

2. Полученные зависимости вскрывают возможные пути для повышения культуры подготовки дереворежущих инструментов и увеличения их срока службы.

А. В. Моисеев

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ИЗНОС ДЕРЕВЕРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Процесс износа дереворежущего инструмента — сложный комплекс явлений, связанных между собой очень сложными связями. Объяснить износ инструмента можно только с позиций явлений, происходящих на стыках ряда наук: теории резания древесины, металловедения, теплофизики, сопротивления материалов, теории трения, химии древесины, механо-химии, электрохимии. На основании проведенного нами анализа работ в области износа при резании древесины, при трении, при резании металла, из работ в области коррозии и окисления металла можно предположить, что износ является результатом сложения следующих его составляющих:

1. Механический износ: хрупкое разрушение лезвия, пластическое разрушение лезвия, абразивный износ, усталостный износ, износ типа фреттинг-коррозии (автоабразивный износ).

2. Тепловой износ: размягчение и оплавление лезвия, изменение структуры металла под влиянием высокой температуры, адгезионное схватывание, коалесценция карбидов и их выкрашивание, микродиффузионные процессы, ведущие к изменению структуры металла.

3. Химический износ: взаимодействие металла инструмента и обрабатываемого материала, взаимодействие металла инструмента с атмосферой, химическое вытравливание под напряжением, механо-химический износ.

4. Электрохимический износ и электроэрозионный износ.

Удельный вес отдельных составляющих износа в значительной степени зависит от режимов резания, от свойств обрабатываемого материала и от химического состава и механических свойств инструментального материала.

Проведенные экспериментальные и аналитические исследования позволяют нам сделать выводы о некоторых составляющих износа инструмента в его общем балансе.

1. Механический износ инструмента. Согласно тео-

рий проф. С. А. Воскресенского [1] хрупкий облом острого лезвия при резании неизбежен, так как на его кончике действуют бесконечно большие напряжения. В реальных условиях нагрузка от силы резания распределена на некоторой площади лезвия. Эюра напряжений может быть описана некоторой кривой (или прямой), форма которой определяется видом резания и угловыми параметрами инструмента. Напряжения от этой нагрузки всегда конечны. Для получения исходных данных, необходимых для расчета прочности лезвия инструмента, были сконструированы установки и проведены эксперименты, в результате которых получены номограммы, отражающие зависимость нормальной и тангенциальной составляющих силы резания от величины подач в диапазоне $2 + 150$ мкм [2, 3]. Применяв метод разрезного резца [4], мы получили эюры распределения нагрузки на передней поверхности резца.

На основании данных перечисленных работ получено аналитическое уравнение для расчета прочности лезвия:

$$\sigma_x = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{\text{лом}}}{b \cdot \tan^2 \beta / 2} \cdot \frac{n+1}{nm} \left[\frac{1}{2} - \frac{a^n}{(n+1)(n+2)} \right], \quad (1)$$

где $P_{\text{лом}}$ — сила нормальная к биссектрисе угла β , кг;

b — ширина лезвия, мм;

n — коэффициент, определяющий форму кривой, описывающей эюру нагрузки;

m — длина площадки контакта, мм;

x — координата места, для которого определяется напряжение в лезвии, мм; $a = \frac{x}{m}$.

На основании уравнения (1) построена номограмма (рис.1). Для расчета напряжений в лезвии инструмента от биссекторной силы получено уравнение

$$\sigma_{x \text{ бисс}} = \frac{P_{\text{бисс}}(n+1) \left(2 - \frac{a_2^n + a_1^n}{n+1} \right)}{2bn(m_1 + m_2)} \left[1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{n+1}{n+2} \cdot \frac{a_2^n - a_1^n}{[(12n+2) - (a_2^n + a_1^n)]} \right], \quad (2)$$

где $P_{\text{бисс}}$ — сила, параллельная биссектрисе угла β ;

$$a_1 = \frac{x_1}{m} \quad ; \quad a_2 = \frac{x_2}{m_2} .$$

Здесь x_1 и x_2 — координата точки, в которой определяется напряжение, мм;

