

ISSN 0536—1044

**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ**

2

1990

МАШИНОСТРОЕНИЕ

РАСЧЕТ СИЛ И КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ РЕЗЦОВ С РАДИУСНОЙ РЕЖУЩЕЙ ВЕРШИНОЙ

Канд. техн. наук С. В. ГРУБЫЙ

Приведены результаты расчетов сил и контактных нагрузок для резцов сборных, оснащенных сменными многогранными пластинами из сплава марки КНТ16. Рассмотрена схема несвободного резания резцом с радиусной режущей пластиной, когда глубина резания соразмерна с радиусом при вершине. Дается методика расчета сил на передней поверхности (в плоскости и перпендикулярно сходу стружки) и на задней поверхности пластины. Рассчитаны контактные нагрузки на передней и задней поверхностях и напряжения растяжения за пределами контакта на передней поверхности. Определены предельные значения параметров срезаемого слоя при обработке конструкционных углеродистых и легированных сталей резцами из безвольфрамовых твердых сплавов.

Работоспособность инструмента, оснащенного инструментальными материалами с пониженными прочностными характеристиками (сверхтвердые материалы, режущая керамика, безвольфрамовые твердые сплавы и др.), во многом зависит от сил и контактных нагрузок на рабочих поверхностях лезвия. Абсолютные значения сил и контактных нагрузок определяются большим числом внешних факторов и изменяются в широких пределах.

Анализ сил и контактных нагрузок был выполнен для условий наружного продольного точения заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей резцами сборными проходными со сменными многогранными пластинами различных форм из сплава марки КНТ16. Составляющие силы резания изучены в этих условиях в зависимости от режимов резания, износа пластины и других факторов и аппроксимированы степенными уравнениями [1].

Общая схема сил, действующих на сменную многогранную пластину для случая несвободного резания, когда радиус при вершине соразмерен с глубиной резания, приведена на рис. 1. На режущую пластину в процессе резания действуют силы: составляющие силы резания для острого резца P_z , P_y , P_x и приращения от износа вдоль этих же осей ΔP_z , ΔP_y , ΔP_x ; в направлении схода стружки нормальная к передней поверхности P_N , касательная P_τ и суммарная F ; перпендикулярно сходу стружки касательная к передней поверхности P_{τ_2} ; на задней поверхности нормальная F_N , касательная F_τ и суммарная F_3 .

На схеме рис. 1 показаны единичные векторы: \bar{a}_1 — вдоль прямолинейного участка режущей кромки, \bar{a}_2 — орт системы координат, \bar{a}_3 — перпендикулярный вектору \bar{a}_1 , \bar{a}_4 — направление схода стружки вдоль передней поверхности, \bar{a}_5 — перпендикулярный вектору \bar{a}_4 . Выделены системы координат: XYZ , связанная с заготовкой и кинематическими движениями резца, и $X'Y'Z'$, полученная путем поворота вокруг оси Z на угол ψ и вокруг оси X' на угол γ_d так, что плоскость $X'Y'$ совпадает с передней плоскостью. Углы установка пластины в корпусе резца — γ_d , ψ , η (угол η между осью Y' и вектором \bar{a}_1) известны для типовых конструкций резцов [2].

Связь систем координат задавали матричным уравнением

$$[XYZ] = [X'Y'Z'] \cdot \underline{M}, \quad (1)$$

где переходная матрица \underline{M} равна

$$\underline{M} = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 \\ -\cos \gamma_d \sin \psi & \cos \gamma_d \cos \psi & \sin \gamma_d \\ \sin \gamma_d \sin \psi & -\sin \gamma_d \cos \psi & \cos \gamma_d \end{bmatrix}. \quad (2)$$

