

Таким образом, для повышения эффективности использования харвестеров мы рекомендуем:

1. Уделять большое внимание заточке сучкорезных ножей головки в весенне-летний и осенний периоды, что будет способствовать повышению качества заготавливаемых сортиментов, в т. ч. при изношенности ошиповки протаскивающих вальцов.

2. Контролировать состояние протаскивающих вальцов при техническом обслуживании, вовремя ремонтируя или заменяя на новые.

3. Необходимо, чтобы операторы харвестеров были не только ознакомлены с требованиями по заточке ножей в соответствии с «Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию» харвестерной головки, но и в их должностные обязанности входило осуществление контроля за соблюдением качественной заточки ножей рабочим персоналом.

4. Производителям харвестерных головок следовало бы предусмотреть включение в комплектацию харвестерной головки соответствующие приспособления (угломер) для измерения (контроля) углов заточки ножей.

5. Заработная плата операторов должна быть связана с качеством производимых сортиментов.

6. Организовать специальную систему обучения операторов машин с изучением как теоретических основ лесного дела, устройства машин, особенностей их эксплуатации, так и существенной практической составляющей. При этом практическая часть обучения должна базироваться в значительной степени на использовании современных обучающих тренажеров-симуляторов.

Литература

1. Интенсификация лесопользования и совершенствование лесозаготовок на Северо-западе России / Т. Карьялайнен [и др.]. Йоэнсуу : METLA, 2009. 162 с.

2. Анализ потребности в обучении операторов лесозаготовительных машин / В.С. Сүнёв [и др.]. Йоэнсуу : METLA, 2008. 11с.

3. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия: моногр. / В.С. Сүнёв [и др.]. Йоэнсуу : METLA, 2008. 126 с.

4. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию харвестерной головки *John Deere 758HD*. John Deere Forestry Oy, Finland, 2007, 174 стр.)

УДК 621.923.025

А.С. Янюшкин, А.М. Кузнецов, С.А. Якимов, Н.П. Петров*

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Представлена методика расчета режущей кромки твердосплавных инструментов. С учетом максимальных растягивающих напряжений, возникающих на передней поверхности режущего элемента, и ряда допущений выведена формула, позволяющая рассчитать максимальную величину сколов на режущей кромке инструмента.

* - автор, с которым следует вести переписку.

Ключевые слова: методика, расчет напряжения, инструмент, режущая кромка, передняя поверхность, шлифование, затачивание

Для повышения износостойкости режущего инструмента применяют различные упрочняющие технологии, такие, как лазерное упрочнение, электроискровое легирование, ионно-плазменное упрочнение, алмазное выглаживание. Использование указанных методов требует применения специального дорогостоящего оборудования и значительных энергетических затрат, а результаты упрочнения не всегда дают ожидаемые результаты. Другим направлением повышения износостойкости инструмента может быть применение композиционных высокопрочных инструментальных материалов, таких, как твердые сплавы, керамика, сверхтвердые материалы. Однако применение подобных материалов, наряду с их достоинствами, сопряжено с рядом трудностей вследствие недостаточной механической прочности. Например, при высокой износостойкости хрупкий материал, особенно при малых углах заострения режущего инструмента, может стать причиной появления дефектов в виде макро- и микротрещин и сколов, образующихся на стадии изготовления такого инструмента. Это особенно характерно при формообразовании режущей кромки [1].

С целью прогнозирования величины дефектов, возникающих при изготовлении инструмента из высокопрочных материалов, нами предложена методика расчета напряжений, возникающих вблизи режущей кромки.

Для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии материала режущего элемента вблизи режущей кромки, например при его затачивании, принимаем основные допущения.

1. Как показывают экспериментальные данные, полученные ранее, режущие элементы инструмента имеют сложную трехмерную геометрическую конфигура-

цию, и разрушение материала режущих элементов происходит вдоль режущей кромки на расстояниях, не превышающих 0,5 мм. Это свидетельствует о том, что максимальные внутренние напряжения имеют место вблизи режущей кромки на расстояниях, значительно меньших поперечных и продольных размеров режущего инструмента, что позволяет выбрать в качестве модели форму клина бесконечной ширины и длины с углом при вершине β .