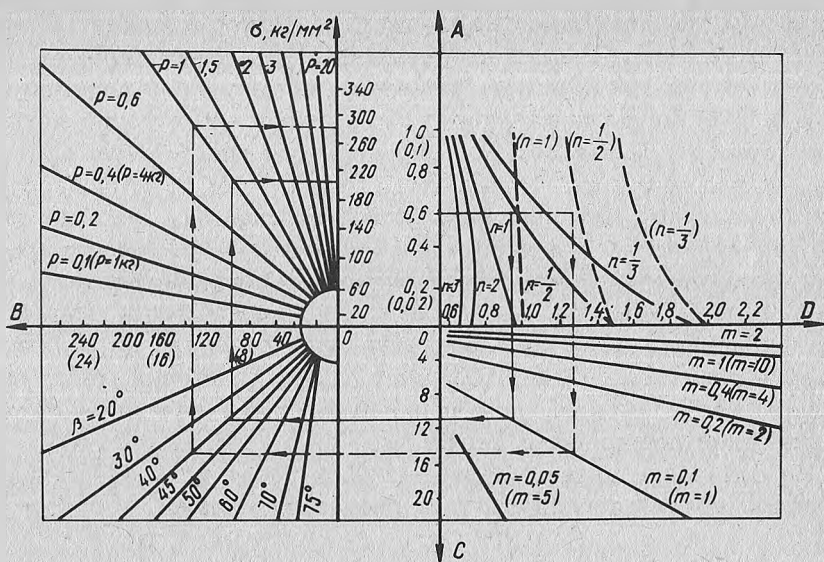


Рис. 1.

m_1 и m_2 — длина контакта по передней и задней поверхностям, мм.

Анализ полученных уравнений позволяет сделать следующие выводы:

а) облом даже очень острого лезвия может не произойти при достаточном угле β , так как если принять $\alpha = 0$, то и σ_x и $\sigma_{x \text{ бисс}}$ будут иметь конечное значение, которое при определенных значениях β , R или $R_{\text{лом}}$ бисс может быть ниже предела прочности инструментального материала;

б) если облом лезвия и произойдет, то это сразу же приведет к резкому увеличению угла β , что исключит возможность дальнейших обломов резца под воздействием силы R .

в) величина угла β не входит в уравнение (2). Очевидно, что первичный облом резца приведет к значительному увеличению силы $R_{\text{бисс}}$, которая может послужить причиной дальнейших обломов (и к округлению лезвия).

Пластическое разрушение лезвия на малых скоростях резания имеет место только в том случае, если твердость материала резца меньше 30 — 35 HRC. Поскольку лезвия такой твердости на практике не применяются, пластическое разрушение резца при таких скоростях, по-видимому, исключается.

Абразивный износ инструмента при резании чистой древесины практически может не учитываться. Это вытекает из основных закономерностей абразивного износа и подтверждается нашими исследованиями. Согласно исследованиям проф. М. М. Хрушова [8] и его школы, абразивный износ имеет место только в том случае, если твердость обрабатываемого материала составляет не менее 0,7 от твердости стального инструмента или 1,3 от твердости твердосплавного инструмента.

Некоторые авторы утверждают, что абразивный износ вызывается твердыми кристаллическими включениями имеющимися в клетках древесины. Опыты, проведенные нами с продуктами сухой перегонки древесины и с древесной золой полностью опровергают эту возможность (рис. 2, в). Как видно из этой гистограммы, размол стальной дроби в присутствии древесного угля, необработанного плавиковой кислотой и обработанного ею (для удаления абразивных включений) практически одинаков. Размол дроби в присутствии древесной золы практически не отличается от ее размола в воде. Эти опыты подтверждают тезис абразивного износа: интенсивность абразивного износа (особенно при трении о незакрепленные или слабо закрепленные абразивные частицы) чрезвычайно сильно зависит от размеров

