$$v=\rho c\lambda/(2k^2 a)\cos\bar{\eta}(\cos\bar{\eta}+\sin\bar{\eta})\int\limits_{T_c}^{T_к(s)}\frac{T_к-T_c}{F^2(T_к)}\,dT_к\ . \qquad (12)$$

Здесь учтено, что $F(T_c)\approx\mu\approx 1$. Получив с использованием выражения (12) значение $\bar{\mu}$ для заданной скорости резания, выбираем силу и ее составляющие, которые соответствуют этому $\bar{\mu}$ (на единицу ширины срезаемого слоя).

Расчет по предложенной методике удобно осуществлять с применением ЭВМ, используя стандартные подпрограммы для численного интегрирования и решения нелинейных уравнений. Приведенные на графике (рис. 2) зависимости силы резания и ее составляющих от скорости резания при обработке детали из стали 45 (толщина среза a = 0,2 мм, ширина среза b = 2 мм) достаточно близки к реальному процессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зорев Н.Н. Расчет проекций сил резания. – М., 1958. – 56 с. 2. Куцер В.М. Анализ процесса ортогонального резания с учетом переменных свойств обрабатываемого материала // Машиностроение. – Мн., 1988. – Вып. 13. – С. 8–15. 3. Lee E.H., Shaffer B.W. The theory of plasticity applied to a problem of mashining // Trans. ASME: J. Appl. Mech. – 1951. – No 18. – P. 405–413. 4. Резников А.Н. Теплофизика резания. – М., 1969. – 288 с. 5. Третьяков А.В., Трофимов Г.К., Гурьянова М.К. Механические свойства сталей и сплавов при пластическом деформировании. – М., 1971. – 64 с.

УДК 621.941.025

М.И. МИХАЙЛОВ

КОНТАКТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОПОРНОЙ ГРАНИ РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Дальнейшая автоматизация машиностроительного производства невозможна без автоматизации проектирования оснастки и режущего инструмента, которая требует совершенствования и разработки математических моделей, описывающих показатели прочности и жесткости сборных инструментов. Анализ работ [1, 2] по расчету контактных напряжений в сборном инструменте показывает, что еще недостаточно уделяется внимания анализу связи контактных напряжений с конструктивными и технологическими особенностями инструмента. Кроме того, использованные методики не позволяют учесть всех особенностей сборного инструмента. В настоящее время находит применение численный метод расчета контактных напряжений [3].

Рассмотрим методику расчета на примере канавочного резца. С целью упрощения он проводился по этапам: расчет контактных напряжений между ложементом (подкладкой) и державкой; расчет контактных напряжений между режущей пластиной и ложементом с заменой действия державки контактными напряжениями, полученными из расчетов предыдущего этапа.

Эти расчеты производились по единой математической модели. Для их реализации были разработаны расчетные схемы (рис. 1).

На рис. 1, *а* представлена схема для реализации расчетов первого этапа с выступающей из резцедержателя частью державки *3* (продольное сечение), ложементом *2* и режущей пластиной *1*.

В левой части рис. 1, *а* изображена схема закрепленного резца, действие прихвата заменено распределенной нагрузкой q_1, а зажимных винтов резцедержки – силами P_1–P_4. В процессе резания под влиянием внешней силовой нагрузки (P_z и P_y) все элементы системы крепления получают относительные

