

№3,
2020

МЕХАНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

Ғылыми журналы



Научный журнал

МЕХАНИКА И ТЕХНОЛОГИИ



Scientific Journal

MECHANICS & TECHNOLOGIES



Журнал «Механика и технологии»:



Входит в реферативную базу данных Information Service for Physics, Electronics and Computing (INSPEC DIRECT) Института Инжиниринга и Технологий Великобритании.

<http://inspecdirect-service.theiet.org/private/home.aspx>



Зарегистрирован в российской национальной библиографической базе данных научного цитирования РИНЦ

http://elibrary.ru/project_risc.asp

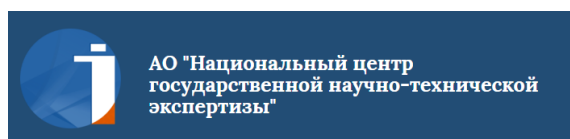
Год	Импакт-фактор
2017	0,032
2018	0,050



Включен в перечень научных изданий, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности по направлениям:

Шифр	Специальность
01.02.00	Механика
05.18.00	Технология продовольственных продуктов

<http://control.edu.gov.kz/ru/perechen-nauchnyh-izdaniy-rekomenduemyh-komitetom-dlya-publikacii-osnovnyh-rezultatov-nauchnoy-0>



Имеет импакт-фактор по Казахстанской базе цитирования:

Год	Импакт-фактор
2015	0,030
2016	0,011
2017	0,053

http://www.nauka.kz/page.php?page_id=794&lang=1#

Подписной индекс журнала: 74714 (АО «Казпочта»-«Почтовый сервис»)

МАЗМУНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

МЕХАНИКА, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Сагитов А.А., Шеров К.Т., Ғабдысалық Р., Бузауова Т.М., Окимбаева А.Е., Сәулетов С.Р. Көпжүзді ротациялық-фрикциялық құралдың ең көп жүктелген торабының кернеулік күйін зерттеу	7
Айнабекова С.С., Шеров К.Т., Насад Т.Г., Маздубай А.В., Ғабдысалық Р., Шеров А.К. Анализ методов аналитического определения температуры резания при термофрикционной обработке	14
Дүйсембиев Е.Е., Тәттібеков К.С., Тучин А.В. Механикалық байланыссыз гироскоп роторының тұрақты қозғалыстарының шарттары	24
Сазамбаева Б.Т., Маханов М., Тулеков А.Б. Проектирование и анализ телескопической стрелы для мобильных кранов	30
Спандияров Е. Расчет напряжений и деформаций зерна пшеницы при ударном измельчении	38
ТЕХНОЛОГИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ	
Шаншарова Д.А., Гривна Л., Сарсекова А.К. Нетрадиционные виды местного растительного сырья для приготовления безглютеновых мучных кондитерских изделий	43
Саидов А.М., Жангабылова Н.Д., Искаков К.Е. Нан-тоқаш өнімдерінің азықтық құндылығын арттыру	51
Шаншарова Д.А., Гривна Л., Сарсекова А.К. Разработка рецептуры и технологии безглютенового печенья на основе природного растительного сырья	57
Saidov A.M., Zhangabylova N.D., Alseitov K.S. Development of a bread recipe with the addition of chickpea flour	64
Искакова Г.К., Жарылқасынова Ж.Ә., Кизатова М.Ж., Азимова С.Т. Пектин өндіруде қолданылатын қант қызылшасының сапалық көрсеткіштерін зерттеу	70
Кизатова М.Е., Боровский А.Ю., Ким Ю.В., Байкенов А.Ө., Есимова Ж.А. Изучение физико-механических свойств плодов дыни при усовершенствовании технологии отделения мякоти для производства сухофруктов и здоровых завтраков	78
Кизатова М.Е., Султанова М.Ж., Боровский А.Ю., Тултабаев М.Ч., Сүлейменов Д.Ж. Исследование химического состава опытных образцов экструдированных отходов послеуборочной обработки льна	

(экструдатов)	88
Байкенов А.Ө., Байгенжинов К.А., Есимова Ж.А., Кизатова М.Е., Ким Ю.В. Математическое моделирование и оптимизация параметров процесса кристаллизации мальтозного сиропа	93
Шунекеева А.А., Майоров А.А., Алимарданова М.К. Определение структурно-механических свойств кисломолочных напитков из козьего молока с наполнителями	100
Abay G., Tultabayeva T., Chomanov U., Shoman A., Shoman A. The microflora of fermented mare's milk and koumiss	106
Shunekeyeva A.A. Nutritional properties of fermented milk products from goat's milk	112
Jumabekova G., Serikkyzy M., Mamyrat Zh., Tymbaeva B. Analysis of technological risks in the production of semi-smoked sausages ...	118
Сабралы С.Е., Абжанова Ш.А., Джетписбаева Б.Ш., Абилямажинова Н.К., Рскелдиев Б.А. Разработка безопасного производства варено-запеченных мясных продуктов из свинины с применением барьерной технологии	123
Қажымұрат А.Т., Уажанова Р.У. Коллаген гидролизаты өндірісінде сыни бақылау нүктелерін анықтаудағы FMEA жүйесінің тиімділігі	128
Қажымұрат А.Т., Уажанова Р.У., Тұнғышбаева У.О., Сепеда А.С. Коллаген өндірісінің қауіпсіздігі мен сапа басқарудың интеграцияланған жүйесінің тиімділігін бағалау әдістемесін әзірлеу	136

