

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ КАЛОРИМЕТРИРОВАНИЯ

## Введение

Изучение физических явлений, сопровождающих процесс резания, позволяет вскрывать внутренние закономерности процесса и тем самым выявлять и рационально использовать его резервы.

## Постановка задачи

Среди большого числа самых разнообразных физических явлений, сопровождающих процесс резания, тепловые явления занимают центральное место [1] и фактически определяют его производственные возможности (производительность обработки, износ и стойкость инструмента, качество обработанной поверхности, себестоимость изделий и др.). Поскольку само резание является по сути процессом деформирования и разрушения обрабатываемого материала с превращением его в стружку, то почти вся механическая энергия, затрачиваемая на резание, переходит в теплоту (до 90% и выше). При этом даже малое количество теплоты, идущее в инструмент, способствует нагреву его контактных площадок до высоких температур вследствие сравнительно низкой теплопроводности инструментального материала. Точно так же ничтожно малое, на первый взгляд, количество тепла, уносимое из зоны резания смазочно-охлаждающей жидкостью, может оказывать порой существенное влияние на характер самого процесса. Поэтому изучение физических особенностей обработки резанием через тепловые явления можно считать чуть ли не самым коротким путём к познанию истины [2]. Проведённые нами исследования теплосодержания стружки методом калориметрирования лишний раз укрепили эти убеждения.

## Методика исследования

Для таких исследований был изготовлен компактный калориметр (рис. 1). Он состоит из металлического корпуса 1 и стакана 2, спаянного из латунной фольги толщиной 0,1 мм. Внутренняя поверхность стакана хромирована и отполирована, что способствует отражению тепловых лучей и самой теплоты от стенок стакана внутрь калориметра. Наружная поверхность стакана покрыта теплоизоляционным лаком чёрного цвета с целью снижения теплоотдачи от стенки стакана наружу. Стакан 2 вклеен эпоксидной смолой в винилпластовое кольцо 3, имеющее плотную посадку в корпусе 1. Толщина воздушного теплоизоляционного слоя между стаканом и гильзой 10 мм, что также обеспечивает надёжную тепловую изоляцию внутреннего стакана калориметра.

С целью быстрого выравнивания температуры по всему объёму воды использовался микродвигатель 4 с мешалкой 5, установленный на поворотном кронштейне 6, закреплённом на хомуте 7, что давало возможность быстрого ввода мешалки в калориметр из любого положения микродвигателя относительно калориметра и вывода её из калориметра.

При проведении исследований в калориметр наливалась вода массой 70 гр. Для регистрации её температуры до и после опыта использовалась термопара 8 медь-константан с диаметром электродов 0,1 мм, что позволяло получать головку (термочувствительный спай) диаметром 0,25 мм. Для закрепления головки 9 термопары в стенке внутреннего стакана в ней шилом прокалывалось отверстие, через которое головка вставлялась внутрь стакана, после чего место прокола заливалось каплей эпоксидной смолы. В качестве регистрирующего прибора использовался высокочувствительный зеркальный гальванометр, присоединяемый к электродам термопары калориметра медными проводами. Возникающая при этом пара-

зитная термопара в месте соединения медного провода с константовым нейтрализовалась путём её погружения в отдельный стеклянный сосуд с водой, заливаемой одновременно с заполнением внутреннего стакана калориметра.

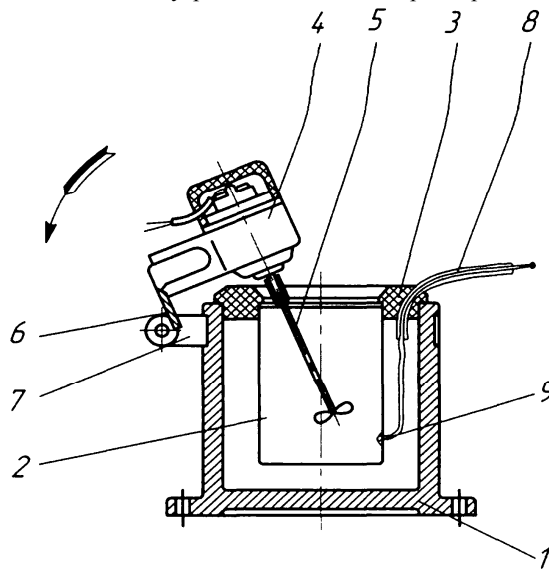


Рис. 1. Устройство использованного калориметра.

