

Обоснование квантовой природы явлений и процессов, возникающих при активации зоны механической обработки

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Сформулирована проблема необходимости интенсификации механической обработки труднообрабатываемых материалов. На основании обобщения исследований, посвященных различным физико-химическим явлениям, наблюдаемых в твердых телах, предложена гипотеза квантовой природы явлений и процессов, возникающих при действии различных сред и методов активации их влияния на зону механической обработки. Предложена методология комплексных теоретико-экспериментальных исследований процессов механической обработки с активацией действия сред в зоне обработки катодной поляризацией и электромагнитным излучением.

Ключевые слова: адсорбция, квантовая теория, прочность, дислокации, электромагнитное излучение, катодная поляризация

Введение

Технический прогресс в авиационной промышленности происходит в условиях непрерывного повышения требований к конструкции, надежности и ресурсу деталей авиационных двигателей. Это предопределяет широкое использование коррозионно-стойких, высоко- и жаропрочных материалов и сплавов для изготовления наиболее ответственных деталей. Данные материалы наряду с высокими прочностными характеристиками, определяющими долговечность изделий, которые работают в условиях высоких температур при знакопеременных циклических нагрузках, отличаются низкой обрабатываемостью. В связи с этим можно отметить, что исследования, посвященные повышению эффективности механической обработки труднообрабатываемых материалов (ТОМ), являются актуальными и заслуживают внимания.

1. Формулирование проблемы, задачи исследования

В работах [1,2,3] показано, что современные представления о механизме явлений, наблюдаемых в процессе обработки резанием твердых тел, свидетельствуют о недопустимости рассмотрения их как чисто механических. Образование новой поверхности сопровождается сложным комплексом физико-химических явлений, приводящих к изменению физико-химических свойств деформируемого тела вследствие взаимодействия с окружающей средой. Этот комплекс явлений, вызывающий понижение поверхностной энергии твердого тела, как при адсорбции поверхностно-активных веществ из среды, так и при смачивании твердого тела средой получил название эффекта Ребиндера.

Адсорбционные явления, оказывающие большое влияние на интенсивность и характер процесса разрушения твердого тела, обуславливают адсорбционно-пластифицирующий эффект (АПЭ), микромеханизм и условия проявления которого при механической обработке резанием мало изучены и не всегда находят адекватное понимание и толкование [1]. В связи с этим возникла необходимость разработки способов управления условиями протекания и проявления адсорбционных явлений и эффектов в зоне резания при шлифовании,

где тепловые процессы оказывают решающее влияние на качество получаемых поверхностей. Практическая реализация разработанных способов [1,2,3] подтвердила их эффективность, что дает возможность высказать предположение о том, что дальнейшие исследования адсорбционных явлений и их влияния на механизм разрушения твердых тел приведут к более широкому и эффективному применению адсорбционно-пластифицирующего эффекта (АПЭ) при механической обработке резанием труднообрабатываемых материалов.

Проблема интенсификации обработки резанием труднообрабатываемых материалов сопряжена с решением целого ряда задач, наиболее важными среди которых, на наш взгляд, являются:

- вскрытие физической сути явлений и процессов, возникающих при действии различных сред и методов активации их действия на зону обработки;
- создание математических моделей важнейших аспектов действия среды и методов активации эффектов действия среды на процессы механической обработки;
- разработка методологии комплексных теоретико-экспериментальных исследований процессов механической обработки с активацией действия различных сред в зоне обработки, позволяющей выявить эффект их действия и пути управления ими;
- реализация методики управления активацией эффектов действия среды в зоне резания для формирования заданных показателей качества обработанных поверхностей;
- разработка научно обоснованных промышленных рекомендаций, реализация которых позволит повысить эффективность механической обработки ТОМ за счет уменьшения энергоемкости процессов.

2. Дислокации и квантовая теория прочности

Понятие прочности и пластичности неразрывно связано с понятиями дислокаций, являющихся элементарными носителями пластической деформации [4]. Деформационная прочность кристаллов в значительной степени определяется препятствием движению дислокаций [5], а само понятие пластичности кристалла подразумевает в основном его дислокационную пластичность, представляющую собой трансляционное перемещение дислокаций по наиболее плотноупакованным плоскостям [6,7]. При этом смещение дислокаций на параметр решетки можно считать элементарным актом (квантом) пластической деформации (то, что процесс образования дислокаций следует отнести к квантовым эффектам, отмечал Ю.Н. Алексеев [8] еще в 1969г).

