

УДК 621.91.01

С.И. ТАХМАН, Т.Ю. РАССКАЗОВА

ПРОГРАММА РАСЧЕТА СТОЙКОСТИ ТОКАРНОГО РЕЗЦА НА ЯЗЫКЕ «MATHCAD»

Описаны основные математические модели и последовательность расчета дифференциальных и интегральных характеристик износостойкости твердосплавного режущего клина в известных условиях продольного точения и при заданном критерии износа по задней поверхности.

Программа расчета стойкости токарного резца основана на закономерностях контактных процессов на фаске износа твердосплавного инструмента при известных условиях резания [1], в которые включены физико-механические свойства обрабатываемого и инструментального материалов, геометрические параметры режущего лезвия, режим обработки и заданный критерий износа. Конечно, это наиболее простой случай, но расчетная модель изнашивания, построенная в стабильных условиях токарной обработки и ориентированная на прогнозирование таких физически обоснованных показателей, как интенсивности изнашивания по пути резания в направлении нормали к фаске износа (по толщине удаляемого с контактной поверхности слоя инструментального материала), может использоваться как дифференциальная для оценки любых характеристик износостойкости режущего клина путем соответствующего пересчета или интегрирования при известной нестациональности условий изнашивания. Как показывает практика, износ по задней поверхности для твердых сплавов является практически основным, а выбранная расчетная характеристика позволяет перейти на переднюю поверхность и определять форму лунки на ней по эпюре контактных температур.

Основными расчетными моделями являются структурное уравнение нормальной интенсивности изнашивания по двум вариантам реализации механизма адгезионного износа режущего клина - с разрушением карбидного зерна путем отделения тонких чешуек износа в рабочей высокотемпературной области и с разрушением связки и отрывом целых зерен (может быть реализован в низкотемпературной области).

Первая из них имеет вид

$$\delta_{Ln} = 2.88 \cdot 10^7 \frac{a_3}{L_1} \cdot \frac{\Delta/a_3}{1 + \Delta/a_3} \cdot \left(\frac{\mu' \sigma_{\text{ТОМ}}}{\bar{q}_0 S_{\text{ВО}}^{\text{CB}} K'_\theta} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{\lambda_{\text{ОМ}} C_{\text{ВОМ}} / (\lambda_1 C_{\text{V1}})}}{\bar{q}_0 S_{\text{В}}^{\text{ОМ}} / S_{\text{В}}^1} \right)^4, \quad (1)$$

вторая:

$$\delta_{Ln} = 8 \cdot 10^{-5} \frac{a_3}{L_1} \cdot \frac{\Delta/a_3}{1 + \Delta/a_3} \cdot \frac{\mu' \sigma_{\text{ТОМ}}}{\bar{q}_0 S_{\text{ВО}}^{\text{CB}} K'_\theta} \cdot \left(\frac{\bar{q}_0 S_{\text{В}}^{\text{ОМ}} / S_{\text{В}}^1}{\sqrt{\lambda_{\text{ОМ}} C_{\text{ВОМ}} / (\lambda_1 C_{\text{V1}})}} \right)^2. \quad (2)$$

В этих выражениях a_3 - средний размер карбидного зерна в марке твердого сплава; Δ - средняя толщина прослойки связки в этой марке сплава; μ' - коэффициент трения обрабатываемого материала по фаске износа; $\sigma_{\text{ТОМ}}$, $S_{\text{В}}^{\text{ОМ}}$ - предел текучести и истинный предел прочности обрабатываемого материала; $\lambda_{\text{ОМ}}$, $C_{\text{ВОМ}}$ - его теплопроводность и объемная теплоемкость; $S_{\text{ВО}}^{\text{ОМ}}$ - истинный предел прочности материала связки в используемой марке твердого сплава при комнатной температуре, $K'_\theta = S_{\text{В}}^{\text{CB}} / S_{\text{ВО}}^{\text{CB}}$ - коэффициент, описывающий влияние температуры на истинный предел прочности материала связки; $\bar{q}_0$ - средний коэффициент упрочнения материала связки при его деформировании в контактном слое; L_1 ,

S_b^1 , λ_1 , C_{v1} - единичные показатели длины, истинной прочности, теплопроводности и объемной теплоемкости в тех же единицах, что и соответствующие характеристики процесса (использованы для перевода комплексов в безразмерный вид).

