ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗАНИЯ И РИ

Силы и работа резания. Расчет режимов резания

Специальность:
«Машиностроение»
Кафедра «ТОМиС»

Автор: асс.проф. Берг А.С.



ПЛАН:

1. Система сил при свободном резании ;
2. Силы при основных видах несвободного резания ;
3. Действие сил Pz , Px, Py на инструмент, заготовку и станок ;
4. Мощность, затрачиваемая на резание ;
5. Последовательность расчетов режимов резания при одноинструментной обработке.

1 СИСТЕМА СИЛ ПРИ СВОБОДНОМ РЕЗАНИИ

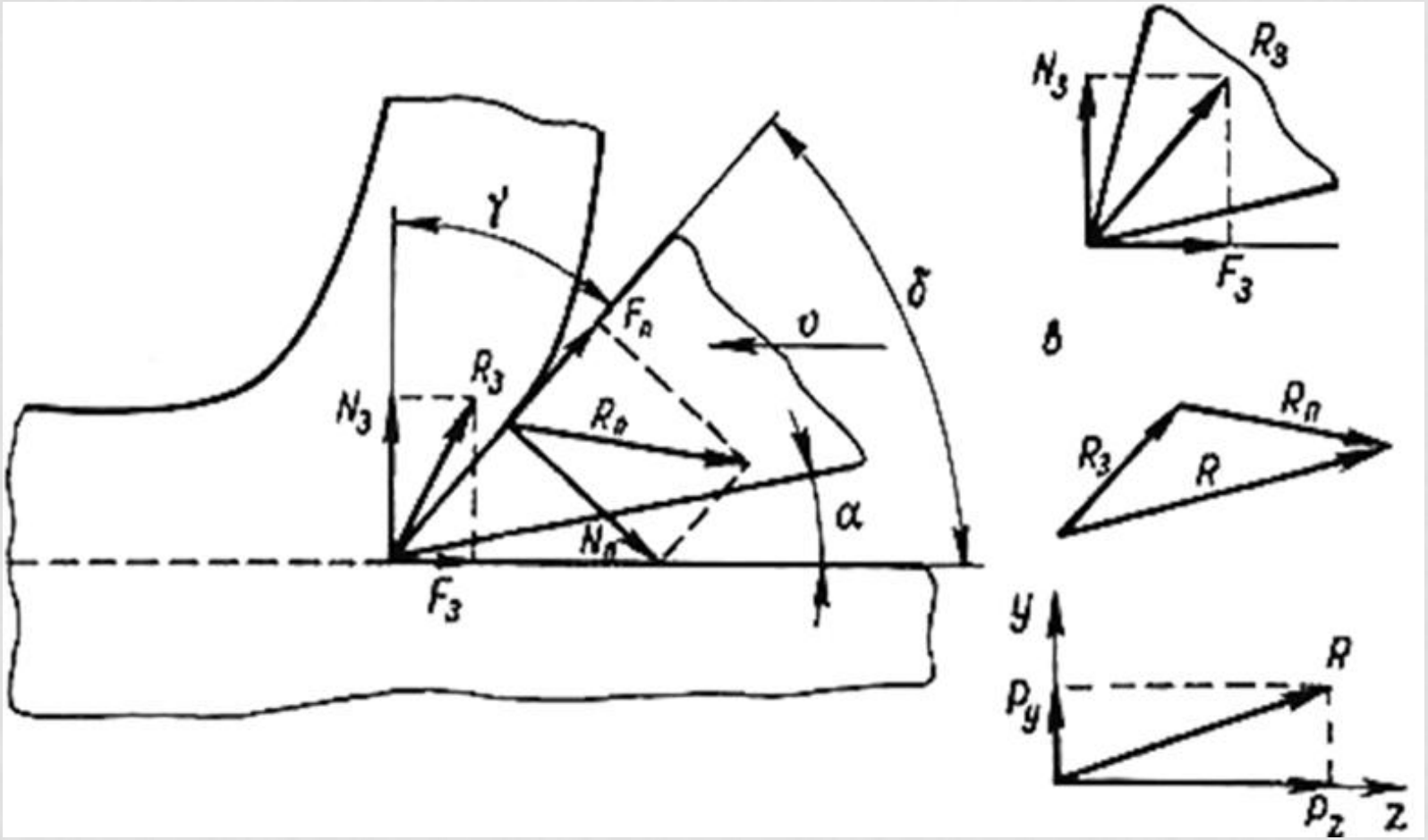


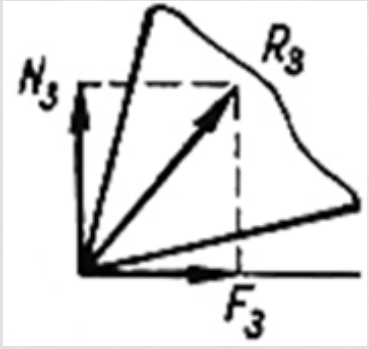
Рисунок 1 – Схема сил, действующих на резец

Рассмотрим систему сил, возникающих при свободном резании .

На переднюю поверхность резца давит стружка с силой *Rп,* которая является равнодействующей нормальной силы *Nп* и силы трения стружки о переднюю поверхность *Fп*, т.е.

