

УДК 621.91.01

М. А. КУРИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина*

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДСОРБЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

*Сформулирована проблема необходимости исследования кинематики процессов механической обработки с целью повышения эффективности активации действия различных сред в зоне резания. Рассмотрена схема взаимодействия режущего инструмента и обрабатываемой детали при механической обработке. Из условия наиболее полного протекания адсорбционного взаимодействия компонентов смазывающе-охлаждающей технологической среды с ювенильными участками обрабатываемой поверхности получены выражения для точения, фрезерования и шлифования. Полученные формулы устанавливают взаимосвязь параметров режимов обработки, при которых обеспечиваются благоприятные условия стружкообразования за счет создания условий для проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта.*

**Ключевые слова:** труднообрабатываемые материалы, критериальные требования, кинематический способ, механическая обработка резанием, адсорбционно-пластифицирующий эффект.

### Введение

Технический прогресс в авиационной промышленности происходит в условиях непрерывного повышения требований к конструкции, надежности и ресурсу деталей авиационных двигателей [1–5]. Это предопределяет широкое использование коррозионно-стойких, высоко- и жаропрочных материалов и сплавов для изготовления наиболее ответственных деталей. Данные материалы наряду с высокими прочностными характеристиками отличаются низкой обрабатываемостью, а в настоящее время, трудоемкость механической обработки составляет 50..60% и более от общей трудоемкости изготовления современного авиационного двигателя [6].

В связи с этим можно отметить, что исследования, посвященные повышению эффективности механической обработки труднообрабатываемых материалов (ТОМ), являются актуальными и заслуживают внимания.

### 1. Формулирование проблемы

На основании анализа кинетики механохимических процессов, протекающих в контактной зоне при шлифовании, авторами работы [7] разработаны критерии оценки “необходимых” и “достаточных” условий для наиболее полного протекания адсорбционного взаимодействия поверхностно-активных веществ (ПАВ) смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) с ювенильными участками

ми обрабатываемой поверхности в контактной зоне и три возможных пути их обеспечения: 1) кинематические способы; 2) физико-химические методы; 3) комбинированные методы.

Кинематический способ позволяет нам реализовать критериальные требования на имеющемся оборудовании путем выбора параметров режима обработки.

Среди физико-химических методов следует отметить катодную поляризацию и электромагнитное облучение контактной зоны в силу их универсальности, простоты реализации и как не требующих дорогостоящего специального оснащения и модернизации оборудования для обработки. Вполне очевидно, что критериальные требования справедливы и для других методов механической обработки, а их пути обеспечения можно использовать для повышения эффективности обработки резанием ТОМ. Из всего многообразия методов наибольший интерес, на наш взгляд, вызывают комбинированные, так как они имеют преимущества первых двух путей.

Совместное действие физико-химических методов и благоприятной кинематики процесса обработки позволит повысить эффективность активации действия различных сред в зоне обработки при прочих равных условиях [8].

### 2. Обзор предыдущих исследований

Структурно-логическая схема планируемых экспериментальных исследований, предложенная в работе [8] представлена на рис. 1.