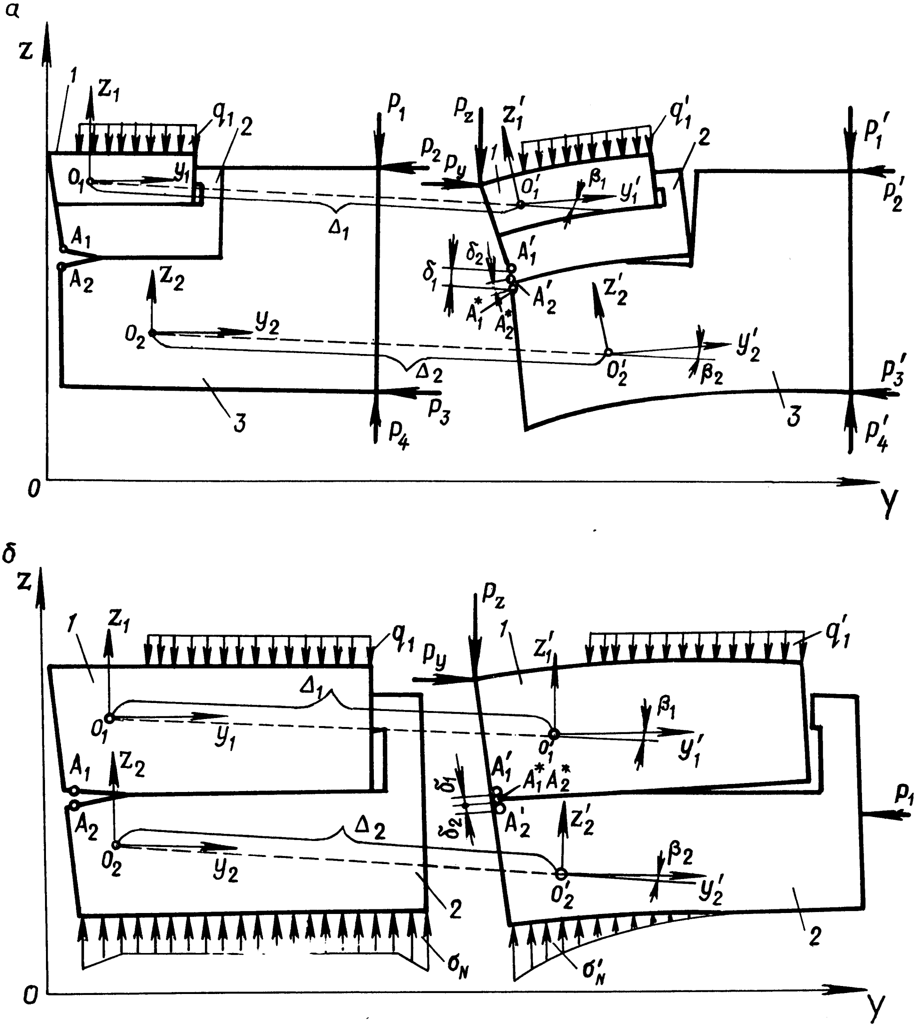

Рис. 1. Схема к расчету контактных напряжений:
а – между державкой и ложементом; *б* – между режущей пластиной и ложементом

перемещения от деформаций и относительных поворотов (правая часть рис. 1, *а*). Для определения относительных перемещений на ложементе и державке были выбраны точки A_1 и A_2, которые под действием сил резания в результате координатных поворотов и смещений займут положения A_1' и A_2', а за счет деформаций системы крепления перейдут соответственно в точки A_1^* и A_2^*. Проекции перемещений, вызванных координатными поворотами и смещениями, на оси общей системы координат ZOY выражаются следующим образом:

$$Z(A_i') = Z(A_i) + \Delta_{iz};$$

$$Y(A_i') = Y(A_i) + \Delta_{iy},$$

где Δ_{iy} и Δ_{iz} – проекции перемещений Δ соответственно на оси Y и Z; $\Delta_{iz} = \Delta_i \cos\beta_j$; $\Delta_{iy} = \Delta_i \sin\beta_j$; β_j – угол поворота системы координат $Z_jO_jY_j$ относительно общей системы координат ZOY; i – порядковый номер рассматриваемых точек ($i = 1, 2$).

Проекции перемещений, вызванных деформациями системы крепления пластин, на оси общей системы координат можно выразить следующим образом:

$$Z(A_i^*) = Z(A_i') - u_i;$$

$$Y(A_i^*) = Y(A_i') - v_i,$$

где u_i и v_i – компоненты перемещений δ_i соответственно вдоль осей Z_j и Y_j.

Принимая во внимание, что условия касания точек имеют вид $Y(A_1^*) = Y(A_2^*)$, $Z(A_1^*) = Z(A_2^*)$, и учитывая связь между системами координат, получим условия совместности перемещений для контактирующих точек державки и ложемента:

$$\begin{cases} Y(A_1) - Y(A_2) = \Delta_{1y} - \Delta_{2y} - \sum\limits_{i=1}^{2} (-1)^i (v_i \cos\beta_j) - u_i \sin\beta_j); \\ Z(A_1) - Z(A_2) = \Delta_{1z} - \Delta_{2z} - \sum\limits_{i=1}^{2} (-1)^i (-v_i \sin\beta_j + u_i \cos\beta_j), \end{cases} \quad (1)$$

где $Y(A_i)$ и $Z(A_i)$ – координаты точек тел в ненагруженном состоянии.