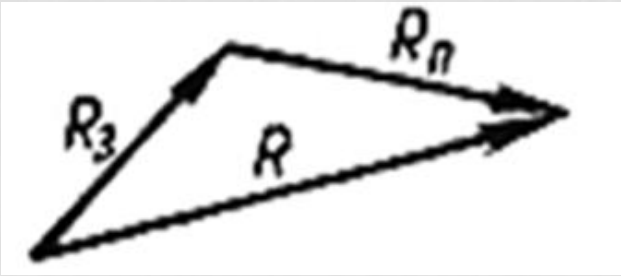
$$R_п = N_п + F_п.$$

На заднюю поверхность резца вблизи режущей кромки действует нормальная сила упругого противодействия обрабатываемого материала *Nз*, и сила трения о заднюю поверхность инструмента Fз. Они дают результирующую силу *Rз*.



Для осуществления процесса резания или сохранения равновесия резца к нему извне должна быть приложена сила, равная по величине и противоположная по направлению силе

$$R = R_п + R_з .$$



Разложим силу R, приложенную к резцу, на две составляющие:

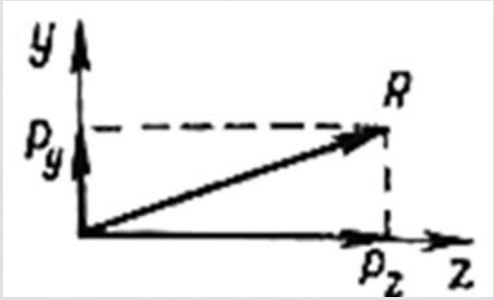
1)*Pz* в направлении главного движения резания (назовем ее главной силой);

2) *Py* в направлении, совпадающем с осью резца (назовем ее радиальной силой резания).

Спроектируем действующие силы на направление осей y и z:

