

**В.Ф. Макаров, А.С. Приступов**  
**V.F. Makarov, A.S. Pristupov**

Пермский государственный технический университет  
Perm State Technical University

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПЫТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
СБОРНЫХ ПРОТЯЖЕК С НЕПЕРЕТАЧИВАЕМЫМИ  
ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ПЛАСТИНАМИ**

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF SKILLED DESIGNS  
OF COMBINED TEAMS BROACHES  
WITH HARD ALLOY PLATES**

Приведены результаты разработки новой сборной конструкции протяжки с неперетачиваемыми твердосплавными пластинами для обработки замковых поверхностей лопаток из титановых сплавов на повышенных скоростях резания.

**Ключевые слова:** протяжка, сборная конструкция, твердосплавная пластинка, скорость резания, протягивание.

Results of development of a new modular design of the broach with hard alloy plates for processing lock surfaces of blades from titanic alloys on the raised speeds of cutting are resulted.

**Keywords:** broach, assembly construction, hard alloy plates, cutting speed, broaching.

Авиационное двигателестроение по праву считается одной из сложнейших отраслей машиностроения, ведь на изготовление едва ли не каждой детали здесь требуется более десяти технологических операций. Для создания современных газотурбинных двигателей необходимо постоянное совершенствование технологических процессов, разработка и внедрение новых материалов, методов и средств обработки, в основу которых положены высокие требования к качеству, надежности силовых установок, экономичности их производства и эксплуатации.

В свою очередь, узлы компрессора и турбины состоят из большого числа дисков и лопаток, соединенных с помощью специальных профильных замковых соединений (рис. 1). Общее число профильных замковых поверхностей дисков и лопаток в одном газотурбинном двигателе составляет более 7000. Эти поверхности относятся к наиболее нагруженным и ответственным элементам ГТД. Наиболее производительным методом обработки таких поверхностей является процесс скоростного протягивания твердосплавными протяжками.

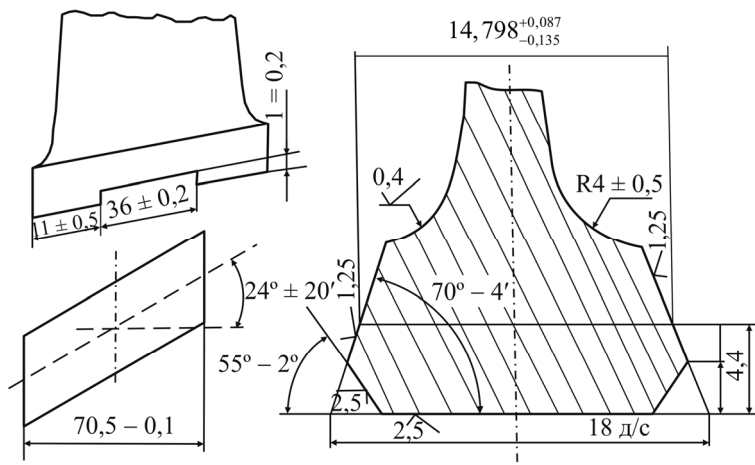


Рис. 1. Эскиз замка лопатки компрессора двигателя ПС90 2А из титанового сплава ВТ8, обрабатываемого протягиванием

Для выполнения операции скоростного протягивания замков лопаток компрессора из жаропрочных и титановых сплавов ЭИ 787ВД, ВЖЛ14 и ВТ8 разработаны специальные конструкции протяжек с напайными пластинками из твердого сплава ВК8 (рис. 2, б) вместо применяемых ранее быстрорежущих протяжек. Стойкость твердосплавных протяжек увеличилась в 10–15 раз по сравнению с быстрорежущими протяжками. При этом скорость протягивания увеличилась с 2 м/мин до 26 м/мин, т.е. в 13 раз. Однако длительная эксплуатация этих твердосплавных протяжек с напайными пластинками выявила ряд проблем.

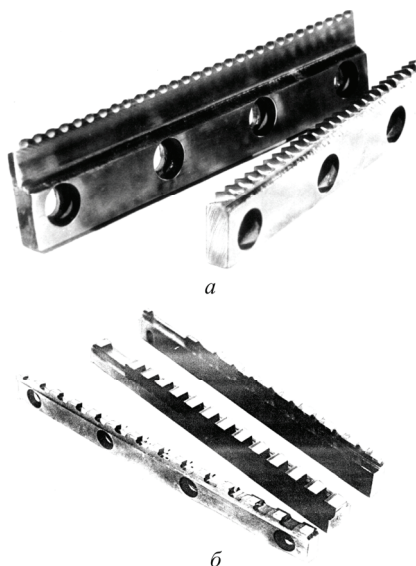


Рис. 2. Общий вид быстрорежущих (а) и твердосплавных (б) протяжек для обработки замков лопаток компрессора

Среди этих проблем нужно отметить следующие:

1. В процессе напайки и заточки зубьев протяжек наблюдаются трещины в твердом сплаве от напряжений при нагреве и охлаждении.

