

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОНКОСТЕННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Т. С. Скобло, доктор технических наук

С. П. Романюк, аспирант

А. И. Сидашенко, кандидат технических наук

Е. Л. Белкин, инженер

*Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им. Петра Василенко*

Предложена методика расчета и оценки температурных напряжений и деформаций, возникающих в тонкостенном режущем инструменте. Оценен уровень циклических температурных напряжений, приводящих к пластическим деформациям в лезвии. Показано, что для увеличения долговечности ножей необходимо повысить предельно упругую деформацию режущей кромки

Тонкостенный режущий инструмент, температурные напряжения, упругая деформация, пластичность.

Постановка проблемы. В настоящее время в пищевой промышленности широкое распространение получили технологические процессы резания и измельчения перерабатываемой продукции. Резка орехов осуществляется тонкостенными дисковыми ножами из стали 65Г, толщиной 0,64 мм, которые совершают вращательные движения.

Важными факторами, влияющими на прочность, устойчивость, жесткость и износостойкость режущего инструмента являются напряжения и остаточные деформации. Их уровень может меняться в зависимости от формы ножа и размеров, неравномерности нагрузки, неоднородности упругих и механических характеристик металла. В процессе эксплуатации тонкостенного режущего инструмента происходит неравномерный нагрев всего ножа, особенно значительный перепад температур формируется в его режущей кромке. В результате этого возникают температурные напряжения, которые меняются от максимума до минимума в различных зонах режущего инструмента. Возникающие циклические температурные напряжения и деформация в процессе эксплуатации оказывают негативное воздействие на структуру металла инструмента. Это приводит к диффузии углерода, пластической деформации лезвия ножа, что способствует изменению структуры всего режущего инструмента [1, 2].

© Т. С. Скобло, С. П. Романюк, А. И. Сидашенко, Е. Л. Белкин, 2015

Чтобы разработать научно-обоснованные подходы к упрочнению тонкостенного дискового ножа и повысить его надежность, продлить срок эксплуатации необходимо, оценить формируемые температурные поля, установить уровень достигаемых напряжений и деформаций.

Поэтому **целью исследований** является разработка методики расчета и оценки температурных напряжений и деформаций, формируемых при эксплуатации режущего инструмента.

Результаты исследований. В результате проведенных исследований по оценке температурного поля тонкостенных ножей получено, что в наиболее толстой его части, равной 0,64 мм она достигает 48°C, а в наиболее тонкой – у края режущей кромки – 576°C. Такая высокая температура достигается за счет процессов трения и развития напряжений, что в ряде случаев уже при небольшом периоде эксплуатации (1-2 смены) приводит к интенсивной повреждаемости данной зоны режущей кромки – к ее загибу в ноже из стали 65Г, или к выкрашиванию лезвия – из стали 20X13.

За основу расчета термических деформаций и напряжений принята методика, описанная в работе В. В. Абрамова [3], но существенно переработанная.

Идея основана на том, что сумма проекций сил от неравномерного распределения температур на каждую ось координат должна равняться нулю. Например, если брусок даже неравномерного сечения по длине нагрет неравномерно, то можно легко найти такую среднюю температуру, относительно которой сумма проекций формируемых напряжений будет равна нулю. То есть,

$$\sum_{k=1}^n [\beta(T_k - T)m_k F_k] = 0 \quad (1)$$

где: T_k – температура в точке с индексами k ; β – коэффициент линейного расширения; T – температура, которую необходимо оценить; F_k – площадь сечения в точке k ; m_k – модуль упругости, зависящий от температуры. В работе рассчитывали по эмпирической формуле:

$$m_k = (23.023 - \frac{3706}{10^6} T_k - \frac{892}{10^8} T_k^2) \cdot 1000 \quad (2)$$

Деформацию от теплового воздействия рассчитывали по формуле:

$$\varepsilon_k = \beta(T_k - T).$$

В работе, исходя из характера повреждаемости ножей в эксплуатации, рассмотрели упруго-пластическую задачу. Ее особенность состоит в том, что пластическая деформация распространяется на относительно небольшой объем – самую тонкую часть мета-

