

УДК 621.74.045; 62-253; 621.45.01

## **Повышение качества изготовления штамповой оснастки для лопаток компрессоров газотурбинного двигателя**

**Болховитин М.С.<sup>1\*</sup>, Ионов А.В.<sup>2\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Московское машиностроительное предприятие им. В.В. Чернышева, ул. Вишневая, 7, Москва, 125362, Россия*

<sup>2</sup>*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*\*e-mail: [brakoner@list.ru](mailto:brakoner@list.ru)*

*\*\*e-mail: [woln@mail.ru](mailto:woln@mail.ru)*

### **Аннотация**

Рассматриваются вопросы, связанные с совершенствованием технологического процесса изготовления штамповой оснастки для процесса профильного выдавливания в производстве лопаток компрессора газотурбинного двигателя.

Авторами, на предприятии ОАО «ММП им. Чернышева», реализованы мероприятия направленные на повышение износостойкости оснастки для профильного выдавливания за счёт внедрения конструктивных и технологических мероприятий без использования специальной обработки рабочих поверхностей, что позволило сократить трудоемкости ее изготовления. Предложенные мероприятия могут быть использованы как для новой, так и для модернизации уже имеющейся оснастки.

**Ключевые слова:** штамповая оснастка, профильное выдавливание, электро-эрозионная обработка, фрезерование на ЧПУ

## **Введение.**

В настоящее время газотурбинные двигатели (ГТД) широко применяются в авиационной и наземной технике и сфера их применения постоянно растет. Очевидным является необходимость сохранения конкурентоспособности отечественных ГТД на мировом рынке. Основными параметрами, влияющими на выбор ГТД, являются технические и эксплуатационные характеристики изделия, а также стоимость изделия и стоимость его эксплуатации. Одним из путей улучшения всех этих характеристик является технологическое совершенствование изделия.

По оценкам специалистов [1, 2] трудоемкость изготовления лопаток компрессора ГТД составляет до 30% от трудоемкости изготовления всего изделия. В настоящее время в производстве лопаток компрессоров ГТД применяются различные технологии, в основе которых лежат три метода формообразования пера лопатки:

- вальцевание;
- фрезерование;
- электрохимическая обработка.

Все эти технологии имеют свои преимущества и недостатки при реализации [3].

В данной работе рассматривается технология получения лопатки с формообразованием пера методом холодного вальцевания для лопаток, выполненных из титановых сплавов и жаропрочных сталей.

Применение вальцевания предъявляет повышенные требования к заготовкам. Этот метод широко распространен на отечественных предприятиях и имеет ряд

неоспоримых преимуществ перед другими методами обработки, например, благоприятная структура материала, высокая серийность выпуска и др.

В общем случае процесс изготовления лопатки можно разделить на следующие основные этапы:

