



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.055

В.И. Коняшкин

Брянская инженерно-технологическая академия

Коняшкин Владимир Ильич родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Брянский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообработки Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 80 печатных работ в области деревообработки.
E-mail: Konyashkinbgita@bk.ru



ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ УПРОЧНЕННОГО ИНСТРУМЕНТА

Получены зависимости напряжений в упрочненном резце при действии на его режущую часть остаточных напряжений и нагрузок от сил резания.

Ключевые слова: напряжения, упрочнение, режущая часть, нагрузка, анализ.

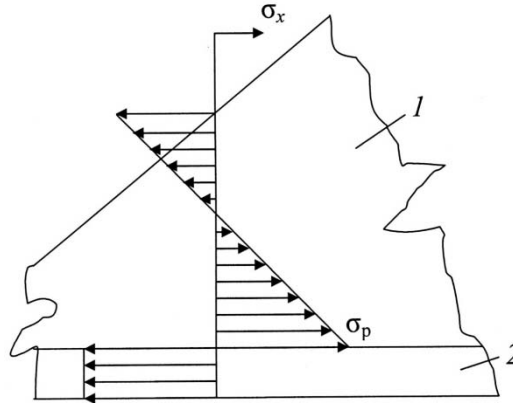
Применение упрочняющих технологий для улучшения физико-механических свойств инструментальных материалов является резервом повышения работоспособности режущих инструментов. При этом увеличивается продолжительность их работы, экономится инструментальный материал, снижаются затраты.

Известные методы поверхностного упрочнения инструмента связаны с температурной нагрузкой на его режущую часть (резец), в результате чего возникают остаточные температурные напряжения. Наряду с этими методами используют конденсацию вещества в вакууме из высокоскоростных потоков плазмы с ионной бомбардировкой плазменного конденсата на подложку (метод КИБ). Он имеет ряд преимуществ, основное из которых – однородность упрочненного слоя.

При обработке различных материалов (фрезерованием, пилением, точением, сверлением и др.) в режущей части инструмента возникают нормальные и касательные напряжения. Наступление предельного состояния связано с касательными (критерий зарождения, возникновения трещин) и нормальными (критерий их распространения) растягивающими напряжениями.

Например, при точении металлов актуален вопрос предохранения передней (или задней) поверхности резца при его контакте со стружкой. Этот вопрос должен решаться с учетом внутренних остаточных напряжений и напряжений от сил резания. Форму эпюр этих напряжений, их знак необходимо учитывать при выборе метода и поверхности упрочнения режущей части

Рис. 1. Расчетная схема распределения напряжений в режущей части упрочненного резца: 1 – резец, 2 – упрочненный слой



инструментов [1, 4]. Идеальный случай, когда алгебраическая сумма от сложения данных напряжений равна нулю. Исследованиями напряжений в упрочненных слоях режущих инструментов на практике занимались А.С. Верещак и И.П. Третьяков [1].

Перед нами стояла задача оценки напряжений в режущей части упрочненного режущего инструмента при действии на него внешних нагрузок и остаточных напряжений с получением аналитических зависимостей напряжений в упрочненном резце при действии нагрузки на переднюю грань.

Сделанный нами ранее анализ напряжений в режущей части однородного резца [2] позволяет перейти к расчету напряжений в упрочненном резце и учесть наличие остаточных температурных напряжений, возникающих в нем после упрочнения. Для этого будем полагать, что распределение напряжений в резце можно аппроксимировать линейной зависимостью

$$\sigma_x(x, y) = \sigma_x(x, 0) \left(1 - A(x) \frac{y}{\Delta(x)} \right), \quad (1)$$

где $\sigma_x(x, 0)$ – напряжение на передней поверхности резца;

$A(x)$ – коэффициент пропорциональности;

$\Delta(x)$ – толщина резца в сечении x .

Обозначим: σ_n – напряжение вдоль оси x в упрочненном слое (покрытии); $\sigma_p(x)$ – напряжение вдоль оси x в резце на границе упрочненный слой–резец. Скачок напряжений на этой границе объясняется различием модулей упругости и остаточными температурными напряжениями.

По толщине упрочненного слоя распределение $\sigma(x, y)$ близко к постоянному значению. Расчетная схема напряжений в упрочненном резце приведена на рис. 1.

Если предположить, что при температуре, равной температуре упрочнения (нанесения покрытия), в нем отсутствует температурное напряжение, т.е. формирование упрочненного слоя полностью завершилось, то относительное удлинение этого слоя может быть задано выражением

$$\varepsilon_{\text{п}} = \frac{\sigma_{\text{п}}}{E_{\text{п}}} + \alpha_{\text{п}}(T - T_0), \quad (2)$$

где $E_{\text{п}}$ – модуль упругости материала упрочненного слоя;
 $\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент температурного расширения упрочненного слоя;
 T – текущая температура среды нанесения;
 T_0 – температура упрочнения резца.