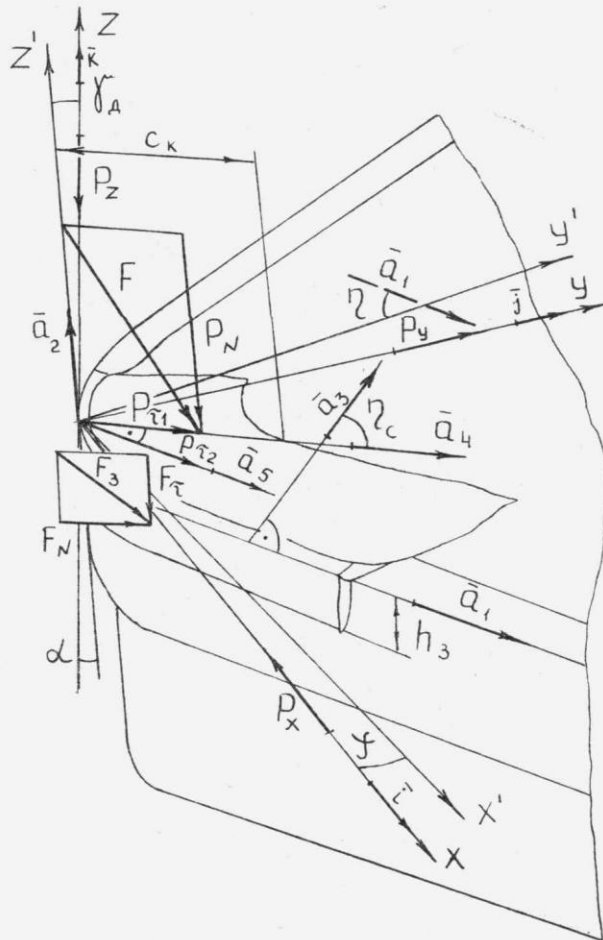


Рис. 1. Общая схема сил, действующих на режущую сменную многогранную пластину

В системе координат $X'Y'Z'$, связанной с режущей пластиной, векторы \bar{a}_2 , \bar{a}_4 , \bar{a}_5 равны

$$\begin{aligned} \bar{a}_2 &= \bar{k}', \\ \bar{a}_4 &= -\cos(\eta - \eta_c) \bar{i}' + \sin(\eta - \eta_c) \bar{j}', \\ \bar{a}_5 &= \sin(\eta - \eta_c) \bar{i}' + \cos(\eta - \eta_c) \bar{j}', \end{aligned} \quad (3)$$

где η_c — угол между векторами \bar{a}_3 и \bar{a}_4 (угол схода стружки). С другой стороны векторы могут быть представлены в системе координат XYZ

$$\bar{a}_2 = [ijk] \underline{A}_1; \quad \bar{a}_4 = [ijk] \underline{A}_2; \quad \bar{a}_5 = [ijk] \underline{A}_3, \quad (4)$$

где $\underline{A}_1, \underline{A}_2, \underline{A}_3$ — матрицы-столбцы направляющих косинусов соответствующих векторов выражаются через уравнения (1) — (3).

Силу резания для острого реза рассматривали в виде

$$\bar{P} = -P_x \bar{i} + P_y \bar{j} - P_z \bar{k}, \quad (5)$$

или в системе единичных векторов $\bar{a}_2, \bar{a}_4, \bar{a}_5$

$$\bar{P} = P_{\tau_1} \bar{a}_4 + P_{\tau_2} \bar{a}_5 - P_N \bar{a}_2. \quad (6)$$

С учетом (4) — (6) справедливо матричное уравнение

$$\begin{bmatrix} -P_x \\ P_y \\ -P_z \end{bmatrix} = [\underline{A}_2 \underline{A}_3 - \underline{A}_1] \begin{bmatrix} P_{\tau_1} \\ P_{\tau_2} \\ P_N \end{bmatrix} = \underline{A}_4 \begin{bmatrix} P_{\tau_1} \\ P_{\tau_2} \\ P_N \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где матрица \underline{A}_4 размера 3×3 .

Уравнение (7) преобразовано к виду

$$\begin{bmatrix} P_{\tau_1} \\ P_{\tau_2} \\ P_N \end{bmatrix} = \underline{A}_4^{-1} \begin{bmatrix} -P_x \\ P_y \\ -P_z \end{bmatrix}, \quad (8)$$

где \underline{A}_4^{-1} — обратная матрица \underline{A}_4 .

Члены составной матрицы \underline{A}_4 определяли через матрицы-столбцы $\underline{A}_1, \underline{A}_2, \underline{A}_3$ путем соответствующих алгебраических вычислений. Операцию обращения матрицы осуществляли на ЭВМ.

В соответствии с предложенным алгоритмом (8) силы, действующие в направлении и перпендикулярно сходу стружки, вычисляли по составяющим $P_{\tau_2}, P_{\tau_1}, P_N$ [1]. Расчеты выполняли на ЭВМ «СМЗ» по специально разработанной программе. Исходные геометрические параметры резцов приведены в табл. 1. Угол схода стружки для конкретных режимов резания рассчитывали по специальной методике и дополнительно контролировали по фотографиям изношенных поверхностей режущих пластин.

Таблица 1

Характеристики и геометрические параметры резцов

Пластина режущая, обозначение	Геометрические параметры, град			
	γ_d	ψ	η	φ
02114—100412 ГОСТ 19048—80	10	40	40	90
10114—110416 ГОСТ 19065—80	10	9	54	45
03114—150412 ГОСТ 19052—80	7,5	22	67	45

Примечание. Крепление пластин типа «косая тяга» за отверстие.