2. Переточка протяжек проводится неравномерно по передней и задней поверхности индивидуально для каждого зуба, что изменяет перепады между зубьями, приводит к преждевременному выходу протяжки из работы.

3. Хрупкое катастрофическое разрушение одного-двух зубьев протяжки приводит к съему и замене всей протяжки.

4. Износ зубьев протяжек неравномерный, а замена протяжек проводится по самому слабому зубу, хотя остальные зубья могут еще длительно работать.

5. Корпус протяжки повторно не используется, а отправляется в металлолом.

6. В механическом цехе для переточки протяжек требуется иметь точное отделение с квалифицированными заточниками, высокоточным оборудованием и высококачественными абразивными кругами и др.

В то же время в производстве деталей газотурбинных двигателей из таких же труднообрабатываемых материалов широко и успешно применяются сборные конструкции режущих инструментов с неперетачиваемыми пластинками из различных твердых сплавов – токарные резцы, фрезы, сверла.

Целью данной работы является повышение производительности и качества процесса протягивания замков лопаток ГТД типа ласточкин хвост, снижение затрат на изготовление инструмента, путем проектирования, изготовления и внедрения в производство протяжек со сменными многогранными пластинами.

Для выполнения этой цели поставлены следующие задачи:

1. Провести анализ современных тенденций развития сборного режущего инструмента.

2. Изучить особенности процесса протягивания деталей газотурбинных двигателей на ОАО «Пермский моторный завод».

3. Провести исследование различных способов крепления сменных многогранных пластин.

4. Установить закономерности отклонений режущей кромки при различных схемах нагружения в зависимости от различных методов закрепления сменных многогранных и напайных пластин.

5. Разработать новые конструкции протяжки для обработки подошвы титановой лопатки ГТД.

6. Изготовить опытный образец протяжки с СМП.

7. Провести испытания в производственных условиях.

В результате анализа материалов по сборному режущему инструменту установлено, что инструменты с СМП, по сравнению с напайными, более надежны и долговечны, обеспечивают экономию инструментального материала и конструкционной стали, меньшее рассеяние стойкости, большую производительность (на 15–20 %). Они применяются при меньших подачах, но во всех случаях при большей скорости резания, что и обеспечивает рост производительности.

Применение СМП дает ряд преимуществ:

- значительное увеличение срока службы державки резца (до 400 смен режущих кромок);
- максимальная унификация и взаимозаменяемость составных элементов, сокращение номенклатуры режущих пластин;
- исключение из производственного процесса трудоемких операций пайки и заточки, требующих дополнительных трудозатрат: специальных участков, технологической оснастки, оборудования и абразивного инструмента;
- сокращение времени смены режущих кромок резцов (поворотом или заменой СМП);
- получение стружки нужных форм и размеров за счет правильного выбора типа стружечной канавки, что особенно важно в автоматизированном производстве;
- сокращение расхода дорогих твердых сплавов и увеличение их возврата при утилизации до 90 %;
- возможность повышения режимов обработки при сохранении качества обрабатываемой поверхности за счет использования пластин с износостойким покрытием.

Известно, что использование СМП имеет и ряд недостатков, к которым можно отнести уменьшение жесткости системы, дороговизну и сложность изготовления. Первые опытные конструкции сборных протяжек выполнялись с вертикальным расположением режущих пластин и клиновым зажимом (рис. 3), что привело к нежелательному продольному изгибу протяжки от действия жимных усилий клиньев в продольном направлении.

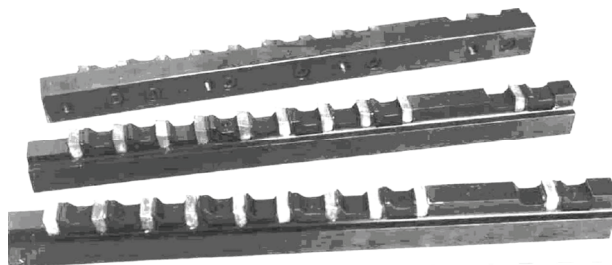


Рис. 3. Общий вид сборной протяжки с вертикальным расположением режущих зубьев и клиновым зажимом

В связи с этим проведен анализ схем и жесткости крепления режущих пластин на сборных конструкциях других режущих инструментов. На рис. 4 представлены основные конструкции токарных резцов с различными схемами крепления режущих пластинок. Рассматривались схемы крепления винтом сверху, методом косой тяги, клиновое крепление, напайное крепление, крепление силами упругой деформации и др.