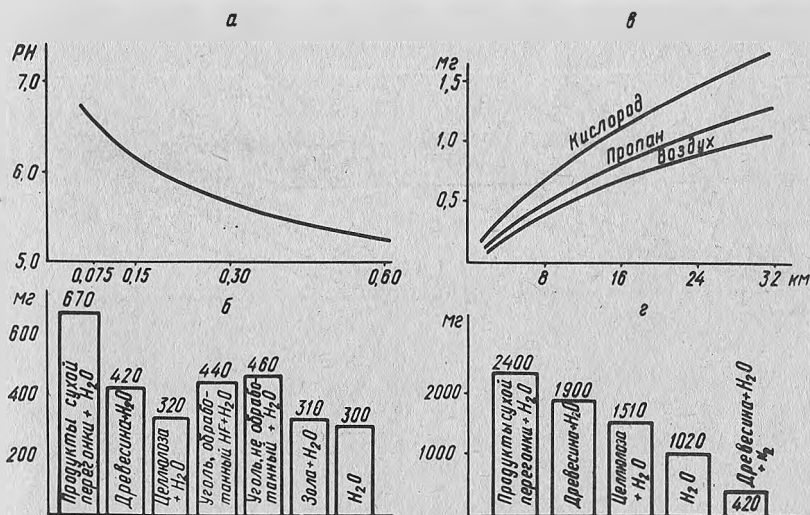


Рис. 2.

частиц абразива. Находящиеся же в древесине абразивные частицы имеют микроскопические размеры.

Согласно результатам большого количества исследований, интенсивность абразивного износа не зависит от скорости скольжения. Нет нужды доказывать, как сильно влияет скорость резания на интенсивность износа инструмента.

Подтверждаются наши выводы так же работой Попова В.С. [7]. Согласно этой работе, наилучшим образом абразивному износу сопротивляются структуры, обладающие большой энергоемкостью, например нестабильный аустенит. Если при резании абразивный износ имеет большое значение, то дереворежущий инструмент нужно было бы закалывать так, чтобы в его структуре было максимум аустенита. Общеизвестно, насколько вредное влияние на режущие свойства стали оказывает остаточный аустенит.

Абразивный износ может иметь место только в случае обработки древесины, засоренной абразивом в виде песка, глины, что имеет место, например, при рамном пилении или резании ДВП, в состав которых вводится каолин, при резании фанеры, склеенной казеиновым клеем, в состав которого входит известь.

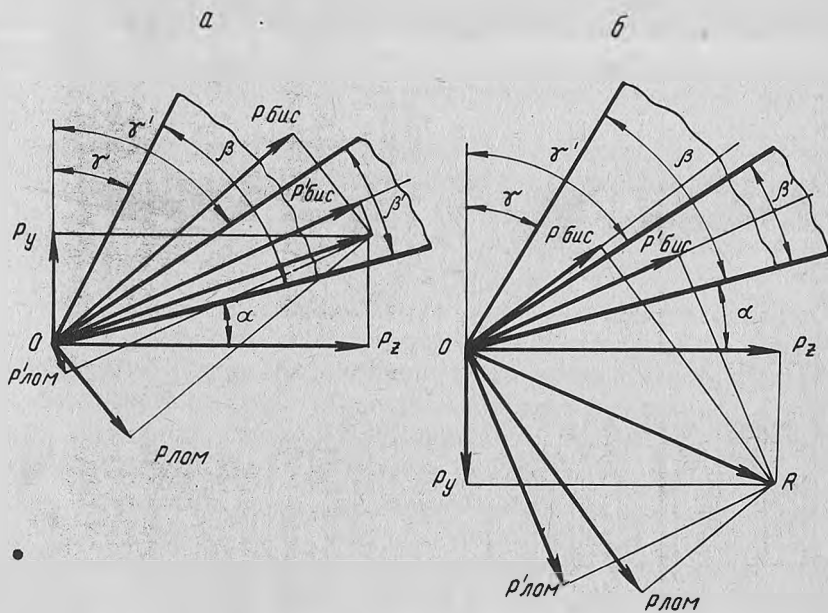


Рис. 3.

2. Влияние различных факторов на прочность лезвия. Совершенно очевидно, что на прочность инструмента весьма существенное влияние оказывает угол заострения β (1). Однако работоспособность реза существенно зависит также и от углов α и γ . Связь между этими углами и величиной составляющих силы резания представлена на рис. 3. На основании построений этого рисунка получено следующее уравнение:

$$P_{\text{лом}} = \sqrt{\frac{P_y^2 + P_z^2}{1 + \frac{1}{\text{tg}^2(\alpha + \beta/2 + \epsilon)}}} \quad (3)$$

где

P_y, P_z — соответственно нормальная и тангенциальная составляющие силы резания;
 $\epsilon = \alpha \text{tg} \frac{P_y}{P_z}$ — угол между векторами составляющей P и равнодействующей силы резания R .

