

УДК 621.91.1

Г.Д. Петухов, В.Ф. Макаров

G.D. Petukhov, V.F. Makarov

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ И МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЗАМКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

A COMPARATIVE ANALYSIS OF CUTTING SPEED BROACHING AND MACHINING METHODS OF LOCKING SURFACES OF COMPRESSOR BLADES

Главной проблемой современного протягивания является применение быстрорежущих протяжек и низких скоростей резания (1,5–3 м/мин). Одним из путей повышения эффективности финишной механической обработки деталей является разработка, исследование и внедрение такого высокопроизводительного процесса, как скоростное протягивание сборными протяжками со сменными твердосплавными пластинами. Приведены результаты расчета скоростей резания по эмпирическим формулам при протягивании лопаток компрессора газотурбинного двигателя из титановых и жаропрочных сплавов.

Ключевые слова: протяжка, титан, жаропрочный сплав, анализ, фрезерование, трудоемкость, пластина, машинное время, расчет, сравнение.

The article says that the main problem of modern broaching is the use of high-speed drawing and the use of low cutting speeds (1,5 to 3 m/min). One of the ways to improve the efficiency of finish machining parts GTE is the development, study and implementation of this powerful process, as the pulling speed modular broaches with interchangeable carbide inserts. The results of calculation of cutting speeds by empirical formulas when pulling the compressor blades of the gas turbine engine of titanium and heat resistant alloys.

Keywords: broach, titanium, superalloy, analysis, milling, intensity, plate, machine time, calculation, comparison.

Применяемые в различных отраслях машиностроения, в частности для изготовления газотурбинных двигателей, жаропрочные и титановые сплавы трудно поддаются резанию. Это объясняется их физико-механическими свойствами: высокой прочностью, низкой теплопроводностью и структурой с твердыми интерметаллическими включениями. В связи с этим значительно снизились стойкость инструмента, производительность труда и качество поверхности [1].

Основными деталями в газотурбинных двигателях являются диски и лопатки узлов турбины и компрессора (рисунок). Они изготавливаются из труднообрабатываемых материалов, поскольку имеют высокий предел прочности, устойчивость к высоким температурам и т.д. Одной из проблем является обработка замковых поверхностей.

Скорость резания (м/мин), допускаемую режущими свойствами инструмента, определяют по эмпирической формуле

$$V = \frac{C_V}{T^m S_z^y} \cdot k_{И} \cdot k_{М}, \quad (1)$$

где C_V – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и условий процесса резания; T – стойкость инструмента, мин; m , y – показатели степени при стойкости и подачи S_z ; $k_{И}$ – коэффициент, учитывающий влияние материала инструмента; $k_{М}$ – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал.

Для плоского протягивания коэффициент $C_V = 4,8-9,8$; показатели степени $m = 0,87$, $y = 1,4$.

Коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала $k_{М}$, вычисляется по формуле

$$k_{М} = k_r \cdot \left(\frac{750}{\delta_B}\right)^n, \quad (2)$$

где k_r – коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости; n – показатель степени для материала инструмента (твердого сплава при обработке заготовки из какого-нибудь материала).

Например, для обработки титанового сплава $n = 1,75$, $k_r = 0,26$, тогда

$$k_{М} = 0,26 \cdot \left(\frac{750}{1020}\right)^{1,75} = 0,19^{1,75} = 0,05.$$

Коэффициент $k_{И}$, учитывающий влияние материала инструмента, в основном определяется табличным способом. Например, для ВК8 $k_{И} = 1,0$; у Т5К10 $k_{И} = 1,4$; у Т15К6 $k_{И} = 1,9$.

Коэффициент $k_{И}$ рассчитывается по формуле

$$k_{И} = 0,0131 \cdot t_{кр} - 8,5723, \quad (3)$$

где $t_{кр}$ – критические точки температуры перегиба для заданного сплава [4].

С целью подбора режущей пластины для обработки поверхности шириной $b = 16$ мм труднообрабатываемого материала воспользуемся каталогом Sandvik Coromant. Оптимальным решением является квадратная пластина Sandvik SCMT 09 T3 08-SMC (код сплава 1115), $t_{кр} \approx 850$ °С.

$$k_{И} = 0,0131 \cdot 850 - 8,5723 = 2,56.$$

Стойкость твердосплавного режущего инструмента для расчета принимаем $T = 100$ мин.

Расчет режимов резания для титанового сплава BT8M:

$$k_M = 0,26 \cdot \left(\frac{750}{1020}\right)^{1,75} = 0,26 \cdot 0,584 = 0,15.$$

$$V = \frac{C_V}{T^m S_z^y} \cdot k_{И} \cdot k_M = \frac{9,8}{100^{0,87} \cdot 0,08^{1,4}} \cdot 0,15 \cdot 2,56 = 2,352 \text{ м/мин.}$$

Расчет режимов резания для жаропрочного сплава ЭИ787ВД:

$$k_M = 0,22 \cdot \left(\frac{750}{1020}\right)^{1,75} = 0,22 \cdot 0,584 = 0,13.$$

$$V = \frac{C_V}{T^m S_z^y} \cdot k_{И} \cdot k_M = \frac{9,8}{100^{0,87} \cdot 0,08^{1,4}} \cdot 0,13 \cdot 2,56 = 2,04 \text{ м/мин.}$$

Расчет режимов резания для жаропрочного сплава ВЖЛ-14:

$$k_M = 0,39 \cdot \left(\frac{750}{950}\right)^{1,75} = 0,18 \cdot 0,661 = 0,12.$$

$$V = \frac{C_V}{T^m S_z^y} \cdot k_{И} \cdot k_M = \frac{9,8}{100^{0,87} \cdot 0,08^{1,4}} \cdot 0,12 \cdot 2,56 = 1,88 \text{ м/мин.}$$

Сведем полученные данные в таблицу.

Скорость резания V

№ п/п	Обрабатываемый материал	Скорость резания V (м/мин), полученная при расчете по эмпирической формуле (1)
1	Титановый сплав BT8M	2,352
2	Жаропрочный сплав ЭИ787-ВД	2,04
3	Жаропрочный сплав ВЖЛ-14	1,88

В итоге мы получили рекомендательные режимы резания согласно расчету скорости резания по эмпирической формуле (1). Из табличных данных видно, что значения скорости резания для разных марок сплавов не однозначны. При этом внедрение прогрессивного инструмента позволяет увеличивать режимы резания, не ухудшая качество обрабатываемой поверхности и точности размеров. Оптимальным решением является применение протяжек сборной конструкции со сменными многогранными пластинами. Данный метод позволяет применять скорость резания $v = 30$ м/мин и более при обработке замковых поверхностей лопаток компрессора из труднообрабатываемого материала.

Список литературы

1. Пронкин Н.Ф. Протягивание труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1978. –119 с.
2. Петухов Г.Д. Разработка сборных конструкций протяжного инструмента для скоростного протягивания хвостовиков лопаток компрессора из труднообрабатываемого материала // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение и материаловедение. – 2015. – № 3. – С. 101–109.
3. Игошев И.М. Обработка жаропрочных материалов / Пермский моторный завод. – Пермь, 1979. – 12 с.
4. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: справ. / Я.Л. Гуревич [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – 73 с.

Получено 10.12.2015

Петухов Григорий Дмитриевич – аспирант кафедры «Инновационные технологии машиностроения», аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: el190980@yandex.ru.

Макаров Владимир Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инновационные технологии машиностроения», аэрокосмический факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.