Установлено, что силы, действующие в направлении схода стружки, возрастают с увеличением глубины (рис. 2) и подачи. Сила P_{τ_2} , действующая перпендикулярно сходу стружки, мала по величине и по сравнению с силами P_{τ_1}, P_N . Поэтому действием силы P_{τ_2} на режущую пластину пренебрегали и напряженное состояние режущего лезвия рассматривали как обобщенное плоское напряженное состояние.

Отмечено, что нормальные и касательные силы в направлении схода стружки отличаются для резцов с пластинами различных форм и геометрических параметров. Суммарная сила F для различных резцов практически одинакова.

Для расчета контактных нагрузок на рабочих поверхностях лезвия пластин установлены параметры срезаемого слоя: эффективная толщина $a_{эф}$, ширина $b_{эф}$ и действительная площадь f_d среза. Эффективную толщину среза определяли в направлении схода стружки как среднюю величину по точкам на радиусном и прямолинейном участках режущей кромки. Действительную площадь срезаемого слоя принимали равной сумме площадей вдоль прямолинейной и радиусной части режущей кромки, а эффективную ширину — как отношение $b_{эф} = f_d / a_{эф}$. Тогда средние контактные нагрузки на передней поверхности лезвия будут

$$\begin{aligned} \text{нормальные} & \quad q_{п\text{ ср}} = P_N / (b_{эф} c_k); \\ \text{касательные} & \quad \tau_{п\text{ ср}} = P_{\tau_1} / (b_{эф} c_k), \end{aligned} \quad (9)$$

где c_k — длина контакта стружки с передней поверхностью.

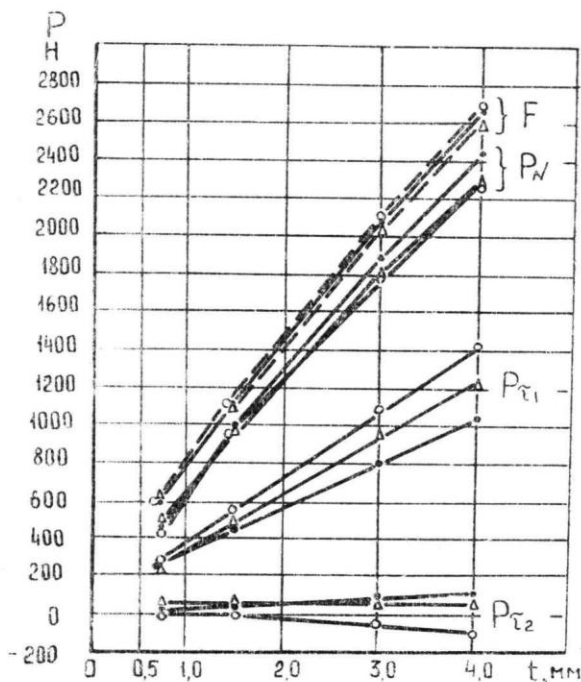


Рис. 2. Влияние глубины резания на силы, действующие перпендикулярно и в направлении схода стружки, для резцов с пластинами различных форм: ● — шестигранной с углом 80°, Δ — пятигранной, ○ — квадратной; $v = 2,22$ м/с, $s = 0,30$ мм/об

Приращения составляющих силы резания вдоль осей X, Y, Z от износа пластины выражены в виде

$$\Delta P_x = q_3 h_3 \Delta X; \quad \Delta P_y = q_3 h_3 \Delta Y; \quad \Delta P_z = \tau_3 h_3 \Delta Z,$$

где q_3, τ_3 — нормальные и касательные контактные нагрузки на задних поверхностях; $\Delta X, \Delta Y$ — проекции режущей кромки на оси X, Y ; ΔZ — длина режущей кромки в плоскости XY ; h_3 — величина износа резца. Тогда средние контактные нагрузки на задних поверхностях лезвия будут

$$\begin{aligned} \text{нормальные} \quad q_{з\text{ ср}} &= [\Delta P_x/\Delta X + \Delta P_y/\Delta Y]/2h_3; \\ \text{касательные} \quad \tau_{з\text{ ср}} &= \Delta P_z/(\Delta Zh_3), \end{aligned} \quad (10)$$

где ΔP_x , ΔP_y , ΔP_z — экспериментально установленные приращения [1].