2. Материал режущего элемента определяется как однородный сплошной и анизотропный. В процессе обработки он испытывает незначительные деформации. Связь напряжений и деформаций считается линейной (выполняется закон Гука). Разрушение материала считается хрупким, т. е. при превышении предела прочности происходит разрушение материала режущей кромки либо появляются микро- и макротрещины.

3. В расчетах целесообразно использовать технологические силы т. к. их просто измерить с высокой точностью по известным, хорошо отработанным методикам. Будем считать, что технологические силы, действующие на режущий элемент со стороны абразивного инструмента, распределены равномерно по передней поверхности вдоль режущей кромки затачиваемого инструмента. Характер распределения нагрузки в направлении, перпендикулярном режущей кромке, зависит от режимов, вида и метода затачивания. В данной работе рассмотрен наиболее характерный вид технологического нагружения с сосредоточенной нагрузкой вдоль режущей кромки.

В соответствии с приведенной системой допущений рассматривается следующая задача (расчетная схема представлена на рис. 1).

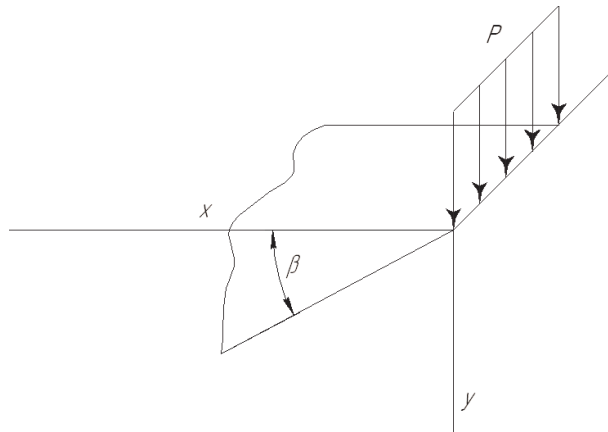


Рис. 1. Расчетная схема клина режущей части инструмента при затачивании по передней поверхности.

Имеется бесконечно протяженный плоский клин, образованный пересечением передней и задней поверхностей с вершиной в точке O и углом заострения β . На вершине клина действует сосредоточенная сила P . Нагрузка P погонная, равномерно распределена по ширине клина.

Дифференциальные уравнения равновесия бесконечно малого элемента клина, имеющего координаты (ρ, θ) без учета объемных сил будут иметь вид [1]:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_r}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{\rho} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + 2 \cdot \frac{\tau_{\theta r\theta}}{\rho} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Если в систему уравнений (1) ввести функцию напряжений $\varphi(\rho, \theta)$, она принимает вид:

$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \\ \sigma_\theta = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \rho^2} \\ \tau_{r\theta} = -\frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) = \frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \rho \partial \theta} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Функцию напряжений $\varphi(\rho, \theta)$ должно удовлетворять бигармоническое уравнение $\nabla^2 \cdot \nabla^2 \cdot \varphi = 0$, которое в полярной системе координат имеет следующий вид [2]:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \cdot \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \right) = 0 \quad (3)$$

Так как задняя поверхность клина не нагружена, граничные условия принимают вид:

$$\begin{cases} \sigma_\theta = 0 \\ \tau_{\theta\rho} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Для решения задачи о нагруженном состоянии материала резца в окрестностях острой режущей кромки со стороны передней поверхности воспользуемся принципом суперпозиции. Рассмотрим действие нагрузки на напряженное состояние острия режущего элемента (рис. 2).

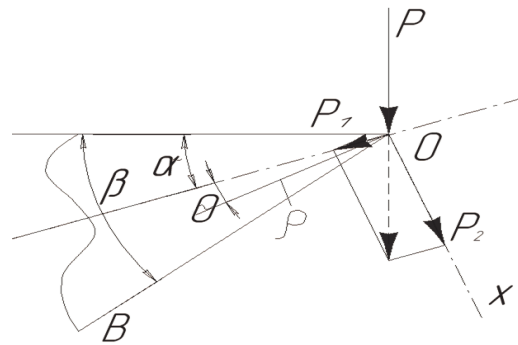


Рис. 2. Расчетная схема для решения задачи.

