

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСТОВОГО ТОРЦОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20

**Ткаченко П.В., Локтик А.В.**

**Кременчугский государственный политехнический университет**

**Введение.** Важное место в машиностроении занимает обработка материалов со снятием стружки. Она является наиболее сложной и дорогостоящей частью процесса производства деталей машин. Требования к точности и качеству обработанных деталей будут непрерывно возрастать, в связи с дальнейшим развитием специальных отраслей машиностроения. Поэтому удельное значение методов чистой обработки поверхностей должно значительно повышаться. Так же это относится и к методу чистового торцового фрезерования, который является одним из самых производительных способов обработки плоских поверхностей. Чистовая обработка фрезами с механическим креплением многогранных твёрдосплавных пластин является прогрессивным технологическим процессом окончательной обработки деталей машин, а изучение его закономерностей и особенностей представляет определённый теоретический и практический интерес.

**Цель работы.** Основной целью проведенных в данной работе исследований является установление оптимальных геометрических параметров зубьев и стойкостных зависимостей при чистовом фрезеровании титанового сплава ВТ20, и стали 45 торцовыми фрезами, а также разработка новой конструкции торцовой фрезы с механическим креплением перетачиваемых восьмилезвийных твёрдосплавных пластин и методики профилирования режущих пластин.

**Материал и результаты исследований.** Исследования проводились однозубой фрезерной головкой диаметром  $D=100$  мм при попутном фрезеровании титанового сплава ВТ20 (АМТУ 534–67) со смещением заготовки относительно фрезы на величину  $K=0,05 \cdot D$  и симметричном фрезеровании стали 45 (ГОСТ 1050–88) на станке мод. 6Н11. В качестве заготовок использовались поковки, которые после соответствующего отжига механически обрабатывались до размеров  $330 \times 120 \times 75$  мм. Заточка твёрдосплавных пластин производилась на станке мод. ЗВ642 алмазным кругом АС06–Б1–100. Параметры износа пластин измерялись на микроскопе мод. ММИ, размерный износ – индикаторной головкой с ценой деления 1 мкм в специальном приспособлении.

Передние и задние углы твёрдосплавных пластин до установки их в корпусе фрезы имеют нулевые значения. Поскольку угол заострения пластин в любом сечении равен  $90^\circ$ , геометрия зуба фрезы определяется тремя углами установки: передним углом  $\gamma$ , углом наклона главного режущего лезвия  $\lambda$  и главным углом в плане  $\phi$ . Остальные параметры являются зависимыми от указанных углов.

Определение оптимальной геометрии зубьев фрезы производилось по методу Бокса–Уилсона [1,2]. В исследованиях учитывались параметры:  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\phi$  и  $f$ . В качестве выходной функции была принята стойкость инструмента  $T$ . Опыты для сплава ВТ20 проводились при  $V=2,62$  м/с;  $S_z=0,063$  мм/зуб и  $B=0,25$  мм. Для планирования эксперимента использовалась полуреплика типа  $2^{4-1}$  [1].

Были проведены две серии опытов. В результате обработки экспериментальных данных, оптимальной геометрией зуба фрезы для чистовой обработки титанового сплава ВТ20 следует считать

$$\gamma = -16^\circ - 17^\circ, \lambda = 0^\circ, \phi = 24^\circ \text{ и } f = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Аналогично определялись геометрические параметры зуба фрезы для обработки стали 45. Результаты сведены в таблицу 1.

**Таблица 1–  
Оптимальные геометрические параметры фрез**

Обрабатываемый материал	$-\gamma^\circ$	$\lambda^\circ$	$\phi^\circ$	$f, 10^{-3} \text{ м}$
Сплав ВТ20	16–17	0	24	1,0
Сталь 45	15	0	30–31	1,0

Для установления оптимальных условий чистового торцового фрезерования обрабатываемых материалов исследовалось влияние скорости резания  $V$ , подачи на зуб  $S_z$  и глубины срезаемого слоя  $B$  на стойкость инструмента.