Различные физико-химические явления, наблюдаемые в твердых телах такие как, адсорбционно-пластифицирующий эффект, электропластический эффект, фотопластический эффект [9], водородная хрупкость, магниторезонансное разупрочнение кристаллов и др., в настоящее время исследователи связывают с дислокациями и их ядрами – центральными областями, характеризующимися искажением электронных оболочек атомов. Действительно, край экстраплоскости «изрезан» ступеньками и перегибами, что лишает дислокацию однородности и образует на ней локальные парамагнитные центры – локализованные электроны и дырки с неспаренным спином [10]. Так, например, в работе Н.В. Сурду [1] предложена гипотеза, позволяющая объяснить

адсорбционное понижение прочности вследствие «внутридислокационной адсорбции» поверхностно-активных атомов контактной среды приводящей к нейтрализации электрического заряда полости ядра и снижению удельной энергии образования дислокации. Часто представление о дислокациях и ядре достаточно идеализировано [10] и не отражает истинной, сложной структуры ядра. Обобщение экспериментальных данных, полученных в результате исследования элементарных процессов пластического деформирования кристаллов [4], дало толчок развитию новой науки – спиновой микрохимии, возникшей на стыке физики твердого тела, спиновой химии и физики пластичности. Основной задачей спиновой микрохимии является объяснение поведения дислокационного ансамбля под влиянием внешних воздействий.

Струнная модель дислокации [5], где она представляется в виде спутанной внутри кристалла струны, обладающей собственной массой и упругостью, соответствует представлениям о ней в более поздних исследованиях [6,7]. Здесь, выходя за рамки классической физики прочности и пластичности кристаллов, Г.А. Малыгин в работах [6,7] квалифицирует дислокации как «заряженные» струны или квантовые вихри. Автор проводит аналогию между сверхпроводимостью металлов и пластичностью кристаллов, которую понимают как проявление сверхтекучести, вызванной образованием и движением дислокаций. Основой для таких рассуждений стало рассмотрение дислокаций на фоне широкого класса топологических дефектов, возникающих в различных конденсированных средах, таких, как кристаллы, сверхтекучие жидкости, жидкие кристаллы. Правомерность таких рассуждений достаточно убедительно аргументирована автором.

Рассуждая в том же ключе, можно найти аналогию между вихревой нитью и дислокацией. Так, дислокация вдоль всей длины имеет постоянный вектор Бюргерса, а значит, она не может оборваться внутри кристалла. Обрыв возможен на поверхности кристалла, на межкристаллитной границе, на другой дислокации. Согласно второй теореме Гельмгольца, напряжение вихря постоянно вдоль всей вихревой нити, из чего следует, что вихревые нити замыкаются сами на себя или лежат на границах сред. Связь с квантовой системой прослеживается и в этом случае в виде квантового заряда, переносимого дефектом. В случае дислокаций это вектор Бюргерса, являющийся квантом циркуляции [6,7], в случае вихревой нити — это циркуляция скорости.

На основании всего выше изложенного, дислокацию можно рассматривать как метастабильный топологический дефект атомно-кристаллической структуры в виде квантовой вихревой нити с парамагнитными центрами ядра, образованными кластерингом электронов и носителей положительного заряда.

Таким образом, процессы изменения пластических свойств твердых тел под действием электромагнитных полей и различных сред имеют общую природу, в основе которой лежат механизмы зарождения, развития и аннигиляции дислокаций, объяснение которых в полной мере возможно лишь с позиции квантовой природы твердого тела.

Вполне очевидно, что изменяя подвижность дислокаций, можно управлять пластической деформацией твердых тел. Сопротивление движению дислокаций могут оказывать различные дефекты, которые содержатся в кристалле (примесные атомы, выделения фаз, дислокации леса и т.д.) [6,7]. Краткая классификация основных видов препятствий движению дислокаций представлена в работе [5]. Авторы работы выделяют собственные и несобственные препятствия движению дислокаций. К собственным препятствиям

относится потенциал Пайерлса и трение, являющееся следствием сопротивления движению быстрых дислокаций со стороны фононов и электронов. Среди несобственных препятствий выделяют точечные: атомы твердого раствора, точечные дефекты решетки; фиксированные препятствия: диспергированные частицы, выделения примесей на дефектах упаковки, а также дальнедействующие поля напряжений: другие дислокации, стабилизированные примеси.

Описать взаимодействие дислокаций с фононами и электронами не представляется возможным без привлечения квантовой теории твердых тел, где в качестве центральной выступает концепция элементарного возбуждения или квазичастицы, которую успешно использовали для объяснения тепловых, магнитных и оптических явлений, электропроводности, сверхпроводимости и др. [11,12,13]. Это является еще одним аргументом в пользу привлечения квантовой теории.

3. Методология теоретико-экспериментальных исследований

Современные представления о механизме явлений, наблюдаемых в процессе обработки резанием твердых тел, свидетельствуют о недопустимости рассмотрения их как чисто механических. Образование новой поверхности сопровождается сложным комплексом физико-химических явлений, приводящих к изменению физико-химических свойств деформируемого тела вследствие взаимодействия с окружающей средой. Этот комплекс физико-химических явлений, вызывающий понижение поверхностной энергии твердого тела как при адсорбции ПАВ из среды, так и при смачивании твердого тела средой, получил название эффекта Ребиндера [14-17].