Аналогично запишем для резца на границе с упрочненным слоем:

$$\varepsilon_{\text{р}} = \frac{\sigma_{\text{р}}}{E_{\text{р}}} + \alpha_{\text{р}}(T - T_0), \quad (3)$$

где $E_{\text{р}}$ – модуль упругости материала резца;
 $\alpha_{\text{р}}$ – коэффициент температурного расширения резца.

Из условия неразрывности на границе резец–упрочненный слой следует, что $\varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{р}}$, т. е.

$$\frac{\sigma_{\text{р}}}{E_{\text{р}}} + \alpha_{\text{р}}(T - T_0) = \frac{\sigma_{\text{п}}}{E_{\text{п}}} + \alpha_{\text{п}}(T - T_0). \quad (4)$$

Уравнение равновесия сил в проекции по оси x

$$\sigma_{\text{п}}\delta + \int_0^{\Delta} \sigma(x, y)dy + \int_0^x \tau(\xi)d\xi = 0,$$

где δ – толщина упрочненного слоя, $\delta \ll \Delta$.

Уравнение моментов относительно точки с координатами $(x, 0)$

$$\int_0^{\Delta} \sigma(x, y)ydy + \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi - \delta \int_0^x \tau(\xi)d\xi = 0,$$

где моментом сил в покрытии, имеющем порядок δ^2 , можно пренебречь.

Аппроксимируя значения $\sigma(x, y)$ в резце функцией вида (1), получим замкнутую систему уравнений относительно $\sigma_{\text{п}}$, $\sigma_{\text{р}}$ и A , которая аналогична системе уравнений в [2] для однородного резца без температурных напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{р}}\Delta \left(1 - \frac{A}{2}\right) + \sigma_{\text{п}}\delta &= - \int_0^x \tau(\xi)d\xi; \\ \alpha_{\text{р}}\Delta^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\right) &= - \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi + \delta \int_0^x \tau(\xi)d\xi; \\ \frac{\sigma_{\text{р}}}{E_{\text{р}}} + \alpha_{\text{р}}(T - T_0) &= \frac{\sigma_{\text{п}}}{A_{\text{п}}} + \alpha_{\text{п}}(T - T_0), \end{aligned}$$

Решим эту систему, пренебрегая членами, имеющими порядок δ^2 :

$$\sigma_{\text{р}} = \sigma_{\text{р}1} + \sigma_{\text{р}2} + \sigma_{\text{р}3};$$

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}1} + \sigma_{\text{п}2} + \sigma_{\text{п}3},$$

где $\sigma_{\text{р}1}$ – напряжение в резце на границе его с покрытием за счет действия нормальных нагрузок,

$$\sigma_{p^1} = -\frac{6\left(1 - K - 4\frac{\delta}{\Delta}\right)}{\Delta^2} \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi; \quad (5)$$

σ_{p^2} – напряжение за счет действия касательных нагрузок,

$$\sigma_{p^2} = -\frac{4}{\Delta} \left(1 - K - \frac{5\delta}{2\Delta}\right) \int_0^\xi \tau(\xi)d\xi; \quad (6)$$

σ_{p^3} – остаточное напряжение при изменении температуры резца от T_0 до T ,

$$\sigma_{p^3} = \frac{4\delta}{\Delta} (\alpha_p - \alpha_n)(T - T_0)E_n; \quad (7)$$

K – параметр инструментального материала с покрытием,

$$K = 4(E_n - E_p) \frac{\delta\Delta}{E_p};$$

$$\sigma_{n^1} = \frac{\sigma_{p^1} E_n}{E_p}; \quad (8)$$

$$\sigma_{n^2} = \frac{\sigma_{p^2} E_n}{E_p}; \quad (9)$$

$$\sigma_{n^3} = -(\alpha_p - \alpha_n)(T - T_0)E_n \left(1 - K - 4\frac{\delta}{\Delta}\right). \quad (10)$$

Сравнение формул (5) и (6) с формулами (11) и (12), полученными в работе [2] (где σ_1 и σ_2 – напряжение на передней поверхности резца с однородной структурой соответственно под действием нормальных и касательных внешних нагрузок)

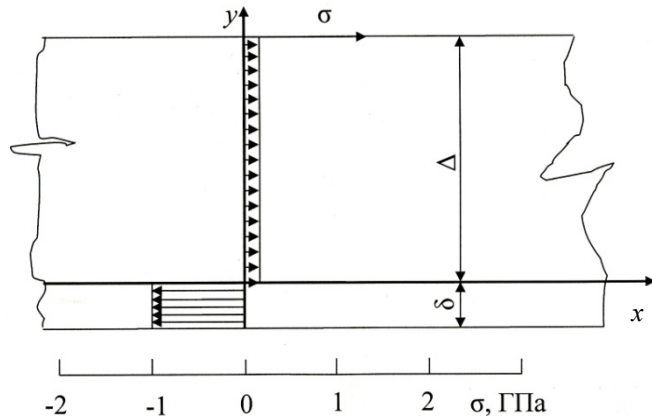
$$\sigma_1 = \frac{6 \int_0^x g(\xi)(x - \xi)d\xi}{\Delta^2(x)}; \quad (11)$$

$$\sigma_2 = -\frac{4 \int_0^x \tau(\xi)d\xi}{\Delta(x)}, \quad (12)$$

показало, что влияние неоднородности материалов резца и упрочненного слоя определяется параметром K .