В результате обработки экспериментальных данных и совместного решения частных уравнений, вычисление скорости резания при чистовом фрезеровании титанового сплава ВТ20 рекомендуется производить по формулам:

при  $S_z \leq 0,063$  мм/зуб

$$V = \frac{1,65}{T^{0,20} \cdot S_z^{0,42} \cdot B^{0,13}}, \quad (1)$$

при  $S_z \geq 0,063$  мм/зуб

$$V = \frac{1,18}{T^{0,20} \cdot S_z^{0,54} \cdot B^{0,13}}. \quad (2)$$

Формулы (1,2) действительны в пределах:

$V = 1,65 \dots 3,3$  м/с;  $S_z = 0,04 \dots 0,125$  мм/зуб;  
 $B = 0,25 \dots 1,0 \cdot 10^{-3}$  м; критерий затупления инстру-  
 мента  $h_3^n = 0,10 \cdot 10^{-3}$  м.

При обработке стали 45:

$$V = \frac{27}{T^{0,62} \cdot S_z^{0,62} \cdot B^{0,10}} \quad (3)$$

Формула (3) действительна при:

$V = 2,09 \dots 6,54$  м/с;  $S_z = 0,05 \dots 0,4$  мм/зуб и  
 $B = 0,25 \dots 1,0 \cdot 10^{-3}$  м; критерий затупления зуба  
 $h_r = 70$  мкм.

Анализ формул (1...3) показывает, что степень влияния скорости резания на стойкость инструмента при обработке сплава ВТ20 в 2,5...3 раза выше, чем при резании стали 45. Это объясняется специфическими физико-механическими свойствами титанового сплава ВТ20, в частности, низкой теплопроводностью и весьма большой химической активностью при повышенных температурах, характерных для процесса чистового фрезерования. Сочетание указанных факторов приводит к заметному снижению прочностных характеристик инструментального материала на площадке контакта стружки с передней поверхностью зуба фрезы [3].

Влияние подачи также в 2,2...2,8 раза выше. Столь значительное уменьшение стойкости фрезы с ростом подачи при обработке сплава ВТ20 объясняется возрастанием доли деформации сжатия в зоне стружкообразования создающих неблагоприятные условия для эксплуатации режущего инструмента [4]. Поэтому чистовое торцовое фрезерование исследуемого сплава целесообразно осуществлять с подачами менее 0,05 мм/зуб. Однако, производительность механической обработки находится в прямой зависимости от минутной подачи. Поэтому для эффективной обработки сплава ВТ20, при ограниченных значениях  $V$  и  $S_z$ , необходимо стремиться к увеличению числа зубьев фрезы при обязательном существенном повышении точности расположения режущих лезвий зубьев в радиальном и осевом направлениях. В этом случае стойкость инструмента определяется не по номинальному, а по фактической подаче на зуб, величина которой в значительной мере будет зависеть от максимального биения лезвий соседних зубьев.

Исследованиями установлено, что размерный износ зуба заключается только лишь в округлении зачистного лезвия радиусом до 15 мкм и во всех опытах не превышает 10 мкм за период стойкости инструмента. Столь незначительный размерный износ обуславливается [3] малыми величинами температуры на контактной площадке «инструмент–заготовка», примыкающей к зачистному лезвию, недостаточными для протекания интенсивных диффузионных процессов.

Малые величины размерного износа указывают на возможность достижения высокой точности об-

работки при чистовом торцовом фрезеровании сплава ВТ20.

Результаты исследований позволили установить следующие основные требования, которым должны удовлетворять сборные торцовые фрезы, предназначенные для чистовой обработки титанового сплава ВТ20:

1. Необходимо размещение повышенного числа зубьев при равном диаметре фрезы.

2. Биение режущих лезвий зубьев фрезы в радиальном направлении после установки и переустановки многогранных пластин в корпусе фрезы не должно превышать 10...15 мкм.

3. На зубьях следует выполнять зачистные лезвия, биение которых в осевом направлении должно быть менее 5...10 мкм.

4. Необходима качественная заточка твёрдосплавных пластин с высокой остротой режущих лезвий.

5. Элементы крепления пластин в корпусе фрезы следует выполнять таким образом, чтобы после установки в них переточенных пластин они не препятствовали процессу резания.

Такому комплексу требований удовлетворяет новая конструкция торцовой фрезы с механическим креплением перетачиваемых восьмилезвийных твёрдосплавных пластин (рис.1).