$$Pz = Nп \cos \varphi + Fп \sin \varphi + Fз;$$

$$Py = — N п \sin \varphi + Fп \cos \varphi + Nз.$$



2 Силы резания при несвободном резании

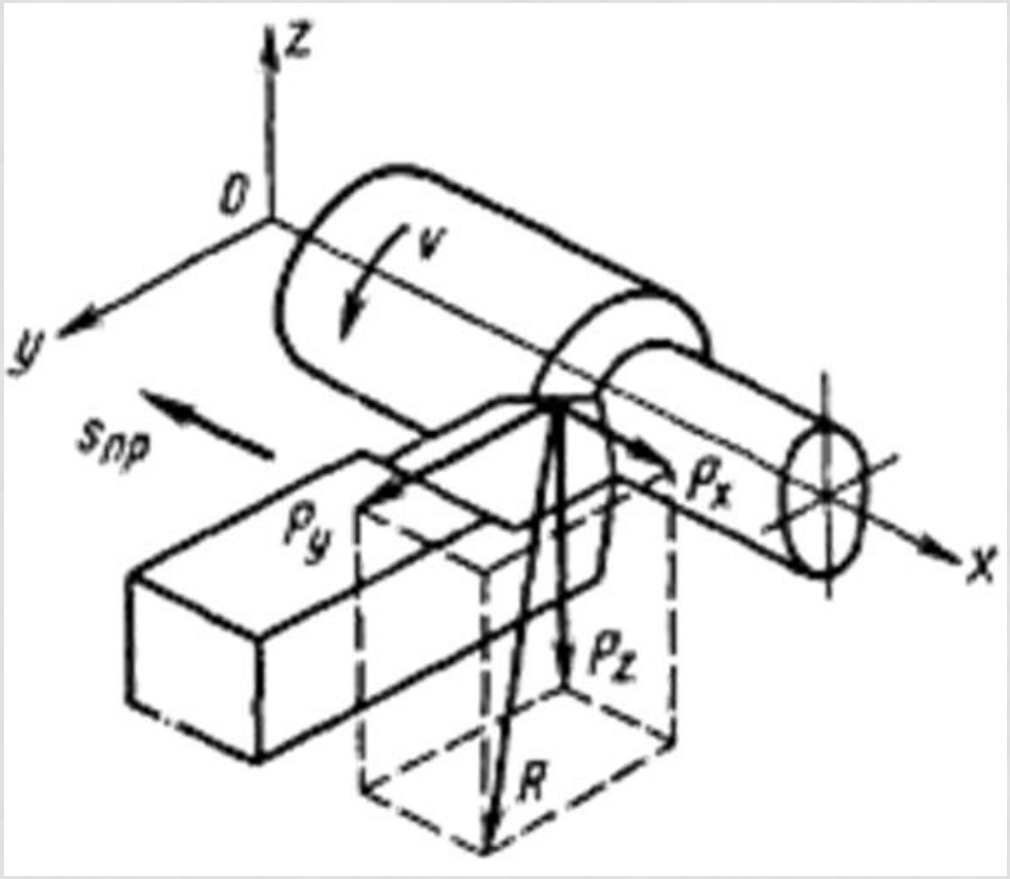


Рисунок 2 – Разложение силы при точении на составляющие

При токарной обработке в условиях несвободного резания равнодействующая *R* силы сопротивления резанию раскладывается на три взаимно перпендикулярные составляющие силы , действующие на резец:

Pz — *силу резания, или тангенциальную силу*, касательную к поверхности резания и совпадающую с направлением главного движения;

Px — *осевую силу, или силу подачи*, действующую параллельно оси заготовки в направлении, противоположном движению подачи;

Py — *радиальную силу*, направленную перпендикулярно к оси обрабатываемой заготовки.

Равнодействующая сила R определяется:

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2} \quad \text{или} \quad R \simeq (1{,}1 \div 1{,}2)\, P_z.$$

При □ = *45°*,□ = 0 и □ = *15°* угол между силами P_z *и* R равен 25—40°,

сила $P_x = (0{,}3 - 0{,}4)\, P_z$,

сила $P_y = (0{,}4 - 0{,}5)\, P_z$

На соотношение между силами P_z, P_y, P_x влияют:

- элементы режима резания,
- геометрические элементы режущей части резца,
- материал обрабатываемой заготовки,
- износ резца и др.

1) Отношения P_y / P_z и P_x / P_z уменьшаются с увеличением скорости резания.

2) Относительная величина сил P_y и P_x возрастает с увеличением отрицательного значения переднего угла и с увеличением износа резца по задней поверхности.

При обработке закаленных сталей ($_{в}$ 150 кгс/мм) резцом с отрицательным передним углом от— 5 до —15° сила P_y больше силы P_z в 1,3—2,3 раза.

