

ISSN 0536-1044

**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ**

6

1983

МАШИНОСТРОЕНИЕ

где r — относительный радиус по графику (рис. 2); k_{β} — коэффициент, зависящий от формы профиля, так, $k_{\beta} = 1$ для профиля по варианту a .

Как показал опыт внедрения прокатки спиралей шнеков на Хмельницком ремонтно-экспериментальном заводе, в Тернопольской обсельхозтехнике и на других предприятиях, предложенная методика выбора оптимальных параметров спиралей шнеков с достаточной для практических целей точностью может быть использована при соответствующих расчетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гевко Б. М., Технологические основы выбора конструктивных параметров шнеков, «Известия вузов. Машиностроение», 1982, № 5.
2. Егоров В. А., Особенности прокатки винтовых лент, «Тракторы и сельхозмашины», 1974, № 5.
3. Журавлев А. З. и др., Изготовление шнеков для зерноуборочных комбайнов, «Кузнечно-штамповочное производство», 1980, № 5.

Статья поступила 11 августа 1982 г.

621.941.1

СИЛА РЕЗАНИЯ И ЭНЕРГОЗАТРАТЫ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ РЕЗЦАМИ ИЗ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

Асп. С. В. ГРУБЫЙ

Приводятся результаты экспериментального исследования сил резания при точении стали марки 40X резцами, оснащенными пластинами безвольфрамового сплава КНТ16. Опыты проводились по схемам классического однофакторного и многофакторного экспериментов с сравнительной оценкой погрешностей аппроксимации. Проведен математический анализ полученных уравнений и математических моделей, позволяющий определить режимы резания с минимальными энергозатратами. Получены обобщенные формулы для расчета сил резания, мощности и требуемых энергозатрат.

Сила резания и энергозатраты относятся к показателям режущих свойств инструмента, а определение их помогает обосновать выбор рациональных режимов резания. Формулы для расчета сил и энергозатрат получают экспериментально, при этом применяется как классическая однофакторная, так и многофакторная схема проведения опытов. Однако преимущества и недостатки данных схем выявлены недостаточно полно.

Экспериментальные исследования предусматривали изучение влияния режимов резания на силу и энергозатраты при точении стали резцами из безвольфрамовых твердых сплавов. Опыты выполнены на Московском автомобильном заводе им. И. А. Лихачева по плану договора о сотрудничестве МВТУ — МосавтоЗИЛ.

В экспериментах использовались заготовки типа валов (диаметр 90...120 мм, длина 250...320 мм) из стали нормализованной марки 40X (НВ 217...223). Применялись резцы токарные сборные проходные с механическим креплением сменных многогранных пластин 02114—100412 ГОСТ 19048—80 из сплава марки КНТ16 и геометрическими параметрами: $\alpha = 7^\circ$, $\gamma_{\phi} = -7^\circ$, $\phi = 90^\circ$, $\phi_1 = 10^\circ$, $\lambda = 8^\circ$. Составляющие силы резания измерялись динамометром УДМ-600 конструкции

ВНИИинструмент с использованием стандартного комплекта аппаратуры при непрерывном наружном продольном точении заготовок на универсальном станке со ступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя.

Эксперименты проводились без применения СОЖ острым резцом по однофакторной и многофакторной схемам в одинаковых условиях и диапазонах режимов резания: $v=0,44 \dots 3,32$ м/с, $t=0,7 \dots 6,0$ мм, $s=0,17 \dots 0,53$ мм/об.

Однофакторная схема проведения опытов осуществлялась при следующих режимах: сила резания — скорость при $t=3,0$ мм и $s=0,42$ мм/об; $t=1,75$ мм и $s=0,30$ мм/об; $t=1,0$ мм и $s=0,21$ мм/об; сила резания — глубина при подачах 0,17, 0,21, 0,30, 0,42 и 0,53 мм/об и скорости 2,21 м/с.

Реализация многофакторной схемы проводилась по симметричному композиционному ротатбельному униформплану второго порядка, предполагающему равенство дисперсий в радиусе от центра плана до ± 1 значений факторов (режимов) в кодированном масштабе [1]. При этом кодирование факторов определяется системой уравнений

$$\begin{aligned} X_1 &= 3,81 \lg v - 0,31, \\ X_2 &= 6,64 \lg s + 3,50, \\ X_3 &= 4,19 \lg t - 1,00, \end{aligned} \quad (1)$$

где v , s , t — натуральные значения факторов соответственно в м/с, мм/об, мм.

Предполагаемыми моделями, описывающими изменение сил резания, были приняты модели вида

однофакторная схема — степенная

$$P = C_p v^{n_p} t^{x_p} s^{y_p}; \quad (2)$$

многофакторная схема — полином второго порядка

$$Y = P = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i X_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} X_i X_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} X_i^2, \quad (3)$$

где C_p — постоянная, n_p , x_p , y_p — показатели степеней, b_i , b_{ij} , b_{ii} — коэффициенты, k — число факторов.