Проведенные расчеты по (9), (10) показали, что наибольшие нормальные контактные нагрузки характерны для резцов с пластинами шестигранной формы и углом 80° при вершине ($\varphi=90^\circ$), рис. 3. Средние контактные нагрузки на задней поверхности в пределах износа пластины 0,2...0,7 мм различаются незначительно. Средние коэффициенты трения определены через отношения касательных и нормальных контактных нагрузок и изменяются для пластин различных форм в пределах: на передней поверхности 0,4...0,5, на задней — 0,2...0,3.

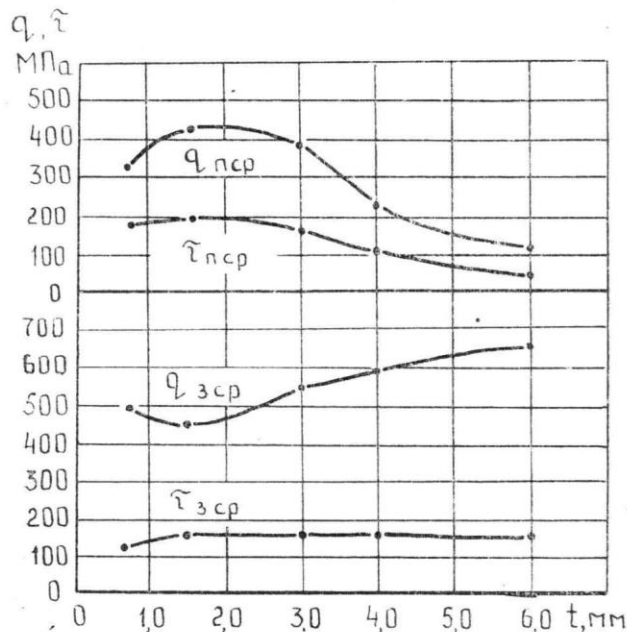


Рис. 3. Влияние глубины резания на средние контактные нагрузки для резцов с пластинами шестигранной формы с углом 80° ; $v=2,22$ м/с, $s=0,30$ мм/об

Абсолютные значения контактных нагрузок ниже характеристик прочности для безвольфрамовых твердых сплавов. С другой стороны, за пределами контактной зоны образуются области значительных по величине растягивающих напряжений и возможно разрушение инструмента под действием силовой нагрузки.

Величину напряжений на передних поверхностях режущих пластин за пределами контактной зоны стружки рассчитывали по формулам [3]. Рассматривали сосредоточенные силы на передней и задней поверхностях, приложенные на некотором расстоянии от вершины режущего клина. Изучали раздельное действие этих нагрузок и применяли принцип суперпозиции для определения суммарных напряжений на передней поверхности. Суммарную силу F на передней поверхности вычисляли по составляющим P_τ и P_N , суммарную силу на задней поверхности — по составляющим F_N , F_τ , которые рассчитывали через средние контактные нагрузки (10).

Анализ показал, что напряжения растяжения в точке за пределами контактной зоны стружки уменьшаются с увеличением расстояния от режущей кромки. Напряжения растяжения возрастают с увеличением глубины (табл. 2), подачи и износа пластины.

Таблица 2

Суммарные напряжения растяжения (МПа) на передней поверхности пластины в зависимости от глубины резания и расстояния от режущей кромки

Расстояние, мм	Глубина резания, мм			
	0,75	1,5	3,0	6,0
0,6	520	850	1040	1220
0,7	450	760	900	1050
1,0	340	630	760	880
1,5	230	440	550	650

Примечание. $v=2,22$ м/с, $s=0,30$ мм/об, $h_3=0,5$ мм.

Специально проведенные опыты показали, что поломки пластин из сплава КНТ16 наступают, когда глубина резания превышает 4,0 мм. При этом расчетные напряжения растяжения на передней поверхности достигают 800 МПа и более. Поэтому сечение срезаемого слоя с учетом результатов проведенных расчетов должно быть ограничено максимальной глубиной резания 3,5...4,0 мм. Величина подачи по этой же причине не должна превышать 0,5 мм/об. Сделанные выводы справедливы для условий непрерывного течения, когда динамические нагрузки на режущий инструмент отсутствуют.

Расчеты сил и контактных нагрузок по предложенной методике позволяют рационально выбрать режимы резания и условия применения резцов, оснащенных прогрессивными инструментальными материалами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грубый С. В., Зверев Е. К. Режущие свойства резцов, оснащенных безвольфрамовыми твердыми сплавами // Вестник машиностроения. — 1983. — № 12. — С. 41—45.
2. Петрушин С. И. Расчет геометрических параметров резцов с многогранными пластинами // Известия вузов. Машиностроение. — 1978. — № 1. — С. 166—172.
3. Лоладзе Т. Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. — М.: Машиностроение, 1982. — 320 с.

Статья поступила 15 ноября 1988 г.