

УДК 621.8

Теоретическое обоснование эффекта самозатачивания

Гусев С.В., Гусев А.С.

В статье показано, что одностороннее упрочнение, в результате которого получен режущий клин с закономерно и монотонно меняющейся твердостью по толщине клина, позволяет повысить стойкость инструмента в процессе работы. Дано объяснение процессу и приведено уравнение самозатачивания.

Ключевые слова: самозатачивание, одностороннее упрочнение, уравнение самозатачивания.

Еще в конце 1-го тысячелетия нашей эры на Руси появились ножи с многослойным самозатачивающимся лезвием, средняя часть которого изготовлялась из высокоуглеродистой стали, а наружные – из железа.

В работе более мягкий материал стирался, а стальная пластина выступала из лезвия, и нож оставался острым [1]. К началу XII века в связи с развитием широкого производства ножей сложная технология изготовления многослойных ножей была вытеснена более простой – производством ножей с наварным стальным лезвием. Игнатьев А.М. в 1926 году изобрел самозатачивающийся режущий инструмент, рабочая часть которого состояла из нескольких металлических слоев разной

твердости. Инструмент был запатентован в СССР и ряде зарубежных стран, но из-за сложности этот способ распространения не получил.

Самозатачивание режущего инструмента достигается в том случае, если созданы условия одинакового по величине износа, механизм «беличьего зуба» (рис. 1).

В процессе резания края лезвия изнашиваются быстрее, так что радиус закругления режущей кромки и угол заострения остаются постоянными. Создание режущего элемента с такой структурой крайне затруднительно. Даже применение диффузионной сварки пакета тонких пластин (рис. 2) [2] не обеспечивает сплошного и надежного соеди-

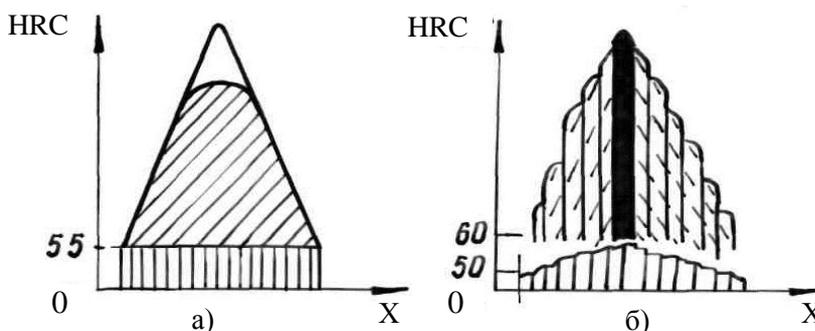


Рис. 1. Механизм износа
а) обычного зуба; б) «беличьего зуба»

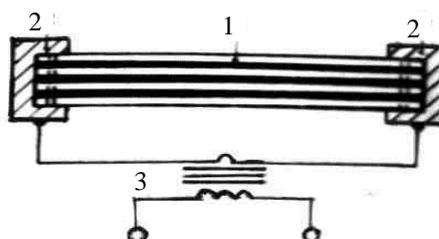


Рис. 2. Пакет пластин, сваренных диффузионной сваркой
1 - блок, 2 - зажимы, 3 – трансформатор

нения по всей поверхности, тем более, что в центральных пластинах высоко содержание углерода.

Решение было найдено нами в том, что упрочняющая обработка была проведена лишь с одной стороны. В результате был получен режущий клин с закономерно и монотонно меняющейся твердостью по толщине клина. Первые же испытания показали резкое повышение стойкости инструмента и поддержание в процессе работы правильного профиля инструмента. Этот процесс можно представить в следующем виде (рис.3)

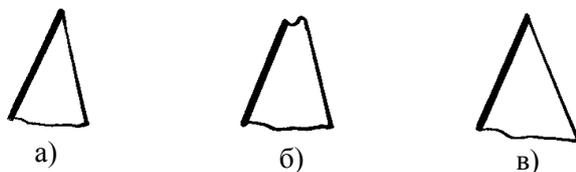


Рис. 3. Изменение профиля зуба в процессе работы

На первой стадии происходит излом вершины, т.к. она при высокой твердости обладает невысокой прочностью (рис. 3, а).