В зависимости от состава и структуры твердого тела, степени родственности среды, а также условий деформирования эффект Ребиндера может проявляться в разнообразных формах, с технологической же точки зрения наибольший интерес представляют следующие: облегчение пластического деформирования; адсорбционное понижение прочности (жидкометаллическая хрупкость в случае металлов); облегчение механического диспергирования [16].

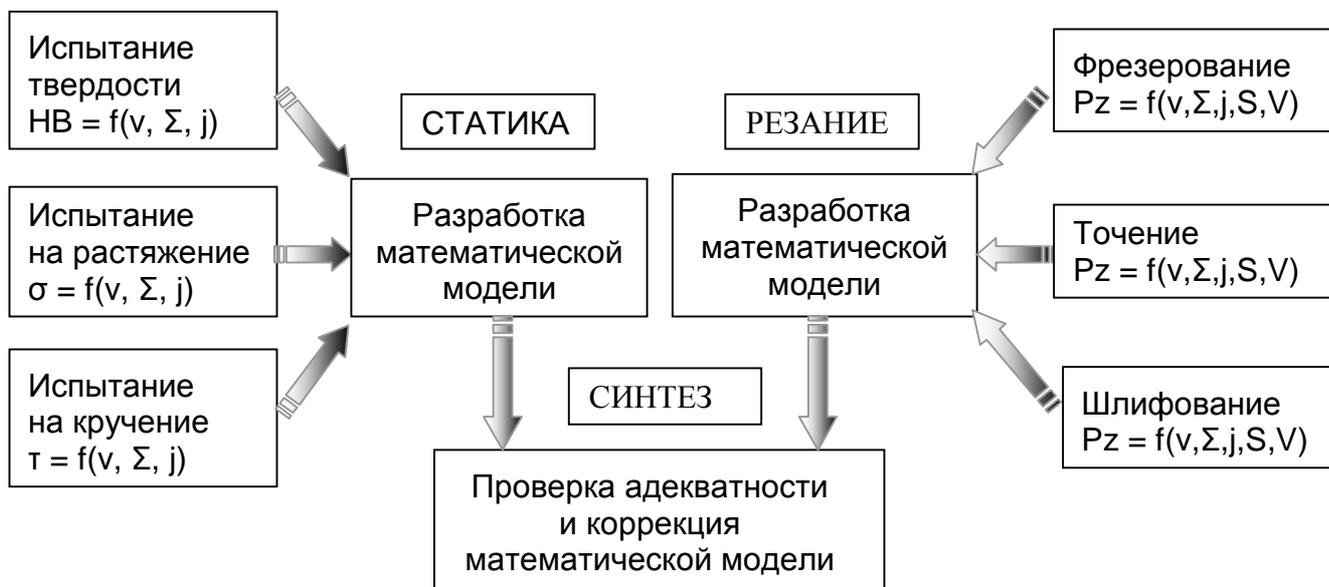
На основании анализа кинетики механохимических процессов, протекающих в контактной зоне при шлифовании, авторами работы [18] разработаны критерии оценки “необходимых” и “достаточных” условий для наиболее полного протекания адсорбционного взаимодействия поверхностно-активных веществ (ПАВ) СОТС с ювенильными участками 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.

Структурно-логическая схема планируемых экспериментальных исследований показана на рисунке.



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;

σ – предел прочности на разрыв;

τ – предел прочности при кручении;

v – частота электромагнитного излучения;

Σ – 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 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 в целях получения зависимостей вида

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

где P_z – сила резания;

S – скорость подачи;

V – скорость резания,

и разработки математической модели, учитывающей влияние параметров режима обработки и методов активации действия среды на энергосиловые характеристики процесса резания.

Затем следует 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.

Выводы

1. Сформулирована проблема необходимости интенсификации механической обработки ТОМ, а также возникающие в этой связи важнейшие задачи исследования.

2. На основании обобщения исследований, посвященных различным физико-химическим явлениям, наблюдаемых в твердых телах, предложена гипотеза квантовой природы явлений и процессов, возникающих при действии различных сред и методов активации их действия на зону механической обработки.

3. В качестве интенсификации методов механической обработки резанием ТОМ предложены комбинированные методы обеспечения критериальных условий, среди которых отмечены электромагнитное излучение и катодная поляризация.

4. Разработана методология комплексных теоретико-экспериментальных исследований процессов механической обработки с активацией действия сред в зоне обработки катодной поляризацией и электромагнитным излучением.

Список литературы

1. Сурду, Н.В. Повышение эффективности шлифования труднообрабатываемых материалов за счет усовершенствования кинематики процессов: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Сурду Николай Васильевич. – Х., 2005. – 230 с.

