# **ВВЕДЕНИЕ**

В нашей стране работают тысячи квалифицированных фрезеровщиков. Многие из них являются новаторами производства. Они не только имеют большой опыт и практические знания, позволяющие полностью использовать технологические возможности станка и инструмента, но и изобретают и совершенствуют конструкции фрез, вспомогательный инструмент и приспособления.

Инструмент и приспособления новаторов постоянно экспонируются на Выставке достижений народного хозяйства, получают распространение на многих предприятиях. Каждый новатор-фрезеровщик передает свой опыт, знания, мастерство молодежи и этим способствует решению общей задачи повышения эффективности труда.

**ПРОЦЕСС ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

**Основные понятия и определения**

Различают два основных вида фрезерования: тангенциальное, при котором режущие лезвия вращающегося цилиндрического инструмента образуют обработанную поверхность параллельно оси его вращения, и радиальное, когда лезвия вращающегося инструмента образуют обработанную поверхность перпендикулярно к оси его вращения.

*Скоростью резания v* (м/мин) называется окружная скорость (м/мин) наиболее удаленных от оси вращения инструмента точек режущего лезвия. Она определяется по формуле

,



где *D* — диаметр окружности вращения режущего лезвия (в частном случае — диаметр фрезы), мм; *n* — частота вращения инструмента, об/мин. Фрезеровщику чаще приходится решать обратную задачу — определять потребную частоту вращения (об/мин) фрезы заданного диаметра в зависимости от принятой скорости резания

.



*Подачей s* называется путь, проходимый заготовкой относительно фрезы (или наоборот) в единицу времени. Различают три вида подач: на зуб, на оборот и минутную. Подача на зуб (мм/зуб) — перемещение заготовки за время поворота фрезы на один зуб. Подачей на оборот (мм/об) является перемещение заготовки за время поворота фрезы на один оборот. Минутная подача (мм/мин) — перемещение заготовки за 1 мин. Зависимость указанных подач выражается формулами:



;



.



*Глубина резания t* — толщина слоя материала заготовки (мм), срезаемого за один рабочий ход.

*Шириной фрезерования B* называется ширина (мм) поверхности заготовки, об­рабатываемой за один рабочий ход, измеренная в направлении, перпендикулярном к направлению подачи (движению заготовки).

Сечение стружки (среза), снимаемой одним зубом фрезы, описывается двумя дугами контакта лезвия фрезы с поверхностью лезвия. Оно имеет форму запятой. Расстояние между этими дугами переменное — оно изме­няется от значения, близкого к нулю, до некоторого максимума, близкого к . Это расстояние (мм) принято называть толщиной срезаемого слоя (стружки) *а*.



Другими элементами, характеризующими срезаемый слой, являются: его *ши­рина b* (мм), которая представляет собой длину соприкосновения зуба фрезы с заготовкой и измеряется вдоль главного лезвия, в частном случае, при фрезеровании прямозубой цилиндрической фрезой *b = B*; *площадь поперечного сечения слоя*, сре­заемого одним зубом, *f = ab* (мм2); *суммарная площадь поперечного сечения среза* *F* (мм2), снимаемого всеми зубьями фрезы, находящимися в данный момент в кон­такте с заготовкой.

Для определения площади поперечного сечения среза при цилиндрическом фре­зеровании необходимо знать следующие величины: — угол кон­такта фрезы — центральный угол, соответствующий дуге соприкосновения окруж­ности фрезы с заготовкой, измеряемый в плоскости, перпендикулярной к оси фрезы; — центральный угол между двумя соседними зубьями фрезы,



.



Число зубьев, одновременно находящихся в работе (контакте с материалом),

.



Угол контакта находится из треугольник АОБ

.



Угол контакта при торцевом фрезеровании

.



Максимальная толщина срезаемого материала

.



Суммарное (среднее) значение площади поперечного сечения среза опреде­ляется в зависимости от числа зубьев, одновременно находящихся в контакте.



.



или от элементов резания

.



Значение используется для определения силы резания при фрезеровании.



**Силы резания и мощность при фрезеровании**

**Силы резания.** При фрезеровании каждый зуб фрезы преодолевает сопротивле­ние резанию со стороны материала заготовки и силы трения, действующие на поверх­ностях зубьев фрезы. Обычно в контакте с заготовкой находится не один зуб, и поэтому фреза преодолевает некоторую суммарную силу резания, складывающуюся из сил, действующих на эти зубья. Схема действия сил резания при фрезеровании зависит от принятого способа фрезерования и типа фрезы.

Как тангенциальное (например, цилиндрической фрезой), так и радиальное (например, торцевой фрезой) фрезерование может осуществляться двумя способами: против подачи, так называемое *встречное фрезерование*, когда направление подачи противоположно направлению вращения фрезы, и фрезерование по подаче — *попутное фрезерование*, когда направление подачи и вращение фрезы сов­падают.