В результате проведения опытов и аналитической обработки данных получены значения постоянных и показателей степеней модели (2) и статистически значимых коэффициентов модели (3). Искомые обобщенные формулы и уравнения имеют вид

$$\begin{aligned} P_z &= 1658,1v^{-0,10}t^{0,93}s^{0,74}, \\ P_y &= 989,7v^{-0,16}t^{0,45}s^{0,78}, \\ P_x &= 766,3v^{-0,23}t^{1,02}s^{0,59}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P_z &= 61,0X_2^2 + 139,1X_3^2 - 72,5X_1 + 338,9X_2 + 606,8X_3 - \\ &\quad - 24,5X_1X_2 + 159,4X_2X_3 + 1095,0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$P_y = 33,9X_1^2 + 33,9X_2^2 - 35,0X_1 + 143,2X_2 + 98,0X_3 + 433,1, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_x &= 48,8X_1^2 + 36,8X_2^2 + 89,0X_3^2 - 99,9X_1 + 144,7X_2 + \\ &\quad + 390,1X_3 - 54,2X_1X_3 + 88,0X_2X_3 + 606,8. \end{aligned} \quad (7)$$

Проверка по критерию Фишера с учетом дисперсий опыта свидетельствует об адекватности полученных моделей.

Погрешности уравнений (4) — (7) оценивались по среднеквадратическому отклонению расчетных значений от экспериментальных. В качестве примера, на рис. 1 показано как изменяются среднеквадратические отклонения силы P_z в исследуемом диапазоне глубин резания. Проведенный анализ показывает, что для однофакторной схемы проведения опытов погрешность монотонно возрастает с увеличением абсолютных значений сил и глубины резания. При многофакторной схеме погрешность, оставаясь минимальной и постоянной в диапазоне ± 1 значений факторов в кодированном масштабе, резко возрастает за пределами этого диапазона.

Уравнение (4) — (7) позволяют рассчитать силы резания в зависимости от выбранного режима. Вместе с тем математические модели (5) — (7) могут быть проанализированы для определения требуемых мощности и энергозатрат. Учитывая, что на мощность и энергозатраты, в основном, оказывает влияние сила P_z , проведен математический анализ (5).

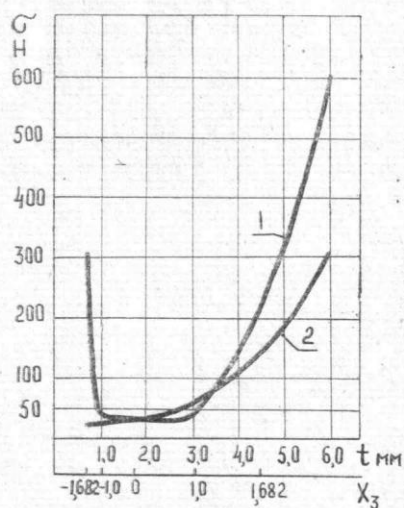


Рис. 1. Влияние глубины резания на среднеквадратические отклонения силы P_z ; 1 — многофакторная схема проведения опытов, 2 — однофакторная схема

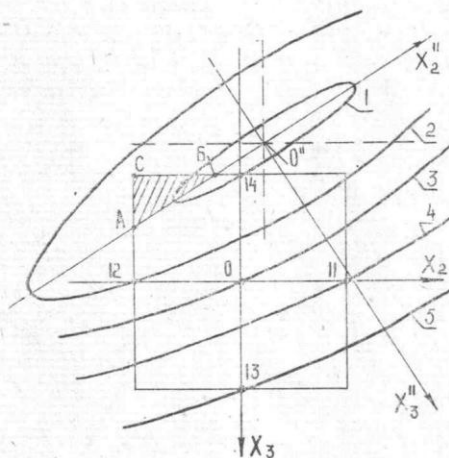


Рис. 2. Расположение изолиний силы P_z в факторной плоскости $X_1=0$: 1 — 468,1 Н, 2 — 697,6 Н, 3 — 1095,0 Н, 4 — 1405,7 Н, 5 — 2509,3 Н

Аналитическое и графическое представление функции отклика (5) в пространстве факторов $X_1X_2X_3$ показывает, что поверхности равных значений силы P_z есть семейство однополостных и двуполостных гиперболоидов, при этом скорость резания (фактор X_1) оказывает минимальное влияние на силу. При изменении скорости характер зависимостей влияния факторов X_2 и X_3 на силу резания не изменяется.