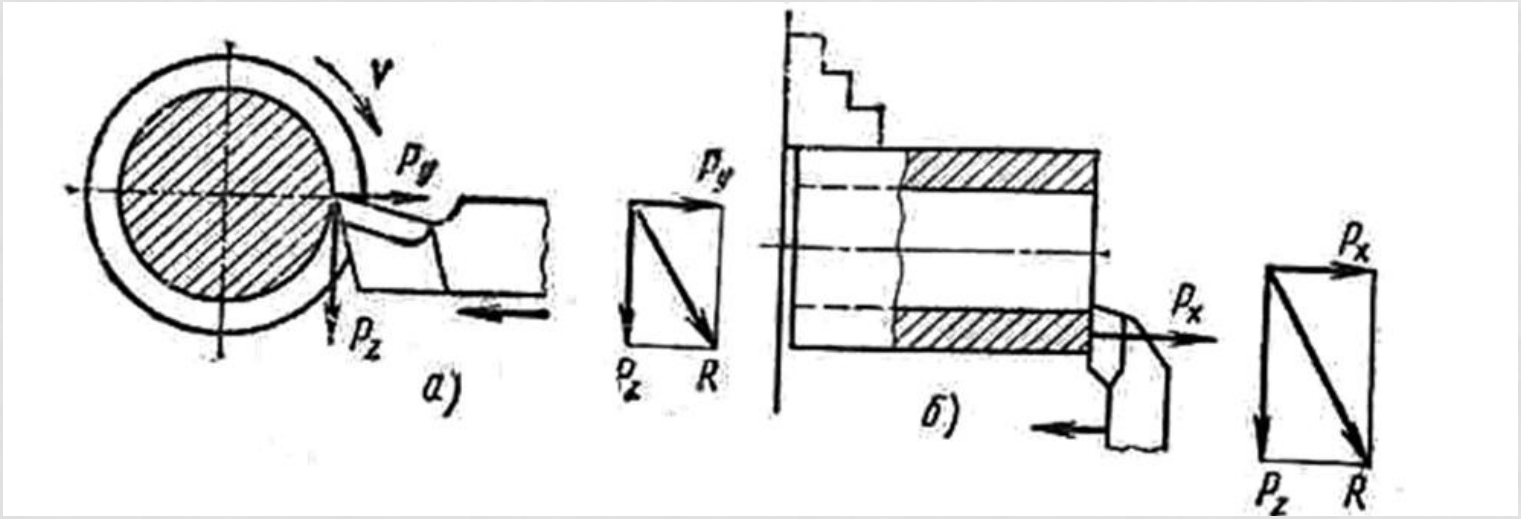
3) С увеличением глубины резания t и главного угла в плане φ отношение P_x / P_z возрастает, а отношение P_y / P_z убывает.

Частные случаи разложения равнодействующей силы при токарной обработке имеют место:

- при отрезании резцом с режущей кромкой, параллельной оси (*а*),

- при резании трубы резцом с углами (□=90° и □ =0°) (*б*).

В этих случаях сила R раскладывается на две P_z и P_y, P_z *и* P_x.