Пусть $\beta = 2\alpha$. Разложим силу P на две составляющие: P_1 – направленную вдоль оси симметрии режущего элемента и P_2 – действующую перпендикулярно оси симметрии.

Тогда:

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\beta}{2} \quad (5)$$

$$P_2 = P \cdot \cos \frac{\beta}{2} \quad (6)$$

Рассматриваемую задачу решаем обратным методом. Примем функцию напряжения в виде:

$$\varphi = \rho \cdot \theta \cdot (A \cdot \sin \theta + \cos \theta) \quad (7)$$

Эта функция тождественно удовлетворяет бигармоническому уравнению (3), а уравнения напряжения, вычисленные по формулам (2), примут вид:

$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{2}{\rho} \cdot (A \cdot \cos \theta - B \cdot \sin \theta) \\ \sigma_\theta = 0 \\ \tau_{r\theta} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения (8) удовлетворяют граничным условиям:

$$\text{при } \theta = \pm\alpha \quad \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0$$

Для определения постоянных интегрирования А и В воспользуемся условиями равновесия части клина, ограниченного цилиндрической поверхностью радиуса ρ (рис. 3).

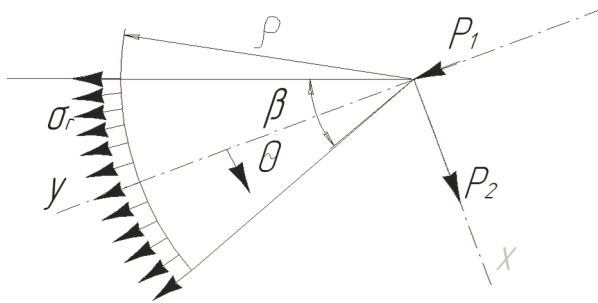


Рис. 3. Часть клина, ограниченная радиусом ρ .

Из уравнений напряжения (8) видно, что в сечении будут действовать только радиальные составляющие напряжения σ_r .

Проецируя силы, действующие на элемент клина, ограниченного радиусом ρ , на направления сил P_1 и P_2 , получим:

$$P_1 + \int_{-\beta}^{\beta} \sigma_r \cdot \cos \theta \cdot \rho \cdot d\theta = 0;$$

$$P_2 + \int_{-\beta}^{\beta} \sigma_r \cdot \sin \theta \cdot \rho \cdot d\theta = 0.$$

Откуда:

$$A = -\frac{P_1}{2 \left(\frac{\beta}{2} + \frac{1}{2} \sin \beta \right)};$$

$$B = -\frac{P_2}{2 \left(\frac{\beta}{2} - \frac{1}{2} \sin \beta \right)}.$$

Учитывая, что $\beta = 2\alpha$ и принимая во внимание разложение силы (5) (6), окончательно получим:

$$\begin{cases} \sigma_r = -\frac{2P}{\rho} \cdot \left(\frac{\sin \frac{\beta}{2} \cdot \cos \theta}{\beta + \sin \beta} + \frac{\cos \frac{\beta}{2} \cdot \sin \theta}{\beta - \sin \beta} \right); \\ \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Анализ выражения (9) показывает, что максимальные растягивающие напряжения возникают на передней поверхности обрабатываемого режущего элемента при $\theta = \frac{\beta}{2}$, в этом случае получается:

$$\sigma_r = -\frac{2 \cdot P \cdot \beta \cdot \sin \beta}{(\beta^2 - \sin^2 \beta) \cdot \rho}. \quad (10)$$

Условие прочности:

$$\sigma_k \leq \sigma_\epsilon,$$

где σ_ϵ – предел прочности материала режущего элемента.

Максимальную величину сколов на режущей кромке можно определить по уравнению:

$$\rho_{\max} = \frac{2 \cdot \sin^2 \beta}{(\beta^2 - \sin^2 \beta) \cdot \sigma_\epsilon}. \quad (11)$$

На меньшем расстоянии от кромки режущего элемента напряжения превышают предел прочности, что приводит к разрушению инструментального материала.