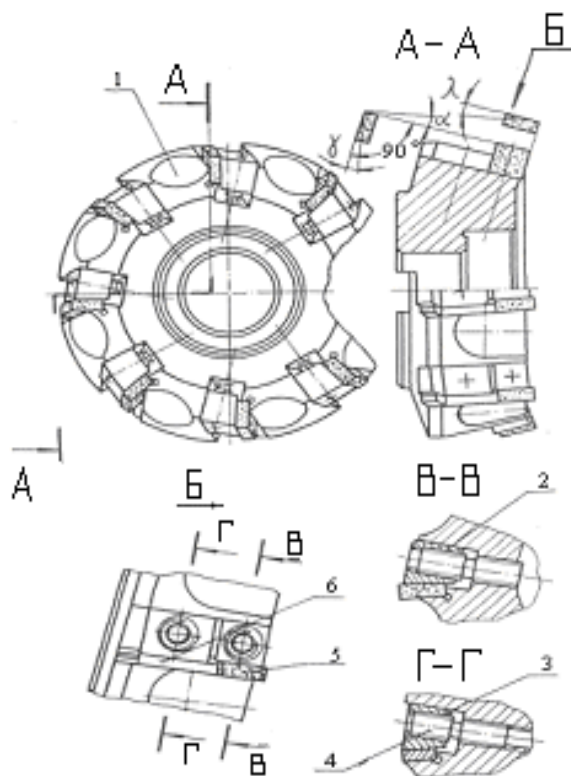


Рисунок 1—Конструкция фрезы с механическим креплением перетачиваемых восьмилезвийных пластин

Она состоит из корпуса 1, нижних клиньев 2, верхних клиньев 3, шпилек с правой и левой резьбой на концах и шестигранным отверстием под ключ 4, квадратных восьмилезвийных твёрдосплавных пластин 5 и упоров 6.

Новизной данной конструкции фрезы является заднее расположение нижних 2 и верхних 3 клиньев по отношению пластин 5 и упоров 6. Такое крепление твёрдосплавных пластин имеет следующие преимущества:

1. При установке пластин в корпусе фрезы после переточки, нижние клинья опускаются глубже (рис.2) и не препятствуют процессу резания.

2. Обеспечивается высокая точность установки и переустановки пластин в осевом и радиальном направлениях. Это достигается непосредственной установкой последних на передние и нижние опорные поверхности пазов корпуса фрезы и осевой регулировкой посредством упоров. Следует отметить, что пазы имеют открытый призматический профиль, поэтому точная обработка их опорных поверхностей не представляет особых затруднений.

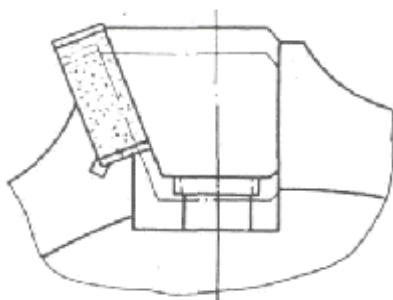


Рисунок 2—Схема установки и закрепления пластин в корпусе

3. Возможно увеличение числа зубьев при равном диаметре и жёсткости фрезы за счёт упрощения элементов крепления, сокращения их числа и установки пластин с минимальным ( $0,25...0,50 \cdot 10^{-3}$  м) вылетом из опор. Достижение повышенной жёсткости и увеличенного числа зубьев торцовых фрез весьма важно для производительной обработки титановых и некоторых других сплавов.

4. Обеспечивается свободный сход стружки, поскольку передняя поверхность пластин примыкает непосредственно к корпусу фрезы, в котором легко выполнимы гладкие выкружки необходимого профиля и объема.

Кроме того, передние и задние углы квадратных восьмилезвийных твёрдосплавных пластин до сборки фрезы имеют нулевые значения (рис.3); поэтому их заточку и переточку можно производить на универсальных плоскошлифовальных станках алмазными кругами, закрепляя в приспособлении (в призмах) весь комплект или даже несколько комплектов одновременно. Такой способ заточки и переточки позволяет обрабатывать пластины с точностью до  $3...5$  мкм и достигать высокой производительности при их изготовлении.