3 ДЕЙСТВИЕ СИЛ P_Z , P_X, P_Y , НА ИНСТРУМЕНТ, ЗАГОТОВКУ И СТАНОК

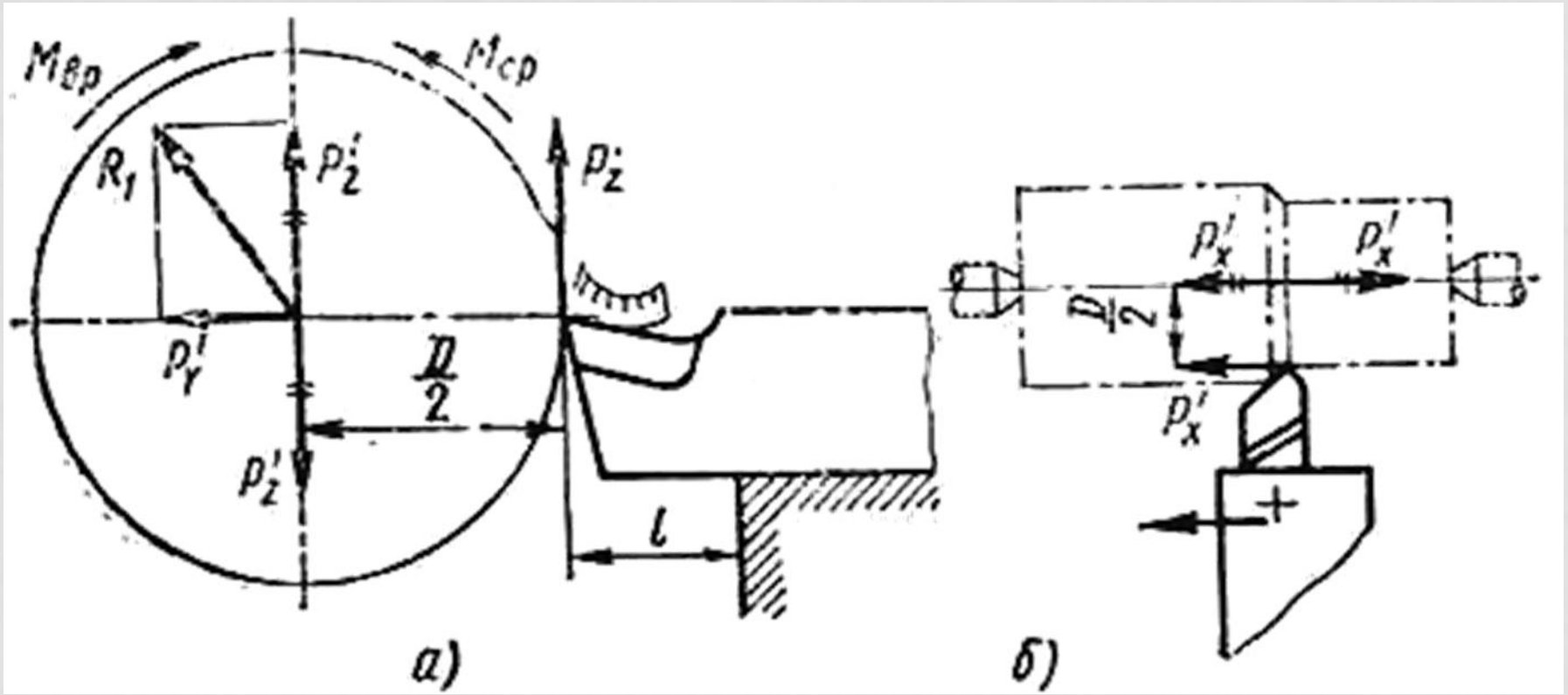


Рисунок 4 - Схема действия сил на заготовку, инструмент, станок

ДЕЙСТВИЕ СИЛЫ НА РЕЗЕЦ.

1. Сила резания P_z изгибает резец в вертикальной плоскости, сила P_y стремится оттолкнуть резец от заготовки, а сила P_x стремится изогнуть резец в горизонтальной плоскости и вывернуть его из резцедержателя.

Чем больше вылет резца, тем больше будет изгибающий момент

$$M_{изг} = P_z \cdot l \text{ кгс-мм},$$

тем большим должно быть сечение державки резца. Во избежание смещения резца от действия сил Ру и Рх он должен быть прочно закреплен в резцедержателе.

2. Напряжения, вызванные в державке силами P_z, P_y и P_x, не должны повышать напряжений, допускаемых материалом державки по его прочности и жесткости.

В практике, однако, принято рассчитывать резец только на плоский изгиб по силе P_z, не учитывая деформаций от сил P_y и P_x.

3. Наряду с напряжениями в державке резца сила P_z создает большие напряжения и в режущей части инструмента — в пластинке. В зависимости от значения переднего угла пластинка может испытывать деформации изгиба и среза или деформации сжатия.