Исследования тепловой ситуации процесса резания проводились на типичном и весьма широко распространённом представителе процессов прерывистого резания с переменным во времени сечением срезаемого слоя - периферийном (цилиндрическом) фрезеровании (рис. 2). При этом независимыми (задаваемыми) параметрами были скорость резания  $v$  (три значения) и подача на зуб  $s_z$  (четыре значения), а также глубина резания  $t$ , причём глубине резания придавались 6 таких значений, которые обеспечивали бы равномерное скачкообразное изменение угла контакта  $\tau$  с заготовкой (в момент выхода зуба из контакта), т.е. как бы текущего угла  $\mu$  воображаемого непрерывного процесса фрезерования. Такими значениями угла  $\mu$  были  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$  и  $30^\circ$  при соответствующих им следующих значениях глубины резания  $t$ : 0,25; 1,00; 2,2; 3,9; 6,10; 8,7 мм. Фотография зоны исследования вместе со столом горизонтально-фрезерного станка, исследовательской фрезой и с динамометром УДМ-2 приведена на рис. 3, где можно увидеть стеклянный стакан с водой и погружённой в неё паразитной термопарой.

Применительно к условиям периферийного фрезерования формулы, по которым в итоге рассчитывались тепловые характеристики процесса резания, имеют вид:

$$Q_{сmp} = \frac{M_{\epsilon} \cdot \Delta\theta + M_{сmp} \cdot C_{сmp} \cdot (\theta_{\epsilon} + \Delta\theta)}{0,1 \cdot K \cdot B}, \quad (1)$$

$$\theta_{сmp}^{cp} = \theta_{\epsilon} + \Delta\theta + \frac{M_{\epsilon} \cdot \Delta\theta}{M_{сmp} \cdot C_{сmp}} \quad (2)$$

где  $Q_{сmp}$  - количество тепла, содержащееся в 1 элементе, кал;

$\theta_{сmp}^{cp}$  - средняя температура стружки,  $^{\circ}\text{C}$ ;

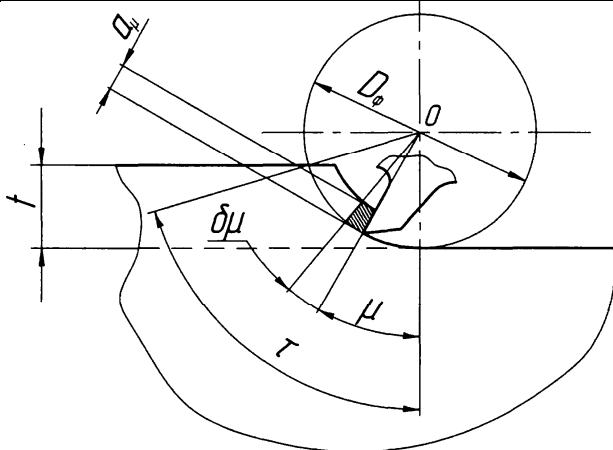


Рис. 2. Схема взаимосвязи параметров процесса резания

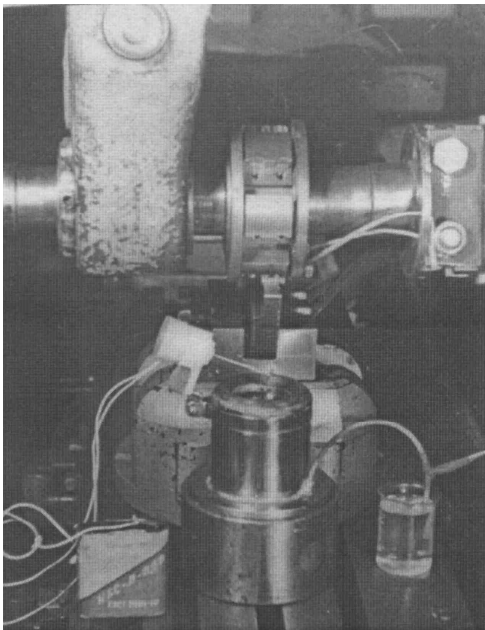


Рис. 3. Зона исследования теплоты резания на горизонтально-фрезерном станке

$M_w$  – масса воды в калориметре (70 гр.);

$M_{стр}$  – масса попавшей в калориметр стружки, гр.;

$C_{стр}$  – удельная теплоёмкость материала стружки, кал/гр. °С;

$\Delta\theta$  – приращение температуры воды калориметра, °С;

$\theta_w$  – исходная температура воды калориметра, °С;

$K$  – количество попавшей в калориметр стружки, шт.;

$B$  – ширина фрезерования, мм.