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до макси­мума; при этом зубья фрезы, действуя на заготовку, стремятся «оторвать» ее от стола станка или приспособления, в котором она закреплена. Такое направление силы вызывает в ряде случаев (при больших припусках на обработку) упругие деформа­ции в системе СПИД, что, в свою очередь, приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности. Зубья фрез при этом интенсивно изнаши­ваются, так как в момент врезания в заготовку их задние поверхности трутся об упрочненную, уже обработанную поверхность, преодолевая значительную силу трения.

Преимуществом встречного фрезерования перед попутным является работа зубьев фрезы из-под корки. Режущие лезвия в момент входа в зону хрупкого металла по­вышенной твердости (корки) прекращают контакт своей задней поверхности с за­готовкой в точке *Б*, так как происходит скол стружки.

При попутном фрезеровании зуб врезается в материал в точке *А*, начиная работать при максимальной толщине срезаемого слоя и наибольшей нагрузке, что исключает начальное проскальзывание зуба. При попутном фрезеровании полу­чается поверхность с меньшей шероховатостью и более высокой точностью, так как зубьями фрезы во время обработки заготовка прижимается к столу станка, что уменьшает вибрацию.

Для успешного применения попутного фрезерования необходимо беззазорное соединение ходового винта и маточной гайки стола станка.

Учитывая достоинства и недостатки рассмотренных методов, попутное фрезе­рование используют для предварительных и чистовых работ при отсутствии корки, на жестких станках с компенсаторами зазоров в узлах стола. Встречное фрезеро­вание рекомендуется для предварительной обработки, и особенно при работе по корке.

На каждый зуб фрезы, находящийся в пределах угла контакта, действует своя сила сопротивления срезаемого слоя. Каждую из этих сил можно разложить на составляющие, действующие тангенциально (по касательной) к зубьям фрезы и по радиусам фрезы. Суммарная окружная, или касательная, сила и радиальная сила имеют равнодействующую *R*, которую можно разложить на две силы — горизонтальную и вертикальную .



Окружная, или касательная, сила имеет наиболее важное значение, так как производит основную работу резания. По значению силы определяют мощность электродвигателя привода станка и рассчитывают на прочность валы, зубчатые колеса и другие звенья привода станка.



Радиальная сила характеризует то усилие, с которым обрабатываемая заго­товка стремится оттолкнуть от себя фрезу; эта сила изгибает фрезерную оправку и давит на опоры шпинделя.



Горизонтальная составляющая силы резания определяет усилие, которое необходимо приложить к столу ставка для осуществления рабочей подачи.



При встречном фрезеровании направление горизонтальной состав­ляющей противоположно направлению движения (по стрелке *s*) стола. При по­путном фрезеровании горизонтальная составляющая направлена в сторону движения стола.



При фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями равнодействую­щая силы составляет с осью фрезы острый угол, следовательно, появляется осе­вая сила , направленная параллельно оси фрезы. В зависимости от направления винтовых зубьев фрезы меняется и направление силы . Для созда­ния более благоприятных условий фрезерования целесообразно применять фрезу с таким направлением зуба, чтобы сила была направлена к шпинделю; в противном случае осевая сила будет стремиться вытянуть фрезу с оправкой из посадочного конусного отверстия шпинделя.



Для того чтобы уравновесить действия осевых сил, иногда прибегают к исполь­зованию набора из двух фрез с правым и левым направлениями винтовых канавок между лезвиями.

При фрезеровании торцевыми фрезами действуют те же силы, что и при фрезе­ровании цилиндрическими.

Значение главной составляющей силы резания — окружной силы — опре­деляется по эмпирической, т. е. найденной опытным путем, формуле



,



где — постоянный коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого ма­териала, типа фрезы и ее геометрии; , и — показатели степени, также зави­сящие от механических характеристик обрабатываемого материала, типа и геометрии фрезы. Значения , , и приводятся в справочниках по выбору параметров режимов резания.



Соответственно значениям действующих сил резания выбирают фрезу, оправку, способ закрепления заготовки, жесткость и мощность станка.

Значение отдельных составляющих силы резания можно определить, зная .



1. При встречном фрезеровании цилиндрическими, дисковыми, фасонными и работающими периферией концевыми фрезами:

; ; .



1. При попутном фрезеровании:

; ; .



1. При фрезеровании торцевыми фрезами и работающими торцом концевыми

; ; .



Осевая составляющая силы резания для фрез с винтовыми зубьями находится из соотношения



,



где — угол наклона винтовой канавки.



