

Г.Д. Петухов
G.D. Petukhov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

**АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ
И ПРОБЛЕМЫ ПРОТЯГИВАНИЯ ЛОПАТОК
КОМПРЕССОРОВ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

**ANALYSIS OF MODERN CONDITION AND PROBLEMS
OF BROACHING BLADES OF COMPRESSORS
IN RUSSIA AND ABROAD**

Проведен анализ состояния проблемы протягивания лопаток компрессоров в России и за рубежом. Рассмотрены нагрузки, которые испытывает режущая пластина при работе. Произведен подбор режущих пластин из каталога Sandvik для обработки титана и жаропрочных сталей с учетом действующих сил.

This article analyses the status and problems of broaching blades of compressors in Russia and abroad. Considered burden felt by cutting plate at work. Also made a selection of cutting plates from the directory "Sandvik" for titanium and heat-resistant steels taking into account the existing forces.

Ключевые слова: протягивание, нагрузка, лопатка, действующая сила, режущая пластина, титан, жаропрочный сплав.

Keywords: routing, load, shovel, active force, cutting plate, titanium, heat-resistant alloy.

В современных условиях острой конкурентной борьбы за рынки сбыта авиационной техники как внутри страны, так и за рубежом интенсификация производства газотурбинных двигателей (ГТД) означает внедрение мероприятий по значительному сокращению трудозатрат, снижению себестоимости обработки, сокращению сроков освоения новых изделий при одновременном повышении качества и стабильности обработки, надежности и ресурса работа деталей в условиях эксплуатации. Повышенные эксплуатационные требования к деталям ГТД обусловлены особыми требованиями к безопасности воздушных перевозок людей и грузов [1].

Главной проблемой в современном протягивании является обеспечение качества и усталостной износостойкости при минимальных затратах на производство лопаток компрессора. В частности, для снижения затрат основными решениями являются снижение трудоемкости и удешевление инструментального хозяйства в области протягивания. Снижение трудоемкости достигается увеличением скорости резания.

В данный момент в нашей и зарубежной промышленности используются протяжки из быстрорежущей стали, с напайными твердосплавными пластинами, а также сборные протяжки со специальными режущими элементами. Во втором варианте для обработки титана используются пластины ВК8. В то же время современный уровень сменных твердосплавных пластин позволяет более гибко подбирать режимы резания, увеличивать скорость резания при обработке лопаток компрессора из титана и жаропрочных сталей. Сборные протяжки со специальными режущими элементами также позволяют решить эти проблемы, но это ведет к удорожанию инструментального хозяйства, увеличению номенклатуры режущих и крепежных элементов. Также ввиду отсутствия развитой конкуренции и специфичности инструмента могут возникать проблемы с поставками.

Одним из путей повышения эффективности финишной механической обработки деталей ГТД является разработка, исследование и внедрение такого высокопроизводительного процесса, как скоростное протягивание сборными протяжками со сменными твердосплавными пластинами. Применение режущего инструмента с твердосплавными пластинами позволяет уйти от проблемы неравномерной заточки зубьев, что требует высокой квалификации заточника и высокоточного дорогого оборудования. Однако для получения точных геометрических параметров протяжки требуется очень точная обработка посадочных мест под пластины. В то же время затраты на изготовление корпуса протяжки окупаются из-за ее многократного использования.

Нагрузки, действующие на режущие кромки. Геометрические параметры режущего инструмента оказывают существенное влияние на усилие резания, качество поверхности и износ инструмента. Так, с увеличением угла α инструмент легче врезается в материал, снижаются силы резания, улучшается качество поверхности, но повышается износ инструмента. Наличие угла α снижает трение инструмента о поверхность резания, уменьшая его износ, но чрезмерное его увеличение ослабляет режущую кромку, способствуя ее разрушению при ударных нагрузках.

Силы резания P представляют собой силы, действующие на режущий инструмент в процессе упругопластической деформации и разрушения срезаемой стружки.

Силы резания приводят к вершине лезвия или к точке режущей кромки и раскладывают по координатным осям прямоугольной системы координат x, y, z . В этой системе координат ось z направлена по скорости главного движения,

и ее положительное направление соответствует направлению действия обрабатываемого материала на инструмент. Ось y направлена по радиусу окружности главного движения вершины. Ее положительное направление также соответствует направлению действия металла на инструмент. Направление оси x выбирается из условия образования правой системы координат. Значение усилия резания определяется несколькими факторами. Оно растет с увеличением глубины резания h и скорости подачи s (сечения срезаемой стружки), скорости резания v , со снижением переднего угла γ режущего инструмента. Расчет усилия резания производится по эмпирическим формулам, установленным для каждого способа обработки (см. справочники по обработке резанием). Например, для строгания эта формула имеет вид

$$P = C_p h X_p s Y_p X_n,$$

где коэффициенты C_p , X_p , Y_p , n характеризуют материал заготовки, реза и вид обработки.