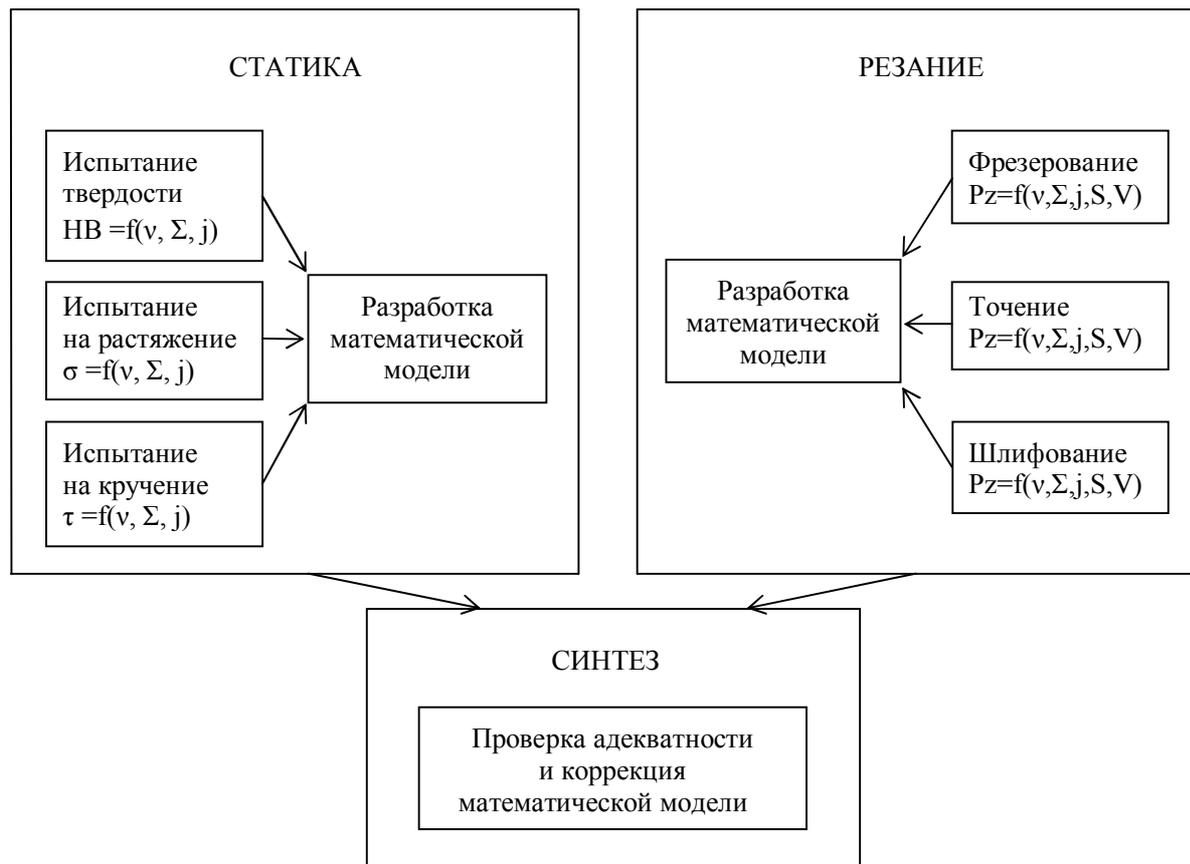


Рис. 1. Структурно-логическая схема планируемых экспериментальных исследований

На первом этапе планируется подвергнуть образцы испытанию на простое сопротивление (растяжение, кручение), а также испытанию на твердость в присутствии различного рода СОТС, катодной поляризации и электромагнитного излучения. Целью таких испытаний является получение зависимостей вида:

$$HB = f(v, \Sigma, j), \sigma = f(v, \Sigma, j), \tau = f(v, \Sigma, j),$$

где  $HB$  – твердость;

$\sigma$  – предел прочности на разрыв;

$\tau$  – предел прочности при кручении;

$v$  – частота электромагнитного излучения;

$\Sigma$  – интегральный фактор, учитывающий физико-химические свойства СОТС;

$j$  – плотность тока катодной поляризации,

а также проверка правильности теоретических представлений. Такие испытания позволят оценить эффект действия различного рода методов активации на степень проявления адсорбционно-пластифицирующего эффекта (АПЭ) при статическом нагружении в «сухом виде», исключив влияние энергосиловых факторов, отражающих условия деформирования тела (температура, скорость деформации, время контакта со средой).

Далее представляется необходимым провести экспериментальные исследования влияния параметров режимов обработки, СОТС, катодной поляризации, электромагнитного излучения на силы резания ТОМ при обработке резанием, с целью получения зависимостей вида:

$$Pz = f(v, \Sigma, j, S, V),$$

где  $Pz$  – сила резания;

$S$  – скорость подачи;

$V$  – скорость резания.

На следующем этапе следует разработка математической модели, учитывающей влияние параметров режима обработки и методов активации действия среды на энергосиловые характеристики процесса резания.

После чего при необходимости откорректировать математическую модель для получения окончательных аналитических зависимостей, описывающих влияние эффектов действия среды и методов их активации на степень проявления АПЭ, и разработать научно обоснованные промышленные рекомендации, позволяющие повысить эффективность механической обработки ТОМ.

