

DOI: 10.15593/2224-9877/2015.3.10

УДК 621.91.1

**В.Ф. Макаров, Г.Д. Петухов**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет, г. Пермь, Россия

## **РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СБОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТЯЖЕК ДЛЯ СКОРОСТНОГО ПРОТЯГИВАНИЯ ЗАМКОВ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА**

Указывается, что главной проблемой протягивания является применение протяжек из быстрорежущей стали и ограниченные скорости резания. Анализ литературных данных показывает, что этому вопросу уделяется недостаточное внимание. Общий анализ работ показал, что большинство из них выполнено в лабораторных условиях, на образцах обрабатываемых материалов, на станках-стендах и носит рекомендательный характер, не учитывающий конкретные производственные и технические условия, размеры и конфигурацию обрабатываемых деталей, мощность и жесткость применяемого оборудования и т.д. Предлагаемые варианты имеют свои достоинства и недостатки. Применение протяжек из быстрорежущей стали ограничивает процесс протягивания максимальной скоростью резания  $v = 1,5...2$  м/мин. Протяжки с напайными твердосплавными пластинами имеют следующие недостатки: износ одного зуба приводит к переточке всех зубьев или забраковке всей протяжки, наличие остаточных напряжений в пластинах после пайки и переточки зубьев. Решением проблем современного протягивания является применение сборных протяжек со сменными твердосплавными пластинами. В результате эксперимента найден оптимальный метод крепления твердосплавных пластин на протяжке. Данное решение позволяет спроектировать и изготовить протяжки с обработкой замка одновременно с пяти сторон.

**Ключевые слова:** протягивание, нагрузка, лопатка, действующая сила, режущая пластина, титан, жаропрочный сплав, переточка, зубья, передний угол, задний угол, срез, смятие.

**V.F. Makarov, G.D. Petukhov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **DEVELOPMENT OF PREFABRICATED STRUCTURES BROACHING TOOL FOR HIGH-SPEED BROACHING SHAFT OF THE COMPRESSOR BLADES OF THE CUT MATERIAL**

In given clause it is underlined, that the main problem broaching is application broach from fast-cutting steel and the limited speeds of cutting. The analysis of literary data shows, that the insufficient attention is paid to this question. The general analysis of works has shown, that the majority of works is executed in laboratory conditions, on samples of processable materials, on machine tools-stands and has the recommendatory character which is not considering concrete industrial and specifications, the sizes

and a configuration of processable details, capacity and rigidity of the applied equipment, etc. Offered variants have the merits and demerits. Application broaches from fast-cutting steel limits process broaching to the maximal speed of cutting  $v = 1,5 \dots 2$  m/min. Broach with brazed carbide plates have following lacks: Deterioration of one tooth leads grinding all teeth or the rejection to all broach, presence of residual pressure in plates after soldering and grinding teeth. The decision of problems modern broaching is application assorted broaches with replaceable carbide plates. As a result of experiment the optimum method of fastening carbide plates on broach is found. The given decision allows to design and make broach with processing the lock simultaneously with fave the parties.

**Keywords:** broaching, loading, blade, the operating force, a cutting plate, the titan, a heat resisting alloy, grinding, teeth, a forward corner, a back corner, cut, wrinkling.

В современном машиностроении процесс протягивания является высокопроизводительным методом обработки металла резанием и получения высокого качества обрабатываемой поверхности. По трудоемкости протягивание превосходит такие виды обработки, как фрезерование и шлифование. Получаемая шероховатость  $Ra \leq 1,25$ , допуск размера  $\Delta = 0,02$  мм, отклонение прямолинейности по углу не более  $5'$  [1]. Однако *главной проблемой* протягивания является применение протяжек из быстрорежущей стали и *ограниченные* скорости резания  $v \approx 1,5 \dots 2$  м/мин.

Анализ литературных данных показывает, что этому вопросу уделяется недостаточное внимание. Применяемые методы и разработанные методики весьма трудоемки. Некоторые исследователи рекомендуют применять при протягивании низкие скорости резания (до 3 м/мин) при использовании как быстрорежущих, так и твердосплавных протяжек.