ла лезвия ножа. Согласно существующей теории упругости и пластичности термические напряжения тепловой нагрузки рассчитывают с учетом закона Гука:

$$\sigma_k = m_k \varepsilon_k.$$

При этом имеют в виду, что условия равновесия автоматически выправят несоответствие этих зависимостей равномерному нагреву. Сила S_k равна произведению напряжения на площадь $S_k = \sigma_k F_k = m_k \beta (T_k - T) F_k$, то есть, под знаком суммы действительно условие равновесия сил $\sum_{k=1}^n S_k = 0$. Таким образом, искомое T из приведенной суммы (1) определяется по формуле:

$$T = \frac{\sum_{k=1}^n \beta T_k m_k F_k}{\sum_{k=1}^n m_k F_k}. \quad (3)$$

Однако принцип, предложенный в работе [3] учитывает не все составляющие. Например, объемность задачи с возникновением пластических деформаций от неравномерности развиваемых температур, а также не учитывает структурные превращения. Поэтому естественным образом метод Абрамова можно дополнить с помощью вариационного принципа минимума работы деформации. Кроме того, в теории пластичности существует две параллельные теории: одна деформационная, по которой сделаны приведенные выше выкладки, другая теория пластического течения. Второе дополнение относится к теории пластического течения, которую можно еще рассматривать как теорию приращения деформаций. Это возможно, если под скоростью деформации понимать ее приращение за одинаковое время. При достаточно малом промежутке времени приращение деформации приближенно будет равно ее скорости. Это выполнимо при условии, если величина промежутка времени является таковой, при которой температурная деформация не очень сильно превышала предельно упругую. Это требование необходимо для быстрого поиска средней деформации, обеспечивающей равновесие или минимум ее работы в вариационной постановке. С другой стороны, промежуток времени, о котором идет речь, не должен быть и слишком маленьким, чтобы не препятствовать релаксации напряжений. Под релаксацией напряжений понимаем пластическую разгрузку: если деформация превышает предельно упругую, то после разгрузки она равна предельно упругой. На самом деле она немного больше предельно упругой за счет упрочнения. Остается еще один фактор, определяемый структурными превращениями. В этом случае происходит структурная деформация, скорее всего, не меньше

предельно упругой (в пределах 0.001-0.002). Для случая структурных деформаций, как показывают многочисленные расчеты, ее нельзя растягивать по времени в пределах структурных превращений, а следует учитывать один раз сразу после окончания превращений. То есть, промежуток времени не имеет значения. Исходя из вышесказанного запишем вариационный принцип в виде:

$$A = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l) + \varepsilon_{okl-1}]^2 m_k v_k = \min \quad .$$

При этом деформация равна:

$$\varepsilon_{kl} = \beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l) + \varepsilon_{okl-1}, \quad (4)$$

где: k – номер интервала сеточной области; l – номер интервала расчета по времени; T_{kl} – температура в интервале с индексами kl ; T_{kl-1} – температура в интервале с индексами $kl-1$, то есть, в предыдущий момент времени расчета; ε_{okl-1} – остаточная деформация с учетом расчета в предыдущий момент времени (в начальный момент – она принята равной нулю); ΔT_l – неизвестная пока величина, значение которой определяется из условия минимума A ; v_k – объем k интервала.

Под знаком суммы приведена работа деформации:

$$A = \sum_{k=1}^n \varepsilon_{kl} \sigma_{kl} v_{kl} \cdot$$

Определим ΔT_l , дифференцируя A по ΔT_l и, приравнявая производную к нулю:

$$\frac{\partial A}{\partial \Delta T_l} = -2\beta \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l + \varepsilon_{okl-1})] m_k v_k = 0 \cdot$$

Обозначим:

$$c = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k, \quad d = \sum_{k=1}^n [\beta \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k \cdot$$

Тогда из $\sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - \Delta T_l) + \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k = c - d \Delta T_{cprl} = 0$, получим

$\Delta T_{cprl} = \frac{c}{d} = \left\{ \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_k v_k \right\} / \sum_{k=1}^n \beta m_k v_k$. Из этой формулы в частности следует, что если $T_{kl} \rightarrow T_k$, то есть, если $T_{kl-1} - T_{kl} \rightarrow 0$, то $\Delta T_{cprl} \rightarrow \frac{\varepsilon_{ok}}{\beta}$. Рассмотрим, какое значение принимает работа деформации, согласно полученной формуле для ΔT_{cprl} :

$$A = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl} - c/d) + \varepsilon_{okl-1}]^2 m_{kl} v_{kl} = A_1 + A_2 + A,$$

где

$$A_1 = \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}]^2 m_{kl} v_{kl}, \quad A_2 = \sum_{k=1}^n [\beta(-c/d)]^2 m_{kl} v_{kl} = \beta \frac{c^2}{d^2} \sum_{k=1}^m \beta m_{kl} v_{kl} = \beta \frac{c^2}{d},$$

$$A_3 = -2\beta c / d \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_{kl} v_{kl},$$

$$A_3 = -2\beta / d \left\{ \sum_{k=1}^n [\beta(T_{kl-1} - T_{kl}) + \varepsilon_{okl-1}] m_{kl} v_{kl} \right\} = -2\beta \frac{c^2}{d}, \quad A = A_1 - \beta \frac{c^2}{d}.$$