В оптимальном случае величина силы $P_{\text{лом}} = 0$. Это будет иметь место, если вектор силы R будет совпадать с биссектрисой угла β .

Построение рис. 3 подтверждает малую вероятность повторных обломов лезвия от силы, нормальной биссектрисе угла β . Первичное выкрашивание происходит в том случае, если на лезвие действует сила затягивания P_y (рис. 3, б), возникновение которой при остром резе наиболее вероятно. После первого выкрашивания лезвия резец притупился и сила затягивания перейдет в силу отжима (рис. 3, а), величина угла α уменьшится, что повлечет за собой снижение изгибающего момента, действующего на резец. В то же время увеличиваются сжимающие напряжения в резе (под воздействием силы $P_{\text{бисс}}$), что может

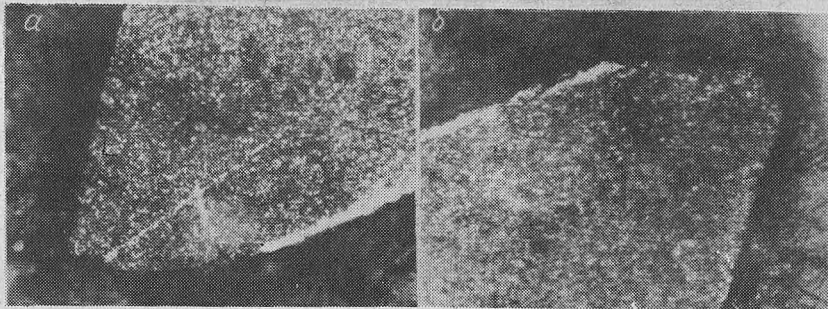


Рис. 4.

вызвать повторные выкрашивания. Необходимо отметить, что твердые инструментальные стали на сжатие работают значительно лучше, чем на изгиб. Это обстоятельство снижает возможность глубоких повторных выкрашиваний лезвия.

На рис. 4,а,б приведены микрофотографии резцов после первичного и вторичного выкрашиваний.

Главной операцией подготовки лезвия является его заточка (шлифование). Как известно, шлифование металла сопровождается его нагревом и возникновением в его поверхностных слоях остаточных растягивающих напряжений, величина которых достигает 100 кг/мм^2 . При работе острым инструментом на его передней поверхности могут образоваться только растягивающие напряжения. Если заточка производится также по передней поверхности, то эти растягивающие напряжения складываются с остаточными напряжениями от шлифования и могут значительно снизить прочность лезвия. По этой причине заточку инструмента по передней поверхности необходимо осуществлять на более легких режимах. Для снижения внутренних напряжений в конце операции заточки желательно производить выхаживание или после грубой заточки производить доводку лезвия (например, алмазным или эльборовым инструментом).

Влияние упрочняющих слоев. При нанесении на поверхность стали различных упрочняющих слоев образуются либо напряжения сжатия либо напряжения растяжения. Так, в азотированных, цементованных, нитроцементованных слоях образуются напряжения сжатия. В поверхностных слоях, упрочненных электролитическим хромированием, образуются напряжения растяжения.

Для получения максимальной прочности лезвия необходимо учитывать форму суммарной эпюры напряжений в поверхностных слоях лезвия. Азотирование и нитроцементацию необходимо проводить по передней поверхности, тогда суммарная эпюра напряжений от сил резания (растягивающих) и от напряжений, возникающих при азотировании (сжимающих), будет наиболее благоприятной. Слой электролитического или диффузионного хрома лучше наносить на заднюю поверхность. Проведенные нами эксперименты подтвердили эти положения. На лезвии инструмента азотированного по передней поверхности, образовалось значительно меньше выкрошин, чем на лезвии, азотированном по задней поверхности.

3. Тепловой износ инструмента. Этому виду износа инструмента посвящена работа [5], помещенная в этом сборнике.