При $K = 0$, когда упругости материалов резца и упрочненного слоя совпадают, отличие формул (5) и (6) от формул (11) и (12) объясняется тем, что при наличии слоя (покрытия) точка, в которой определяют напряжение в резце, лежит на глубине δ от поверхности, где действуют внешние силы, а на этой глубине напряжение σ_x уменьшается в соответствии с формулой (1).

Рис. 2. Схема эпюры остаточных температурных напряжений вблизи передней поверхности резца с покрытием из нитрида титана



Обычно $E_n \approx (25...45) \cdot 10$ ГПа, а $E_p \approx (40...60) \cdot 10$ ГПа, т.е. может наблюдаться условие $K < 0$. Это означает, что упрочнение (нанесением покрытия) увеличивает напряжение σ_x по сравнению со случаем, когда резец и нанесенный на него слой были выполнены из одинакового материала. При толщине покрытия 3...5 мкм и толщине резца порядка 1 мм параметр $K \approx 10^{-2}$, т.е. влиянием неоднородности материалов покрытия и резца на напряжение в нем можно пренебречь и для расчета этих напряжений использовать формулы (11) и (12). При степенном распределении внешних нагрузок применяют формулы, которые приведены в работе [2].

Для оценки остаточного температурного напряжения в резце по формуле (7) исходим из того, что $\alpha_p \approx (5...9) \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, а для покрытия из нитрида титана $\alpha_n \approx 10^{-5}$ град $^{-1}$. Если принять, что $T = 873$ К (600 °С), $T_0 = 293$ К (20 °С), то при $\delta = 5$ мкм и $\Delta = 1$ мм имеем $\sigma_x = 0,1$ ГПа. Это существенно ниже предела прочности при растяжении инструментальных материалов. Следует отметить, что остаточное напряжение уменьшает, хотя и незначительно, прочность резца при внешних нагрузках, которые обычно вблизи передней его поверхности создают растягивающее напряжение, т.е. имеют тот же знак, что и остаточное температурное напряжение. По формуле (10) остаточное напряжение в резце для материалов с указанными выше свойствами составляет $\sigma_{пз} = -(1,0...1,5)$ ГПа, что сравнимо с пределом прочности нитрида титана на сжатие.

На рис. 2 схематически показана расчетная эпюра остаточных температурных напряжений в резце и покрытии для материалов с указанными свойствами. Эпюра хорошо согласуется с экспериментальными данными, приведенными в работе [4].

Выводы

1. При температурном поверхностном упрочнении в упрочненном слое возникает остаточное напряжение (10), частично компенсирующее растягивающее напряжение от действия нагрузок.

2. Оценка напряжений по формулам (8), (9) показывает, что они для обычно применяющихся инструментальных материалов примерно в 2 раза меньше, чем вблизи передней поверхности резца.

3. Если предел прочности упрочненного слоя (покрытия) меньше, чем у материала резца, то эффект от упрочнения может произойти только при наличии в слое остаточного температурного напряжения, которое компенсирует напряжения, создаваемые внешними нагрузками.

4. Полученные зависимости могут быть использованы для оценки методов упрочнения инструментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верещака, А.С.* Режущие инструменты с износостойкими покрытиями [Текст] / А.С. Верещака, И.П. Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с.

2. *Коняшкин, В.И.* Напряженное состояние режущей части инструмента [Текст] / В.И. Коняшкин // Лесн. журн. – 2006. – № 2. – С.74–89. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Моисеев, А.В.* Износостойкость дереворежущего инструмента [Текст] / А.В. Моисеев. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 111 с.

4. *Этингант, А.А.* Исследование влияния технологических параметров процесса конденсации вещества в вакууме с ионной бомбардировкой (КИБ) на работоспособность режущих инструментов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Этингант А.А. – М., 1980. – 16 с.

Поступила 18.02.08

V.I. Konyashkin

Bryansk State Engineering-Technological Academy

Theoretical Strain Analysis of Cutting Part of Hardened Tool

The dependencies of strains in the hardened cutter are obtained under effect of residual stress and loads from the cutting force on its cutting part.

Keywords: stresses, hardening, cutting part, analysis, load.