**Результаты исследований**

Результаты исследования процесса резания методом калориметрирования приведены на рис.4, где хорошо видна изменимость теплоты стружки  $Q_{стр}$  (теплосодержания), её

средней температуры  $\theta_{стр}^{cp}$  и доли  $\delta$  общей теплоты, уносимой стружкой из зоны резания, от угла поворота зуба фрезы в пределах его контакта с заготовкой при изменяющихся значениях скорости резания  $v$ , подачи на зуб  $s_z$  и глубины

резания  $t$ . С увеличением угла  $\mu$  поворота зуба все перечисленные тепловые характеристики процесса резания интенсивно возрастают, причём теплота резания  $Q_{стр}$  увеличивается с возрастанием темпа роста, а температура  $\theta_{стр}^{cp}$  и доля уносимого стружкой тепла  $\delta$  – с уменьшением темпа.

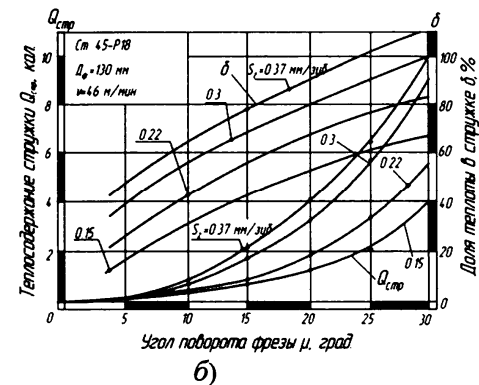
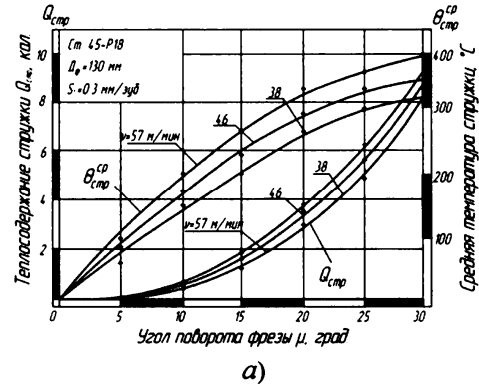


Рис. 4. Графики зависимости теплосодержания стружки  $Q_{стр}$ , средней температуры стружки  $\theta_{стр}^{cp}$  и доли теплоты резания  $\delta$ , уходящей в стружку, от угла поворота зуба  $\mu$ , скорости резания  $v$  (а) и подачи  $s$  (б)

Резкое увеличение темпа роста количества теплоты от угла поворота зуба фрезы с первого взгляда приводит к мысли о возможном нарастании какой-то критической ситуации в зоне резания. Однако анализ данного вопроса показывает, что оснований для такого беспокойства нет. Дело в том, что теплота  $Q_{стр}$  в отличие, скажем, от силы резания, является не мгновенной, а интегрально-накопительной характеристикой процесса резания. Так, например, если бы толщина срезаемого слоя  $a_\mu$  по рис. 2 оставалась неизменной в пределах угла  $\tau$  контакта зуба с заготовкой, то теплота в формируемой стружке как вид выделяемой в процессе резания энергии с увеличением угла  $\mu$  увеличивалась бы линейно. Но поскольку в действительности толщина срезаемого слоя  $a_\mu$  на дуге контакта (в пределах угла  $\tau$ ) изменяется от 0 до какого-то максимального значения, то и реальная зависимость теплоты в стружке от угла  $\mu$  будет подниматься над этой линейной зависимостью по закону, пропорциональному зависимости толщины срезаемого слоя  $a_\mu$  от угла поворота зуба  $\mu$  (т.е. пропорционально известной зависимости  $a = s_z \cdot \sin\mu$ ).

Для облегчения дальнейших рассуждений на заданную тему введём в рассмотрение (хотя бы временно) понятие крутизны процесса прерывистого резания с переменным сечением срезаемого слоя, оцениваемое значением угла контакта  $\tau$ : чем больше численное значение угла  $\tau$ , тем круче процесс. При этом крутым процессом прерывистого резания с переменным сечением срезаемого слоя будем считать процесс, в котором  $\tau \geq 20^0$ . Но вернёмся к графикам на рис. 4. Зависимость средней температуры стружки  $\theta_{стр}^{cp}$  от угла  $\mu$  поворота зуба фрезы имеет как бы два участка: на первом участке до значений  $\mu = 15... 20^0$  наблюдается крутой почти линейный рост температуры стружки, на втором - довольно резкое снижение интенсивности её роста. Отсюда вытекает никем ещё не озвученный вывод: увеличение крутизны процесса прерывистого резания с переменным сечением срезаемого слоя таит в себе ряд скрытых производственных возможностей. Разъясним этот аспект более подробно. Крутизна прерывистого процесса резания тем больше, чем больше угол  $\tau$  непрерывного контакта любой точки режущей кромки (например, вершины) с заготовкой во вращательном движении инструмента (например, при  $\tau \geq 20^0$ ). Следовательно, чем больше этот показатель, тем эффективнее протекает процесс резания.