4. Химический износ инструмента. Взаимодействие компонентов, входящих в состав древесины с металлом, большинством исследователей, как правило, исключается на том основании, что в древесине не содержится агрессивных химических веществ, которые могут вызвать разрушение металла лезвия. Находящиеся в древесине жидкости имеют обычно реакцию ($\text{РН}=5,5$). Согласно работе [6], износ в среде с подобной кислотностью превышает износ в среде с $\text{РН}=7$ примерно в 2 раза. Особенно это ощутимо для углеродистых сталей. Кроме того, отрицающие возможность химического износа обычно не учитывают того, что лезвие при резании на рабочих скоростях нагревается до очень высоких температур, достигающих $700\text{--}1000^\circ\text{C}$. При этой температуре даже обычная вода становится агрессивной для большинства сталей и наблюдается усиленная термическая деструкция древесины, сопровождающаяся выделением ряда химических соединений, некоторые из которых весьма агрессивны в отношении к металлу. Нами проведены эксперименты, целью которых является изучение возможности химического износа инструмента.

1. Исследование изменений РН при резании древесины. Навеска стружки (100г), полученной при резании на разных режимах свежесрубленной древесины сосны, смешивалась со 100г дистиллированной воды, смесь выдерживалась в холодильнике при $t=0^\circ\text{C}$ (для исключения брожения) в течение суток. По истечению выдержки жидкость из этой смеси отжималась в специальном приспособлении из оргстекла, фильтровалась, после чего на приборе измерялась ее РН (см. рис. 2, а). Изменение РН и хорошо заметное различие в величине РН от толщины стружки свидетельствуют о том, что в процессе резания растворимые в воде компоненты древесины претерпевают определенные изменения, которые зависят от режимов резания. К сожалению, эти опыты не могут дать количественных зависимостей влияния химических процессов на затупление инструмента, они только констатируют возможность таких процессов.

2. Влияние состава газовой среды на процесс износа инструмента. Один из опытов производился нами при резании (точении) воздушно-сухой древесины в воздухе, кислороде и пропане. Износ измерялся весовым методом. Результаты опыта представлены на рис. 2, в и свидетельствуют о том, что при резком увеличении окислительных свойств среды износ резака из стали У. 12 значительно ускоряется. Процесс

резания сопровождается образованием в этой же зоне резания искр. Это говорит о том, что в зоне резания развиваются температуры (или температурные вспышки), приближающиеся к температуре горения металла в кислороде, которая равна 1000—1200°С. Поскольку при резании в воздухе нами фиксировалась температура, лежащая в пределах до 1000°С, можно предположить, что при резании в кислороде в зоне резания имеют место интенсивные экзотермические реакции. При резании в среде пропана износ несколько больший, чем при резании в воздухе. Это свидетельствует о влиянии на процесс износа пассивирующих окисных пленок и хорошо согласуется с исследованиями износа металлорежущего инструмента в среде четыреххлористого углерода.

3. Исследование влияния древесины и ее компонентов на износ стальной дроби в вибромельнице. Для исследования количественных зависимостей износа стали в контакте с древесиной и в других средах мы измеряли износ стальной дроби (ст. 45 твердость 40+50 HRC) в вибромельнице. Для этого в камеры 4-местной лабораторной вибромельницы помещалась точная навеска ($200 \pm 0,1$ мг) стальной дроби и исследуемого вещества. Размол длился 2 часа. Результаты опытов по износу стальной дроби в среде азота представлены на рис. 2,б. Как свидетельствует гистограмма, наибольший износ дроби имеет место при размоле в жидких продуктах сухой перегонки сосны. Вероятнее всего этот износ имеет характер механо-химического, так как в продуктах сухой перегонки древесины содержится значительное количество поверхностно-активных веществ. Велика, по-видимому, роль в износе металла лигнина. Об этом свидетельствует снижение более чем на 20% износа стальной дроби при размоле ее с целлюлозой. Наши опыты подтверждают предположение, высказанное в работе [9], в которой указывается на вероятность образования из лигнина при его механической деструкции очень активных веществ типа ароксиллов. Изменение сигнала электронного парамагнитного резонанса, наблюдавшегося нами в стружке, полученной при разных режимах резания, также подтверждает возможность участия свободных радикалов в износе инструмента. Процессы износа металла при трении в присутствии древесины и продуктов ее переработки протекают в несколько раз интенсивнее, если этот процесс протекает в среде чистого кислорода (рис. 2,г). Если при размоле с водой введение кислорода увеличивает износ в 3,5 раза, то в присутствии древесины эта величина возрастает почти в 5 раз.