На втором этапе происходит изнашивание неупрочненной части зуба (рис. 3, б).

На третьем этапе зуб принимает первоначальную форму, т.е. происходит самозатачивание (рис. 3, в). Это подтверждают полученные в результате эксперимента данные.

Очевидно, что условие самозатачивания обеспечивается тем, что сохраняется постоянство угла заострения β . Для этого необходимо равенство скоростей изнашивания всех слоев зуба от самого твердого до самого мягкого (рис. 4).

Исходя из наиболее вероятной гипотезы о параболическом законе распределения рабочих напряжений на передней грани зуба (ввиду образования опережающей трещины перед вершиной резца и быстрого падения давления вследствие деформации и дробления стружки), можно представить переменный характер ведущего механизма изнашивания по различным участкам передней грани (рис. 5).

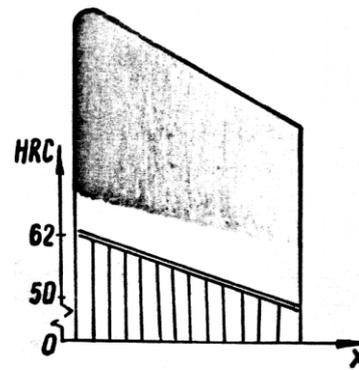


Рис. 4. Распределение твердости по сечению самозатачивающегося режущего элемента

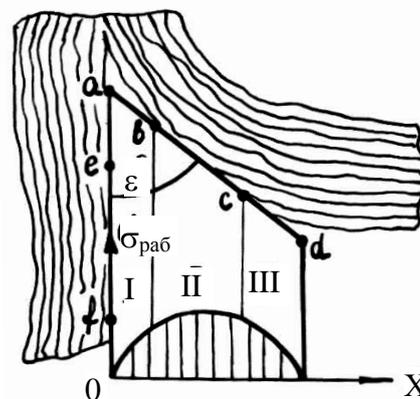


Рис. 5. Схема самозатачивания

На участке «ab» (зона I) износ вызывается редкими соприкосновениями обрабатываемого материала с резцом в моменты, следующие за сколом стружки, а также вследствие поперечных колебаний инструмента. Однако, высокая температура из-за отсутствия теплоотвода в вершине резца ускоряет износ, облегчая в то же время хрупкий скол по мере уменьшения угла ε вследствие ускоренного износа соседних слоев. Таким образом, вблизи вершины на участке «ab» преобладают окислительный и тепловой износы, и в меньшей степени проявляются усталостные разрушения вследствие вибраций.

На участке «bc» (зона II) развиваются наибольшие рабочие напряжения и довольно высокая температура, протекают окислительный, тепловой и абразивный износ, но усталостное выкрашивание становится несущественным.

На участке «*cd*» (зона III) превалирует абразивный износ, причем его интенсивность быстро падает по мере удаления от вершины зуба. Окислительный и тепловой износ играют лишь незначительную роль. Наконец, по задней грани протекает интенсивный абразивный износ, сопровождающийся на участке «*ae*» тепловым и окислительным износами, быстро ослабляющимися на участке «*ef*».

Для обеспечения самозатачивания необходимо соблюдение равенства скоростей изнашивания во всех трех зонах: I, II, III, т.е. $I_I = I_{II} = I_{III}$ при минимальном износе по задней грани.

Тепловое изнашивание зависит от развивающейся температуры и может быть представлено в виде:

$$I_{\text{менл}} = \frac{AV^n}{\lambda \sin \beta \cdot \sin \varepsilon} \cdot e^{-\frac{Q}{RT}}, \quad (1)$$

где V – скорость резания;

λ – коэффициент теплопроводности;

Q – энергия активации;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура;

β – угол заострения резца;

ε – угол при вершине резца.

A и n – постоянные, зависящие от обрабатываемого материала инструмента.

Окислительное изнашивание зависит в первую очередь от показателя кислотности pH , рабочей температуры и коррозионной стойкости инструментального материала.

$$I_{\text{окисл}} = \frac{B \cdot V^n \cdot pH}{S_k \cdot \tau_k}, \quad (2)$$

где S_k – показатель коррозионной стойкости инструментального материала;

τ_k – напряжение сдвига, необходимое для скалывания окисной пленки.