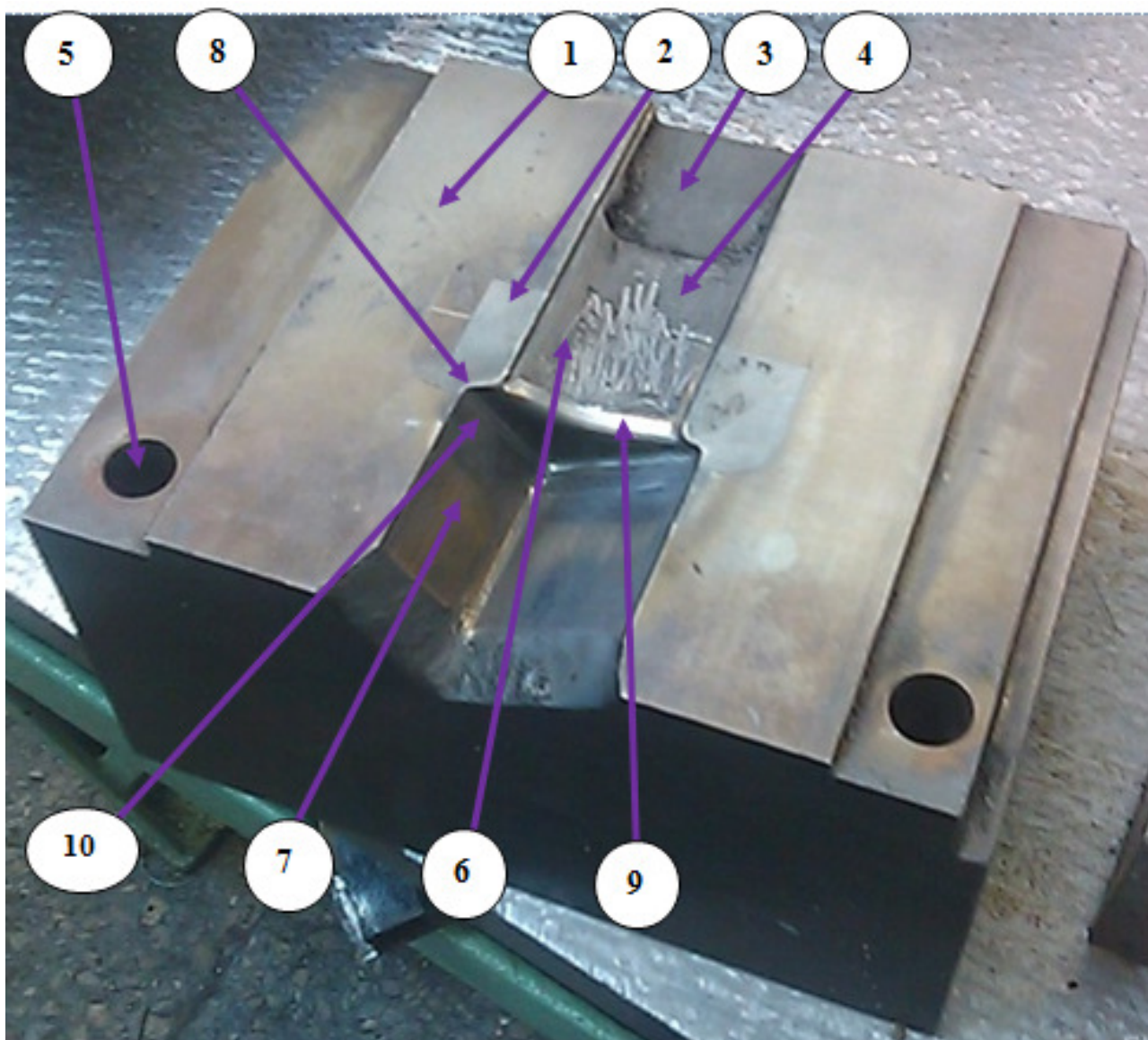
- заготовительные;
- профильное выдавливание;
- штамповка;
- контроль и сортировка;
- вальцовка;
- слесарная обработка и отделка.

Таким образом, при применении вальцевания необходимо большое количество специальной штамповой оснастки, как для профильного выдавливания, так и для штамповки и как следствие, одним из направлений совершенствования технологии производства лопаток ГТД является повышение технологичности изготовления штамповой оснастки.

### **Способы повышения качества технологической оснастки.**

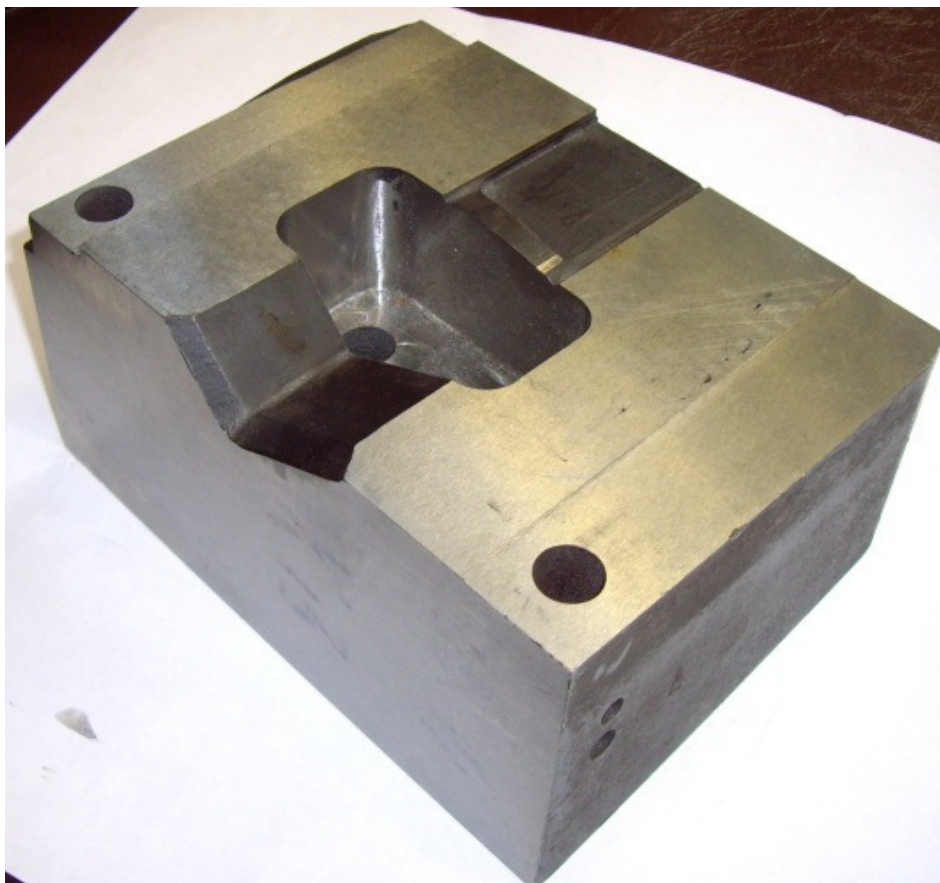
Рассмотрим процесс профильного выдавливания. Конструкция матрицы для профильного выдавливания состоит из двух полуматриц (фотография одной полуматрицы приведена на рисунке 1, где (1) - сама полуматрица). В связи с использованием в лопатке высокопрочных материалов, процесс профильного выдавливания является высоконагруженным. Для увеличения стойкости полуматриц, через которые продавливается материал, применяются твердосплавные