Для примера рассмотрим задачу определения напряженно-деформированного состояния вблизи режущей кромки. При этом необходимо исследовать зависимость напряжения от силы резания и угла заострения, а также определить максимальную величину сколов на режущей кромке затачиваемого инструмента.

В расчетах используется режущий элемент, оснащенный твердыми сплавами групп ВК и ТК. Угол заострения β изменяется от 50° до 60° (рекомендуемый угол заострения для обработки легких цветных металлов и их сплавов, а также древесных композиционных материалов). Силы

резания изменяются в пределах от 30 до 200 Н. Силы резания экспериментально определены в зависимости от метода затачивания. Для решения данной задачи использовалась расчетная схема (рис. 2).

Решение задачи начинается с определения критического сечения, т. е. с определения сечения, в котором действуют максимальные радиальные напряжения. Для этого необходимо определить величину напряжения в граничных сечениях (при $\theta = -\alpha$, $\theta = 0$ и $\theta = +\alpha$).

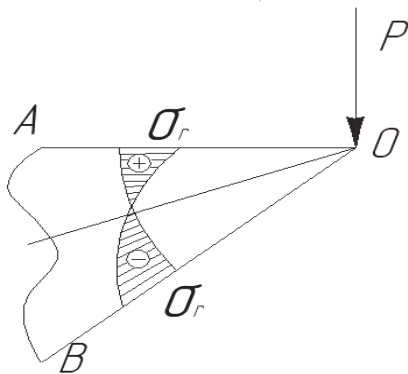


Рис. 4. Эпюра радиальных напряжений затачиваемого инструмента.

Из эпюры радиальных напряжений видно, что максимальное растягивающее напряжение распределяется по передней поверхности затачиваемого инструмента OA и является критическим сечением. Исходя из этого, критический угол $\theta = -\alpha$ и равен половине угла заострения режущего элемента.

Следующим шагом в исследовании напряжений, возникающих при затачивании твердосплавного инструмента, является определение влияния угла заострения β затачиваемого инструмента на радиальные напряжения в клине при различных силах резания (рис. 5). Угол заострения $\beta = 50 \dots 60^\circ$, расстояние до режущей кромки $\rho = 5$ мкм.

Силы резания экспериментально определены для различных твердосплавных материалов и методов обработки твердосплавных инструментов, выполненных на рекомендуемых режимах затачивания, и составляют:

для материала марки ВК8:

$F_1 = 37$ Н – комбинированное электроалмазное шлифование;

$F_2 = 155$ Н – обычное алмазное шлифование;

для материала марки Т15К6:

$F_3 = 54$ Н – комбинированное электроалмазное шлифование;

$F_2 = 205$ Н – обычное алмазное шлифование.

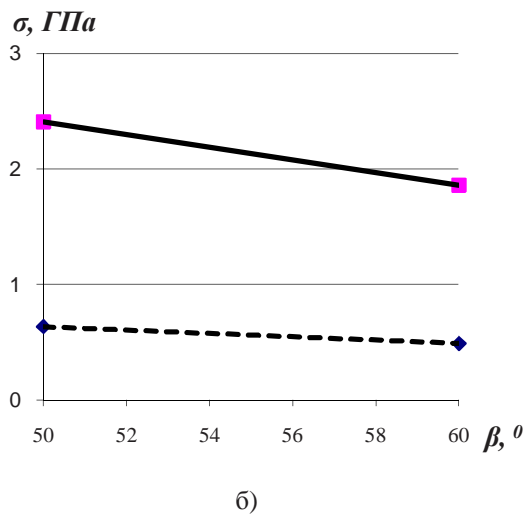
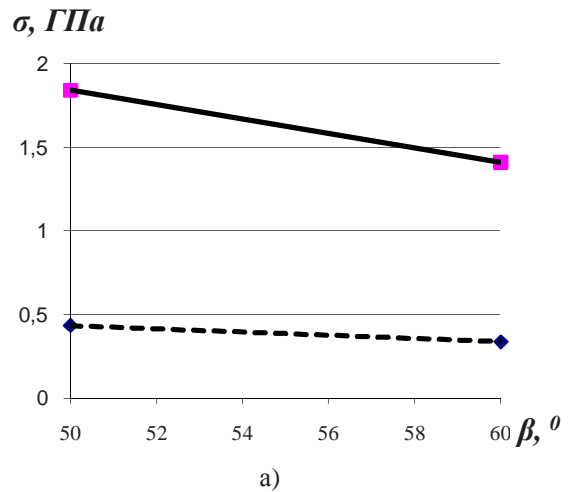