Температурный коэффициент K'_0 для используемых в настоящее время материалов связок в структуре твердых сплавов описывается единой сложной горбообразной кривой $S_b^{cb}/S_{b0}^{cb}=f(T/T_s^{cb})$, подобранная эмпирическая зависимость для которой имеет выражение:

$$K'_0 = S_b^{cb}/S_{b0}^{cb} \cong [1,88 \exp(83,5T/T_s^{cb}) + (6,17T/T_s^{cb})^{38}] \cdot \exp(-88T/T_s^{cb}). \quad (3)$$

Здесь T - температура контакта поверхности, К; T_s^{cb} - температура плавления материала связки с учетом влияния его легирования растворенными элементами карбидных зерен при изготовлении твердого сплава [1], а их отношение представляет собой гомологическую температуру процесса деформирования связки в контактном взаимодействии.

Дальнейший расчет характеристик износостойкости режущего клина проводится по наибольшему значению интенсивности изнашивания, рассчитанному по зависимостям (1) и (2). Поэтому в расчетном смысле варианты реализации адгезионно-усталостного механизма разрушения контактного слоя твердого сплава являются альтернативными.

В качестве общей характеристики температуры фаски износа в процессе ее роста при изнашивании инструмента при наличии сложной эпюры ее распределения в каждый момент времени изнашивания используется среднеинтегральная расчетная температура $\bar{\theta}_3$. Математическая модель ее расчета имеет вид

$$\bar{\theta}_3 = \theta_{30} \cdot F(n), \quad (4)$$

где θ_{30} - температура в начальной точке фаски износа, °С, $F(n)$ - средняя безразмерная температура задней поверхности в зависимости от нормированной фаски износа $n = h_3/l_1$, где h_3 - текущая ширина фаски износа, l_1 - длина участка предварительного разогрева обрабатываемого материала в очаге пластического деформирования. Эти величины рассчитываются по зависимостям

$$\theta_{30} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{q}_{om} S_b^{om} \sqrt{m_{v1} \cdot v \cdot l_1 / (\lambda_{om} \cdot C_{vom})}; \quad (5)$$

$$\bar{F}(n) = \frac{2}{3} \left[\sqrt{1+n} + \frac{\sqrt{1+n}-1}{n} - \left(1 - \frac{\mu' \sigma_{tom}}{\bar{q}_{om} S_b^{om} m_{v1}} \right) \sqrt{n} \right]; \quad (6)$$

$$l_1 = \frac{3\lambda_{om}}{C_{vom} \cdot m_{v1} \cdot v \cdot \sin^2 \Phi / 2} + \rho \frac{1 + \sin \gamma}{\cos \gamma}; \quad (7)$$

$$m_{v1} = 1/K_{ck} = [(\zeta + 1/\zeta - 2 \sin \gamma) / \cos \gamma]^{(0,2+\delta/3)}; \quad (8)$$

$$\sin \Phi \approx K_{ck} \cdot \sin \left(\arctg \frac{\cos \gamma}{\zeta - \sin \gamma} \right), \quad (9)$$

где γ - передний угол режущего клина, ζ - усадка стружки в заданных условиях резания. По данным работы [2] для конструкционных углеродистых и малолегированных сталей величина $\bar{q}_{om}$ без больших погрешностей может быть приравнена к 1.

Программа расчета длины пути резания на периоде стойкости L^* токарного твердосплавного резца на языке «Mathcad» реализована для использования в учебном процессе, как позволяющая студентам наиболее наглядно почувствовать взаимосвязи и внутреннюю самонастройку в системе резания.

Длина пути резания L^* определяется по упрощенной кривой нарастания износа по пути резания, где число участков с различными интенсивностями изнашивания определяется соотношением критерия износа к длине $l_1 \cdot n^* = h_K / l_1$. Принято, что «стабильный» участок фаски износа, где средняя контактная температура остается приблизительно постоянной, имеет определенный диапазон нормированных значений, связанных с координатой точки минимума температурной кривой $n_{\min}$ по зависимости (6). Такая точка располагается на координате

$$n_{\min} = 0,403 \left(\frac{\mu' \sigma_{\text{ТОМ}}}{\bar{q}_{\text{ОМ}} S_B^{\text{ОМ}} m_{v1}} \right)^{-1,36} \quad (10)$$

при величине выражения в скобках не выше 0,293 (наиболее часто встречающийся случай). Тогда координаты начала и конца стабильного участка равны:

$$n_{c1} \approx 0,6n_{\min}; \quad n_{c2} \approx 3,3n_{\min},$$

а их сравнение со значением n^* определяет число участков температурной кривой изнашивания:

- при $n^* > n_{c2}$ таких участков три;
- при $n_{c2} > n^* > n_{c1}$ – два участка;
- при $n_{c1} > n^*$ – участок один.