Необходимая геометрия фрезы осуществляется за счёт определённой установки пластин в корпусе. Так как угол заострения пластин в любом сечении равен  $90^\circ$ , геометрия фрезы определится передним углом  $\gamma$ , углом наклона режущего лезвия  $\lambda$  и уг-

лом в плане  $\varphi$ . Остальные геометрические параметры являются зависимыми от указанных.

Для обеспечения главного  $\alpha$ , задних углов пластины должны устанавливаться с положительным углом  $\lambda$  и отрицательным углом  $\gamma$ .

При установке пластины в корпусе фрезы одно из переходных лезвий  $f$  (рис.3) будет выполнять роль зачистного лезвия. Известно, что параллельное расположение зачистного лезвия относительно обработанной поверхности способствует снижению её шероховатости, а также повышению размерной стойкости инструмента.

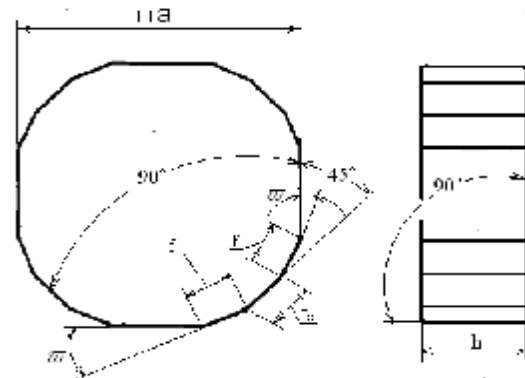


Рисунок 3—Геометрия заточки восьмилезвийной пластины

Поэтому задачей профилирования является определение угла заточки  $\omega$  (рис.3), обеспечивающего при установке пластины в корпусе параллельность лезвия  $f$  относительно обработанной поверхности. Кроме того, при чистовом и тонком фрезеровании, когда припуск может быть снят переходным лезвием  $f_n$ , необходимо знание геометрии этого лезвия -  $\gamma_n$ ,  $\lambda_n$  и  $\varphi_n$ . Расчётная схема приведена на рис.4. В приведенной схеме плоскость  $V$  выбрана параллельной осевой плоскости фрезы и фигура  $a'b'c'd'e'h'$ , будет проекцией лезвий пластины на эту плоскость. Положение передней поверхности зуба задано углами  $\varphi$ ,  $\gamma$  и  $\lambda$ .

Условием параллельности зачистного лезвия  $f$  обработанной поверхности является параллельность отрезков  $b'c'$  и  $o'o'$ . Задаваясь необходимыми величинами  $f'$  и  $f'_n$  и используя сечения  $A-A$ ,  $B-B$ ,  $K-K$  определится истинный профиль твёрдосплавной пластины, очерченный фигурой  $ABCDEH$ , в которой искомый угол  $\omega$  будет в натуральную величину. Ниже приведены полученные зависимости указанных искомых параметров, определённых из схемы, изображённой на (рис.4).

