

УДК 621.91.02

**ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ТВЕРДОГО СПЛАВА
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Е. В. Артамонов, А. М. Тверяков, А. С. Штин

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

Аннотация. Приведен краткий обзор выбора инструментального твердого сплава для обработки резанием жаропрочных материалов, применяемых для изготовления деталей газотурбинных двигателей ДР-59, ДЖ-59 и ДГ-90.

Ключевые слова: твердые сплавы; обработка резанием; изготовление деталей газотурбинных двигателей

**SELECTION OF TOOL HARD ALLOY FOR PROCESSING PARTS
OF GAS TURBINE ENGINES**

E. V. Artamonov, A. M. Tveryakov, A. S. Shtin

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract. The article reports a brief overview of the choice of tool hard alloy for processing heat-resistant materials used for the manufacturing of parts of gas turbine engines DR-59, J-59, and DG-90.

Key words: hard alloys; cutting; manufacturing of parts of gas turbine engines

В 80-е годы прошлого столетия, когда было развернуто широкое строительство газопроводов с компрессорными станциями из северных районов Тюменской области в центральные регионы России, более половины потребностей в газоперекачивающих аппаратах (ГПА) было удовлетворено за счет агрегатов с конвертированными транспортными газотурбинными двигателями. С учетом более простой установки и большей индустриализации строительства в короткое время было построено и укомплектовано ими значительное число компрессорных цехов¹.

¹ Корпоративная газета ООО «Центрремонт». – 2018 (май). – № 4 (93).

Цель данной работы — анализ механизма выбора инструментального твердого сплава для обработки труднообрабатываемых материалов, применяемых для изготовления деталей газотурбинных двигателей.

На данный момент ведущие газоперекачивающие предприятия нашей страны используют широкую номенклатуру газотурбинных двигателей (ДР-59, ДЖ-59 и ДГ-90) для своих ГПА.

В современных двигателях рабочая температура может превышать температуру плавления сплавов рабочих лопаток.

Все обрабатываемые материалы подразделяются на группы резания, в соответствии с принадлежностью к той или иной группе осуществляется выбор геометрии режущего инструмента, марки сплава и режимов резания.

Материалы, способные выдерживать такие температуры, обычно очень тяжело подвергаются обработке резанием. Данные сплавы относятся к особой группе обрабатываемости — коррозионно- и теплостойкие стали (аустенитного класса), «ГРУППА М» по ISO 513. В зависимости от обрабатываемого материала и типа снимаемой стружки твердые сплавы подразделяются на три основные группы резания: Р, М, К (рис. 1).

ГРУППА Р	ГРУППА М	ГРУППА К
Обрабатываемые материалы: Конструкционные стали: нелегированные; легированные; подшипниковые; рессорно-пружинные. Инструментальные стали: углеродистые; для режущего и мерительного инструмента; штамповые; быстрорежущие. Стали для отливок: углеродистые; низколегированные. Коррозионно-теплостойкие стали (мартенситно/ферритного классов)	Обрабатываемые материалы: Коррозионно- и теплостойкие стали (аустенитного класса) Жаростойкие и жаропрочные сплавы: мартенситного, аустенитного/мартенситного и аустенитного классов; на Ni-Cr основе. Никель-кобальтовые сплавы Титановые сплавы: деформируемые; литейные.	Обрабатываемые материалы: Чугуны: ковкие; серые; антифрикционные; с шаровидным графитом. Алюминиевые сплавы: деформируемые; литейные. Магниеые сплавы: деформируемые; литейные. Медь и медные сплавы: медь; латуни; бронзы. Антифрикционные сплавы: цинковые сплавы; алюминиевые сплавы; порошковые спеченные алюминиевые сплавы; баббиты.

Рис. 1. Группы резания

Группы разбиты на подгруппы, каждая из которых обозначается числовым индексом, характеризующим вид обработки, режим резания и свойства твердого сплава.

Для выбора марки инструментального твердого сплава (ИТС), предназначенного для обработки заготовки на той или иной операции, предлагается использование специальных карт, где приведены марки твердых сплавов всех областей и подгрупп применения для соответствующих методов и условий обработки, а также ориентировочные режимы резания (рис. 2–4).

Основные шаги по выбору ИТС:

1. Определить материал заготовки и принадлежность выбираемой марки твердого сплава к одной из групп Р, М или К.
2. Определить вид операции.
3. Определить условия и характер обработки.

4. Подобрать карту, соответствующую определенным условиям, и выбрать марку твердого сплава².