Мощность процесса резания определяется скалярным произведением

$$N = P v_e,$$

где v_e – полная скорость перемещения.

Выразив это произведение через проекции по координатным осям, получим:

$$N = P_z v_z + P_y v_y + P_x v_x,$$

где v_x , v_y , v_z – проекции на оси координат скорости движения точки приложения равнодействующей сил резания. В практических расчетах используется приближенная зависимость $N = P_z v$. Это упрощение обусловлено тем, что составляющие P_y и P_x полной силы резания малы по сравнению с P_z , а скорость подачи относительно скорости резания составляет всего 1–0,1 %.

На рис. 1 рассмотрена схема распределения нагрузки на кромку режущей пластины. В данном случае сила действует в оси x , z .

С учетом моделирования и испытания сборных резцов выбираем пластины для титана ВТЗ-1, ВТ8 и для жаропрочных сталей ЭИ 787 ВД и ВЖЛ 14. Для точения жаропрочных сталей типа ЭИ 787 ВД и ВЖЛ 14 фирма Sandvik предлагает квадратные пластины для полуступенчатой обработки SNMG 120408-XM (код сплава GC15). Также весьма интересный вариант, подходящий для современного производства на ОАО «Пермский моторный завод», – это при-

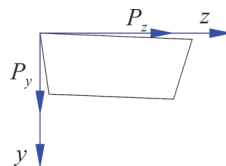


Рис. 1. Распределение нагрузки на кромку режущей пластины при протягивании

менение квадратных пластин SNMG 120412-SMC (код сплава, 1115), оптимизированных для подачи СОЖ под высоким давлением. Однако существенным минусом этих пластин является то, что они поставляются без задних углов. При закупке данных пластин необходимо будет затачивать задний угол перед установкой их на протяжку. Оптимальным решением этой проблемы является предлагаемая квадратная пластина фирмы SandvikSCMT 09 T3 08-SMC (код сплава 1115) для полустойковой обработки с подачей СОЖ под высоким давлением¹.

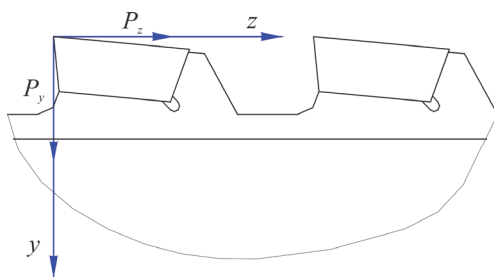


Рис. 2. Узел крепления выбранных пластин для титана и сталей с учетом действующих сил

К проблемам использования твердосплавных режущих пластин можно отнести следующее: коэффициент трения твердого сплава значительно меньше, чем у стали. Следует стремиться к такой форме крепления режущих элементов, при которой обеспечивается наибольшее усилие и надежность закрепления.

Для проведения экспериментальных исследований жесткости различных схем крепления в качестве испытательной установки использовался вертикально-фрезерный станок HECKERT FSS 315 V/2. Рассматривались схемы крепления винтом сверху, методом косой тяги, клиновое крепление, напайное крепление, крепление силами упругой деформации и др. [2].

По результатам испытаний наилучшие результаты показали образцы, методом крепления пластин которых были напайная конструкция и конструкция винтом сверху. На рис. 2 рассмотрены нагрузки, действующие на режущие кромки в процессе протягивания.

В данном примере нагрузки компенсируются жесткими поверхностями корпуса протяжки, нагрузки на регулируемые или подвижные опоры отсутствуют. Крепление производится винтом сверху с утопающей головкой, что не препятствует движению протяжки и сходу стружки.

¹ Дополнение к каталогам «Токарные инструменты» и «Вращающиеся инструменты». CoroPak 13.2, 2013.

Список литературы

1. Макаров В.Ф. Оптимизация протягивания труднообрабатываемых материалов: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 440 с.
2. Макаров В.Ф. Выбор и назначение оптимальных условий протягивания заготовок из труднообрабатываемых материалов: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 395 с.

Получено 7.10.2014

Петухов Григорий Дмитриевич – аспирант, ПНИПУ, АКФ, e-mail: e1190980@yandex.ru.