Для каждого резца сила P_z должна быть не больше определенной величины, иначе напряжения, вызванные этой силой, достигнут предела прочности пластинки и пластинка разрушится.

ДЕЙСТВИЕ СИЛ НА ЗАГОТОВКУ.

На заготовку в месте резания *действует сила* P_z' , равная по величине силе P_z , но обратная по направлению.

Перенося в центр обрабатываемой заготовки две равные и противоположно направленные силы P_z видим, что создается пара сил и момент сопротивления резанию:

$$M_{с.р.} = P_z' \cdot D / 2.$$

Кроме скручивания заготовки, от действия силы P_z' создается момент, изгибающий заготовку в вертикальной плоскости.

Для резания необходимо, чтобы вращающий момент станка на выбранной ступени числа оборотов был бы больше или, в крайнем случае, равен (для расчетов) моменту сопротивления резанию:

$$M_{вр} ? M_{с.р.}$$

Сила P_y' изгибает заготовку в горизонтальной плоскости. При недостаточной жесткости технологической системы эта сила может вызвать в процессе резания вибрации. Складываясь с силой P_z' , они создают силу R_1, которая будет вызывать суммарный изгибающий момент, действующий на заготовку и влияющий на точность обработанной поверхности.

$$R_1 = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}$$

Сила P_x' прижимает заготовку к переднему центру (или стремится сдвинуть заготовку в осевом направлении при креплении ее в патроне) и создает момент, который «вывертывает» заготовку из центров.

$$M_x = \frac{P_x^1 D}{2} \qquad \textit{кгс-мм}$$

ДЕЙСТВИЕ СИЛ НА СТАНОК.

Сила резания P_z, будучи наибольшей и совпадая с направлением скорости резания, через резец действует на суппорт и станину.

Сила P_z' через заготовку действует на центры и заднюю бабку.

По этой силе производится:

- *расчет ответственных деталей станка и мощности, затрачиваемой на резание,*
- *расчет необходимой мощности электродвигателя станка.*

Радиальная сила P_y действует через резец на суппорт и станину.

Сила P_y' через заготовку — на шпиндель, центры и заднюю бабку станка.

По этой силе производится:

- *расчет станка на жесткость;*
- *расчет радиального давления на подшипники шпинделя.*

Сила подачи P_x действует через резец на механизм подачи станка.

Сила P_x' через заготовку—на шпиндель и его опоры в осевом направлении.

Сила P_x преодолевается механизмом подачи станка, а потому в основном по ней и *рассчитываются:*

- *детали коробки передач фартука ,*
- *упорные подшипники шпинделя,*
- *мощность, необходимая для осуществления движения подачи*.

4 МОЩНОСТЬ, ЗАТРАЧИВАЕМАЯ НА РЕЗАНИЕ

Зная величину сил резания, можно подсчитать *мощность, затрачиваемую на резание (эффективную мощность*),для этого необходимо сложить мощности на преодоление каждой силы сопротивления P_z, P_y и P_x, т. е.

$$N_{рез} = N_{Pz} + N_{Py} + N_{Px}$$

Так как мощность есть работа в секунду, то необходимо, следовательно, каждую силу умножить на соответствующую относительную скорость перемещения резца и заготовки в направлении действия данной силы (или обратном), вводя соответствующие коэффициенты:

$$N_{рез} = \frac{P_z v_z}{60 \cdot 102} + \frac{P_y v_y}{60 \cdot 102} + \frac{P_x v_x}{60 \cdot 102} \text{ кВт},$$

где V_z=V – скорость резания, м/мин;

V_y – скорость перемещения резца в радиальном направлении, м/мин;

V_x = Sn/1000, скорость подачи, м/мин.

При продольном точении никаких перемещений в направлении действия силы P_y, или в обратном этому направлению, нет, т. е. $V_y = 0$, а следовательно, равно нулю и второе слагаемое.