Для приближенных расчетов иногда пользуются значениями дав­ления *р*, под которым принято понимать силу резания, приходя­щуюся на единицу поперечного се­чения площади срезаемого слоя. Давление зависит не только от механических свойств обрабатывае­мого материала, но и от наиболь­шей толщины стружки. Для более тонких стружек давление при про­чих равных условиях увеличивается и уменьшается для стружек боль­шей толщины.

Зная крутящий момент фрезы и частоту ее вращения, можно определить мощность



,



В целях обеспечения эффек­тивной мощности на шпинделе не­обходимо, чтобы электродвигатель станка обладал большей мощностью, так как часть ее расходуется на трение в подшипниках, зубча­тых передачах, направляющих и др.

Потери на трение характери­зуются коэффициентом полезного действия станка . Для фрезерных станков общего назначения . Таким образом, на полезную работу, т.е. на работу фрезерования расходуется 75—85 % мощности электродвигателя.



Для определения эффективной мощности , которую можно использовать на резание, следует мощность электродвигателя умножить на КПД станка, т. е.



.



Для расчета потребной мощности электродвигателя станка по эффективной мощности необходимо эффективную мощность разделить на КПД станка, т. е.



.



**Равномерность фрезерования.** Площадь поперечного сечения стружки при фре­зеровании непостоянна. Она изменяется от значения, близкого к нулю, до некото­рого максимума. Соответственно этому в таких же пределах меняется сила резании. Это, в свою очередь, вызывает неравномерность нагрузки, проявляющуюся в виде вибраций и толчков. Такие явления в процессе фрезерования разрушают режущие лезвия инструмента, способны расстроить станок и снизить срок его службы Осо­бенно резкие колебания силы резания наблюдаются при работе, прямозубыми фре­зами Значительно более равномерным являются фрезерование фрезами с винтовыми зубьями. В особых условиях фрезерование такими фрезами можно вести с постоян­ной площадью суммарного сечения среза, т. е. при отсутствии колебаний силы ре­зания. Такое фрезерование называется *равномерным*.

Условие равномерного фрезерования фрезами со спиральными зубьями можно кратко выразить так: для равномерного фрезерования ширина фрезерования *В* должна быть равна осевому шагу фрезы или кратна ему (в целых числах). Это вы­ражается формулой

,



где *K* = 1, 2, 3 и т.д.; — угол наклона винтового зуба фрезы. При угле = 20° ctg=2,75; при = 40° ctg=1,1; при = 30° ctg=1,73; при = 45° ctg=1. Для заготовок различной ширины условие равномерного фрезе­рования не всегда может быть выполнено В этих обстоятельствах, если принять К = 2 или К = 3, неравномерность становится относительно небольшой — изме­нения силы резания не превышают 20%, что допустимо.



**КАЧЕСТВО ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ**

**Требования к точности фрезерной обработки.**

Качество машины или другой продукции — важнейший показа­тель не только для оценки самого изделия, но и работы машино­строительного завода. Под качеством продукции понимают сово­купность (сумму) взаимосвязанных свойств, определяющих ее пригодность для использования по назначению. Повышение ка­чества выпускаемой продукции имеет огромное значение. Увели­чивается эффективность общественного производства, улучшается использование материальных ресурсов, лучше удовлетворяются потребности общества, людей в продукции народного хозяйства.

Показатели качества и надежности выпускаемой продукции являются сейчас важнейшими характеристиками работы пред­приятий. Ведется специальный учет качества, принимаются все возможные меры для повышения качества изделий, в том числе поощрение рабочих.

Для гарантии определенного качества изделий и стимулирова­ния производства изделий высокого качества в нашей стране вве­дена государственная аттестация качества продукции. Если по­казатели качества какого-либо изделия превышают, требования, установленные стандартами для данного вида продукции, и соот­ветствуют высшим показателям качества, достигнутым в отече­ственной и зарубежной промышленности, такой продукции при­сваивают государственный Знак качества. Изделия, отмеченные государственным Знаком качества, пользуются повышенным спро­сом в нашей стране и за рубежом. Каждый рабочий, инженер, техник должен изыскивать и использовать все резервы повыше­ния качества работы на своем заводе, в цехе, на участке и рабо­чем месте.

Важнейшим показателем качества машиностроительной про­дукции, от которого зависят многие эксплуатационные характе­ристики машин, является точность изделий. Точностью изделия в машиностроении называют степень его соответствия заранее установленному образцу. Когда же говорят о точности детали, то обычно под точностью понимают степень соответствия реальной детали, полученной механической обработкой заготовки, по от­ношению к детали, заданной чертежом и техническими условиями на изготовление, т. е. соответствие формы, размеров, взаимного расположения обработанных поверхностей, шероховатости поверх­ности обработанной детали требованиям чертежа.

Следовательно, точность — понятие комплексное, включающее всестороннюю оценку соответствия реальной детали по отношению к заданной, в том числе оценку шероховатости поверхности.