Из сечений  $B-B$ ,  $A-A$  и  $V$

$$\varphi_1 = \varphi - \tau, \quad (4)$$

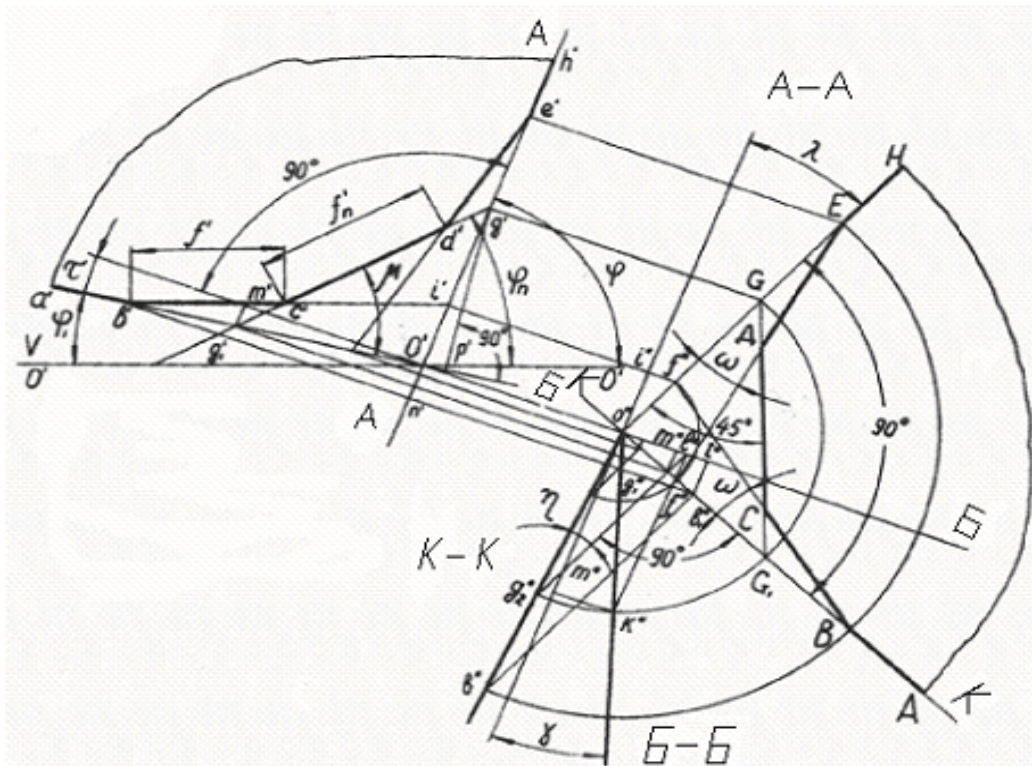


Рисунок 4– К определению углов заточки пластины и геометрических параметров зуба фрезы

$$tg\tau = tg\gamma \cdot \sin \lambda \cdot \cos \lambda, \quad (5)$$

$$tg\omega = \frac{\sin \eta \cdot tg\lambda \cdot \sin \phi_1}{\sin \tau \cdot \sin \phi}, \quad (6)$$

$$tg\eta = tg\gamma \cdot \cos \lambda, \quad (7)$$

$$\phi_1 = \mu - \phi_1, \quad (8)$$

$$tg\mu = \frac{\cos \lambda \cdot \cos \tau \cdot \sin \tau}{\sin \eta \cdot \sin \lambda + \cos \lambda \cdot \sin^2 \tau}. \quad (9)$$

Значения углов  $\gamma_n$  и  $\lambda_n$  можно определить по известным зависимостям [5]. Анализ формул (4...9) показывает, что при переточке пластин, в связи с уменьшением радиуса фрезы по вершинам режущих лезвий, углы  $\gamma$ ,  $\lambda$  и  $\phi$  не остаются постоянными, поэтому остальные параметры зуба так же несколько изменяются. Однако параллельность зачистного лезвия  $f$  относительно обработанной поверхности при этом не нарушается.

**Выводы.**

1. В результате проведенных исследований установлены оптимальные геометрические параметры восьмилезвийных перетачиваемых пластин при чистовом торцовом фрезеровании титанового сплава BT20 и стали 45.

2. Рекомендованы формулы для вычисления скорости резания при обработке исследуемых материалов и дан частичный анализ формул.

3. Определены рекомендации к конструкции торцовых фрез для чистовой обработки сплава BT20.

4. Разработана новая конструкция торцовой фрезы с механическим креплением перетачиваемых восьмилезвийных твёрдосплавных пластин, а также методика профилирования режущих пластин.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., Издат. «Наука», 1965.
2. Налимов В.В. Применение математической статистики при анализе вещества. М., Физматгиз, 1960.
3. Митряев К.Ф., Комиссаров В.И. Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов при торцовом фрезеровании. В сб. «Обрабатываемость жаропрочных и титановых сплавов». Труды Всесоюзной межвузовской конференции, вып. XIV, Куйбышев, 1982.
4. Митряев К.Ф., Комиссаров В.И. Торцовое фрезерование высокопрочной стали ЭИ643. «Вестник машиностроения», №2, 1981.
5. Родин П.Р. Проектирование и производство режущего инструмента. К., Машгиз, 1982.

Статья поступила 14.04.2006 г.  
Рекомендовано к печати д.т.н., проф.  
Драгобецким В.В.