## 2. Решение проблемы

Рассмотрим схему взаимодействия режущего инструмента и обрабатываемой детали (рис. 2). Для обеспечения условий наиболее полного адсорбционного взаимодействия компонентов СОТС с ювенильными участками обрабатываемой поверхности, вскрываемой в контактной зоне режущими элементами инструмента, необходимо обеспечить максимально возможное значение промежутка времени между двумя последовательными актами съема стружки с одного и того же участка поверхности и таким, чтобы оно было не меньше периода времени развития АПЭ. Математически это условие может быть записано следующим образом:

$$\Delta\tau_x \leq \Delta t_d^{1-2} \leq \Delta t_i^{3-2}, \quad (1)$$

где  $\Delta\tau_x$  – латентный период времени развития АПЭ;

$\Delta t_d^{1-2}$  – промежуток времени по прошествии, которого точка детали 1 займет положение точки 2;

$\Delta t_i^{3-2}$  – промежуток времени между входом в контакт с поверхностью детали двух соседних режущих кромок инструмента.

Время  $\Delta t_d^{1-2}$  может быть определено по формуле:

$$\Delta t_d^{1-2} = \frac{L_k}{\pi \cdot D_d \cdot n_d}, \quad (2)$$

где  $L_k$  – длина контакта режущей кромки и детали;

$D_d$  – диаметр детали;

$n_d$  – частота вращения детали.

Время  $\Delta t_i^{3-2}$  можно определить, воспользовавшись следующим выражением:

$$\Delta t_i^{3-2} = \Delta t_i^{1-3} - \Delta t_i^{1-2}. \quad (3)$$

Если перейти к кинематическим параметрам режима обработки, формула (2) примет вид:

$$\Delta t_i^{3-2} = \frac{1}{z \cdot n_i} - \frac{L_k}{\pi \cdot D_i \cdot n_i}, \quad (4)$$

где  $z$  – количество режущих кромок инструмента;

$D_i$  – диаметр инструмента;

$n_i$  – частота вращения инструмента.

Формула (4) справедлива при встречном движении детали и инструмента, а также в том случае, когда в пределах длины контакта находится один режущий элемент, что хорошо иллюстрируется рисунком 2.

При попутном движении и при длине контакта превышающей расстояние между режущими элементами справедлива формула:

$$\Delta t_i^{3-2} = \frac{1}{z \cdot n_i}. \quad (5)$$

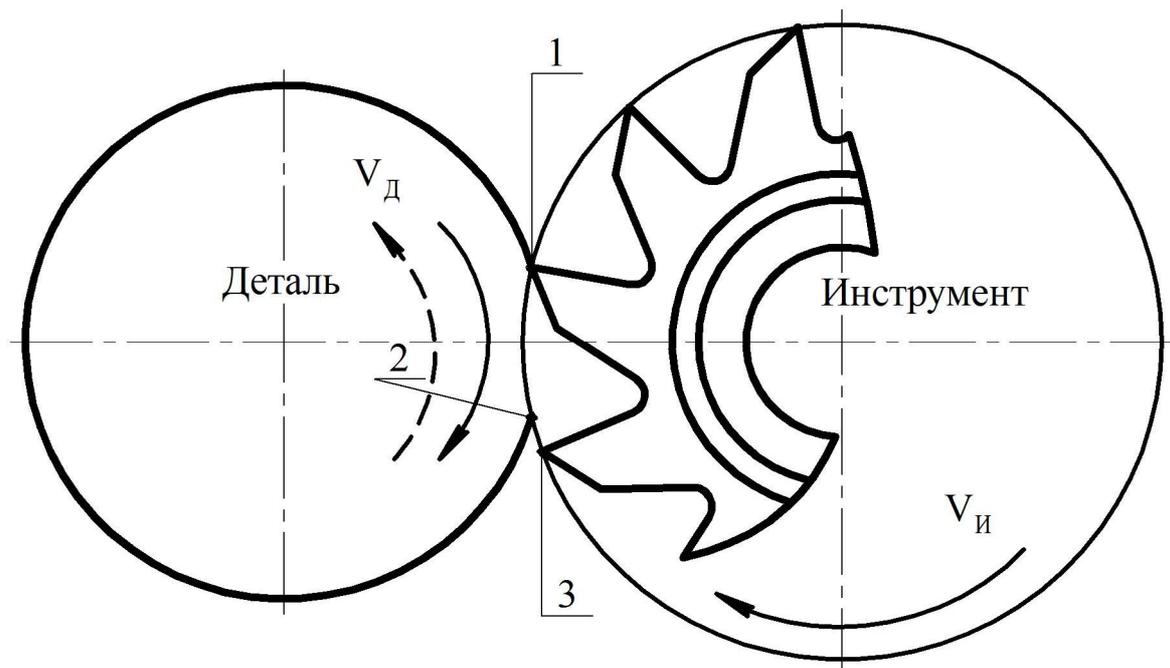


Рис. 2. Условная схема взаимодействия режущего инструмента и детали

В случае вращения детали правильно было бы учесть периодичность контакта одного и того же участка поверхности детали с инструментом. С учетом этого неравенство  $\Delta t_{\text{д}}^{1-2} \leq \Delta t_{\text{и}}^{3-2}$  приобретет следующий вид:

$$\Delta t_{\text{и}}^{3-2} \in \left[ \frac{k}{n_{\text{д}}} + \frac{L_{\text{к}}}{\pi \cdot D_{\text{д}} \cdot n_{\text{д}}}; \frac{k+1}{n_{\text{д}}} \right),$$

где  $k \in N_0$  – неотрицательно целое число.

Практика показывает, что скорость инструмента, за редким исключением (кроме точения), является скоростью главного рабочего движения и во много раз превышает скорость детали, поэтому можно ограничиться следующей формулой:

$$\Delta t_{\text{и}}^{3-2} \geq \frac{L_{\text{к}}}{\pi \cdot D_{\text{д}} \cdot n_{\text{д}}}. \quad (6)$$

Используя рассуждения, представленные выше, выведем условия для проявления АПЭ для частных случаев точения, фрезерования и плоского шлифования.

При точении режущая кромка инструмента не выходит из контакта с поверхностью резания, поэтому условие (4) не имеет смысла и можно принять  $\Delta t_{\text{и}}^{3-2} = 0$ ,  $\Delta t_{\text{д}}^{1-2} = \frac{1}{n_{\text{д}}}$ , тогда неравенство (1) примет вид:

$$\frac{1}{n_{\text{д}} \cdot \Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1. \quad (7)$$

При фрезеровании плоскостей можно принять, что  $D_{\text{д}} \rightarrow \infty$ , тогда  $\Delta t_{\text{д}}^{1-2} \rightarrow 0$ , а выражение (1) можно записать следующим образом:

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{z \cdot n_{\text{и}}} - \frac{L_{\text{к}}}{\pi \cdot D_{\text{и}} \cdot n_{\text{и}}} \right) \cdot \frac{1}{\Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1; \\ \frac{1}{z \cdot n_{\text{и}} \cdot \Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1. \end{cases} \quad (8)$$

Первое выражение в скобках справедливо для встречного фрезерования, второе для попутного и при длине контакта превышающей расстояние между соседними зубьями фрезы. Выражения (8) справедливы и для плоского шлифования, с той лишь разницей, что удобно перейти к скорости круга (резания) и среднестатистическому расстоянию между

зернами. Таким образом, для плоского шлифования получим:

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{L_0 \cdot V_{\text{к}}} - \frac{L_{\text{к}}}{V_{\text{к}}} \right) \cdot \frac{1}{\Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1; \\ \frac{1}{L_0 \cdot V_{\text{к}} \cdot \Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1, \end{cases} \quad (9)$$

где  $L_0$  – среднестатистическое расстояние между абразивными зернами;

$V_{\text{к}}$  – линейная скорость абразивного круга.

Длина контакта может быть определена по известным формулам, так для плоского шлифования и фрезерования длина контакта может быть найдена из выражения:

$$L = \left( 1 \pm \frac{V_{\text{д}}}{V_{\text{и}}} \right) \cdot \sqrt{D_{\text{и}} \cdot t},$$

где  $V_{\text{д}}$  – линейная скорость детали;

$V_{\text{и}}$  – линейная скорость инструмента;

$D_{\text{и}}$  – диаметр инструмента;

$t$  – глубина резания.

Знак «+» беруг в случае попутного движения детали и инструмента, знак «-» при встречном.

Формулы (7), (8), (9) устанавливают взаимосвязь параметров режимов обработки, обеспечивающих благоприятные условия стружкообразования за счет создания условий для проявления АПЭ.

Для удобства мы свели все наши выкладки в таблицу 1.