Так как система сил, действующих на резец, известна, перемещения точки A_i на его поверхности можно определить с помощью функций влияния (функции Грина):

$$\begin{cases} v_i = \int\limits_{\xi_d}^{\xi_b} K_\sigma^{(v)} (A, \xi)\sigma(\xi)d\xi + \sum\limits_{m=1}^{n} K_P^{(v)} (A, y_P) P_{jm}; \\ \end{cases} \quad (2)$$

$$u_i = \int\limits_{\xi_a}^{\xi_b} K_\sigma^{(u)}(A, \xi)\sigma(\xi)d\xi + \sum_{m=1}^{n} K_P^{(u)}(A, z_P)P_{jm} ,$$

где $K_\sigma^{(v)}(A, \xi), K_\sigma^{(u)}(A, \xi)$ – функции влияния напряжений σ_N на перемещения точек A_i соответственно в направлениях осей Y и Z под действием силы, приложенной в точке ξ; $K_P^{(v)}(A, y_P), K_P^{(u)}(A, z_P)$ – функции влияния сил P_{jm}, отображающие перемещения точек A_i соответственно в направлениях осей Z и Y от единичной силы, приложенной в этих же точках.

Уравнения равновесия системы будут иметь вид (силы трения не учитываются):

$$\sum_{m=1}^{n} P_{jmy} = e \int\limits_{z_{ja}}^{z_{jb}} \sigma_N dz ;$$

$$\sum_{m=1}^{n} P_{jmz} = e \int\limits_{y_{ja}}^{y_{jb}} \sigma_N dy ;$$

$$\sum_{m=1}^{n} M_j (P_{jm}) = e \int\limits_{y_{ja}}^{y_{jb}} \sigma_N y dy + e \int\limits_{z_{ja}}^{z_{jb}} \sigma_N z dz ,$$

где P_{jmy} и P_{jmz} – проекции внешних сил P_{jm} на оси Y и Z; j, m – соответственно номер тела и силы; σ_N – контактные напряжения; y_{ja} и z_{ja} – координаты начала площадки контакта в системе координат $Z_j O_j Y_j$; y_{jb} и z_{jb} – координаты конца площадки контакта; e – ширина пластины.

Подставив соотношения (2) в условия (1), получим систему интегральных уравнений. С помощью этой системы и уравнений равновесия можно найти неизвестные напряжения в зонах контакта, размеры этих зон, координатные повороты и перемещения резца. При определении этих параметров в условиях различия площадей касания полученная система интегральных уравнений может быть решена только численно. Для этого примем допущения о наличии дискретного контакта между пластиной и ложементом и разделим зону контакта на ряд одинаковых зон Δt_i ($i = 1, 2, ..., k$), а неизвестную функцию распределения контактных напряжений аппроксимируем ступенчатым законом с постоянными напряжениями в зоне i-й точки контакта. В этом случае уравнения примут вид ($j = 1,2$):

$$
\begin{cases}
\sum\limits_{m=1}^{n} P_{jmy} = e \sum\limits_{i=1}^{k} \sigma_i \, \Delta t_{iz} ; \\
\sum\limits_{m=1}^{n} P_{jmz} = e \sum\limits_{i=1}^{n} \sigma_i \, \Delta t_{iy} ; \\
\sum\limits_{m=1}^{n} M_j (P_{jm}) = e \sum\limits_{i=1}^{k} (z_i \, \Delta t_{iz} + y_i \, \Delta t_{iy}) .
\end{cases}
\qquad (3)
$$

Уравнения (2) можно переписать в виде ($l = 1,2,..., k$)

$$
\begin{aligned}
v_{ji} &= \sum_{i=1}^{k} K_{jil}^{(v)} \sigma_{il} \Delta t_l + \sum_{m=1}^{n} K_{jiP}^{(v)} P_{jm} ; \\
u_{ji} &= \sum_{i=1}^{k} K_{jil}^{(v)} \sigma_{il} \Delta t_l + \sum_{m=1}^{n} K_{jiP}^{(u)} P_{jm} ,
\end{aligned}
\qquad (4)
$$

где $K_{jil}^{(u)}$ и $K_{jil}^{(v)}$ – функции влияния, отображающие перемещения соответственно в направлении осей Z_j и Y_j точки тела j в сечении i от единичной силы, приложенной в сечении l.