При работе на металлорежущих станках применяют следующие методы достижения заданной точности:

1. обработку по разметке или с использованием пробных проходов путем последовательного приближения к заданной форме и размерам; после каждого прохода инструмента контролируют полученные размеры и решают, какой еще припуск необходимо снять; точность в этом случае зависит от квалификации рабочего;
2. обработку методом автоматического получения размеров, когда инструмент предварительно настраивается на нужный раз­мер, а затем обрабатывает заготовки в неизменном положении; в этом случае, точность зависит от квалификации наладчика и спо­соба настройки;
3. автоматическую обработку на копировальных станках и станках с числовым программным управлением (ЧПУ), где точ­ность зависит от точности действия системы управления.

Но какой бы станок или способ обработки не применяли, не­сколько деталей, даже обработанных на одном и том же станке одним и тем же инструментом, будут немного отличаться друг от друга. Это объясняется появлением неизбежных погрешностей обработки, которые служат мерой точности обработанной детали.

Фрезерование — один из основных способов обработки материалов резанием. Фрезами обрабатывают плоские и криволиней­ные поверхности, разнообразные пазы, канавки, шлицы, зубья шестерен, резьбы и многое другое. Почти любая деталь современ­ной машины проходит несколько фрезерных операций.

Наиболее часто на фрезерных станках обрабатывают корпус­ные и плоскостные детали. Несмотря на огромное разнообразие форм и размеров, общим для всех этих деталей являются значи­тельные по размерам плоские обрабатываемые поверхности. При фрезеровании плоских поверхностей требуется, прежде всего, обес­печить правильную форму поверхности, которая оговаривается на чертеже в виде допускаемых отклонений от плоскостности (не­плоскостность) и прямолинейности (непрямолинейность),

**ФРЕЗЕРНЫЕ СТАНКИ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ**

**Основные сведения о фрезерных станках.**

Металлорежущие станки отечественного производства в зависимости от вида обработки разделяются на девять групп. В свою очередь, каждая группа делится на девять подгрупп, представляющих станки по их типам. Фрезерные станки отно­сятся к шестой группе.

Наиболее распространенными типами фрезерных станков являются горизон­тальные, универсальные и вертикальные.

Горизонтальные консольно-фрезерные станки имеют горизонтально расположенный, не меняю­щий своего места шпиндель. Стол может переме­шаться перпендикулярно к оси шпинделя в гори­зонтальном и вертикальном направлениях и вдоль оси, параллельной ей.

Универсальные консольно-фрезерные станки отличаются от горизонтальных тем, что имеют стол, который может поворачиваться на требуемый угол.

Вертикальные консольно-фрезерные станки имеют вертикально расположенный шпиндель, перемещающийся вертикально и в некоторых моделях поворачивающийся. Стол может переме­щаться в горизонтальном направлении перпенди­кулярно к оси шпинделя и в вертикальном на­правлении.

Широкоуниверсальные консольно-фрезерные станки в отличие от универсальных имеют помимо основного горизонтального шпинделя приставную головку со шпинделем, поворачивающимся вокруг вертикальной и горизонтальной осей.

Бесконсольно-фрезерные станки имеют шпин­дель, расположенный вертикально и перемещаю­щийся в этом направлении. Стол перемещается только в продольном и поперечном направле­ниях.

Продольно-фрезерные станки располагают сто­лом, который может перемещаться только в про­дольном направлении по направляющим поверх­ностям станины. Вертикальные и поперечные пе­ремещения получают шпиндельные бабки и шпин­дели. Станки могут иметь, до двух вертикальных и до двух горизонтальных шпинделей при одно- и двухстоечном исполнениях.

Объемно-фрезерные станки по принципу дей­ствия делятся на станки прямого и следящею копирования, осуществляемого путем ощупывания модели копировальным пальнем, а также на стан­ки программного управления, работающие одновременно и непрерывно по трем взаимно перпендикулярным координатам.

Фрезерные станки непрерывного действия (карусельные) имеют вертикально расположенный шпиндель (шпиндели), установочно перемещающиеся по вертикали, и круглый стол, который может непрерывно вращаться со скоростью рабочей пода­чи, Закрепление и обработка заготовок многопозиционные Примером таких станков может слу­жить станок модели 6А23 с диаметром стола 1400 мм.

Шпоночно-фрезерные станки (относятся к типу «разные») имеют вертикальный шпиндель, осу­ществляющий вращательное и одновременно с ним планетарное движение. Диаметр планетарного дви­жения может изменяться в соответствии с задан­ной шириной шпоночного гнезда. Стол переме­щается возвратно-поступательно в продольном направлении. Рабочий цикл автоматизирован. Примерами этих станков могут быть станки моделей 6Д91, 6Д92 и т. д.