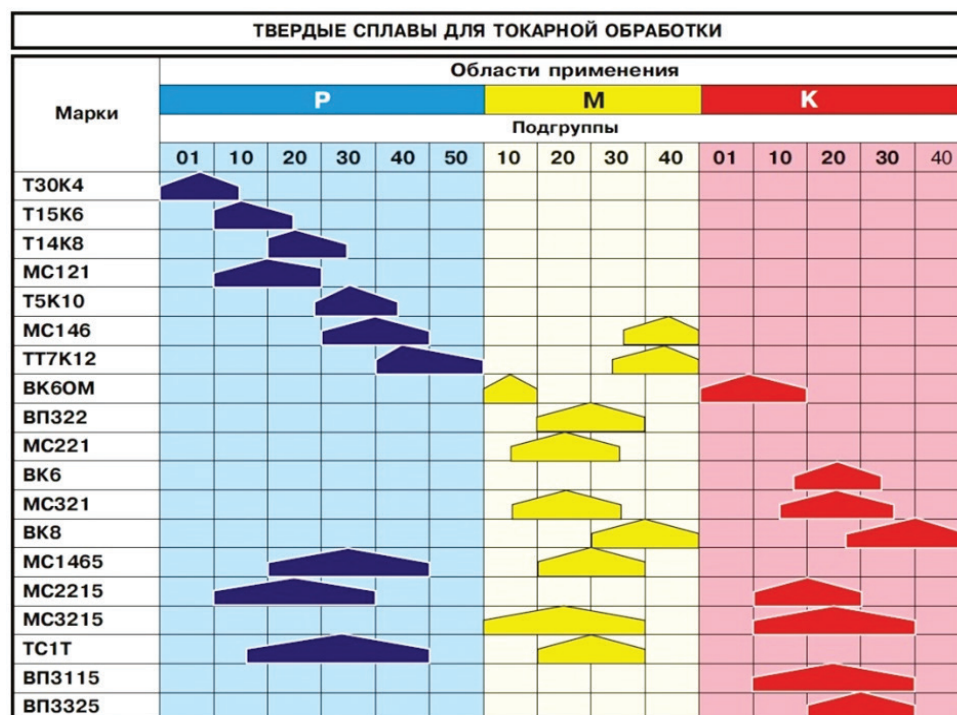


Рис. 2. Выбор инструментального твердого сплава по группам резания

Код обработки	Характеристика процесса обработки при точении, сверлении, расточке	Характеристика процесса обработки при фрезеровании
F (чистовая обработка)	Подача при точении наружных поверхностей $S \leq 0,25$ мм/об, при расточке $S \leq 0,20$ мм/об; глубина резания $t \leq 1,5$ мм ($t < 0,5$ мм при HRC > 30); высокая скорость резания.	Подача $S \leq 0,15$ мм/зуб; глубина резания $t < 2$ мм ($t < 1$ мм при HRC ≤ 30); высокая скорость резания.
M (получистовая обработка)	Подача при точении наружных поверхностей $S \leq 0,6$ мм/об, при расточке $S \leq 0,4$ мм/об; глубина резания $t \leq 4$ мм ($t < 1$ мм и $S \leq 0,2$ мм/об при HRC ≥ 30); при сверлении отверстий для обеспечения точности 9,10 квалитетов $S \leq 0,20$ мм/об; высокие и средние скорости резания.	Подача $S \leq 0,2$ мм/зуб; глубина резания $t \leq 4$ мм ($t < 1,5$ мм и $S \leq 0,1$ мм/зуб при HRC ≥ 30); высокие и средние скорости резания.
R (черновая обработка)	Подача при точении наружных поверхностей $S \leq 1,2$ мм/об, при расточке $S \leq 0,8$ мм/об; глубина резания $t > 4$ мм; умеренные и низкие скорости резания. При сверлении отверстий $S \leq 0,4$ мм/об; умеренная скорость резания.	Подача при обработке обдирочными торцевыми и концевыми цилиндрическими фрезами $S > 0,2$ мм/зуб; глубина резания $t > 4$ мм; умеренные и низкие скорости резания.

Рис. 3. Характеристика процесса обработки поверхности

При анализе особенностей механизма отказа инструмента при резании трудно-обрабатываемых материалов было выявлено, что основными факторами, определяющими характер износа и разрушения режущих пластин, являются как высокие

²Пластины сменные многогранные твердосплавные. Каталог. КЗТС. – 2017 г. – 59 с.

температурно-силовые нагрузки, так и нерациональные для рассматриваемых инструментальных твердых сплавов и обрабатываемых материалов геометрические и конструктивные параметры сменных твердосплавных пластин (СТП) [4–8].