вставки (2), запрессовываемые в каждую из полуматриц. В конструкции матрицы предусмотрены занижение (3) для излишков смазывающей массы, а также занижение от профиля пера на 0,05 мм (4), необходимое для исключения лишнего трения отформованного пера о стенки инструмента при выдавливании. Полуматрицы соединены между собой петлями, позволяющими закрываться и раскрываться форме, но для центрирования в закрытом положении предусмотрены втулки и колонки (в данном случае втулка) (5). Формирование профиля детали происходит в наиболее узком месте матрицы – фильере (6). Конструкция входной части полуматрицы состоит из нескольких основных элементов: фаска (7) в 5-10 градусов на длине 5 мм за грубой фаской (способствует центрированию пуансона при заходе в матрицы, зазор пуансона в полу матрицах должен быть не более 0,05 на сторону, чтобы продавливаемый металл не выходил в обратную сторону), переходной радиус полки замка (8), радиус перехода замка в перо (9), зона перехода (10) между основным материалом полуматрицы и твердосплавной вставкой.



**Рис. 1. Полуматрица для профильного выдавливания.**

Обработать сразу и твердый сплав и корпус не представляется возможным, так как твердый сплав не фрезеруется, а при электроэрозионной обработке твердый сплав выгорает намного позже сплава, который его окружает. Изготавливать полуматрицы целиком из твердого сплава экономически нецелесообразно и отсутствует возможность последующего ремонта (рис. 2). В случае, если полуматрица сборная и происходит разрушение твердосплавной вставки, ее можно заменить.



**Рис. 2. Заготовка для полуматрицы профильного выдавливания без твёрдосплавной вставки.**

Для изготовления полуматриц на предприятии ОАО «ММП им. В.В. Чернышева» был разработан и долгое время применялся технологический процесс, который условно можно разделить на несколько основных этапов:

- заготовительные операции для полуматрицы и твердосплавной вставки (разрезка, обработка габаритов, шлифовка и др.);
- обработка отверстий под колонки или втулки, которые на остальных технологических операциях используются в качестве баз;
- фрезерование на универсальном станке кармана под вставку, занижения (рис.1 позиция 3), области замка и входной части полуматрицы. Закалка

- деталей и шлифовка поверхности разъема формы, габаритов, кармана под вставку, а также зоны замка;
- запрессовка вставки в полуматрицу;
  - электроэрозионная обработка вставки на проволочном станке и обработка зоны замка на прошивном станке;
  - слесарная доводка полуматрицы;
  - контроль и пробная штамповка.

Описанный технологический процесс имеет ряд серьезных недостатков. В технологическом процессе необходимо большое количество контрольных операций. Это связано с присутствием в нем большого количества переходов с различными технологическими базами и слесарной обработки. Доводка всех скруглений, переходов поверхностей осуществляется слесарной обработкой, это требует наличия технологической оснастки второго уровня в виде шаблонов и, как следствие, оснастки третьего уровня – контршаблонов для проверки шаблонов. Это приводит к тому, что технологический процесс нестабилен, используются низкие допуски на изготовление, следствием чего является низкий ресурс формы. Такой технологический процесс требует наличия большого количества опытных слесарей, и расчетная трудоемкость описанного техпроцесса составляет около 200 нормо-часов.

Был проведен анализ техпроцесса изготовления полуматриц для профильного выдавливания и реализован ряд мероприятий по повышению качества технологического процесса изготовления полуматриц.

В первую очередь часть фрезерных работ по полуматрице были переведены с универсального оборудования на станки с ЧПУ. Это позволило убрать из техпроцесса часть слесарных операций по сведению радиусов и кромок в зоне входной части матрицы, снизить припуска на последующую электроэрозионную обработку, повысить стабильность техпроцесса.