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Глушков И.Н., Бибарсов В.Ю., Герасименко И.В., Бедыч Т.В. Оценка способов автоматизации уличного освещения сельского населенного пункта	143
Глушков И.Н., Герасименко И.В., Бедыч Т.В., Кукаев Х.С. Оценка особенностей наружного освещения территории сельскохозяйственных организаций и сельских населенных пунктов	150

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Джурумбаева Р.А., Сәрсенбекова Н. Шахталық су тастағыштардың кіреберіс бөлігін эксперименталды зерттеу	157
--	-----

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сагындыков А.А., Абуталипов Е.А., Орынбасаров Т.С., Омаралы Р.Н. Прочность вибропрессованных стеновых блоков из золошлакового сырья	165
---	-----

Сағындықов А.Ә., Абуталипов Е.А., Бапанова Ж.Ж., Султанбеков Б.К. Көмір байыту қалдықтарын керамикалық қабырға материалдарын өндіруде пайдалану	171
--	-----

Алимбаев Б.А., Карабаев Н.Т., Абуталипов Е.А., Асылбеков А.Ш. Легкий заполнитель и бетоны на основе органических отходов	177
--	-----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Темиргалиев Т.К., Есмаханова Л.Н., Темиргалиев А.Т. Исследовательские отладочные комплексы для разработки систем автоматизации химической промышленности на базе микроконтрол- леров Atmega	184
---	-----

Темиргалиев Т.К., Рахманбердиев А.Б., Темиргалиев А.Т. Исследовательский лабораторный стенд электроники на основе отладочной платы Analog System Lab Kit Pro для разработки аналоговых систем	190
---	-----

Есмаханова Л.Н., Темиргалиев Т.К., Темиргалиев А.Т. Отладочная плата химико-технологических процессов на базе микроконтроллеров Pис для экспериментов с промышленными устройствами	197
--	-----

Темиргалиев Т.К., Рахманбердиев А.Б., Темиргалиев А.Т. Отладочная плата автоматических систем управления химико- технологическими процессами на 32-разрядных микроконтроллерах фирмы Stmicroelectronics с ядром Arm Cortex-M3 и Cortex-M4	203
---	-----

results of the study of the stress state of a laden node of a multi-blade rotary-friction tool by the finite element method using the Solidworks program. The results of the study showed that when the load on the cup cutter force $P=400$ N, the maximum bending stress of the shaft part is 17.28 MPa, which does not exceed the permissible stress limit (175 MPa) for steel 45.

Keywords: cup cutter, finite element method, rotary friction tool, stress, strain.

УДК 621.9.1

**С.С. Айнабекова¹, К.Т. Шеров², Т.Г. Насад³, А.В. Маздубай⁴,
Р. Габдысальк⁵, А.К. Шеров⁶**

¹Докторант, ²Д-р техн. наук, профессор, ³Д-р техн. наук, профессор,
⁴Д-р PhD, ст. преподаватель, ⁵Д-р PhD, ст. преподаватель, ⁶Д-р PhD

^{1,2}Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан

³Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина,
г. Саратов, Россия

⁴Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,
Павлодар, Казахстан

⁵Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

⁶ТОО «Казахстанская авиационная индустрия», г. Нур-Султан, Казахстан

Электронная почта: ¹asaules@mail.ru, ²shkt1965@mail.ru,
³tgnas@mail.ru, ⁴asylkhan_m@mail.ru, ⁵riza.gabdyssalyk@mail.ru, ⁶knyazluni@mail.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТЕРМОФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

При определении температуры резания не всегда достаточно четко определена область применения предложенных методов расчета. С этой целью в работе были рассмотрены методики расчета температуры резания разных исследователей. Однако результаты показали, что рассмотренные методики не позволяют достаточно определить распределение температуры вглубь заготовки в процессе резания и пояснить процесс осуществления механизма резания термофрикционной отрезки с импульсным охлаждением. Для термофрикционной отрезки (ТФО) с импульсным охлаждением важным направлением теплофизических исследований является определение температур на контактных площадках инструмента и детали, с учетом влияния размеров шагов на диске L_1 - зона нагрева и охлаждения L_2 , так как именно здесь наблюдаются изменения в поверхностном слое.