2. Горбачев, А.А. Глубинное шлифование турбинных лопаток из труднообрабатываемых материалов с применением планетарно-шлифовальных головок: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02 / Горбачев Алексей Александрович. – Х., 2010. – 173 с.

3. Курин, М.А. Исследование технологии планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей деталей авиационных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02; защищена 13.05.2011; утв. 11.11.2011 / Курин Максим Александрович. – Х., 2011. – 179 с.
4. Моргунов, Р.Б. Спиновая микромеханика в физике пластичности [Текст] / Р.Б. Моргунов // Успехи физических наук. – 2004. – Т. 174, №2. – С. 131 – 153.
5. Судзуки, Т. Динамика дислокаций и пластичность [Текст] / Т. Судзуки, Х. Ёсинага, С. Такеути. - М.: Мир, 1989. – 296 с.
6. Малыгин, Г.А. Дислокации как линейные топологические дефекты [Текст] / Г.А. Малыгин // Физика твердого тела. – 2001. – Т. 43, Вып. 5. – С. 822 – 826.
7. Малыгин, Г.А. Процессы самоорганизации дислокаций и пластичность металлов [Текст] / Г.А. Малыгин // Успехи физических наук. – 1999. – Т. 169, № 9. – С. 979 – 1010.
8. Алексеев, Ю.Н. Введение в теорию обработки металлов давлением прокаткой и резанием [Текст] / Ю.Н. Алексеев. – Х.: Изд-во ХГУ, 1969. – 107 с.
9. Варданян, Р.А. К вопросу о механизме фотопластического эффекта [Текст] / Р.А. Варданян, В.Я. Кравченко, Ю.А. Осипьян // Письма в ЖЭТФ. – 1984. – Т. 40, Вып. 6. – С. 248 – 250.
10. Головин, Ю. И. Магниторезонансное разупрочнение кристаллов [Текст] / Ю.И. Головин, Р.Б. Моргунов // Природа. - Сетевая образовательная библиотека VIVOS VOXO!, 2002. - № 8. – С. 49-57.
11. Киттель, Ч. Квантовая теория твердых тел [Текст] / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1967. – 491 с.
12. Пайерлс, Р. Квантовая теория твердых тел [Текст] / Р. Пайерлс. - М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1956. – 259 с.
13. Хакен, Х. Квантополевая теория твердого тела [Текст] / Х. Хакен. - М.: Наука, 1980. – 345 с.
14. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсионных системах: [Текст.] / П.А Ребиндер. – М.: Наука, 1979. – 381 с.
15. Щукин, Е.Д. Понижение поверхностной энергии и изменение механических свойств твердых тел под влиянием окружающей среды [Текст] / Е.Д. Щукин // Физ. хим. механика матер. – 1976. – № 1. – С. 3–20.
16. Коллоидно-химические основы наноауки [Текст] / под. ред. А.П. Шпака. – К.: Академперіодика, 2005. – 466 с.
17. Бутягин, П.Ю. Разупрочнение структуры и механохимические реакции в твердых телах [Текст] / П.Ю. Бутягин // Усп. химии. – 1984. – LIII, № 11. – С. 1769–1790.
18. 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. – 2000. – № 22(5). – С. 118–125.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Ф. Сорокин, Национальный аэрокосмический университет им. Жуковского «ХАИ», г. Харьков

Поступила в редакцию 27.09.2013

Обґрунтування квантової природи явищ і процесів, що виникають при активації зони механічної обробки

Сформульовано проблему необхідності інтенсифікації механічної обробки важкооброблюваних матеріалів. На підставі узагальнення досліджень, присвячених різним фізико-хімічним явищам, які спостерігаються у твердих тілах, запропоновано гіпотезу квантової природи явищ і процесів, що виникають при дії різних середовищ і методів активації їх дії на зону механічної обробки. Запропоновано методологію комплексних теоретико-експериментальних досліджень процесів механічної обробки з активацією дії середовищ у зоні оброблення катодною поляризацією і електромагнітним випромінюванням.

Ключові слова: адсорбція, квантова теорія, міцність, дислокації, електромагнітне випромінювання, катодна поляризація.

Justification of the quantum nature of phenomena and processes occur when you activate the machining zone

The problem of the need to intensification the machining hard materials have been formulated. Based on the synthesis of studies of the various physico-chemical phenomena observed in solids, the hypothesis of the quantum nature of phenomena and processes that occur under the influence of various environments and activation methods their action in the machining zone have been proposed. The methodology of complex theoretical and experimental studies of machining processes with the activation action environments in working area by cathodic polarization and electromagnetic radiation have been offered.

Keywords: absorption, quantum theory, strength, dislocation, electromagnetic radiation, cathodic polarization