То есть, при $T_{kl-1} - T_{kl} \rightarrow 0$ работа деформации

$$A = A_1 - \beta \frac{c^2}{d} A_1 = \sum_{k=1}^n [\varepsilon_{ok}]^2 m_{kl} v_{kl} - \beta \left\{ \sum_{k=1}^n [\varepsilon_{ok}] m_k v_k \right\}^2 / \sum_{k=1}^n \beta m_k v_k = 0.$$

Это поясняет формулу для среднего значения приращения температуры, обеспечивающей равновесие на каждом этапе расчета. Определив ΔT_l , рассчитываем деформацию на этапе l по формуле (4). Обозначим через $\varepsilon_{0,2}$ предельно упругую деформацию. Тогда остаточная деформация после этапа расчета l , исходя из описания жестко пластической разгрузки, принята из условия: если $|\varepsilon_{kl}| \leq \varepsilon_{0,2}$, то $\varepsilon_{okl} = \varepsilon_{kl}$; если $|\varepsilon_{kl}| > \varepsilon_{0,2}$, то $\varepsilon_{okl} = \varepsilon_{kl} / |\varepsilon_{kl}| \cdot \varepsilon_{0,2}$. Выражение $\varepsilon_{kl} / |\varepsilon_{kl}|$ характеризует знак деформации нарузки.

Соответственно, остаточное напряжение будет:

$$\sigma_{okl} = m_k \varepsilon_{okl}.$$

Приведенный выше расчет подробно описан для радиуса дискового ножа. Причем, радиальная и тангенциальная деформации принимались с обратными знаками. Аналогичный расчет производили по толщине диска. Кроме этого, рассчитывали работу деформации и ее интенсивность для объемной задачи.

Работа деформации в самом общем виде записывается так:

$$A = \iiint_V e_s \sigma_s dV, \quad (5)$$

где: e_s – интенсивность деформаций, которая вычисляется по формуле:

$$e_s = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_z - e_x)^2 + \frac{3}{2}(e_{xy}^2 + e_{xz}^2 + e_{yz}^2)}.$$

где: σ_s – интенсивность напряжений, которая вычисляется по формуле:

$$\sigma_s = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + \frac{3}{2}(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xz}^2 + \sigma_{yz}^2)},$$

где: dV – элемент объема.

В теории считается, что пластичность начинается тогда, когда интенсивность напряжений равна некоторому постоянному числу K . Однако при практическом решении задач теории пластичности вместо интенсивности напряжений учитывают сопротивление деформации, которое рассчитывается по эмпирической формуле и в нее входят параметры химического состава стали, способа упрочнения, температуры, скорости и степени деформации. В данном исследо-

вании рассматривали интенсивность деформации в простейшем случае, когда:

$$e_{xy} = e_{yz} = e_{zx} = 0.$$

Принято еще одно предположение: $e_x + e_y + e_z = 0$. Последнее условие относится к пластическим деформациям (или близким к ним). Обозначим:

$$F = (e_x - e_y)^2 + (e_y - e_z)^2 + (e_z - e_x)^2.$$

Зададим число a таким, что:

$$e_y = ae_x.$$

Тогда,

$$e_x + ae_x + e_z = 0, \quad e_z = -(1+a)e_x, \quad F = 6e_x^2(a^2 + a + 1).$$

Но по определению $F \geq 0$, значит, и $a^2 + a + 1 \geq 0$.

Найдем a , которое соответствует наименьшему значению F .

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 2a + 1.$$

Для $a = -\frac{1}{2}$, имеем $e_z = -(1+a)e_x = -\frac{1}{2}e_x$ и $e_y = -\frac{1}{2}e_x$.

При этом:

$$F_{\min} = F\left(-\frac{1}{2}\right) = 6e_x^2\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{2} + 1\right) = 6e_x^2\frac{3}{4} = e_x^2\frac{9}{2}, \quad F_{\min}/6 = 0.75e_x^2.$$

Интеграл (5) для подсчета работы деформации в дискретном виде представляется так:

$$A = \sum_{k=1}^n e_{sk} \sigma_{sk} V_k.$$

При расчетах напряжения и деформации радиус ножа был разделен на 43 интервала по 0,5 мм, а по толщине на 2 по 0,32 мм.

На основании предложенной методики проведены расчеты для предельно упругой деформации равной 0.0035 и 0.002. Для каждой $\epsilon_{0,2}$ сделано по 8 расчетов напряжений и деформаций, соответствующих $\alpha = 5,81; 11,63; 17,44; 23,26; 29,07; 58,15; 87,22$ и $116,3 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Полученные результаты изменения остаточной деформации представлены в графическом виде на рис. 1.