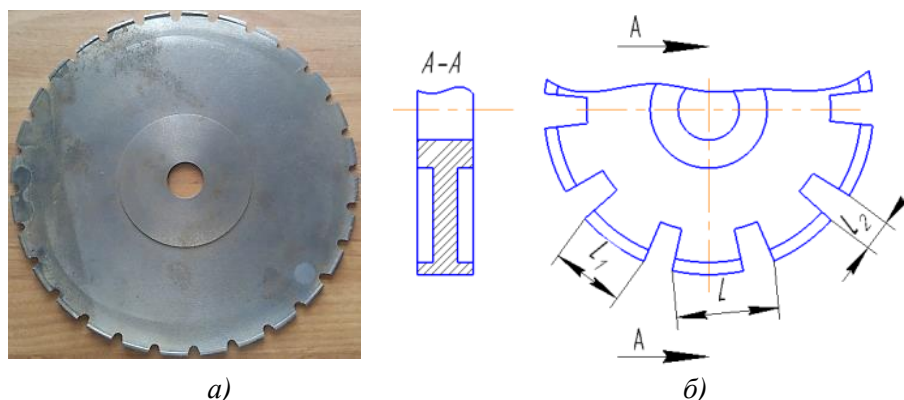
Выявлено, что ранее предложенные зависимости можно взять за основу, но они не описывают тепловых явлений с учетом зон нагрева и охлаждения. Для получения полной информации о тепловых явлениях происходящих в контакте «инструмент-заготовка» при термофрикционной отрезке с импульсным охлаждением необходимо развитие существующих методик расчета. Также для раскрытия механизма резания необходимо проведения дополнительных экспериментальных исследований, в т.ч. с использованием специальных прикладных компьютерных программ.

Ключевые слова: термофрикционная обработка, импульсное охлаждение, отрезной диск, температура, зона нагрева, зона охлаждения.

Введение. Традиционная технология термофрикционной отрезки основана на разупрочнении обрабатываемого материала в зоне реза за счет высокой скорости трения скольжения. При этом, чем выше скорость, тем больше количества тепла аккумулируется на контакте. Вследствие этого обрабатываемый материал подвергается большему разупрочнению, а режущий диск сохраняет прочностные свойства из-за минимизаций нахождения конкретного участка периферии диска в контакте [1-3]. Однако чрезмерное увеличение скорости приводит к ужесточению требований, предъявляемых к оборудованию [4,5]. Авторами разработан ресурсосберегающий способ термофрикционной отрезки (ТФО) металлических заготовок с импульсным охлаждением [6]. Для реализации способа разработаны режущие диски [7,8] и устройство [9], а также конструкция специального отрезного станка [10].

Данный способ отрезки с импульсным охлаждением является ресурсосберегающим. Его реализация позволяет сократить расходы: на электроэнергию (не более 10 кВт), на инструмент (режущий диск изготавливается из Ст.45, Ст.50 и др.).

На рисунке 1 показана фотография и эскиз отрезного диска.



а – фотография отрезного диска; б – принципиальная схема отрезного диска;
 L_1 – зона нагрева; L_2 – зона охлаждения; L – шаг зуба

Рис. 1. Фотография и эскиз отрезного диска

Научный и практический интерес представляет определение температуры в зоне резания с учетом размеров шага $L = L_1 + L_2$, где L_1 – зона нагрева и охлаждения L_2 . Определив оптимальные размеры зон нагрева L_1 и охлаждения L_2 , размер шага L , выбрав оптимальные режимы резания, также количество циклов вращения и время для достижения температуры плавления, можно варьировать размеры ширины и глубины нагреваемых слоев, что возможно приведет к уменьшению припусков на последующую обработку и уменьшению слоя наклепанного металла. Особенное значение это имеет при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов, для которых способ ТФО в ряде случаев является единственно возможным. Оптимизация геометрии инструмента и режимов резания при ТФО

труднообрабатываемых материалов на основе исследования физико-механических свойств поверхностного слоя, которые оцениваются глубиной и степенью наклепа, величиной и знаком остаточных напряжений, микроструктурой и другими характеристиками, распределение тепла вглубь заготовки и управление этими тепловыми потоками в процессе обработки также представляет интерес исследования.

Анализ существующих методов расчета температуры резания. Наиболее важным направлением теплофизических исследований является определение температур на контактных площадках инструмента и детали, так как именно здесь наблюдаются изменения в поверхностном слое [11]. Тепловая энергия может оказывать как положительное влияние: снижение сопротивления резанию; облегчение процесса стружкообразования; достижение оптимальных температур, способствующих стабилизации энергосиловых параметров, снижению шероховатости и замедлению процесса изнашивания инструмента; так и отрицательное влияние: изменение структуры поверхностного слоя; тепловые деформации; формирование растягивающих напряжений в поверхностных слоях заготовки и инструмента; активизация адгезионных, диффузионных, окислительных процессов в зоне резания [11].