Таблица 1  
Условия для проявления АПЭ

Вид обработки	Условие для проявления АПЭ
Точение	$\frac{1}{n_{\text{д}} \cdot \Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1$
Фрезерование	$\begin{cases} \left( \frac{1}{z \cdot n_{\text{и}}} - \frac{L_{\text{к}}}{\pi \cdot D_{\text{и}} \cdot n_{\text{и}}} \right) \cdot \frac{1}{\Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1 \\ \frac{1}{z \cdot n_{\text{и}} \cdot \Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1 \end{cases}$
Шлифование	$\begin{cases} \left( \frac{1}{L_0 \cdot V_{\text{к}}} - \frac{L_{\text{к}}}{V_{\text{к}}} \right) \cdot \frac{1}{\Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1 \\ \frac{1}{L_0 \cdot V_{\text{к}} \cdot \Delta \tau_{\text{х}}} \geq 1 \end{cases}$

## Заключение

Рассмотрена схема взаимодействия режущего инструмента и обрабатываемой детали при механической обработке. Из условия наиболее полного протекания адсорбционного взаимодействия компонентов СОТС с ювенильными участками обрабатываемой поверхности, получены выражения для точения, фрезерования и шлифования. Полученные формулы устанавливают взаимосвязь параметров режимов обработки, обеспечивающих благоприятные условия стружкообразования за счет создания условий для проявления АПЭ.

## Литература

1. Изготовление деталей газотурбинных двигателей из титановых сплавов [Текст]: моногр. / В. А. Богуслаев, А. И. Долматов, П. Д. Жеманюк и др. – Запорожье: Дека, 1997. – 276 с.
2. Крымов, В. В. Производство лопаток газотурбинных двигателей [Текст] / В. В. Крымов, Ю. С. Елисеев, К. И. Зудин; под ред. В. В. Крымова. – М.: Машиностроение, 2002. – 376 с.
3. Полетаев, В. А. Глубинное шлифование лопаток турбин [Текст]: моногр. / В. А. Полетаев, Д. И. Волков. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.

4. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев., Ф. М. Муравченко, П. Д. Жеманюк и др. – Запорожье : ОАО «Мотор Сич», 2003. – Часть 1. – 396 с.

5. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД [Текст] / В. А. Богуслаев., Ф. М. Муравченко, П. Д. Жеманюк и др. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2003. – Часть 2. – 420 с.

6. Елисеев, Ю. С. Современные технологии как необходимое условие создания наукоемкой продукции [Текст] / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов // Двигатель. – 2003. – № 6 (30). – С. 7–10.

7. Повышение эффективности шлифования путем совершенствования кинематики процесса [Текст] / Н. В. Сурду, А. И. Долматов, А. Ф. Горбачев, А. А. Горбачев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 22(5). – X., 2000. – С. 118–125.

8. Курин, М. А. Обоснование квантовой природы явлений и процессов, возникающих при активации зоны механической обработки [Текст] / М. А. Курин // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та "ХАИ". – Вып. 61. – X., 2013. – С. 82–89.

Поступила в редакцию 23.01.2014, рассмотрена на редколлегии 12.03.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. кафедры технологии производства авиационных двигателей В. Ф. Сорокин, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДСОРБЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ РІЗАННЯМ

*М. О. Курін*

Сформульовано проблему необхідності дослідження кінематики процесів механічної обробки, з метою підвищення ефективності активації дії різних середовищ в зоні різання. Розглянуто схему взаємодії ріжучого інструменту та оброблюваної деталі при механічній обробці. З умови найбільш повного протікання адсорбційної взаємодії компонентів СОТС з ювенильними ділянками оброблюваної поверхні, отримано вирази для точіння, фрезерування та шліфування. Отримані формули встановлюють взаємозв'язок параметрів режимів обробки, що забезпечують сприятливі умови стружкоутворення за рахунок створення умов для прояву АПЕ.

**Ключові слова:** важкооброблювані матеріали, критеріальні вимоги, кінематичний спосіб, механічна обробка різанням, адсорбційно-пластифікуючий ефект.

## SUPPORT OF ADSORPTION INTERACTION WHEN CUTTING

*M. A. Kurin*

The problem the need to study the kinematics of machining processes in order to improve the efficiency of the activation effect of different environments in the cutting zone has been formulated. The scheme of interaction between the cutting tool and the workpiece during machining has been considered. For conditions of the most complete of action of adsorption of components cooling mixture with juvenile parts of treated surface, the expressions for turning, milling and grinding have been received. The formulas obtained determine correlation between processing modes parameters, which provide favorable conditions of chip forming at the expense of the manifestation of the adsorption-plasticizing effect.

**Keywords:** hard-to-cut materials, criterial requirements, kinematic method, machining, adsorption-plasticification effect.

**Курин Максим Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры технологий производства авиационных двигателей, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: kurin\_83@mail.ru.