Из рис.1,а видно, что при предельно упругих деформациях равных 0.002, зона пластической деформации на большей ее части однородна и соответствует ширине всей режущей кромки при разных коэффициентах теплоотдачи. Эта зона значительно шире, чем при $\epsilon_{0,2} = 0.0035$. На полученной зависимости (см. рис.1,б) значение остаточной деформации не достигает предельно упругих при $\alpha < 58,15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$. Это свидетельствует о том, что в данном случае не происходит пластической деформации в лезвии ножа.

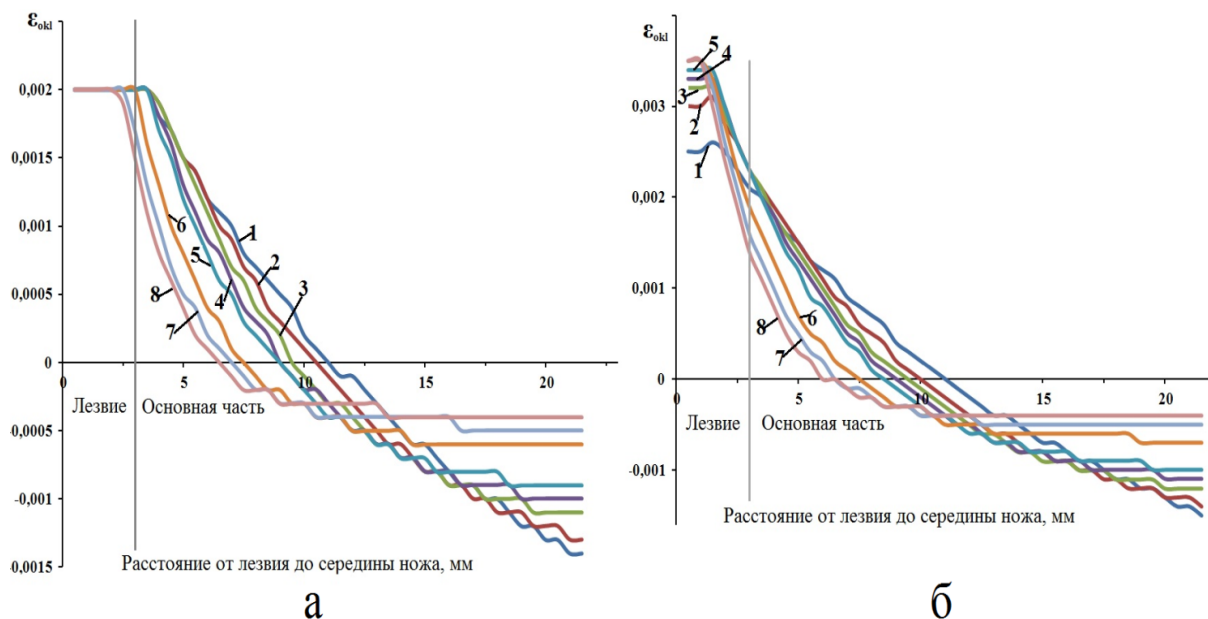


Рис. 1. Изменение остаточной деформации по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.002 (а) и 0.0035 (б) в зависимости от коэффициента теплоотдачи α (1 – $\alpha=5,81$; 2 – $\alpha=11,63$; 3 – $\alpha=17,44$; 4 – $\alpha=23,26$; 5 – $\alpha=29,07$; 6 – $\alpha=58,15$; 7 – $\alpha=87,22$; 8 – $\alpha=116,3$).

