УДК 621.951

Ю.А.НОВОСЕЛОВ, канд. техн. наук,
Н.Н.ПОПОК (НПИ)

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ РОТАЦИОННОГО РЕЗЦА В ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ

Существующие приемы и методы геометрического анализа режущих инструментов для ротационного резания либо вообще неприемлемы в силу его специфичности, либо довольно сложны в практическом применении.

В данной статье предлагается методика геометрического анализа ротационных инструментов, базирующаяся на основных положениях дифференциальной геометрии и векторной алгебры. Эта методика обладает значительно большей общностью по сравнению с известными и позволяет анализировать геометрию в принципе любого инструмента.

Сущность рассматриваемой методики заключается в следующем. На режущей кромке инструмента (в данном случае круглого чашечного резца) в некоторой точке 0 проводим векторы, определяющие кинематику (рис. 1):

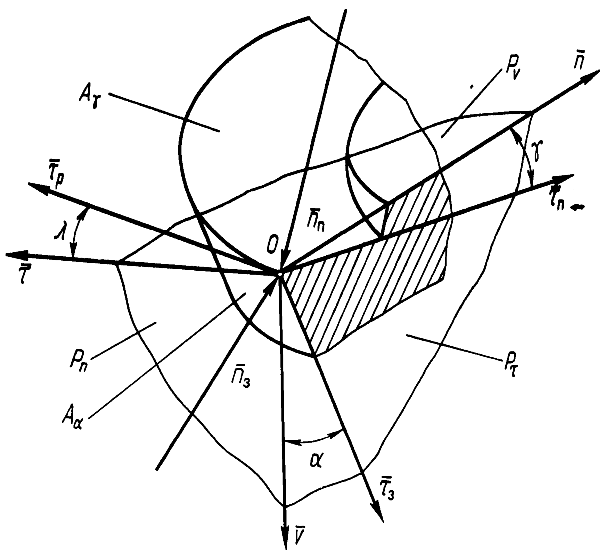

Рис. 1. Кинематические векторы в точке режущей кромки инструмента

вектор $\bar{V}$ скорости главного движения, вектор нормали $\bar{n}$ к поверхности резания, касательный вектор $\bar{\tau}$ к поверхности резания. Векторы $\bar{V}$ и $\bar{n}$ задают главную секущую плоскость P_τ, векторы $\bar{\tau}$ и $\bar{n}$ — основную плоскость P_V и векторы $\bar{\tau}$ и $\bar{V}$ — плоскость резания P_n. Кроме того, проводим векторы, учитывающие форму и расположение режущих кромок и поверхностей инструмента: касательный вектор $\bar{\tau}_p$ к режущей кромке К, нормальный вектор $\bar{n}_п$ к передней поверхности A_γ, нормальный вектор $\bar{n}_з$ к задней поверхности A_α, касательный вектор $\bar{\tau}_п$ к передней поверхности, касательный вектор $\bar{\tau}_з$ к задней поверхности. При этом приняты следующие положительные направления векторов: для вектора $\bar{v}$ — направление скорости движения заготовки; для вектора $\bar{n}$ — направление от заготовки в сторону лезвия инструмента; для вектора $\bar{\tau}$ — такое направление, что если смотреть из конца вектора $\bar{v}$ на основную плоскость, то поворот от вектора $\bar{n}$ до вектора $\bar{\tau}$ происходил бы по часовой стрелке; для векторов $\bar{n}_п$ и $\bar{n}_з$ — направление к соответствующим поверхностям инструмента; для векторов $\bar{\tau}_п$ и $\bar{\tau}_з$ — направление от режущей кромки в сторону инструмента; для вектора $\bar{\tau}_р$ — направление, совпадающее с направлением вектора $\bar{\tau}$.

Определяя передний угол γ через угол между векторами $\bar{n}$ и $\bar{\tau}_п$, задний угол α — через угол между векторами $\bar{v}$ и $\bar{\tau}_з$, угол наклона режущей кромки λ — через угол между векторами $\bar{\tau}$ и $\bar{\tau}_р$, можем выразить их следующим образом:

$$\gamma = \widehat{\bar{n}\,\bar{\tau}_п}, \quad \alpha = \widehat{\bar{v}\,\bar{\tau}_з}, \quad \lambda = \widehat{\bar{\tau}\,\bar{\tau}_р}.$$

По известным соотношениям векторной алгебры можно записать:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{|[\bar{n}\bar{\tau}_п]|}{(\bar{n}\bar{\tau}_п)}; \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{|[\bar{v}\bar{\tau}_з]|}{(\bar{v}\bar{\tau}_з)}; \quad \operatorname{tg}\lambda = \frac{|[\bar{\tau}\bar{\tau}_р]|}{(\bar{\tau}\bar{\tau}_р)}. \qquad (1)$$

Из векторов, входящих в равенства (1), известен только вектор $\bar{v}$ скорости главного движения, поэтому выразим через него векторы $\bar{n}$ и $\bar{\tau}$, а неизвестные векторы $\bar{\tau}_р, \bar{\tau}_п$ и $\bar{\tau}_з$ — через векторы $\bar{v}$, $\bar{n}_п$ и $\bar{n}_з$.