Известные математические модели по расчету температур при резании, представленные в работах А.Н. Резникова и др. [12-14] получены на основе допущения о постоянстве теплофизических и физико-механических свойств обрабатываемых материалов в процессе резания. Таким образом, оба метода могут быть использованы для расчета температуры резания, однако они имеют существенные ограничения. В частности, при расчете по методу С.С. Силина необходимо следить за тем, чтобы величина, характеризующая степень пластических деформаций металла снимаемого припуска и поверхностного слоя обрабатываемой детали была не менее 0,4. При расчете температуры по методу А.Н. Резникова необходимо учитывать, что эта теория применима для материалов, дающих сливную стружку [15].

Так как процесс удаления металла происходит за счёт оплавления контактных объёмов и выноса их из зоны трения в направлении вращения инструмента, то работа такого диска аналогична работе шлифовального круга, когда удаление срезаемого слоя происходит мелкими частицами [16].

Качество поверхностных слоев деталей, подвергаемых резанию, в значительной степени определяется температурным фактором обработки [17].

Однако влияние этого фактора на формирование качества поверхности прогнозировать крайне сложно из-за отсутствия в существующих методиках достоверной оценки напряженно-деформированного состояния обрабатываемого материала. Применение в современных моделях прогнозирования тепловыделения силы резания, расчет точного значения которой в течение всего периода стойкости инструмента представляет известные трудности, приводит к значительному снижению эффективности таких моделей. В этой связи в работе [17] была представлена разработанная методология оценки теплового фактора обработки, не имеющая вышеуказанных недостатков. В основу построения температурного поля поверхностного слоя заготовки может быть положена зависимость [13]:

$$T = \frac{q\sqrt{2}}{2\lambda\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^{\tau} \left[\frac{e^{-\frac{(z-\rho)^2}{4a(t-t')}}}{\sqrt{t-t'}} - \frac{e^{-\frac{(z-\rho)^2 + 2za_z}{4a(t-t')}}}{\sqrt{t-t'}} \right] dt' \quad (1)$$

где: q – мощность (интенсивность) теплового источника; λ , a – соответственно теплопроводность и температуропроводность обрабатываемого материала; ρ – радиус вершины зерна; a_z – глубина внедрения зерна в металл; η – время действия теплового источника; z – координата точки, в которой нужно определить температуру; t – время; t' – переменная интегрирования.

Для успешного применения зависимости (1) необходимо решить две задачи: первая – определить интенсивность тепловых источников от вершин зерен круга q ; вторая – определить количество тепловых импульсов (зерен круга) i , действующих в пределах контактной зоны абразивного инструмента и заготовки за время их контакта.

При решении первой задачи следует принять во внимание, что источником теплоты при шлифовании является пластическая деформация обрабатываемого материала и трение вершин зерен о заготовку. Поэтому интенсивность теплового источника (абразивного зерна) можно определить путем анализа работы деформирования и трения в срезаемом слое. Интенсивность q теплового источника имеет вид:

$$q = q_{\text{деф}} + q_{\text{тр}} \quad (2)$$

где: $q_{\text{деф}}$ – интенсивность теплового источника от деформации; $q_{\text{тр}}$ – интенсивность теплового источника от трения.

Для определения $q_{\text{деф}}$ выделим элементарный объем поверхностного слоя. Вершина абразивного зерна при перемещении вызывает его упругую и пластическую деформацию и появление на его гранях напряжений.

$$q_{\text{деф}} = \frac{\sigma_i \cdot s_i}{n+1} V_k, \quad (3)$$

где V_k – скорость вращения круга.

Для определения $q_{\text{тр}}$ воспользуемся зависимостью

$$q_{\text{тр}} = 0,5 \cdot \mu \cdot \tau_s \cdot V_k \quad (4)$$

Таким образом, интенсивность теплового источника равна:

$$q = \frac{\sigma_i \cdot s_i}{n+1} V_k + 0,5 \cdot \mu \cdot \tau_s \cdot V_k \quad (5)$$

Напряжения и деформации рассматриваемого объема

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_x)^2 + (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_z - \sigma_y)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{zy}^2)};$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_y)^2 + \frac{3}{2}(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{xz}^2 + \varepsilon_{zy}^2)}$$

здесь $\sigma_z, \sigma_x, \sigma_y, \varepsilon_z, \varepsilon_x, \varepsilon_y$ – соответственно напряжения и деформации рассматриваемого объема поверхностного слоя; $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{zy}, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_{xz}, \varepsilon_{zy}$ – касательные напряжения и угловые деформации рассматриваемого объема поверхностного слоя. Для упрочняющихся металлов удобной является линейно-степенная аппроксимация диаграммы $\sigma_i - \varepsilon_i$, которая является линейной в упругой зоне, т.е. $\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i$ (где E – модуль упругости), и степенной в пластичной зоне, т.е. $\sigma_i = k \cdot \varepsilon_i^n$, где k и n – некоторые константы.