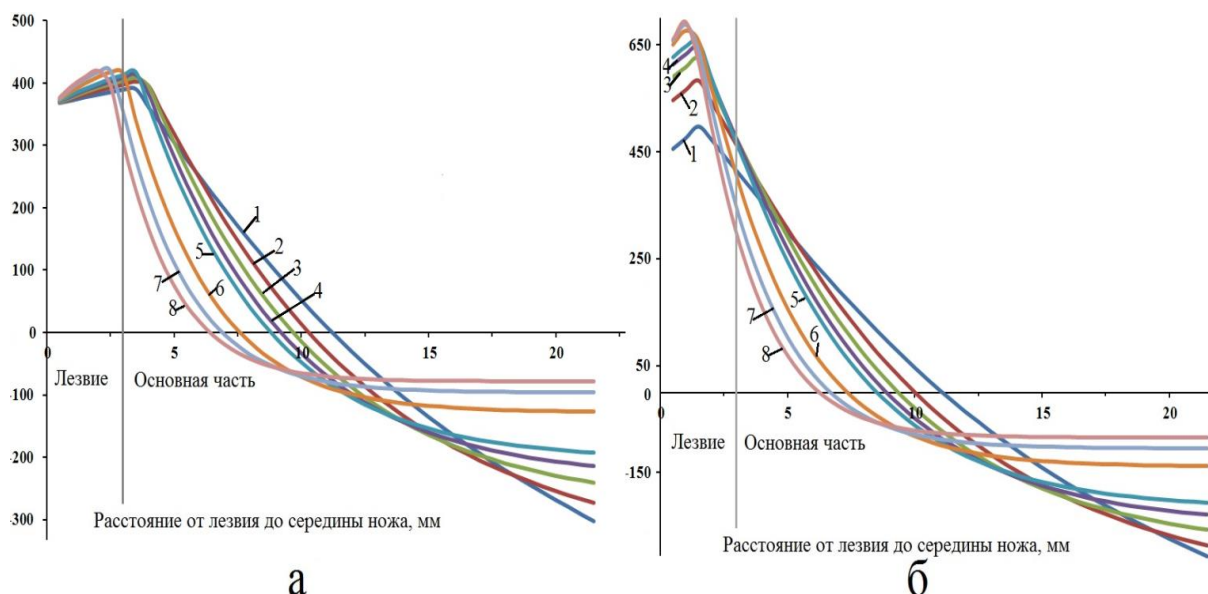


Рис. 2. Распределение тангенциальных напряжений по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.002 (а) и 0.0035 (б) в зависимости от коэффициента теплоотдачи α (1 – $\alpha=5,81$; 2 – $\alpha=11,63$; 3 – $\alpha=17,44$; 4 – $\alpha=23,26$; 5 – $\alpha=29,07$; 6 – $\alpha=58,15$; 7 – $\alpha=87,22$; 8 – $\alpha=116,3$).

Проведенные расчеты для остаточных деформаций показали, что с ростом $\epsilon_{0,2}$ уменьшается зона пластической деформации по диаметру дискового ножа (режущей кромки).

Изменение тангенциальных напряжений по ширине дискового ножа в зависимости от коэффициента теплоотдачи α представлено на рис. 2. Из рис. 2. видно, что с увеличением коэффициента теплоотдачи α снижается значение тангенциальных напряжений.

С ростом α интенсивность деформации (рис. 3) повышается у лезвия и снижается у основания.

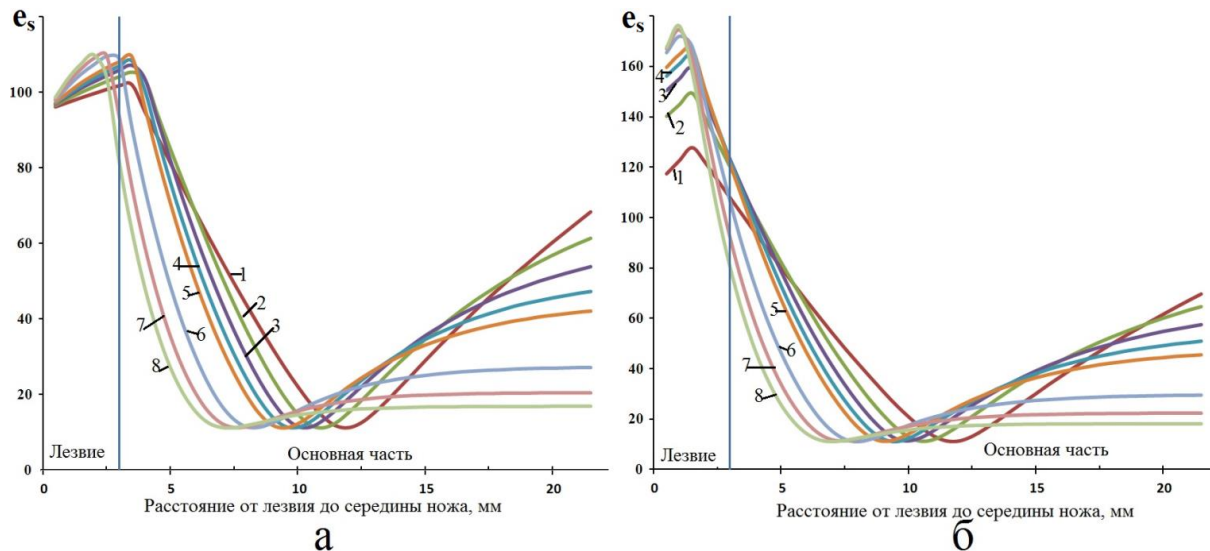


Рис. 3. Интенсивность деформации по радиусу дискового ножа при предельно упругих значениях 0.002 (а) и 0.0035 (б) в зависимости от коэффициента теплоотдачи α (1 – $\alpha=5,81$; 2 – $\alpha=11,63$; 3 – $\alpha=17,44$; 4 – $\alpha=23,26$; 5 – $\alpha=29,07$; 6 – $\alpha=58,15$; 7 – $\alpha=87,22$; 8 – $\alpha=116,3$).

Проведен расчет изменения работы деформации при разных значениях предельно упругих деформаций и коэффициентах теплоотдачи. Полученные результаты представлены в табл. 1.