Средние температуры на этих участках определяются по известной температуре θ_{30} в начальной точке фаски износа, рассчитанной по выражениям (4)–(6) и величине n^* температуре конечной точки этой фаски $\bar{\theta}_K^*$ и температуре стабильного участка $\bar{\theta}_{3c}$, найденной по выражениям

$$\bar{F}(n_{\min}) = 1,18 \left(\frac{\mu' \sigma_{\text{ТОМ}}}{\bar{q}_{\text{ОМ}} S_B^{\text{ОМ}} m_{v1}} \right)^{0,39}; \quad (11)$$

$$\bar{\theta}_{3c} = 1,02\theta_{30} \cdot \bar{F}(n_{\min}) = 1,2\theta_{30} \left(\frac{\mu' \sigma_{\text{ТОМ}}}{\bar{q}_{\text{ОМ}} S_B^{\text{ОМ}} m_{v1}} \right)^{0,39}. \quad (12)$$

Выражения (10) и (11) получены математической обработкой результатов анализа уравнения (6).

На каждом участке кривой изнашивания оценивается средняя температура, для чего предложены модели

$$\bar{T}_{31} = 293 + 0,2(2\theta_{30} + 3\bar{\theta}_{3c}); \quad (13)$$

$$\bar{T}_{32} = 293 + \bar{\theta}_{3c}; \quad (14)$$

$$\bar{T}_{33} = 293 + (2\bar{\theta}_K^* + \bar{\theta}_{3c}). \quad (15)$$

По этим средним температурам определяются средние интенсивности изнашивания, задающие углы наклона линейных участков кривой нарастания износа по пути резания, по которым оцениваются пройденные резцом расстояния до момента достижения соответст-

вующей разности величин износа. Сумма этих расстояний на всех участках кривой изнашивания задает интегральную характеристику износостойкости - длину пути резания на периоде стойкости инструмента. Сам период стойкости равен отношению найденного значения L^* к скорости резания.

Описанный алгоритм расчета показывает, что, хотя расчет относится к процессу изнашивания задних поверхностей инструмента, результат в большей мере зависит от уровня конечной степени деформации стружки, представленной ее кинематической характеристикой - величиной усадки.

Усадка стружки на заданном режиме формируется в результате самонастройки системы резания [3] и при расчете характеристик износостойкости должна быть известна, т.к. она входит в модели расчета контактной температуры на задней поверхности инструмента (5)-(12).

Таким образом, прослеживаются термомеханические связи процессов на задних поверхностях с процессами на передней поверхности инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тахман С.И. Режимы резания и закономерности изнашивания твердосплавного инструмента. - Курган:Изд-во Курганского гос.ун-та, 2001. -169 с.
2. Кушнер В.С. Основы теории стружкообразования. Кн.2. Теплофизика и термомеханика резания: Учеб.пособие.-Омск: Изд-во ОмТГУ, 1996. -136 с.
3. Тахман С.И. Моделирование конечной степени деформации в условиях сливного стружкообразования (о механизме самонастройки процесса резания)/ Сб. «Прогрессивные технологические процессы в машиностроении». -Томск: Изд-во ТПУ, 1997. С.56-62.

Курганский государственный университет

УДК 621.91

И.А. ЕФИМОВИЧ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА

Приведены результаты экспериментальных исследований деформаций и напряжений в режущей части инструмента, полученных новым методом лазерной интерферометрии. Описана практическая реализация предложенного метода, позволяющего проводить исследования режущей части инструмента, выполненного из реального инструментального материала в реальных условиях динамического процесса резания.

Для практических исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) существует много различных методов. В первую очередь, это использование различного вида тензометров [1]: механических, оптико-механических, индуктивных, струнных (вибросчастотных), пневматических, электрического сопротивления (тензорезисторов). Причем последние из перечисленных нашли наибольшее распространение. Однако использование тензометров для исследования НДС в режущей части инструмента весьма затруднено по следующим причинам. Исследуемая область режущей части имеет малые размеры, а тен-