

УДК 674:621.81.004

Г.А. Пилюшина, Е.А. Памфилов

Пилюшина Галина Анатольевна родилась в 1970 г., окончила в 2000 г. Брянскую государственную инженерно-технологическую академию, аспирант кафедры механической технологии древесины БГИТА, помощник проректора по экономической и производственной деятельности. Имеет около 20 работ в области повышения работоспособности узлов и механизмов лесопильного и деревообрабатывающего оборудования.



Памфилов Евгений Анатольевич родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Брянский институт транспортного машиностроения, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, проректор по экономической и производственной деятельности, заведующий кафедрой механической технологии древесины Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 300 печатных работ в области обеспечения износостойкости и долговечности машин и оборудования.



ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЛЕСОПИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Приведены расчет рациональной геометрической формы боковых поверхностей шипов подающих вальцов, которые обеспечивают минимизацию скорости изнашивания, и анализ факторов, влияющих на процессы изнашивания шипов; предложен материал и упрочняющая обработка шипованных колец.

Ключевые слова: подающие вальцы лесопильного оборудования, рациональная геометрическая форма, принцип самоорганизации фрикционного контакта, форма «естественного износа», сцепление с древесиной.

Надежность работы подающих механизмов лесопильных рам в существенной мере определяет изготовление качественных пиломатериалов. Это, прежде всего, связано с тем, что указанные механизмы одновременно выполняют функции базирования заготовок и их перемещение в зону резания.

Точность базирования и стабильное перемещение заготовок зависят от достижения высокой степени сцепления рабочих элементов подающих шипованных вальцов с перемещаемой древесиной. При недостаточном сцеплении происходит проскальзывание заготовок, их перемещение в сторону, противоположную подаче, поперечный сдвиг или проворот относительно продольной оси. Это снижает точность получаемых изделий, приводит к интенсивному изнашиванию режущего инструмента и деталей используемого оборудования.

Необходимо также учитывать, что подающие вальцы являются металлоемкими конструкциями, поэтому их изготовление и замена достаточно трудоемки и экономически затратны. В связи с этим увеличение срока службы вальцов имеет существенную значимость с точки зрения эконо-

мии дорогостоящих материалов, снижения трудозатрат на ремонт и повышения эффективности работы оборудования.

Повышение работоспособности вальцов может быть достигнуто за счет изменения геометрической формы рабочих элементов, использования для их изготовления конструкционных материалов повышенной износостойкости, а также выполнения эффективной упрочняющей обработки изнашиваемых поверхностей.

Возможность оптимизации геометрической формы шипов обусловлена тем, что в процессе изнашивания их боковые поверхности приобретают криволинейную форму. Это происходит вследствие неравномерного удаления микрообъемов материала с изнашиваемых поверхностей. Поэтому повышения износостойкости можно достичь за счет придания шипам формы «естественного износа» в процессе их изготовления.

Прогнозирование формы «естественного износа» выполняли, выявляя закономерности самоорганизации фрикционного контакта при установившемся процессе изнашивания [4], в результате которого формируется геометрия изнашиваемой поверхности, соответствующая минимуму энергетических затрат в реализуемом относительном движении.

Представим минимум энергетических затрат, соответствующий минимуму энтропии [3]:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{FV}{T} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где S – энтропия;

t – время;

F – нормальная нагрузка;

V – скорость скольжения;

T – температура в зоне контакта трущихся поверхностей.

Выражение (1) можно представить также в виде

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T} \left[\frac{dW_x}{dt} \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где W_x – проекция линейного износа на ось x .

Определим скорость изнашивания криволинейной поверхности J_{tx} по формуле

$$\frac{dW_x}{dt} = J_{tx} = k_j V P_x, \quad (3)$$

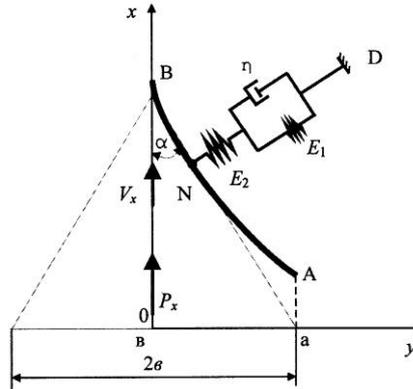
где k_j – коэффициент изнашивания;

V – скорость движения элементарных площадок, расположенных на изнашиваемой поверхности шипа в направлении перемещения заготовки;

P_x – проекция сил на ось x .