1. Изменение работы деформации при различных значениях $\epsilon_{0,2}$

Параметры	Работа деформации								
	5	10	15	20	25	50	75	100	
Предельно упругая деформация $\epsilon_{0,2}$	0.0035	555.8	563.2	530.2	490.7	453.6	324.4	253.7	210.0
	0.002	508.4	470.9	421.3	379.4	345.9	241.5	187.6	153.5

Из табл. 1, можно сделать вывод, что работа деформации снижается с увеличением коэффициента теплоотдачи α . Также работа деформации снижается со снижением $\epsilon_{0,2}$. Из анализа полученных результатов следует, что для того чтобы избежать пластических деформаций в лезвии ножа, необходимо повышать предель-

но упругую деформацию. Это возможно осуществить с помощью нанесения покрытий. Дальнейшие исследования проводили для изучения влияния предельно упругой деформации равной 0.0035 при циклических условиях эксплуатации (цикл работы одной перерабатываемой пары продукции) до отключения оборудования и последующей загрузки продукции и осмотра состояния ножей.

Для того чтобы проследить влияние остаточных деформаций и напряжений в режущем инструменте были проведены расчеты изменения этих параметров при циклическом нагреве и охлаждении. Полученные результаты представлены в графических зависимостях (рис. 4 и рис. 5) и табл. 2.

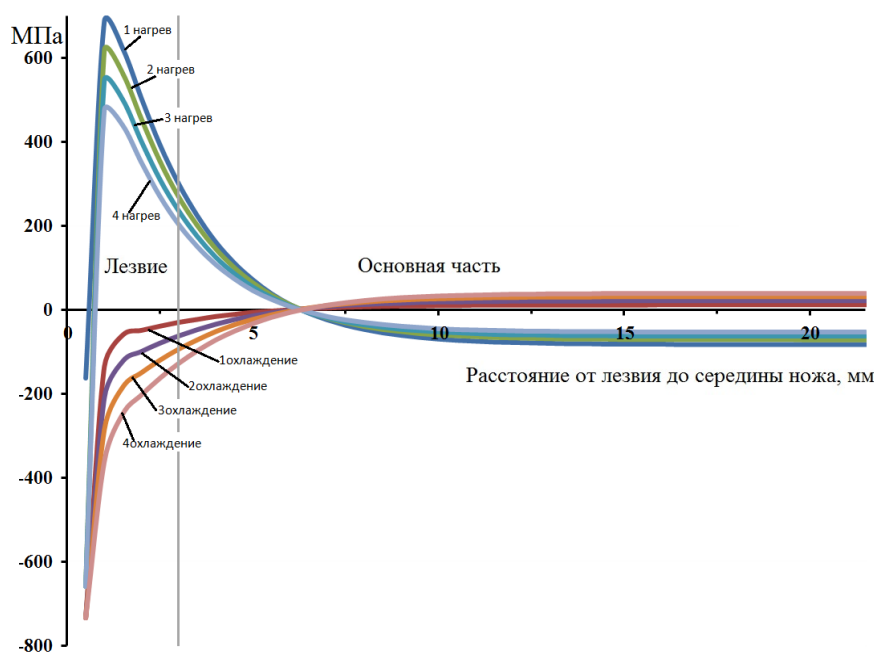


Рис. 4. Распределение тангенциальных напряжений по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.0035 в 4 циклах нагрев-охлаждение

Из рис. 4 видно, что на краю лезвия возникают растягивающие тангенциальные напряжения на ширине 0,5мм, переходящие в сжимающие. На расстоянии 6мм от края лезвия по радиусу ножа при нагреве отмечается изменение знака напряженного состояния, происходит переход от сжимающих к растягивающим. В ножах американского производства в этой зоне формируют утолщение по его периметру, равное 0,26мм. Несмотря на это конструктивное решение, эксплуатационная стойкость таких ножей существенно не возрастает. Наибольшие напряжения соответствуют режущей кромке ножа и составляют 686 МПа. При охлаждении они меняют знак на противоположный. С каждым циклом эксплуатации уменьшаются значения тангенциальных напряжений.