В то же время Н.И. Жигалко, Н.И. Ковзель, Н.Ф. Пронкин, В.И. Белашков, А.Е. Вишняков, В.Ф. Скиженок, П.Г. Кацев и др. рекомендуют для труднообрабатываемых материалов повышенные скорости протягивания (до 30–50 м/мин) как быстрорежущими, так и твердосплавными протяжками [2, 3]. Общий анализ работ показал, что большинство работ выполнено в лабораторных условиях, на образцах обрабатываемых материалов, на станках-стендах и носит рекомендательный характер, не учитывающий конкретные производственные и технические условия, размеры и конфигурацию обрабатываемых деталей, мощность и жесткость применяемого оборудования и т.д. [4].

При выборе рациональной марки твердого сплава для напайных протяжек проведены предварительные испытания твердых сплавов марок ВК8, ВК6М, ВК10-ОМ, Т5К10 и Т15К6 на изгибную прочность, интенсивность адгезионного взаимодействия с обрабатываемыми материалами, величину износа и выкрашивания режущих кромок [5].

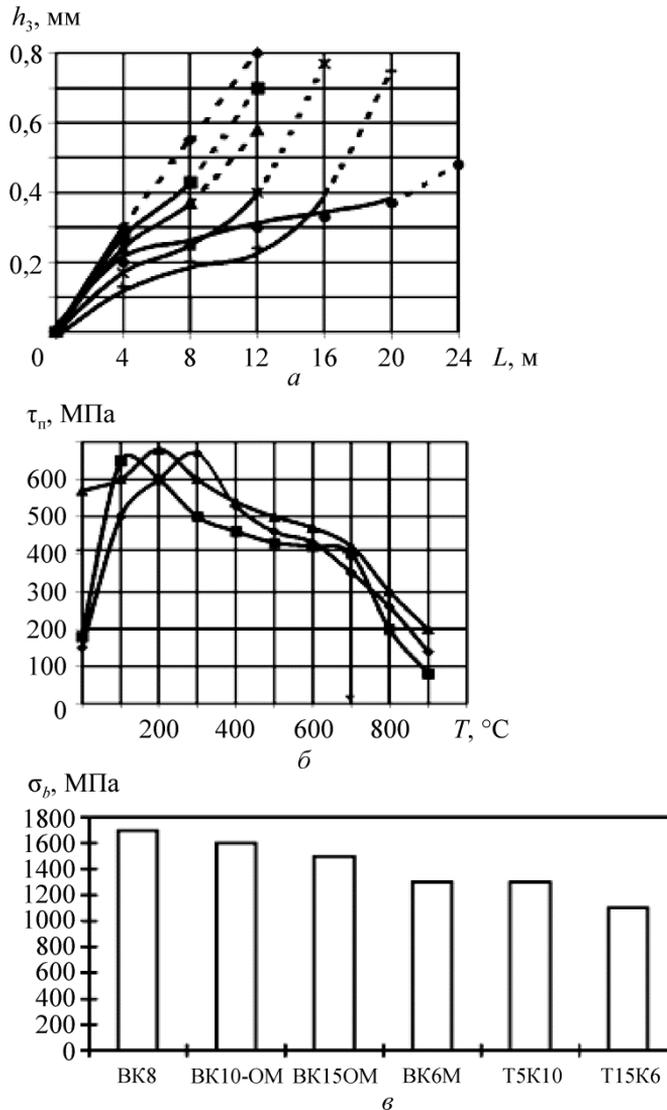


Рис. 1. Результаты сравнительных исследований различных марок твердых сплавов:  $a$  – по износостойкости (● – T15K6, ■ – T5K10, ▲ – BK6M, \* – BK6 OM, + – BK10-OM, ◆ – BK8);  $б$  – по адгезии к обрабатываемому материалу (◆ – BK10-OM, ■ – BK8, ▲ – T15K6);  $в$  – по изгибной прочности

Анализ результатов стойкостных испытаний показал, что из рассмотренных твердых сплавов наибольшую стойкость имеют сплавы BK10-OM и BK8. Причем сплав BK10-OM выкрашивался раньше, чем сплав BK8, поэтому выбран твердый сплав марки BK8 для протягивания.