Третье слагаемое, представляющее собой мощность, затрачиваемую на движение подачи, мало (*1—2% N_{Pz}*) , и им можно пренебречь. Тогда

$$N_{\text{рез}} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102} \text{ кВт.}$$

С учетом к.п.д. станка $\eta_{ст}$ легко подсчитать и необходимую (расчетную) мощность электродвигателя:

$$N_{дв} = \frac{P_z v}{60 \cdot 102 \eta_{ст} K_п} \text{ кВт},$$

где $\eta_{ст}$ – к.п.д. станка. Обычно $\eta_{ст}$ =0,75

$К_п$ – коэффициент допускаемой кратковременной перегрузки.

Допускается $К_п$ =1.3…1.5. А иногда $К_п$=2.

Для резания на заданном станке необходимо, чтобы мощность электродвигателя станка $N_{дв}$ была больше (или, в крайнем случае, равна) расчетной мощности.

5. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Режимом резания называется совокупность элементов, определяющих условия протекания процесса резания.

К *элементам режима резания* относятся:

– глубина резания,
- подача,
- скорость резания,
- период стойкости режущего инструмента,
- частота вращения шпинделя,
- сила и мощность резания и другие параметры процесса резания от которых зависят его технико-экономические показатели.

ОДНОИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Последовательность расчетов режимов резания:

1 ***Выбор инструментального материала, конструкции инструмента и геометрических параметров его режущей части.***

Материал режущей части выбирают в зависимости:

- от свойств обрабатываемого материала,
- состояния поверхности заготовки,
- от условий осуществляемого резания

Геометрические параметры инструмента назначаются в зависимости:

- от свойств обрабатываемого материала,
- жесткости технологической системы,
- вида обработки (черновой, чистовой или отделочной) и других условий резания.

2 Назначение глубины резания с учетом припуска на обработку.

При черновой обработке назначить глубину резания, обеспечивающую срезание припуска за один проход. Количество проходов свыше одного допускается в исключительных случаях при снятии повышенных припусков.

Получистовая обработка часто производится в два прохода. Первый, черновой, осуществляется с глубиной резания t = (0,6.. .0,75)h;, а второй, окончательный, с t= (0,3. ..0.25)h;.

При чистовой обработке в зависимости от точности и шероховатости обработанной поверхности глубину резания назначают в пределах 0,5...2,0 мм на диаметр, а при обработке с шероховатостью менее Ra 1,25—в пределах 0,1...0,4 мм.

3 Выбор подачи (при точении и сверлении — So, мм/об; при фрезеровании Sz мм/зуб).

Подачей называется путь, пройденный какой-либо точкой режущей кромки инструмента, относительно заготовки, за один оборот заготовки (режущего инструмента), либо за один двойной ход режущего инструмента.

Различают подачу на один зуб Sz, подачу на один оборот S и подачу минутную Sм, мм/мин, которые находятся в следующей зависимости:

$$S_м = S \cdot n = S_Z \cdot Z \cdot n,$$

где: n- частота вращения режущего инструмента, мин$^{-1}$;

z - число зубьев режущего инструмента.

При черновой обработке подача устанавливается с учетом:

- жесткости технологической станочной системы,
- прочности детали,
- способа ее крепления (в патроне, в центрах и др.),
- прочности и жесткости рабочей части режущего инструмента,
- прочности механизма подачи станка,
- установленной глубины резания.

При чистовой обработке назначение подачи необходимо согласовывать с заданной шероховатостью обработанной поверхности и квалитетом точности, учитывая при этом возможный прогиб детали под действием сил резания и погрешности геометрической формы обработанной поверхности.

4 Проверочные расчеты.

Подачу, выбранную для чернового точения с заданной глубиной резания, проверяют по осевой силе резания и по прочности механизма подачи станка.

Осевая сила резания должна быть меньше или в крайнем случае равна силе, допускаемой механизмом подачи:

$$P_x = C_{px} t^{px} S^{ypx} K_{Px} \le P_{cm}$$

Принятая подача уточняется по паспорту станка. При этом принимают ближайшую из имеющихся на станке подач. Допускается принимать ближайшую большую подачу, если она превышает нормативную не более чем на 10 %.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ.