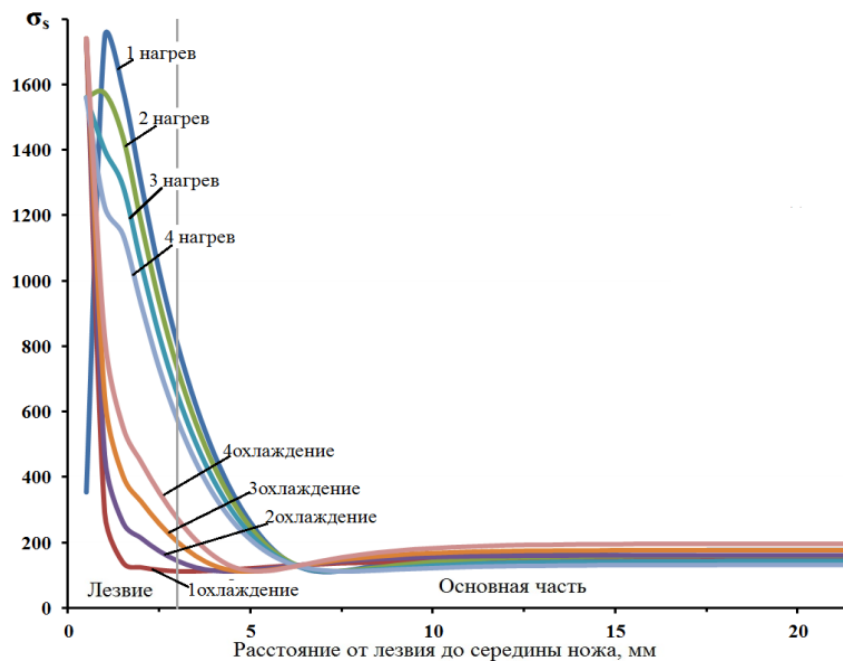


Рис. 5. Интенсивность напряжений по радиусу дискового ножа при предельно упругих деформациях 0.0035 и в 4 циклах нагрев-охлаждение.

2. Изменение остаточных касательных деформаций по радиусу ножа от края лезвия и основной его части.

Цикл	Остаточные касательные деформации, 10^{-3}													
	Лезвие, мм						Основная часть, мм							
	0-0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
После 1-го нагрева	-9	35	30	24	19	14	11	8	5	3	2	1	0	-1
После охлаждения	-35	-6	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
После 2-го нагрева	-35	31	27	22	17	13	10	7	5	3	2	1	0	-1
После охлаждения	-35	-10	-6	-5	-4	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	0	0
После 3-го нагрева	-35	28	24	19	15	11	8	6	4	3	1	0	0	-1
После охлаждения	-35	-14	-9	-7	-6	-5	-3	-3	-2	-1	-1	0	0	0
После 4-го нагрева	-35	24	21	17	13	10	7	5	3	2	1	0	0	-1
После охлаждения	-35	-17	-12	-10	-8	-6	-5	-3	-2	-2	-1	0	0	1

Максимальная интенсивность напряжений составляет 1744 МПа на лезвии (рис. 5). Интенсивность напряжений с каждым последующим циклом уменьшается при нагреве. При этом, с каждым последующим циклом, увеличивается интенсивность напряже-

ний при охлаждении. Результаты расчетов остаточных касательных деформаций в циклах нагрев-охлаждение представлены в табл. 2.

В табл. 2 не представлены данные расчетов по радиусу ножа (его основанию) от 7 мм до 21,5 мм потому что в этой зоне остаточные касательные деформации гораздо меньше предельно упругих.

Из табл. 2 видно, что после нагрева в первый раз на конце лезвия остаточная касательная деформация составляет $-9 \cdot 10^{-3}$, то в последующие циклы нагрева она все время равна предельно упругой. При нагреве лезвие сжимается, но самое острие растягивается. Цикл охлаждения приводит к еще большему растяжению конца лезвия до предельно упругого состояния. Следующий цикл расчета нагрева так и оставляет в пластическом состоянии растяжения конец лезвия. При этом происходят необратимые изменения в металле режущей кромки ножа, связанные с разрушением карбидной фазы, диффузией углерода с перестройкой дислокационной структуры, появлением значительных пластических деформаций [1, 2], приводящих к повреждаемости и разрушению. Это способствует тому, что на конце лезвия происходит вырыв металла или загиб. Как показали экспериментальные исследования, повреждаемость ножей происходит в режущей кромке, где имеют место наибольшие напряжения растяжения, стимулирующие структурную деградацию металла. Обеспечить уменьшение повреждаемости можно нанесением нанопокровов, снижающих влияние этих факторов.

Для оценки физико-механических свойств исходных ножей и упрочненных покрытием были проведенные сопоставительные исследования с применением метода наноиндентирования. Полученные результаты показали, что свойства исходных ножей, обработанных традиционными методами, существенно отличаются от упрочненных покрытием. Нанопокров обеспечивает более высокие физико-механические свойства инструмента. Оно способствует значительному повышению таких параметров, как нанотвердость и модуль упругости.

По результатам испытаний среднее значение нанотвердости для образцов с покрытием составило: 23,19 (нанопокров CrN), 33,86 (нанопокров MoN) и 25,67 (нанопокров TiN). При этом нанотвердость исходного образца не превышает 4,09 ГПа.