На сегодняшний день в отечественной и зарубежной промышленности при обработке жаропрочных и титановых сплавов (ВТ8, ВТЗ-1, ЭИ 787ВД, ВЖЛ-14 и их аналогов) используются в основном протяжки из быстрорежущей стали, а также протяжки с напайными твердосплавными пластинами [6]. В то же время при точении, фрезеровании, сверлении широко применяются сборные режущие инструменты с неперетачиваемыми пластинами. Современный уровень сменных твердосплавных пластин позволяет более гибко подбирать режимы резания, увеличивать скорость резания при обработке лопаток компрессора из титана и жаропрочных сплавов. Решением этих проблем является применение сборных протяжек со сменными твердосплавными пластинами. Предлагаемые варианты имеют свои достоинства и недостатки.

### Сборные протяжки со сменными твердосплавными пластинами ( $v = 25$ м/мин и более)

*Достоинства.* Износ и выкрашивание кромки зуба требует не замены всей протяжки, а только замены пластины (или переустановки, так как пластина имеет восемь рабочих граней). Позволяют увеличить скорость резания. Позволяют обрабатывать труднообрабатываемые сплавы. Сменные твердосплавные пластины широко доступны, взаимозаменяемы (можно иметь несколько поставщиков). Позволяют постоянно совершенствовать процесс протягивания за счет подбора и внедрения более современных режущих пластин (улучшенный сплав, улучшенное покрытие и т.д.). Не требуют заточки и переточки пластин, что исключает наличие остаточных напряжений. Обеспечивают равномерность подачи на зуб. Многократное использование корпуса протяжки.

*Недостатки.* Дороговизна и сложность изготовления самих протяжек. Требуют высокой точности обработки впадин под пластины.

Таким образом, одним из путей повышения эффективности финишной механической обработки деталей ГТД является применение скоростного протягивания сборными протяжками со сменными твердосплавными пластинами.

Для назначения рациональных геометрических параметров необходимо провести моделирование и расчет конструкции протяжки.

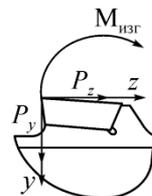


Рис. 2. Распределение нагрузки на кромку режущей пластины при протягивании

На рис. 2 рассмотрена схема распределения нагрузки на кромку режущей пластины. В данном случае сила действует по оси  $y, z$ , изгибающий момент  $M_{изг}$ .

### Расчет узла крепления выбранных пластин для титана и сталей с учетом действующих сил

К проблемам использования твердосплавных режущих пластин можно отнести следующее: коэффициент трения между твердым сплавом и стальным корпусом значительно меньше, чем между быстрорежущей и конструкционной сталью [7]. Исходя из этого следует стремиться к такой форме крепления режущих элементов, при которой обеспечивается надежность закрепления.

Для проведения экспериментальных исследований жесткости различных схем крепления пластин 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. Измерение величины давления производилось при помощи протарированной динамометрической скобы с индикаторной головкой. Величина прогиба вершины резца измерялась при помощи индикаторной головки. При испытаниях наилучшие результаты показали образцы, методом крепления пластин которых были напайная конструкция и винтом. Окончательно выбранная схема крепления пластин к корпусу протяжки изображена на рис. 3.