Рис. 5. График зависимости радиальных напряжений от угла заострения β

а) для инструментального материала ВК8; б) для инструментального материала Т15К6 (верхний график – обычное алмазное шлифование, нижний - комбинированное электроалмазное шлифование).

Далее представлены результаты исследования величины радиального напряже-

ния от расстояния до режущей кромки (рис. 6).

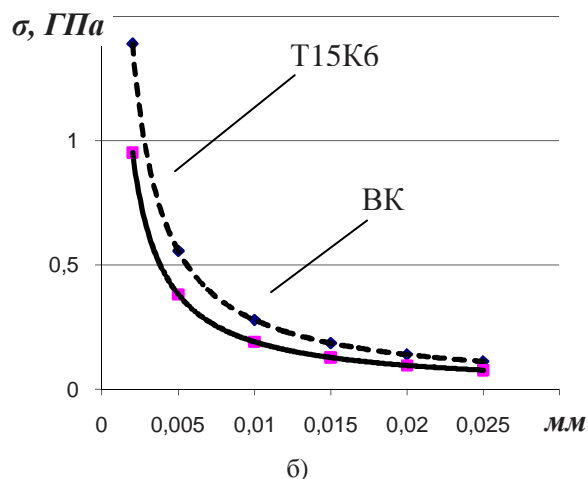
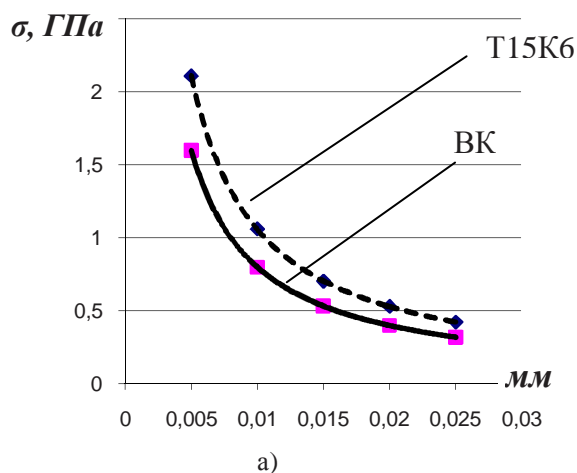


Рис. 6. График напряжений в зависимости от расстояния до режущей кромки клина: а –

обычное алмазное шлифование; б – комбинированное электроалмазное шлифование.

Анализ графиков (рис. 6) и уравнения (11) показывает, что размер сколов на режущей кромке при использовании комбинированного электроалмазного метода шлифования составляет: для ВК8 $\rho = 1,5$ мкм; для Т15К6 $\rho = 2,8$ мкм. При обычном алмазном шлифование величина сколов соответственно равна: для ВК8 $\rho = 6$ мкм; для Т15К6 $\rho = 11$ мкм.

Таким образом, выполненные исследования и разработанная методика позволяют назначать и корректировать рациональные режимы шлифования и затачивания твердосплавного инструмента с минимальными сколами на режущей кромке, а комбинированный электроалмазный метод шлифования может быть рекомендован для затачивания различных режущих инструментов, оснащенных твердосплавными материалами групп ВК, ТК и ТТК.

Литература

1. Янюшкин А. С. Технология комбинированного электроалмазного затачивания твердосплавных инструментов. М.: Машиностроение 1, 2003. 242 с.
2. Зубчанинов В. Г. Основы теории упругости и пластичности. М.: Высшая школа, 1990. 368 с.