Условия обработки	Характеристика условий обработки	Характеристика заготовок
○ (хорошие)	1. Незначительное биение обрабатываемой поверхности до 0,3 мм. 2. Непрерывное резание (отсутствие раковин, пазов и др.). 3. Абразивные свойства и твердость корки невелики. 4. Незначительные изменения температуры режущей кромки пластины и сил резания. 5. Высокая жесткость технологической системы.	1. Предварительно обработанные заготовки. 2. Калиброванный прокат. 3. Заготовки из порошковых материалов. 4. Редуцированные заготовки (продавленные через матрицы-фильеры).
● (средние)	1. Биение обрабатываемой поверхности 0,3...1,0 мм. 2. Прерывистое резание (раковины и канавки до 2 мм по ширине; резьба). 3. Корка поверхности средней твердости и глубиной 0,1...0,2 мм. 4. Средние колебания сил резания и температуры в зоне резания. 5. Средняя и высокая жесткость технологической системы.	1. Предварительно обработанные и закаленные и незакаленные поверхности. 2. Холодно- и горячекатанный прокат. 3. Точные отливки (литье по выплавляемым, выжигаемым, керамическим, металлическим моделям и формам и др.).
● (тяжелые)	1. Биение обрабатываемой поверхности более 2 мм. 2. Прерывистое резание - раковины, отверстия, канавки на поверхности шириной более 3 мм. 3. Высокая твердость и абразивные свойства корки (песок, нагар, оксиды и др.). 4. Значительные изменения сил резания и температуры в зоне резания. 5. Средняя и низкая жесткость технологической системы.	1. Прокат, рубленый в штампах, после газорезки. 2. Квадратный, шестигранный прокат. 3. Штамповки, поковки, поперечно-клиновой прокат. 4. Обжатые болванки. 5. Грубые отливки (в песчано-земляные формы). 6. Наварные, наплавленные, шлицевые и др. поверхности.

Рис. 4. Условия обработки заготовок

Подбор ИТС по рекомендациям завода изготовителя не всегда подходит, так как одному обрабатываемому материалу может соответствовать несколько инструментальных материалов. Довольно часто причиной выхода из строя сборного инструмента являются неправильно назначенные режимы резания, которые приводят к внутриконтakтным выкрашиваниям, сколам, изломам режущей кромки. В связи с неравномерностью при фрезерной обработке наблюдается значительное увеличение контактных разрушений по сравнению с токарными операциями. Учеными доказано, что скорость резания является основной причиной сколов, внутриконтakтных выкрашиваний и изломов, а подача — основной причиной поломок сменных многогранных пластин [9–15].

Таким образом, проанализировав алгоритм выбора ИТС для обработки трудно-обрабатываемых и жаропрочных материалов, применяемых для изготовления деталей газотурбинных двигателей ДР-59, ДЖ-59, ДГ-90, и механизм отказа инструмента при обработке этих материалов, мы установили, что работоспособность СТП зависит от физико-механических характеристик твердого сплава, способа базирования и крепления сменной многогранной пластины, формы применяемой пластины, а также режимов резания.

Для рационального назначения режимов резания и ИТС необходимо проанализировать существующие физико-механические свойства твердых сплавов, сигнализирующие об изменениях, происходящих под действием температур в диапазоне, характерном для процесса резания, и определение которых возможно независимо от формы или покрытия сменных режущих пластин из твердых сплавов.

Библиографический список

1. Артамонов Е. В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов: моногр. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – С 101–104.
2. Бобров В. Д. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с.
3. Верещака А. С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с. – (Библиотека инструментальщика).
4. Полетика М. Ф., Козлов В. Н. Контактные нагрузки и температуры на изношенном инструменте // Прогрессивные технологические процессы в машиностроении: – Томск: ТПУ, 1997. – С.18–21.
5. Григорьев С. Н., Методы повышения стойкости режущего инструмента: учеб. для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с.
6. Васин С. А., Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание материалов: термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. Учебник для технических вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 448 с.
7. Музыкант Я. А. Новые марки твердых сплавов и конструкций резцов «ISCAR» // Рынок оборудования. – 2007. – № 6. – С. 9–10.
8. Обработка резанием жаропрочных сталей, сплавов и тугоплавких металлов / А. М. Даниелян [и др.] – М.: Машиностроение, 1965. – 308 с.
9. Zorev N. N., Uteshev M. H. Untersuchung der Kintakt-spannung auf den Arbeits-flachen des Werk-zeugs miteiner Schneidenabrundung // Berichte der Internationalen Forschungsgemein-schaft fur mechanische produktionstechnikstechnik. – 1971. – Vol. 20–1. – P. 31–32.
10. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справочник / Я. Л. Гуревич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 240 с.
11. Подураев В. Н. Резание труднообрабатываемых материалов: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1974. – 590 с.
12. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки / В. А. Кривоухов [и др.]; под ред. П. Г. Петрухи. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1974. – 616 с.

Сведения об авторах

Артамонов Евгений Владимирович, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)539333, e-mail: artamonov@tyuiu.ru

Тверяков Андрей Михайлович, к. т. н., доцент кафедры станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)539333, e-mail: tverjakov@tyuiu.ru

Штин Антон Сергеевич, аспирант кафедры станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, тел. 89538269802, e-mail: shtinas@tyuiu.ru

Information about the authors

Artamonov E. V., Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)539333, e-mail: artamonov@tyuiu.ru

Tveryakov A. M., Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen, phone: 8(3452)539333, e-mail: tverjakov@tyuiu.ru

Shtin A. S., Postgraduate at the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen, phone: 89538269802, e-mail: shtinas@tyuiu.ru