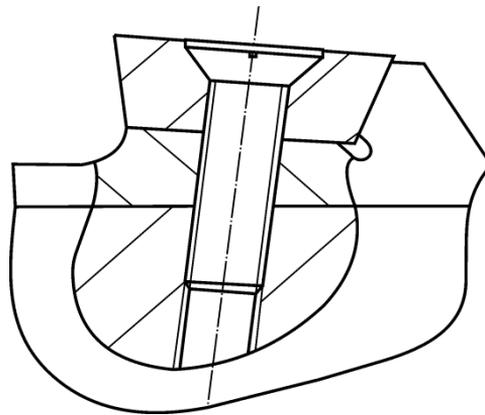


Рис. 3. Схема крепления выбранных пластин для титана и сталей с учетом действующих сил

На рис. 3 представлен узел крепления твердосплавных многогранных пластин, оптимальный для действующих нагрузок 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, сходу стружки.

Данный способ крепления пластины широко используется в режущих инструментах при сверлильных и фрезерных работах.

*Расчет протяжки предусматривает выбор оптимального наклона зубьев, переднего и заднего углов резания, размеров зуба и впадины, расчет  $P_z$ ,  $M_{изг}$ , прочности резьбы на срез  $T_{ср}$ , прочности резьбы на смятие  $\sigma_{см}$ .*

Производим расчет протяжки согласно приведенной блок-схеме.

Блок-схема № 1

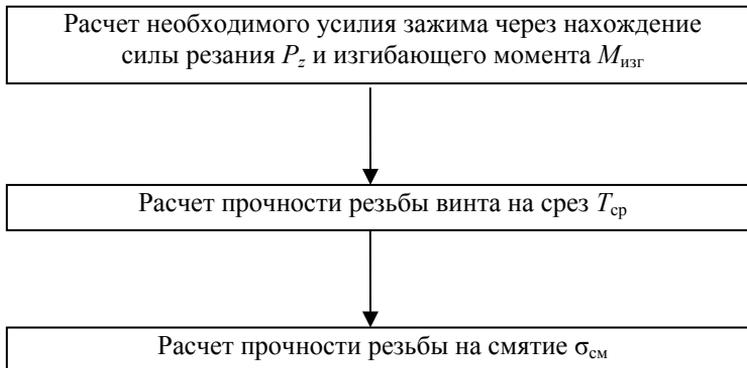


Согласно расчету получаем: угол наклона зубьев  $\omega = 0^\circ$ , передний угол  $\gamma = 4^\circ$ , задний угол  $\alpha = 3^\circ$ , площадь сечения впадины  $F_v = 40 \text{ мм}^2$ , шаг протяжки  $t = 32 \text{ мм}$ , глубина впадины  $h = 10,0 \text{ мм}$ ; радиус закругления впадины  $R = 3,5 \text{ мм}$  и  $r = 3 \text{ мм}$  [8].

### **Расчет необходимого усилия для закрепления сменных твердосплавных пластин на протяжке**

Производим расчет необходимого усилия для крепления пластин в протяжке согласно приведенной блок-схеме.

Блок-схема № 2



Согласно расчету получаем: сила резания  $P_z = 428,8$  Н, изгибающий момент  $M_{изг} = 0,179$  Н·м, прочность резьбы винта на срез  $T_{ср} = 2,73$  Н/мм  $< [T_{ср}]$ , прочность резьбы на смятие  $\sigma_{см} = 0,18$  Н/мм  $< [\sigma_{см}]$  [9].

Применяемый винт М3,5×8 выдерживает нагрузку, действующую на пластину ( $M_{изг} = 0,179$  Н·м,  $P_z = 428,8$  Н) [10].

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Применение протяжек из быстрорежущей стали ограничивает процесс протягивания максимальной скоростью резания  $v = 1,5 \dots 2$  м/мин.
2. Протяжки с напайными твердосплавными пластинами имеют следующие недостатки: износ одного зуба приводит к переточке всех зубьев или забраковке всей протяжки, наличие остаточных напряжений в пластинах после пайки и переточки зубьев.
3. Решением проблем современного протягивания является применение сборных протяжек со сменными твердосплавными пластинами.
4. В результате эксперимента найден оптимальный метод крепления твердосплавных пластин на протяжке.
5. Данное решение позволяет спроектировать и изготовить протяжки с обработкой замка одновременно с пяти сторон, что обеспечит экономию в размере 2 млн руб. в год.