Для проведения экспериментальных исследований жесткости различных схем крепления в качестве испытательной установки использовался вертикально-фрезерный станок HECKERT FSS 315 V/2.

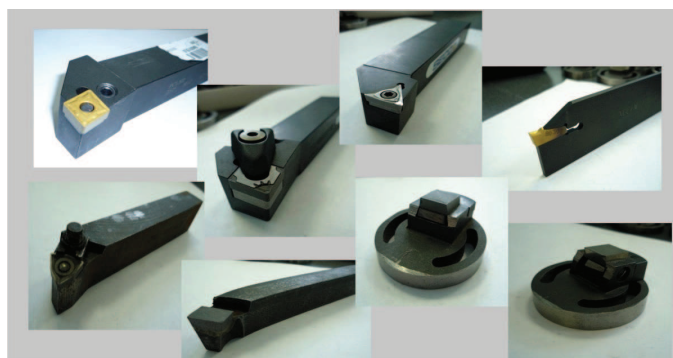


Рис. 4. Испытываемые образцы

Измерение величины давления проводилось при помощи протарированной динамометрической скобы с индикаторной головкой. Измерение величины прогиба вершины резца измерялось при помощи индикаторной головки (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид измерения жесткости различных схем крепления режущих пластин на токарных резцах

По результатам испытаний наилучшие результаты показали образцы, методом крепления пластин которых были напайная конструкция и конструкция винтом сверху.

На основании данных исследований для проектирования сборной протяжки со сменными многогранными пластинами принят способ крепления винтом сверху по схеме на рис. 6.

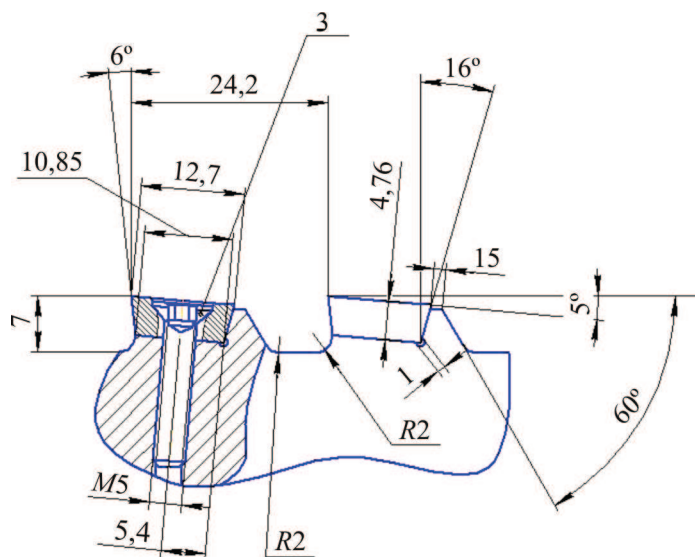


Рис. 6. Схема крепления многогранной сменной пластинки на корпусе протяжки

По разработанным чертежам впервые в авиационном моторостроении в инструментальном цехе ОАО «Пермский моторный завод» была изготовлена опытная сборная протяжка с механическим креплением пластинок (рис. 7), показавшая хорошие результаты при испытаниях.

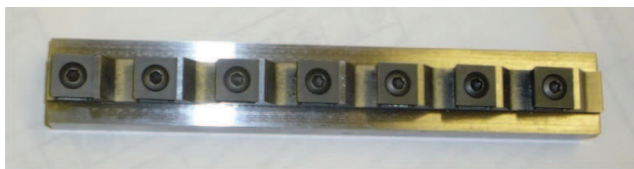


Рис. 7. Общий вид сборной протяжки с СМП для обработки замка лопатки

Сделаем выводы. Анализ состояния и перспектив развития процессов протягивания показал, что основным направлением повышения эффективности этого процесса является интенсификация процесса резания на основе увеличения скоростей резания и применения протяжек со сменными многогранными твердосплавными пластинами. Для реализации этого процесса

в настоящей работе проведено исследование режимов резания, а также проектирование, моделирование и расчет конструкций протяжек с механическим креплением твердосплавных пластин.

Испытание опытной конструкции протяжки показало хорошие результаты. Работа будет продолжена с целью полного перехода на сборные протяжки с механическим креплением СМП при протягивании замков лопаток из титанового сплава BT8 и жаропрочных сплавов ЭИ787ВД и ВЖЛ14.

Таким образом, замена существующих протяжек для скоростной обработки замков лопаток ГТД на протяжки с механическим креплением сменных неперетачиваемых твердосплавных пластин обеспечивает требуемые высокие параметры качества и усталостной прочности детали при значительном росте производительности, стабильности и экономичности обработки.

Получено 21.02.2011