УДК 621.793

*Кардаполова М.А., Девойно О.Г., Константинов В.М., Яцкевич О.К.*

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ С УЛУЧШЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ СВОЙСТВ

Для получения покрытий в настоящее время используют широкую гамму материалов. Выбор конкретного материала определяется как требуемыми эксплуатационными параметрами поверхности, так и экономическими соображениями. Поэтому в настоящее время активно ведется разработка новых материалов, обладающих низкой стоимостью при высоком уровне обеспечиваемых свойств.

В этом отношении интерес представляют износостойкие покрытия из керамических материалов. Такие покрытия позволяют не только увеличить ресурс работы машины в агрессивных средах при высоких температурах, но и заменить дефицитные и дорогостоящие материалы более дешевыми. Керамические покрытия обладают высокой твердостью, износостойкостью, устойчивы к химически-активным средам, имеют высокую рабочую температуру, не образуют мостиков схватывания при трении. Недостатком керамических покрытий является высокая хрупкость, пористость, низкая адгезия и прочностные свойства в условиях динамических нагрузок [1].

Для расширения области применения керамических материалов необходимо постараться устранить присущие им недостатки. С этой целью нами проводится поиск эффективных методов улучшения комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств керамических.

В качестве объекта исследования были выбраны плазменные покрытия из оксида алюминия. Большим преимуществом данного материала является его доступность и дешевизна. Од-

### Выводы

1. Физические показатели процесса резания (температура резания, силы, деформации и др.) не лимитируют повышение производительности обработки.
2. Отмеченные преимущества процесса прерывистого резания с переменным сечением срезаемого слоя можно перенести на токарную обработку.
3. На токарном станке этим процессом можно удалять сколь угодно большие припуски за один проход, что особенно актуально в тяжёлом и среднем машиностроении.
4. Имеется возможность повышать производительность обработки резанием путём размещения ряда лезвий на окружности вращения инструмента.
5. В условиях данного процесса снижаются температура резания и износ инструмента, улучшается отвод стружки (в виде коротких завитков) из зоны резания, повышается эффективность СОЖ.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: Учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты». - М: Машиностроение, 1990. - 288 с: ил.
2. Даниелян А.М. Износ инструмента и тепловые явления при резании металлов. - М.: Машгиз, 1946.

нако и ему присущи недостатки, общие для всех керамических покрытий, - низкая адгезия между покрытием и основой [2].

Применение оксида алюминия в композиции с другими материалами позволяет получить покрытия с улучшенными эксплуатационными свойствами. Порошки для нанесения защитных покрытий получают смешиванием порошков различных материалов, лакированием, конгломерированием, припеканием к поверхности частиц порошка основы более мелкодисперсных порошковых материалов, содержащих легирующие элементы.

Представленные методы связаны с использованием сложного технологического оборудования и со значительными материальными затратами [3]. Недостатком механических смесей является сегрегация частиц составляющих компонентов в процессе хранения, транспортировки и нанесения, которая в результате приводит к неравномерности химического состава, строения покрытия и, следовательно, к ухудшению эксплуатационных свойств. Кроме того, качественный и количественный подбор состава композиций требует трудоемких и сложных исследований [4].

Новым направлением получения материалов для композиционных покрытий является диффузионное легирование порошков. Данная технология в настоящее время получила распространение благодаря работам, проводимым в Полоцком Государственном университете [5].

*Кардаполова Маргарита Анатольевна, к.т.н., ведущий научный сотрудник НИЧ Белорусского национального технического университета.*

*Девойно Олег Георгиевич, д.т.н., профессор каф. «Технология машиностроения», главный научный сотрудник НИИЛ плазменных и лазерных технологий Белорусского национального технического университета.*

*Яцкевич Ольга Константиновна, аспирант каф. «Технология машиностроения», инженер каф. «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусского национального технического университета.*

*Беларусь, БНТУ, 220050, г. Минск, пр-т Независимости, 65.*