### Список литературы

1. Макаров В.Ф. Выбор и назначение оптимальных условий протягивания заготовок из труднообрабатываемых материалов: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 396 с.

2. Жигалко Н.И. Скоростное протягивание. – Минск: Высш. шк., 1982. – 152 с.
3. Кацев П.Г. Протяжные работы. – М.: Высш. шк., 1985. – 191 с.
4. Макаров В.Ф. Оптимизация протягивания труднообрабатываемых материалов: монография. – Старый Оскол: ТНТ, 2014. – 440 с.
5. Режущий инструмент. Альбом: учеб. пособие / В.А. Гречишников [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 437 с.
6. Эффективные технологии дорнования, протягивания и деформирующе-режущей обработки / С.К. Абросимов, А.Н. Афонин, А.Р. Ингеманссон, А.Н. Исаев, А.В. Киричек, Д.В. Крайнев [и др.]. – М.: Спектр, 2011. – 328 с.
7. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. – 496 с.
8. Балюра П.Г. Протягивание пазов. – М.: Машиностроение, 1964. – 171 с.
9. Пронкин Н.Ф. Протягивание труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1978. – 119 с.
10. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 1984. – 400 с.

### **References**

1. Makarov V.F. Vybor i naznachenie optimal'nykh uslovii protiagivaniia zagotovok iz trudnoobrabatyvaemykh materialov [Selection and appointment of the optimal conditions for drawing blanks of hard materials: teaching aid. Technology machines]. Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2008. 395 p.
2. Zhigalko N.I. Skorostnoe protiagivanie [High-speed broaching]. Minsk: Vysshiaia shkola, 1982. 152 p.
3. Katsev P.G. Protiazhnye raboty [Broaching work]. Moscow: Vysshiaia shkola, 1985. 191 p.
4. Makarov V.F. Optimizatsiia protiagivaniia trudnoobrabatyvaemykh materialov [Optimization broaching hard materials]. Staryi Oskol: Tonkie naukoemkie tekhnologii, 2014. 440 p.
5. Grechishnikov V.A. Rezhushchii instrument. Al'bom [The cutting tool. Album]. Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007. 437 p.

6. Abrosimov S.K., Afonin A.N., Ingemansson A.R., Isaev A.N., Kirichek A.V, Krainev D.V. [et al.]. Effektivnye tekhnologii dornovaniia, protiagivaniia i deformiruiushche-rezhushchei obrabotki [Effective technologies dornovaniia, pulling and cutting, deforming processing]. Moscow: Spektr, 2011. 328 p.

7. Kosilovoi A.G., Meshcheriakova R.K. Spravochnik tekhnologa mashinostroitel'ia [Manual Machinist technologist]. Moscow: Mashinostroenie, 1986. Vol. 2. 496 p.

8. Baliura P.G. Protiagivanie pazov [Broaching grooves]. Moscow: Mashinostroenie, 1964. 171 p.

9. Pronkin N.F. Protiagivanie trudnoobrabatyvaemykh materialov [Broaching hard materials]. Moscow: Mashinostroenie, 1978. 119 p.

10. Nefedov N.A., Osipov K.A. Sbornik zadach i primerov po rezaniiu metallov i rezhushchemu instrumentu [Collection of problems and examples of metal cutting and cutting tools]. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 400 p.

Получено 29.06.2015

### **Об авторах**

**Макаров Владимир Федорович** (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: makarovv@pstu.ru.

**Петухов Григорий Дмитриевич** (Пермь, Россия) – ведущий инженер-технолог ОАО «ПМЗ», аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения» Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: el190980@yandex.ru.

### **About the authors**

**Vladimir F. Makarov** (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department “Innovative Engineering Technology”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: makarovv@pstu.ru.

**Grigori D. Petukhov** (Perm, Russian Federation) – Leading Engineer-Technologist, OJS “Perm Engine Company”, Postgraduate Student, Department “Innovative Engineering Technologies”, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: el190980@yandex.ru.