При многопроходном шлифовании рассматриваемый участок поверхности, испытав N контактов с кругом за один рабочий ход, выходит из последнего контакта и охлаждается воздухом в течение определенного промежутка времени до тех пор, пока не вступит в контакт с кругом на следующем рабочем ходе. В течение этого промежутка времени происходит снижение температуры до определенной величины, поэтому при расчетах следующего цикла нагрева учитываем эту величину. Таким образом, после каждого рабочего хода также происходит постепенное накопление тепла. В работе [13] температуру поверхности в любой момент времени, если известен коэффициент теплообмена a , определяют по формуле:

$$T = T_{cp} \exp \left[\left(\frac{a}{\lambda} \right)^2 \cdot at \right] \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{a}{\lambda} \sqrt{at} \right) \right], \quad (6)$$

$$a = 0,035 \frac{\lambda \cdot v^{0,8}}{l^{0,2} \cdot a^{0,4} \cdot v^{0,4}}$$

Это условие для ненасыщенного пятна контакта металлических поверхностей удовлетворяется при $V > 10$ м/с. Аналогичное условие $Re > 10$ применяется в теплофизике резания для определения быстро движущихся источников тепла [14].

Известно [18], что у большинства материалов при температурах $0,65\Theta_{пл}$ и выше значительно снижается прочность, причем снижение прочности способствует уменьшению тепловыделения. В этой связи, целесообразно использовать модели для определения температур в плоскости сдвига с учетом сопротивления обрабатываемого материала пластическому сдвигу τ_p [19]:

$$\tau_p = \tau_0 \left(\frac{1 + \frac{1}{B^2}}{\frac{1}{B^2} + \operatorname{tg} \gamma} \right)^{0,73\delta} \cdot \exp \left[-7 \left(\frac{0,825\theta}{\theta_{n.l}} \right) \right]^{3n^{0,135}} \quad (7)$$

$$\theta = \frac{\tau_p}{c\rho} \sqrt{\frac{Pe}{\pi} \cdot \frac{1/B \operatorname{tg} \gamma}{1 + B^2}} \quad (8)$$

где τ_0 – касательные напряжения в образце при относительном сдвиге $\varepsilon=1$; $V = \operatorname{tg} \beta_1$ (β_1 – угол наклона плоскости сдвига); γ – передний угол; δ – относительное удлинение образцов; n – процентное содержание γ' -фазы в жаропрочном сплаве (для других случаев $n=1$); $\theta_{пл}$ – температура плавления обрабатываемого материала; c_p – удельная теплоемкость обрабатываемого материала; Pe – критерий Пекле.

Полученное решение в общей математической модели процесса позволяет с высокой степенью точности рассчитать температуру на контактных площадках инструмента и составляющие силы резания.

С увеличением скорости резания температура в зоне резания достигает критического значения, за которым следует локальный сдвиг. Для определения температуры сдвига предложена зависимость [18]:

$$T = \frac{1,166 \omega \sqrt{aV} \sigma_r \cos \gamma}{(1,166 \sqrt{aV} \sin \Phi + \lambda \sqrt{\pi \omega \sqrt{\operatorname{tg} \Phi}}) \cdot \cos(\Phi - \gamma)} \quad (9)$$

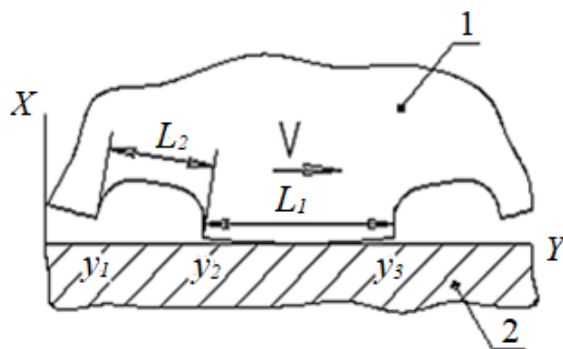
где: V – скорость резания; σ_r – напряжения текучести в зоне сдвига.

Угол наклона плоскости сдвига определим по методике, приведенной в работе [19], либо по формуле:

$$\sin \Phi = \frac{\cos \gamma}{(\sqrt{k^2 - 2k \sin \gamma} + 1)} \quad (10)$$

где k – коэффициент усадки стружки.

Вышерассмотренные зависимости не описывают тепловых явлений при циклическом нагреве и охлаждении непосредственно контактной зоны. А механизм резания предлагаемой технологии термофрикционного резания предусматривает циклический нагрев и охлаждения контактной зоны «инструмент-заготовка». Данный вопрос более близко была рассмотрена в работе [20], в частности выполнен расчет по определению средней температуры T_{cp} в контакте периферия режущего диска-заготовка. На рисунке 2 показана схема контактирования режущего диска с заготовкой.



1 – режущий диск; 2 – отрезаемый материал

Рис. 2. Схема контактирования режущего диска с заготовкой

Управление средней температурой T_{cp} в контакте представлено схемой, приведенной на рисунке 2, где участок L_1 с координатами y_3 и y_2 определяет величину максимальной температуры T_{max} (при заданной скорости скольжения и определяемых из эксперимента составляющими силы резания). Для расчета ее величину предложено определить по формуле (11):

$$T_{max} = \frac{(2\pi \cdot 2H)^{0,5} \cdot 2ga}{\pi \cdot \lambda \cdot V} \quad (11)$$

где H – относительная полуширина участка l_1 :

$$H = \frac{V \cdot l_1}{2a};$$

a – коэффициент температуропроводимости отрезаемого материала; g – плотность теплового потока:

$$g = \frac{P_z \cdot V}{S},$$

здесь P_z – сила подачи; V – скорость скольжения; S – площадь контакта на участке l_1 ; λ – коэффициент теплопроводности.