Получены данные о среднем значении модуля упругости для образцов с покрытием, которое составило: 281,19 ГПа (нанопокров CrN), 480,58 (нанопокров MoN) и 389,29 (нанопокров TiN). Среднее значение модуля упругости для исходного образца составило 204,7 ГПа.

При анализе механических свойств покрытий оценивали стойкость материалов к упругой деформации разрушения, используя ве-

личину отношения твердости к модулю упругости H/E , называемую индексом пластичности [4]. Данный показатель составляет 0,082 для упрочненного образца нанопокрывается CrN и 0,020 – для исходного. Также оценивали сопротивление материала пластической деформации (H^3/E^2) [5]. Например, для упрочненного ножа нанопокрывается CrN, у которого наименьшее значение модуля упругости, сопротивление пластической деформации металла ножа с покрытием CrN увеличивается в 93 раза по сравнению с исходным.

Как показали промышленные испытания, эксплуатационная стойкость, сопротивление деформации и разрушению, упрочненных нанопокрывается ножей возросли более чем в 25 раз.

Проведенные сопоставительные исследования подтвердили теоретические расчеты о необходимости повышения упругих свойств режущего инструмента.

Выводы

Предложена методика расчета и оценки температурных напряжений и деформаций, возникающих в тонкостенном режущем инструменте. Показано, что при нагреве острие лезвия подвергается растягивающим напряжениям и каждый цикл охлаждения при эксплуатации приводит к еще большему их накоплению до предельно упругого состояния. Это приводит к появлению пластических деформаций и интенсивной повреждаемости, особенно режущей кромки.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что для увеличения эксплуатационной стойкости дисковых ножей необходимо повышать предельно упругую деформацию и предел текучести режущей кромки. Одним из наиболее эффективных способов может быть метод упрочнения нанесением нанопокрывается на поверхность инструмента.

Проведенные сопоставительные исследования показали, что свойства исходных ножей, обработанных традиционными методами, существенно отличаются от упрочненных покрытием. Нанопокрывается обеспечивает более высокие физико - механические свойства инструмента. Оно способствует значительному повышению таких параметров, как нанотвердость (минимум в 5,67 раз) и модуль упругости (минимум на 76,49 ГПа). Сопротивление пластической деформации металла ножа с покрытием CrN увеличивается в 93 раза по сравнению с исходным.

Список литературы

1. Скобло Т. С. Кинетика структурных изменений ножей в процессе трения при переработке продукции / Скобло Т. С., Сидашенко А. И., Романюк С. П. // Научное обозрение. – М., 2014. – № 4. – С. 197–203
2. Скобло Т. С. Перераспределение углерода в тонкостенном режущем инструменте при эксплуатации / Скобло Т. С., Романюк С. П., Белкин Е.Л. // Технічний

сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Х.: ХНТУСХ ім. Петра Василенко, 2014. – №1. – С. 95–103

3. Абрамов В. В. Остаточные напряжения и деформации в металлах / В. В. Абрамов. – М.: Машгиз, 1963. – 356 с.

4. Фирстов С. А. Связь прочностных характеристик материалов с показателями автоматического индентирования / С. А. Фирстов, В. Ф. Горбань, Э. П. Печковский, Н. А. Мамека // Методы анализа и испытаний материалов. Материаловедение. – 2007. – С. 26–31.

5. Толмачёва Г. Н. Применение метода наноиндентирования для исследования механических свойств сверхтвёрдых покрытий на основе нитрида титана / Г. Н. Толмачёва, А. С. Куприн // ФИП. – 2011. – Т. 9, № 2. – С. 157–163.

Запропоновано методику розрахунку та оцінки температурних напруг і деформацій, що виникають в тонкостінному ріжучому інструменті. Оцінено рівень циклічних температурних напруг, що призводять до пластичних деформацій у лезі. Показано, що для збільшення довговічності ножів необхідно підвищувати гранично пружну деформацію ріжучої кромки.

Тонкостінний ріжучий інструмент, температурні напруги, пружна деформація, пластичність.

The calculation and estimation technique of the temperature stresses and deformations, arising in the thin-walled cutting tool, is proposed. The level of the cyclic thermal stresses leading to the plastic deformation in the blade is estimated. It is shown that in order to increase the durability of knives it is necessary to enhance the maximum elastic deformation of the cutting edge

Thin-walled cutting tools, thermal stresses, elastic deformation plasticity.

УДК 368.5:361.1:368.04

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТРАХУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ: ІННОВАЦІЙНИЙ АСПЕКТ

**С. А. Навроцький, доктор економічних наук
Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки»**

У статті обґрунтовано необхідність страхування земель сільськогосподарського призначення від погіршення їх якісного стану. Запропоновано методичні рекомендації з оцінки збитків

© С. А. Навроцький, 2015