Для определения проекции силы P_x на ось x рассмотрим схему, приведенную на рис. 1. Допустим, что радиальное сечение шипа, движется с

Рис. 1. Схема для расчета формы шипа



постоянной скоростью V . Если предположить, что пограничная частица N среды оттесняется границей шипа в направлении нормали ND и скользит вдоль границы под углом α , то

$$P_x = \int_A^B (P_n \sin \alpha + \tau \cos \alpha) dx, \quad (4)$$

где P_n – нормальное давление волокон древесины;

τ – касательная сила трения;

dx – длина элемента дуги грани шипа.

Подставив выражение (3) в (2) с учетом (4), получим

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k_j V B}{T A} \int (P_n \sin \alpha + \tau \cos \alpha) dx. \quad (5)$$

Нормальное давление волокон древесины определим по формуле

$$P_n = E_1 y_1 \cos \alpha + E_2 y_2 \cos \alpha + V \eta \sin \alpha, \quad (6)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости древесины (рис. 1);

$E_1 y_1 \cos \alpha$ и $E_2 y_2 \cos \alpha$ – проекции сил E_1 и E_2 на ось y ;

η – коэффициент вязкой составляющей механической модели изнашивающей среды [1].

Касательную силу τ определим из выражения

$$\tau = f (E_1 y_1 + E_2 y_2) \cos \alpha + f V \eta \sin \alpha. \quad (7)$$

Подставив выражения (6) и (7) в (5), получим:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{k_j V B}{T A} \int (E_1 y_1 + E_2 y_2 + f V \eta) \sin \alpha \cos \alpha + V \eta \sin^2 \alpha + f (E_1 y_1 + E_2 y_2) \cos^2 \alpha dx.$$

Минимум энтропии достигается при условии, что интеграл

$$P_x = \int_A^B (E_1 y_1 + E_2 y_2 + f V \eta) \sin \alpha \cos \alpha + V \eta \sin^2 \alpha + f (E_1 y_1 + E_2 y_2) \cos^2 \alpha dx \quad (8)$$

имеет экстремум (минимум).

Для нахождения интеграла (8) рассмотрим подынтегральную функцию при $k_j = \text{const}$ и $V = \text{const}$:

$$F = (E_1 y_1 + E_2 y_2 + fV\eta)y' + V\eta(y')^2 + f(E_1 y_1 + E_2 y_2),$$

где $y' = \operatorname{tg}\alpha = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$.

Функция F явно не зависит от x , т. е. $F = F(y, y')$, и имеет решение на отыскание экстремума в соответствии с уравнением Эйлера – Лагранжа [5]:

$$\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial F}{\partial y'} \right) = 0.$$

Частный вид уравнения Эйлера для этого случая

$$F - y'(x)F_{y'} = C_1.$$

Применив уравнение Эйлера, получим дифференциальное уравнение

$$f(E_1 y_1 + E_2 y_2) - v\eta(y')^2 = C_1. \quad (9)$$

Решение (9) дает следующий результат:

$$y = \frac{f(E_1 + E_2)}{4v\eta} (x + C_1)^2 + \frac{C_2}{f(E_1 + E_2)}, \quad (10)$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования.

На рис. 2 показан вид функции $y(x)$ при решении уравнения (10).

Для нахождения постоянных C_1 и C_2 решим задачу с подвижной правой границей [4]. Пусть один конец экстремали закреплен в т. B , а другой скользит по прямой $y = \epsilon$. Применив условие трансверсальности, найдем $C_1 = 0$, а используя условия закрепления, $-C_2 = 0$. Координату т. $A(x_A, y_A)$ найдем из зависимости

$$x_A = 2\sqrt{\frac{\epsilon v\eta}{f(E_1 + E_2)}}, \quad (11)$$

где v – скорость внедрения шипа в древесину;

ϵ – $\frac{1}{2}$ ширины основания шипа, м.