Используя соответствующие формулы и преобразование векторной алгебры, а также учитывая, что направление вектора векторного произведения следует считать положительным тогда, когда поворот от первого вектора-сомножителя ко второму производится по часовой стрелке (в сторону острого угла), если смотреть с конца вектора векторного произведения, можем написать более развернутые векторные выражения для определяемых углов γ, α и λ.

С этой целью представим все используемые нами векторы через их орты (единичные векторы), обозначаемые теми же символами с нулевой индексацией:

$$\bar{v} = |\bar{v}|\bar{v}_0; \quad \bar{n} = |\bar{n}|\bar{n}_0; \quad \bar{\tau} = |\bar{\tau}|\bar{\tau}_0; \quad \bar{n}_п = |\bar{n}_п|\bar{n}_{п0};$$

$$\bar{n}_з = |\bar{n}_з|\bar{n}_{з0}; \quad \bar{\tau}_п = |\bar{\tau}_п|\bar{\tau}_{п0}; \quad \bar{\tau}_з = |\bar{\tau}_з|\bar{\tau}_{з0}; \quad \bar{\tau}_р = |\bar{\tau}_р|\bar{\tau}_{р0}.$$

Покажем преобразования для переднего угла:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{|[\bar{n}_0\bar{\tau}_{п0}]|}{(\bar{n}_0\bar{\tau}_{п0})}. \qquad (2)$$

Так как $\bar{n}_0 \perp \bar{v}_0$ и $\bar{n}_0 \perp \bar{\tau}_{р0}$, а орты $\bar{v}_0$ и $\bar{\tau}_{р0}$ не перпендикулярны, то между этими ортами существует следующая связь:

$$\bar{n}_0 = [\bar{\tau}_{р0}\bar{v}_0]\,a, \qquad (3)$$

где a — некоторый постоянный множитель, учитывающий неперпендикулярность $\bar{v}_0$ и $\bar{\tau}_{р0}$.

Рассуждая аналогично, будем иметь

$$\bar{\tau}_{п0} \perp \bar{\tau}_0; \quad \bar{\tau}_{п0} \perp \bar{\tau}_п \quad и \quad \bar{\tau}_{п0} = [\bar{\tau}_0\bar{n}_{п0}]\,b.$$

Числитель в выражении (2) будет:

$$|[\bar{n}_0\bar{\tau}_{п0}]| = |[\bar{n}_0[\bar{\tau}_0\bar{n}_{п0}]]|b = |\bar{\tau}_0(\bar{n}_0\bar{n}_{п0}) - \bar{n}_{п0}(\bar{n}_0\bar{\tau}_0)|b =$$

$$= |\bar{\tau}|(\bar{\tau}_{р0}\bar{v}_0\bar{n}_{п0})\,ba = ab(\bar{\tau}_{р0}\bar{v}_0\bar{n}_{п0}).$$

Знаменатель примет вид

$$(\bar n_0 \bar\tau_{п0}) = (\bar n_0 \bar\tau_0 \bar n_{п0})\, b = (\bar v_0 \bar n_{п0})\, b,$$

где $[\bar n_0 \bar\tau_0] = \bar v_0$.

В результате получим

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{ab(\bar\tau_{р0} \bar v_0 \bar n_{п0})}{b(\bar v_0 \bar n_{п0})} = a\frac{(\bar\tau_{р0} \bar v_0 \bar n_{п0})}{(\bar v_0 \bar n_{п0})}.$$

Множитель a найдем из выражения (3)

$$a = \frac{|\bar n_0|}{|[\bar\tau_{р0} \bar v_0]|} = \frac{1}{|[\bar\tau_{р0} \bar v_0]|},$$

так как $|\bar n_0| = 1$.

В конечном итоге будем иметь

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{(\bar v_0 \bar n_{п0} \bar\tau_{р0})}{(\bar v_0 \bar n_{п0})\,|[\bar v_0 \bar\tau_{р0}]|}.$$

После умножения числителя и знаменателя на модули векторов-сомножителей получим

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{(\bar v \bar n_п \bar\tau_р)|\bar v|}{(\bar v \bar n_п)|[\bar v \bar\tau_р]|}. \tag{4}$$

Аналогичные результаты будем иметь и для двух других углов:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{(\bar v \bar n_з)|[\bar v \bar\tau_р]|}{(\bar v \bar n_з \bar\tau_р)|\bar v|}; \tag{5}$$

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{(\bar v \bar\tau_р)}{|[\bar v \bar\tau_р]|}. \tag{6}$$

Таким образом, полученные векторные соотношения (4)...(6) имеют простой вид и могут быть использованы как основа для последующих расчетов кинематических углов γ, α и λ при ротационном резании. Кроме того, выражения для углов в общем виде, представляемые через векторы $\bar v$, $\bar n_п$, $\bar n_з$ и $\bar\tau_р$, определяемые кинематикой (вектор скорости $\bar v$), формой и расположением поверхностей (векторы $\bar n_п$ и $\bar n_з$) и режущих кромок (вектор $\bar\tau_р = [\bar n_п \bar n_з]$) инструмента, позволяют производить детальный геометрический анализ любых процессов резания и инструментов.