Там же [20] отмечается, что значение средней температуры T_{cp} зависит от уровня T_{max} и минимальной температуры T_{min} которая будет соответствовать точке с координатой y_1 .

В этой связи им рассмотрен процесс снижения температуры за период прохождения зоны охлаждения L_2 . Длительность цикла определена:

$$t_{охл} = \frac{L_2}{V} \text{ сек},$$

где V – окружная скорость диска на периферии:

$$V = \frac{\pi \cdot D_u \cdot n}{60 \cdot 1000}, \text{ м/с},$$

здесь D_u – диаметр диска; n – частота вращения, об/мин.

Следовательно,

$$t_{охл} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot L_2}{\pi \cdot D_u \cdot n} \quad (12)$$

Например, для $D_u = 320$ мм, $n = 3000$ об/мин, $L_2 = 10$ мм, значение $t = 5 \cdot 10^4$ с.

Тогда комплекс $\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{at}$, который в теории теплоотдачи называют критерием Тихонова, будет с учетом размерностей:

$$\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{at} = \frac{10}{1,4 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-4}} \approx 6,5 \quad (13)$$

Следовательно, если ограничиться законом изменения во времени температуры охлаждаемой поверхности, решением задачи будет функция (температуру жидкости примем равной 0°C)

$$T = T \cdot \exp \left[\left(\frac{\alpha}{\lambda} \right)^2 \cdot a \cdot t \right] \cdot \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\alpha}{\lambda} \cdot \sqrt{a \cdot t} \right) \right] \quad (14)$$

Подставляя полученное значение критерия Тихонова в (14) получим:

$$T = T \cdot \exp(6,5)^2 \cdot [1 - \operatorname{erf}(6,5)] = T_{cp} \cdot \exp(6,5)^2 \cdot [\operatorname{erfc}(6,5)].$$

Учитывая достаточно большое значение аргумента при решении можно ограничиться первым членом ряда разложения:

$$\exp \cdot u^2 \cdot \operatorname{erfc} u \approx \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{u} - \frac{1}{2 \cdot u^3} + \frac{3}{4 \cdot u^5} - \dots \right)$$

Окончательно получается:

$$T = T \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi} \cdot 6,5} = T_{cp} \cdot 0,087$$

За 10^{-4} сек при наличии охлаждения поверхность охладится так, что ее температура составит около 9% от начальной температуры в точке с координатой y_1 (см. рис. 2). Так, если при выходе из точки y_2 температура будет $\approx 1600^\circ\text{C}$, то после охлаждения получится $\approx 160^\circ\text{C}$.

Для определения влияния теплового состояния на качество реза необходимо определить режимы и геометрию режущей части инструмента, обеспечивающие $T_{cp} < 600^\circ\text{C}$ при отрезке стали 45.

Предложенная в работе [20] методика расчета, безусловно, является оригинальной и позволяет управлять средней температурой в контакте «инструмент-заготовка». Однако необходимо экспериментальное подтверждение расчетных данных. Также, по данной методике невозможно определить распределение температуры вглубь заготовки и в целом процесс осуществления механизма резания термофрикционной отрезки с импульсным охлаждением.

Выводы:

1. В результате анализа и изучения методов расчета температуры резания разных исследователей было выявлено, что ранее предложенные зависимости можно взять за основу, но они не описывают тепловых явлений, происходящих в контакте «инструмент-заготовка» с учетом геометрии режущего диска.

2. Более точные расчеты выполнены с помощью методики предложенной в работе [20]. Однако по данной методике невозможно определение влияния теплового состояния на качество реза, характера распределения температуры вглубь заготовки и в целом процесс

осуществления механизма резания термофрикционной отрезки с импульсным охлаждением.