Форма кривой и ее сравнение с образующей боковой поверхности шипа приведены на рис. 3. Как видно из рис. 3, форма криволинейной поверхности, рассчитанной по уравнению (10), близка к форме естественного износа боковой поверхности шипа подающего вальца, что соответствует минимальной скорости изнашивания. Поэтому рациональной формой изнашиваемых боковых поверхностей шипа можно считать форму криволинейной поверхности, описываемую уравнением (10).

Таким образом, получена приближенная конфигурация шипа, к которой стремится его поверхность в процессе эксплуатации. Придание

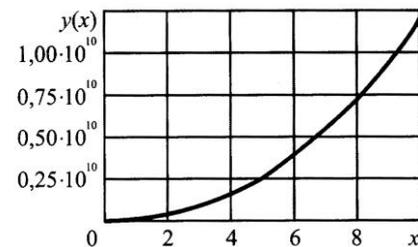
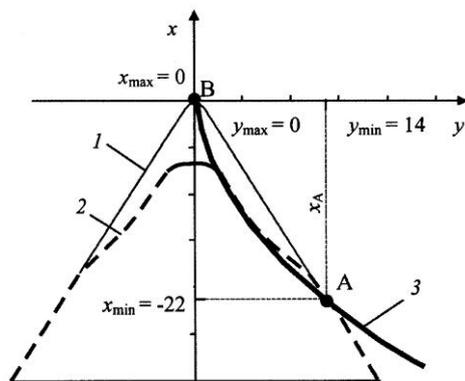


Рис. 2. Вид функции $y(x)$ при решении уравнения (10): $C_1 = 0$; $C_2 = 0$

Рис. 3. Сравнение формы криволинейной поверхности 3, рассчитанной по уравнениям (10) и (11), с образующей 2 боковой поверхности изношенного шипа: 1 – первоначальная форма шипа; A и B – точки пересечения кривой с образующей боковой поверхности изношенного шипа



такой геометрии шипу в процессе его формообразования позволит сократить время приработки и повысит ресурс его работы в режиме нормального изнашивания.

Однако величина изнашивания рабочих элементов подающих валцов во многом определяется действующими внешними нагрузками, зачастую превосходящими прочностные показатели материала шипов.

Разрушение шипов и образование частиц износа во многом обусловлены действием ударной нагрузки от сил резания и отбоя пил, что особенно часто наблюдается в зимнее время, когда распиливают мерзлую древесину, а шипы валцов взаимодействуют со смерзшейся массой, состоящей из льда и абразивных частиц. Микрообъемы поверхностного слоя изнашиваемого шипа испытывают при этом существенные деформации, которые в сочетании с низкотемпературным охрупчиванием* шипа приводят к зарождению и развитию дефектов (упругие искажения решетки, дислокации и т.д.). Многократное деформирование материала повышает концентрации микродефектов и после достижения определенной концентрации приводит к образованию микротрещин. Дальнейшее нагружение материала вызывает развитие и слияние микротрещин, в результате чего происходит отделение достаточно крупных продуктов износа от шипа.

На интенсивность процесса выкрашивания значительное влияние оказывают экстрактивные вещества, содержащиеся в коре и древесине, особенно карбоновые кислоты, которые легко вступают во взаимодействие с оксидным слоем металла и разрушают его. Разрыхленный оксидный слой под действием сил трения легко разрывается, обнажая ювенильные поверхности, что значительно облегчает проникновение ионов водорода в поверхностные слои и интенсифицирует процесс разрушения поверхностей шипов. Водород, проникая в поверхностный слой металла, создает в нем высокие давления, которые приводят к напряженному состоянию в решетке металла, деформации, образованию микротрещин и расслаиванию.

* Свойство материала приобретать хрупкость в результате термического или химического воздействия.

Температурные явления, проявляющиеся в процессе изнашивания, оказывают существенное влияние на закономерности и интенсивность поверхностного разрушения. При положительных значениях температуры окружающей среды, низких скоростях скольжения и высоких нагрузках изнашивание шипов в основном происходит вследствие пластической деформации. При этом наблюдается выдавливание металла из максимально нагруженной зоны на периферийные участки. Выдавленный металл чаще всего подвергается повторным деформациям и отделяется в виде частиц износа. Фактически этот процесс характеризуется как изнашивание в результате малоциклового усталости.