С целью повышения точности изготовления замковой части полуматрицы были проведены экспериментальные работы по подбору величин припусков на основной материал полуматрицы и вставки под электроэрозионную обработку. Припуска эти различные вследствие того, что скорость эрозии материала вставки и полуматрицы различны.



**Рис. 5. Твердосплавная вставка.**



**Рис. 6. Занижающий электрод.**



**Рис. 7. Основной электрод.**

Для точного изготовления мест скругления и перехода вставки в основной материал полуматрицы обработка на электро-эрозии выполняется в несколько технологических переходов. Предварительно электродом на корпусе удаляется расчетный припуск с одновременным формированием геометрии замочной части в твердосплавной вставке, обработка происходит в направлении, перпендикулярном поверхности разъема. После этого полуматрицы собираются между собой.



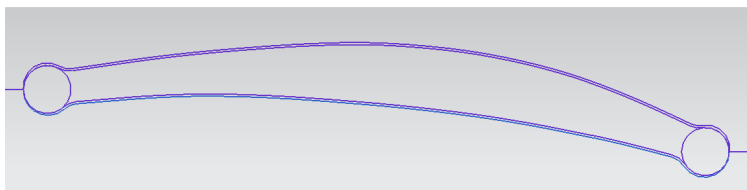
Получившийся паз в собранной матрице калибруется электродом на прошивном электроэрозионном станке в направлении оси паза в полуматрице.

Эти мероприятия позволили значительно сократить объем слесарной обработки по сведению радиусов в зоне замка и в зоне перехода между материалом вставки и основного материала полуматрицы (рис. 1 позиция 10).

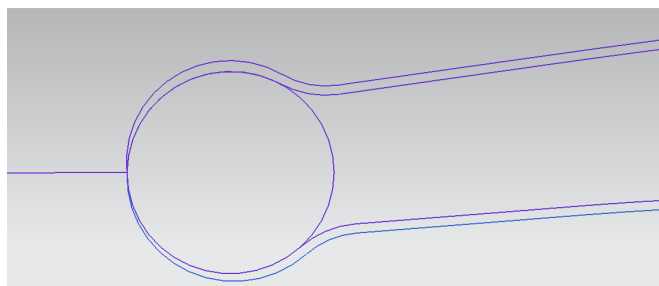
Для повышения точности позиционирования электродов было сокращено количество технологических баз за счет применения специальной оснастки, технологические базы которой являются общими базами как для фрезерования электродов на ЧПУ, так и для прожига на электроэрозионном оборудовании.

Часть операций контроля были переведены на цифровую контрольно-измерительную машину, что позволило значительно снизить количество технологической оснастки второго уровня.

Особое внимание при изготовлении полуматрицы обращается на занижение в местах выхода пера из профилирующего твердого сплава. Оно не должно превышать 0,05 мм на сторону. А технологические приливы на входной и выходной кромке пера, выполненные в сечении в форме круга, при переходе из твердого сплава в занижение, должны быть касательные к поверхности разъема матриц (Рис 3,4).



**Рис. 3. Профиль под лопатку в твердосплавной вставке.**



**Рис. 4. Профиль под лопатку с занижением в 0,05 мм и местом перехода профиля в поверхность разъема.**

Добиться точности изготовления участка занижения удалось за счет повышения требований по точности к изготовлению электродов для прошивной электро-эрозии. Предложенная конструкция полуматрицы (Рис. 3,4) позволила избежать «сабления» на пере, снизить количество излишков материала, наличие которых отрицательно сказывается на износостойкости как матрицы для профильного выдавливания, так и на стойкости форм для последующей точной штамповки.

#### **Выводы.**

Подводя итоги, можно говорить, что предложенные мероприятия позволили значительно повысить качество технологического процесса изготовления штамповой оснастки для профильного выдавливания применяемой в техпроцессе изготовления лопаток компрессора ГТД. С учетом необходимости обновления штамповой оснастки в среднем не реже одного раза в рабочую неделю предложенные мероприятия позволили снизить трудоемкость техпроцесса изготовления полуматрицы с 200 до 50 нормочасов, удалось повысить

износостойкость полуматриц, сократить количество необходимой для их производства оснастки.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Соглашение № 14.132.21.1575).

### **Библиографический список**

1. Полетаев В.А. Технология автоматизированного производства лопаток газотурбинного двигателя. М.: Машиностроение – 2006. 130 с.
2. Сулима А.М., Носков А.А., Серебренников Г.З. Основы технологии производства газотурбинных двигателей. М. – 1996. 480 с.
3. Терентьев В.В., Ионов А.В., Болховитин М.С. Проблемы выбора технологий производства лопаток компрессоров ГТД. М.: «Русский инженер» – 2012 г. №5. с. 298-302.