3. Для получения полной информации о тепловых явлениях, происходящих в контакте «инструмент-заготовка» при термофрикционной отрезке с импульсным охлаждением необходимо развитие методики расчета, предложенной в работе [20]. Также для раскрытия механизма резания необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований, в т.ч. с использованием специальных прикладных компьютерных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, В.Д. Физика резания и трения металлов и кристаллов [Текст] / В.Д. Кузнецов – М., 1977. – 310 с.
2. Борисов, Б.Я. Высокоскоростное резание металлов пилами [Текст] / Б.Я. Борисов. – К.: Высшая школа, 1970. – 91 с.
3. Талантов, Н.В. Термофрикционная обработка сталей [Текст] / Н.В.Талантов, Е.У. Зарубицкий // Машиностроитель. – 1988. - №5. – С.21-22.
4. Шеров, К.Т. Управление качеством отрезаемой поверхности при отрезке с высокочастотным охлаждением [Текст] / К.Т.Шеров, И.К. Кушназаров // Научный журнал «Истеъдод». - Ташкент: Изд-во ТашГУ, 1999. - №3(13). - С.20-22.
5. Сизый, Ю.А. Деформация диска пилы при высокоскоростной разрезке [Текст] / Ю.А. Сизый, Э.В. Савченко // Вестник ХПИ. Машиностроение. – 1985. - №15. - С.46-49.
6. Шеров, К.Т. Способ термофрикционной отрезки металлических заготовок с охлаждением и конструкция дисковой пилы [Текст] / К.Т.Шеров, А.В. Маздубай [и др.] // Патент №31934 РК на изобретение. 30.03.2017г. Бюл. №6.
7. Шеров, К.Т. Режущий диск [Текст] / К.Т. Шеров // Инновационный патент №26583 РК на изобретение. 25.12.2012г., Бюл. №12.
8. Шеров, К.Т. Дисковая пила [Текст] / К.Т. Шеров, С.С. Айнабекова, А.В. Маздубай, Р. Габдысальк [и др.] // Патент №4592 РК на полезную модель. Опубликовано 10.01.2020г. Бюл. №1.
9. Шеров, К.Т. Устройство для термофрикционной резки металлических заготовок [Текст] / К.Т. Шеров, А.В. Маздубай, М.М. Мусаев [и др.] // Патент №2165 РК на полезный модель. 15.05.2017г. Бюл. №9.
10. Шеров, К.Т. Станок отрезной [Текст] / К.Т. Шеров, А.В. Маздубай, А.К. Ракишев [и др.] // Патент №32054 РК на изобретение. 15.05.2017г. Бюл. №9.
11. Насад, Т.Г. Высокоскоростная лезвийная обработка труднообрабатываемых материалов с дополнительными потоками энергии в зоне резания [Текст] / Т.Г. Насад // дисс... докт. техн. наук. – Саратов, 2005. - 399 с.
12. Резников, А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов [Текст] / А.Н. Резников. - М.: Машиностроение, 1981. – 281 с.
13. Силин, С.С. Метод подобия при резании материалов [Текст] / С.С. Силин. - М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.
14. Сипайлов, В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности [Текст] / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.
15. Пушных, В.А. Сравнение методов расчета температуры резания [Текст] / В.А. Пушных, В.Л. Бирик // Известия Томского политехнического университета. - 2004. - Т. 307, № 3. - С.102-104.
16. Плахотник, В.А. Элементы резания и размеры срезаемого слоя при термофрикционной обработке режущим диском [Текст] / В.А. Плахотник, А.П. Конский, А.А. Конская // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. - №4 (193). Ч.2. - С.147-149.

17. Бишутин, С.Г. Применение теории пластичности в задачах прогнозирования тепловыделения при шлифовании конструкционных материалов [Текст] / С.Г. Бишутин, Н.В. Тюльпинова // Известия ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2007. - №2/266 (532). - С.4-9.
18. Насад, Т.Г. Качество поверхностного слоя закаленных сталей при термофрикционной обработке [Текст] / Т.Г. Насад, А.А. Шевченко // Автоматизация и управление в машиностроении и приборостроении: межвуз. науч. сб. - СГТУ. Саратов, 2001. - С.127-128.
19. Железнов, Г.С. Определение угла сдвига при резании металлов [Текст] / Г.С. Железнов // Известия вузов. Машиностроение. - 1998. - № 4-6. - С.104-108.
20. Шеров, К.Т. Управление качеством при термофрикционной отрезке с высокочастотным охлаждением [Текст] / К.Т. Шеров // дисс... канд. техн. наук. - Ташкент: ТашГТУ, 1999. – 117 с.

Материал поступил в редакцию 11.07.20.

**С.С. Айнабекова¹, К.Т. Шеров², Т.Г. Насад³, А.В. Маздубай⁴,
Р. Ғабдысалық⁵, А.К. Шеров⁶**

^{1,2}*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті, Қарағанды қ., Қазақстан*

³*Ю.А. Гагарин атындағы Саратов мемлекеттік техникалық университеті,
Саратов қ., Ресей*

⁴*С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті, Павлодар қ.,
Қазақстан*

⁵*Д. Серікбаев атындағы Шығыс-Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті,
Өскемен қ., Қазақстан*

⁶*«Қазақстандық авиациялық индустрия» ЖШС, Нұр-Сұлтан қ., Қазақстан*

ТЕРМОФРИКЦИОНДЫ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ ТЕМПЕРАТУРАНЫ АНАЛИТИКАЛЫҚ АНЫҚТАУ ТӘСІЛДЕРІНЕ ТАЛДАУ