Эти функции определялись методом конечных элементов. Записывая уравнения (1) с учетом равенства (4) для i площадок ($i = 1,2,..., k$), получим систему из k уравнений с $k + 1$ неизвестными. Решая эту систему совместно с уравнениями равновесия (3), определяем неизвестные контактные напряжения, которые будут использованы при расчете второго этапа – определении контактных напряжений между режущей пластиной и ложементом (рис. 1, *б*).

В левой части рис. 1, *б* ложемент *2* и режущая пластина *1* находятся в условиях зажима, а в правой – в условиях резания, т.е. нагружения силами резания. На них выбраны точки A_1 и A_2 при условии несплошного контакта (при сплошном контакте эти точки можно выбрать на задней поверхности режущей пластины и ложемента). Расчет был произведен по методике, описанной выше.

При исследовании контактных напряжений устанавливалось влияние толщины срезаемого слоя и модуля упругости ложемента на значения и характер этих напряжений. В первом случае к режущей кромке резца прикладывались силы резания, полученные по известной методике [4]. Анализ рис. 2, *а* показывает, что от толщины срезаемого слоя зависят значение и характер изменения контактных напряжений, а также длина l контактирующего участка. При малых толщинах срезаемого слоя ($a = 0{,}1$; $0{,}2$ мм) длина контакта режущей пластины и ложемента увеличивается, что объясняется большим влиянием на контактные напряжения сил зажима пластины. С увеличением толщины срезаемого слоя (a = 1...1,6 мм) контактные напряжения со стороны режущей

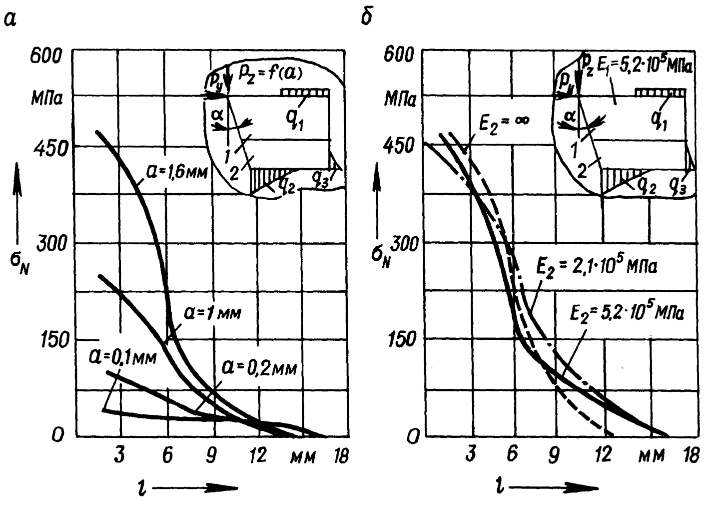

Рис. 2. Распределение контактных напряжений по длине контакта в зависимости от толщины срезаемого слоя (*а*) и модуля упругости материала (*б*)

кромки резко возрастают, а с обратной стороны от режущей кромки уменьшаются до нуля из-за координатных поворотов, перемещений и деформаций режущей пластины с ложементом. Это связано с различием физико-механических характеристик режущей пластины и лежемента, а также с характером и местом приложения нагрузки. При определении влияния физико-механических характеристик ложемента на контактные напряжения в расчетной схеме (рис. 1, *а, б*) модуль упругости ложемента должен иметь значения $E_2 = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа (для конструкционной стали), $E_2 = 5{,}2 \cdot 10^5$ МПа (для твердого сплава) и $E_2 = \infty$. Анализ рис. 2, *б* позволяет заключить, что такое изменение модуля упругости приводит к незначительному изменению контактных напряжений, благодаря чему можно использовать ложемент из термообработанной конструкционной стали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новоселов Ю.А., Михайлов М.И. Расчет контактных напряжений на опорных площадках режущей пластины сборных резцов // Машиностроение. – Мн., 1983. – Вып. 8. – С. 3–5. 2. Хает Г.Л. Прочность режущего инструмента. – М., 1975. – 164 с. 3. Жемочкин Б.Н., Синицын А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. – М., 1962. – 284 с. 4. Зорев Н.Н. Исследование элементов механики процесса резания. – М., 1952. – 178 с.