Фиксирование скорости резания на постоянном уровне позволяет проследить, как влияет глубина и подача на силу резания, мощность и энергозатраты. Так, при $X_1=0$ ($v=1,21$ м/с) уравнение (5) преобразуется к виду

$$61,0X_2^2 + 139,1X_3^2 + 338,9X_2 + 606,8X_3 + 159,4X_2X_3 + (1095,0 - P_z) = 0. \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой уравнение второй степени относительно переменных X_2 и X_3 и после выбора новой системы координат $X''_2X''_3O''$ оно может быть представлено в канонической форме [2]

$$11,50(X_2'')^2 + 188,95(X_3'')^2 + (431,9 - P_z) = 0, \quad (9)$$

где связь новых переменных со старыми определяется системой

$$\begin{aligned} X_2'' &= -1,48390 + 0,84851X_2 - 0,52918X_3, \\ X_3'' &= 1,83843 + 0,52918X_2 + 0,84851X_3. \end{aligned} \quad (10)$$

Анализ (9) показывает, что линии равных значений силы P_z представляют собой семейство эллипсов с центром в начале системы координат $X_2''X_3''O''$. На рис. 2 показаны изолинии силы P_z , проходящие через точки плана 0, 11, 12, 13, 14, лежащие в плоскости $X_1=0$. Ось X_2'' отсекает от исследуемой области факторной плоскости треугольник ABC малых значений глубин резания и подач, где силы, рассчитанные по (8), значительно отличаются от экспериментальных. За исключением области указанного треугольника, решение уравнения (8) на ЭВМ позволяет получить участки изолиний силы P_z и соответствующей мощности, расположенные в исследуемом диапазоне глубин и подач. При дальнейшем анализе представляется возможным определить величину требуемых энергозатрат.

Энергозатратами при резании по предложению профессора Г. И. Грановского является расход энергии на снятие одного килограмма стружки. Для случая наружного продольного точения с учетом плотности стали формула энергозатрат примет вид

$$H_{эз} = \frac{P_z}{7,7 \cdot t \cdot s}. \quad (11)$$

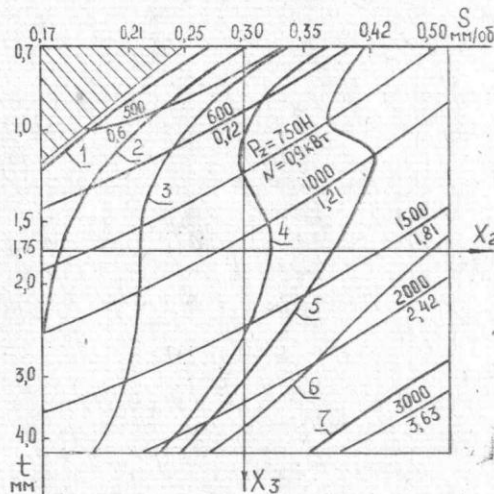


Рис. 3. Расположение линий равных сил резания P_z , мощности N и энергозатрат $H_{эз}$ при $v=1,21$ м/с; $H_{эз}$: 1—341,8, 2—306,3, 3—288,6, 4—273,4, 5—268,3, 6—259,7, 7—236,1 кДж/кг.

Для выбора рациональных режимов необходимо представить расположение изолиний энергозатрат в исследуемой области факторной плоскости. Точки кривой $H_{эз i} = f(X_2, X_3) = \text{const}$ связаны соотношением

$$\frac{P_{z1}}{(ts)_1} = \frac{P_{z2}}{(ts)_2} = \dots = \frac{P_{zi}}{(ts)_i} = \text{const}. \quad (12)$$

Произведение (ts) может быть представлено в кодированном масштабе с учетом (1). После выполнения алгебраических преобразований получим

$$ts = 10^{(0,151X_2 + 0,239X_3 - 0,288)}. \quad (13)$$

Координаты точек кривой $H_{эзi} = \text{const}$ получаем при решении системы двух уравнений

$$\begin{aligned} 0,151X_2 + 0,239X_3 - 0,288 &= \lg (ts)_i \\ 61,0X_2^2 + 139,1X_3^2 + 338,9X_2 + 606,8X_3 + \\ + 159,4X_2X_3 + (1095,0 - P_{zi}) &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

при выбранных значениях $(ts)_i$ и P_{zi} с учетом (12).

Проведенный расчет по предложенной методике позволил определить линии равных сил резания, мощности и энергозатрат при точении стали резцами из безвольфрамовых твердых сплавов. На рис. 3 приведены указанные кривые при $v=1,21$ м/с в координатах глубина — подача. С увеличением сечения срезаемого слоя увеличивается сила резания, мощность и, вместе с тем, уменьшаются требуемые энергозатраты. Анализ показывает, что при заданной глубине резания (определяется припуском) и ограничениях по силе или мощности точка, соответствующая минимальным энергозатратам, расположена на кривой $P_{zi} = \text{const}$. Величина соответствующей подачи при этом может быть определена решением уравнения (8).

Выводы

1. Получены обобщенные формулы (4) и уравнения (5) — (7) для расчета сил резания при точении стали резцами из безвольфрамовых твердых сплавов.

2. Применение однофакторной схемы проведения опытов позволяет определить вид и характер зависимостей и получить расчетные формулы в широком диапазоне режимов резания.

3. При проведении экспериментов по многофакторной схеме с использованием стандартных планов необходим предварительный выбор математической модели, что позволяет значительно сократить объем экспериментальных работ; получить достоверные данные в более узком диапазоне исследуемых факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новик Ф. С., Арсов Я. Б., Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов, изд-во «Машиностроение», М., изд-во «Техника», София, 1980.
2. Ильин В. А., Позняк Э. Г., Аналитическая геометрия, изд-во «Наука», М., 1981.

Статья поступила 31 мая 1982 г.