Кесу температурасын анықтау кезінде ұсынылған есептеу әдістерін қолдану саласы әрдайым анық айқындалмаған. Осы мақсатта жұмыста әртүрлі зерттеушілердің кесу температурасын есептеу әдістемесі қарастырылған. Алайда ол нәтижелер, қарастырылған әдістемелер кесу процесінде дайындаманың тереңдігіне температураның таралуын анықтауға және импульсті салқындатумен термофрикциялық кесіндіні кесу механизмін жүзеге асыру процесін түсіндіруге мүмкіндік бермейтінін көрсетті. Импульсті салқындатылатын термофрикциялық кесінділер (ТФК) үшін жылуфизикалық зерттеулердің маңызды бағыты L_1 қыздыру және L_2 салқындату аймағы бар дискідегі қадамдардың өлшемдерінің әсерін ескере отырып, құрал мен бөлшектердің түйісу алаңдарындағы температураларды анықтау болып табылады, өйткені дәл осы жерде беттік қабаттағы өзгерістер байқалады. Бұрын ұсынылған тәуелділікті негізге алуға болады, бірақ олар жылыту және салқындату аймақтарын ескере отырып, жылу құбылыстарын сипаттамайды.

Импульсті салқындатумен термофрикциялық кесу кезінде «аспап-дайындама» түйісуінде болып жатқан жылу құбылыстары туралы толық ақпарат алу үшін қолданыстағы есептеу әдістемелерін дамыту қажет. Сондай-ақ кесу механизмін ашу үшін, қосымша эксперименттік зерттеулер мен арнайы қолданбалы компьютерлік бағдарламаларды пайдалана отырып зерттеулер жүргізу қажет.

Тірек сөздер: термофрикциялық өңдеу, импульстік салқындату, кесу дискі, температура, қыздыру аймағы, салқындату аймағы.

**S.S. Ainabekova¹, K.T. Sherov², T.G. Nasad³, A.V. Mazdubay⁴,
R. Gabdyssalyk⁵, A.K. Sherov⁶**

^{1,2}Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan³Saratov State Technical University Yu.A. Gagarina, Saratov, Russia⁴Pavlodar State University named after S. Toraigyrov, Pavlodar, Kazakhstan⁵East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbayev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan⁶LLP «Kazakhstan Aviation Industry», Nur-Sultan, Kazakhstan

ANALYSIS OF METHODS OF ANALYTICAL DETERMINATION OF CUTTING TEMPERATURE DURING THERMOFRICTIONAL TREATMENT

When determining the cutting temperature, the scope of application of the proposed calculation methods is not always clearly defined. For this purpose, the paper considered methods for calculating the cutting temperature of different researchers. However, the results showed that the methods considered do not sufficiently determine the temperature distribution deep into the workpiece during cutting and explain the process of implementing the cutting mechanism of a thermo-frictional cutting with pulse cooling. For a thermo-frictional cutting with pulse cooling, an important direction of thermo-physical research is to determine the temperatures at the contact areas of the tool and part, taking into account the influence of the size of the steps on the disk the heating zone L_1 and cooling zone L_2 , since it is here that changes in the surface layer are observed.

It is revealed that the previously proposed dependencies can be used as a basis, but they do not describe thermal phenomena taking into account the heating and cooling zones. To obtain complete information about the thermal phenomena occurring in the "tool-workpiece" contact during a thermo-frictional cutting with pulse cooling, it is necessary to develop existing calculation methods. Also, to reveal the cutting mechanism, it is necessary to conduct additional experimental studies and research using special computer applications.

Keywords: thermo-frictional treatment, pulse cooling, cutting disc, temperature, heating zone, cooling zone.

ӨОЖ 681.38(62-251)

Е.Е. Дуйсембиев¹, К.С. Тәттібеков², А.В. Тучин²¹Техн. ғылымдары канд., доцент, ²Физ.-мат. ғылымдары канд., доцент

Тараз мемлекеттік педагогикалық университеті, Тараз қ., Қазақстан

Электрондық пошта: ¹Duisembiev_di@mail.ru, ²konsbek@mail.ru, ³tuchinav@mail.ru

МЕХАНИКАЛЫҚ БАЙЛАНЫССЫЗ ГИРОСКОП РОТОРЫНЫҢ ТҰРАҚТЫ ҚОЗҒАЛЫСТАРЫНЫҢ ШАРТТАРЫ

Жұмыста өткізгіш абсолют қатты дененің мүмкін болатын тұрақты қозғалыстары қарастырылған. Дене (байланыссыз гироскоп роторы) қозғалысы, ондағы пайда болатын құйынды тоқтар мен сыртқы біртекті айналмалы магнит өрісі әсерлесуінен болатын момент пен дененің сыртқы ортамен байланысы әсерінен туындайтын кедергі күші моментін ескере отырып зерттелген.

Тірек сөздер: абсолют қатты дене, жоғары жиілікті магнит өрісі, байланыссыз гироскоп, гироскоп роторы, кинетикалық момент, диссипативті күш моменті, инерция эллипсоиды, стационар қозғалыс, тұрақты прецессия.