Таким образом, анализируя модели поверхностного разрушения материала, можно прийти к выводу, что на интенсивность процесса разрушения шипов наибольшее влияние оказывает внешняя нагрузка (нормальное давление и энергия удара), а также недостаточная механическая прочность поверхностных слоев материала шипов.

В результате проведенных аналитических исследований была установлена величина удельной нагрузки, приходящаяся на шипы нижних подающих валцов лесопильных рам, при распиливании различных пород древесины диаметром до 600 мм [2].

С учетом величин и характера ударных нагрузок, действующих на шипы в процессе эксплуатации, была предложена методика выбора материала для изготовления шипованных колец. В качестве перспективного конструкционного материала был предложен высокопрочный чугун с шаровидным графитом, который обладает благоприятным уровнем прочности, сочетающейся с повышенными значениями пластичности, вязкости и коррозионной стойкости.

Кроме того, шипованные кольца из отливок высокопрочного чугуна с шаровидным графитом экономически более целесообразны, чем из стальных поковок, так как чугун по сравнению со сталью обладает более высокими литейными свойствами и на 8 ... 10 % меньшей плотностью, что позволяет снизить массу заготовок.

Механические свойства высокопрочных чугунов зависят в основном от структуры металлической основы. Требуемая структура металлической основы формируется как в процессе получения отливок, так и при их последующей термообработке. В качестве предварительной термообработки для повышения объемных механических свойств и снятия остаточных напряжений рекомендуется нормализация. В процессе ее выполнения происходят аустенизация ферритно-перлитной матрицы и последующее перлитное превращение. Однако перлитная структура не обладает достаточной сопротивляемостью изнашиванию при воздействии абразивных частиц, поэтому представляется целесообразным формировать в поверхностном слое шипов на глубине до 1 мм аустенитно-мартенситную основу, используя для этого поверхностную термическую обработку.

Анализ возможностей таких видов обработки показал, что наиболее перспективной является закалка с нагревом токами высокой частоты, в ре-

зультате которой получают аустенитно-мартенситную структуру поверхностного слоя за счет быстрого нагрева поверхностного слоя шипов до температуры закалки с последующим охлаждением в масле. В результате увеличивается твердость поверхностного слоя шипов с одновременным повышением их прочностных характеристик и сопротивляемости изнашиванию. Существенных результатов в обеспечении повышенной износостойкости можно достичь и за счет использования более эффективной электромеханической обработки. Однако для ее использования в производственных условиях необходимы дополнительные исследования.

Промышленное опробование показало, что использование колец из высокопрочного чугуна с шипами, выполненными в форме естественного износа, позволяет увеличить износостойкость подающих вальцов в 1,7 раз по сравнению с серийными. При этом в течение всего срока эксплуатации достигается надежно стабильное сцепление с древесными заготовками. Годовой экономический эффект от внедрения упрочненных шипованных колец составляет 72,76 тыс. р. в год при эксплуатации одной лесопильной рамы [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов [Текст] / В.И. Любченко. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 296 с.
2. Пиллюшина, Г.А. Повышение работоспособности деталей подающих устройств лесопильного оборудования [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Пиллюшина. – Брянск, 2005. – 20 с.
3. Тихомиров, В.П. Выбор рациональных форм изнашиваемых деталей с криволинейными поверхностями [Текст] / В.П. Тихомиров, А.О. Горленко // Инж. журн. – 2002. – № 8. – С. 5–10.
4. Шульц, В.В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента [Текст] / В.В. Шульц. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд.), 1990. – 208 с.
5. Эйлер, Л. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума, или решение изопараметрической задачи, взятой в самом широком смысле [Текст] / Л. Эйлер. – М.: ГИТТЛ, 1934. – 600 с.

Поступила 2.06.06

Брянская государственная
инженерно-технологическая академия

G.A. Pilyushina, E.A. Pamfilov

Enhancing Operational Capacity of Sawmill Equipment

The calculation of the rational geometry for side surfaces of feed roll pins is given providing the minimization of pins wear rate. The material and strengthening treatment of pin rings is offered.