Выводы

1. Первичный облом даже очень острого лезвия не является неизбежным.

2. Первичный облом (выкрашивание) лезвия происходит как следствие воздействия на него изгибающих сил, последующие обломы были вероятны от сил, действующих параллельно биссектрисе угла β .

3. Чистая древесина не может вызывать абразивного износа реза.

4. При подготовке инструмента к работе и при его упрочнении необходимо учитывать возможность возникновения остаточных напряжений в его поверхностных слоях.

5. Химические и механо-химические явления, происходящие при резании древесины, играют значительную роль в износе инструмента.

Литература

1. С.А. Воскресенский. Резание древесины. М., 1955.

2. А.В. Моисеев, А.Н. Астафиев, М.Л. Двоскин. Исследование процессов резания древесины с подачами от 2 до 150 микрон. — В сб.: Докл. конф. УКРНИИМОД. Киев, 1971.

3. А.В. Моисеев, Л.М. Двоскин. Исследование сил трения по задней поверхности. — В сб.: Механическая технология древесины, вып. 3, 1973.

4. А.В. Моисеев, Л.М. Двоскин. Исследование сил трения на площадке контакта реза — стружка. — В сб.: Механическая технология древесины, вып. 3, 1973.

5. А.В. Моисеев, Л.М. Двоскин. Тепловые явления при резании древесины и тепловой износ инструмента (настоящий сборник).

6. С.Л. Наумов. Исследование сопротивления металла абразивному изнашиванию. Киев, 1960.

7. В.С. Попов, Н.Н. Брыков, П.Л. Нагорный. Упрочнение сплавов при абразивном изнашивании. — "Физико-химическая механика материалов", 1971, № 4.

8. М.М. Хрушов, М.А. Бабичев. Исследование влияния твердости абразивных частиц на изнашивание материалов. — В сб.: Износ и антифрикционные свойства материалов. М., 1968.

А. В. Моисеев, Л. М. Двоскин

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ РЕЗАНИИ ДРЕВЕСИНЫ И ТЕПЛОВЫЙ ИЗНОС ИНСТРУМЕНТА

При аналитическом исследовании тепловых явлений при резании необходимо схематизировать процесс.

При схематизации процесса желательно учесть все тела, участвующие в процессе резания: резец, стружку, обрабатываемую деталь. Резец или зуб многолезвийного инструмента можно представить в виде клина неограниченного в двух или одном направлении. Такое решение может быть принято во всех случаях, когда работают цельным инструментом и размеры контактных площадок малы по сравнению с размерами инструмента. Стружку можно представить в виде стержня, не имеющего ограничения в одном или в двух направлениях / в зависимости от толщины и теплофизических характеристик /. Изделие можно представить в виде полупространства.

В процессе резания различают три основных источника тепла (рис. 1):

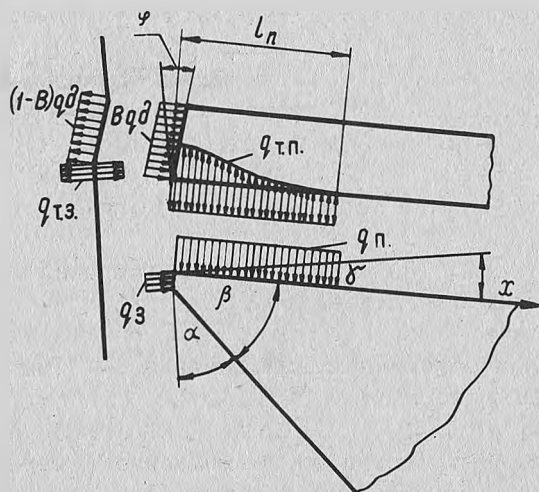


Рис. 1. Схема источников тепла.