лопаток моноколес. Журнал «Технология машиностроения». 2013, №5. – С.

14–18.

9. Саушкин Б.П. Развитие и применение технологий и оборудования для гидроабразивной обработки /Ритм. 2012, № 4.– С. 68–74.

10. Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2012, №2, стр.242...248.

11. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей / Ю.С.Елисеев, А.Г.Бойцов, В.В.Крымов, Л.А.Хворостухин.– М.: Машиностроение. 2003.– 513 с.

12. Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники. – М.:– Издательство МГТУ им. Н.Баумана. 2010 – 437 с.

13. Моргунов Ю.А., Саушкин Г.Б., Вилигданов Т.В. Электрохимическое гравирование аэродинамических занижений в оснастке с проточным каналом. «Металлообработка», 2010г., №2, с.70-75

14. Новые наукоемкие технологии в технике: Энциклопедия. Т. 24 / Под общей ред. К.С.Касаева.– М.: ЗАО НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2005. – 367 с.

15. Шандров Б.В., Морозов Е.М., Жуковский А.В. Основы технологии микродугового оксидирования: учеб. пособие. М.: Альянс. 2008.

16. Саушкин Б.П. Комбинированные методы обработки в машиностроительном производстве. / Металлообработка. 2003, №1. – С. 8–17.

### ***Влияние технологических факторов на структуру и свойства порошковой углеродистой стали, полученной электроимпульсным спеканием и упрочненной наночастицами***

Панов В.С., Скориков Р.А., Еремеева Ж.В., Ниткин Н.М., Шарипзянова Г.Х.,  
Жердицкая Н.Н., Иванов С.А.

*Национальный исследовательский технологический университет МИСиС  
(НИТУ МИСиС)*

*Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)  
Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)  
Новочеркасская государственная мелиоративная академия*

*Анотация.* В статье рассматривается исследование влияния температуры электроимпульсного спекания на свойства порошковой стали. Определены оптимальные условия получения среднеуглеродистых сталей, определен порог хладноломкости, позволяющий судить о возможности применения порошковой стали для работы с ударными нагрузками в условиях низких температур.

*Ключевые слова:* температура спекания, порошковые стали, электроимпульсное спекание.

Порошковые углеродистые конструкционные материалы с высокими механическими свойствами и плотностью находят большое применение в машиностроении. Однако получить такие материалы обычными способами порошковой металлургии не всегда возможно. Метод электроимпульсного спекания позволяет получать порошковые стали с высокими механическими свойствами и плотностью. Электроимпульсное спекание проводили в Научно-исследовательском центре «Конструкционные Керамические Наноматериалы» НИТУ МИСиС на установке искрового плазменного спекания (Spark Plasma Sintering - Labox 650, Sinter Land, Япония).

Целью исследований являлось определение оптимальных температур и времени электроимпульсного спекания и состава порошковых смесей, содержащих различное количество наноразмерных добавок, обеспечивающих наилучшее сочетание прочностных и эксплуатационных свойств.