Усталостное изнашивание резца есть следствие изломов в результате изгибных колебаний истонченной вершины. Изгибающие напряжения в плоскости наименьшей жесткости составляют:

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{6qx^2b}{2bh^2} = \frac{3qx^2}{2h^2}. \quad (3)$$

Так как $h = x \operatorname{tg} \varepsilon$, то

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{3q}{2\operatorname{tg}^2 \varepsilon}, \quad (4)$$

где q – удельное давление на резец.

Из формулы (3) видно, что напряжения главным образом зависят от прочности обрабатываемого материала ($q = \sigma_{\text{вс}}$ древесины) и от угла при вершине резца (зуба). Если в результате вноса по передней грани на участке «*ab*» произойдет уменьшение угла ε , то сразу же возрастут изгибающие напряжения и при условии $\sigma_{\text{из}} \geq \sigma_{-1}$ начнется усталостное повреждение режущей кромки. Отсюда повреждение режущей кромки можно записать, что

$$I_{\text{уст}} = \frac{D \cdot E \cdot q \cdot V^p}{\sigma_{-1} \cdot \operatorname{tg}^2 \varepsilon}, \quad (5)$$

где σ_{-1} – предел выносливости инструмента,

q – удельное давление резания,

V – скорость резания,

D, p – постоянные.

Видно также, что из-за высокой температуры наиболее частые сколы должны происходить в непосредственной близости от вершины, где материал резца ослаблен нагревом. Для повышения усталостной прочности целесообразно повысить твердость резца и обеспечить получение сжимающих напряжений, как по передней, так и по задней граням.

Абразивный износ можно выразить следующей зависимостью:

$$I_{\text{абр}} = \frac{C \cdot V^k}{(HRC)^m}, \quad (6)$$

где C – коэффициент, зависящий от свойств древесины, плотности и природы абразивных частиц;

V – скорость резания;

HRC – твердость материала резца;

k, m – постоянные.

Учитывая, что наиболее разнообразно нагруженной оказывается II-я зона, можно

условие самозатачивания в первом приближении можно записать так:

$$I_I = I_{III}, \quad (7)$$

и представить в следующее, виде:

$$I_{\text{тепл}} + I_{\text{окисл}} + I_{\text{уст}} = I_{\text{абр}}. \quad (8)$$

В тот момент, когда зона II начнет выступать над прямой «ad», условие ее работы резко ухудшится, и она быстро изнашивается до среднего уровня.

Подставив значение составляющих, получим общее уравнение самозатачивания:

$$\frac{AV^n}{\lambda \sin \beta \cdot \sin \varepsilon} \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} + \frac{B \cdot V^n \cdot pH}{S_\kappa \cdot \tau_\kappa} (T_I - T_{III}) + \frac{D \cdot E \cdot q \cdot V^p}{\sigma_{-1} \cdot tg^2 \varepsilon} = \frac{C \cdot V^\kappa}{(HRC)^m} \quad (9)$$

Ввиду того, что повышение твердости за счет увеличения объема карбидной фазы в различной степени одновременно повышает сопротивление тепловому, окислительному и абразивному изнашиванию, можно подобрать оптимальный градиент по толщине зуба.

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2011 г.

The article shows that a unilateral hardening, resulting in the obtained rehash wedge with natural and monotonically varying hardness over the thickness of the wedge can increase tool life in the process. The explanation of the process and given equation self-sharpening

Keywords: self-sharpening, unilateral hardening equation self-sharpening.

Гусев Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Гусев Алексей Сергеевич – студент Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Естественно, что при изменении условий работы инструмента, изменится и оптимальный градиент твердости. Эти условия могут служить объектом оптимизации. Численные значения входящих параметров определяются из граничных условий задачи.

Литература

1. Б.С.Э. изд. 3. том 18.
2. Антейн А.К. Дамасская сталь в странах бассейна Балтийского моря. – Рига: Зинатне. 1973.
3. Гусев С.В., Гусев А.С. Оценка роли вибрационных и термоциклических напряжений в процессе изнашивания инструментального материала // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*. 2011. № 1. С. 25-27.
4. Гусев С.В., Гусев А.С. Общее уравнение износа режущего инструмента при резании древесины // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*. 2010. № 7. С. 94-96.