Скорость резания, допускаемая режущим инструментом при определенном периоде его стойкости, зависит от:

- глубины резания и подачи,
- материала режущей части инструмента ,
- геометрических параметров режущей части инструмента,
- обрабатываемого материала,
- вида обработки,
- охлаждения и других факторов.

Скорость резания:

при точении $$V = \frac{C_v}{T^m t^{x^v} S^{y^v}} K_v;$$

при сверлении $$V = \frac{C_v D^{x_v}}{T^m S^{y^V}} K_V;$$

при фрезеровании $$V = \frac{C_v D^{r_v}}{T^m t^{x^V} S^{z^{yV}} B^{n^V} z^{q^V}} K_V,$$

где C_V – коэффициент, учитывающий условия работы инструмента, принятые в справочнике за основу;

K_V – коэффициент, учитывающий, отличие конкретных условий работы инструмента от принятых за основу;

x^v, y^v, n^v, q^v, r_v- показатели степени.

6 **Выбор нормативных *периодов стойкости*** производится с учетом экономических факторов и производственного опыта эксплуатации инструментов.

Значительное увеличение периода стойкости требует снижения скорости резания, а значит, и производительности обработки, что экономически невыгодно. Уменьшение периода стойкости по сравнению с нормативным на 25 % увеличивает стоимость обработки на 2 %.

7 ***Подсчет частоты вращения шпинделя станка***

$$n = \frac{1000V}{\pi D}$$

- Полученное значение *n* уточняют по паспорту станка и принимают ближайшее меньшее из имеющихся на станке. Превышать расчетную частоту допускается не более чем на 10%.
- По действительной частоте вращения шпинделя определяют фактическую скорость резания , а при фрезеровании также действительную минутную подачу $S_м = S_z z n_ф$ с уточнением ее по паспорту станка.

9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНОГО ВРЕМЕНИ КАЖДОГО ПРОХОДА

$$T_o = \frac{l_1 + l + l_2}{nS}$$

где l — длина обрабатываемой поверхности,

l_1 l_2 — длины соответственно врезания и перебега, определяемые но таблицам.

8 ПРОВЕРКА ВЫБРАННОГО РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПО МОЩНОСТИ СТАНКА.

- В этом случае должно соблюдаться соотношение
- $$N_{рез} \leq 1{,}3\eta N_{ст},$$
- где — коэффициент полезного действия привода главного движения,
- Nст — мощность электродвигателя;
- $N_{рез}$ — мощность резания, определяемая по таблицам или формулам, путем использования значений P_z и V или $M_к$ и n ,
- 1,3— коэффициент, допускаемый возможностью кратковременной перегрузки электродвигателя станка.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- **1. Схема сил, действующих на резец при свободном резании.**
- **2.** Разложение силы при точении на составляющие в условиях несвободного резания.
- **3.** Действие сил Pz , Px, Py на инструмент. заготовку и станок
- **4.** Действие режущих сил на заготовку .
- **5.** Действие сил Pz , Px, Py , на станок .
- **6. Расчет м**ощности, затрачиваемой на резание
- **7.** Последовательность расчетов режимов резания

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров и магистров "Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств" и дипломированных специалистов "Конструкторско-технологические обеспечение машиностроительных производств" / В. Г. Солоненко, А. А. Рыжкин ; УМО вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения. - М. : Высшая школа, 2007. - 414 с.
- 2. Ящерицын П.И. и др. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах (Учебник для вузов). М.: Высшая школа, 2011 – 512 с.
- 3. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. спец. вузов. – М.: Высшая школа. 2009 – 304 с.
- 4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 2009 – 344 с.
- 5. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов. - М.: Машгиз, 2006 – 366с.
- 6.Боярский В.Г. Теория резания: курс лекций: учебное пособие / В. Г. Боярский, М. Р. Сихимбаев; Мин-во образования и науки Республики Казахстан, КарГТУ. - Караганда : КарГТУ, 2007. - 92 с.