

**Мокрицкий Б. Я., Бурков А. А.**

МЕТОДОЛОГИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

**Мокрицкий Б. Я., Бурков А. А.**

**B. Y. Mokritsky, A. A. Burkov**

**МЕТОДОЛОГИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА  
К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ  
МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

**NON-TRADITIONAL HOLISTIC APPROACH TO THE PROBLEM OF INCREASING  
EFFICIENCY OF METAL CUTTING TOOLS**

**Мокрицкий Борис Яковлевич** – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: boris@knastu.ru.

**Mr. Boris Y. Mokritsky** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Researcher, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: boris@knastu.ru.

**Бурков Александр Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, проректор Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: sdsov@knastu.ru.

**Mr. Alexander A. Burkov** – Doctor of Engineering, Professor, Vice Rector, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: sdsov@knastu.ru.

**Аннотация.** Каждый технологический процесс изготовления металлорежущего инструмента эффективен в конкретных условиях эксплуатации. Его можно «собирать» из отдельных типовых технологических приёмов путём их добавления или изъятия до нужного уровня эксплуатационного показателя.

**Summary.** Each technological process implied in producing metal-cutting tools is effective under certain operational conditions. It (process) can be «assembled» from separate typical technological methods by means of adding or extracting them until a necessary level of performance is reached.

**Ключевые слова:** работоспособность инструмента, концепция многостадийного упрочняющего воздействия, технологический процесс изготовления инструмента.

**Key words:** tool capacity, concept of multistage reinforcing action, technological process of tool production.

УДК 621.9

### **Введение**

Производительность и точность обработки заготовок из типовых конструкционных материалов лимитированы, в том числе, работоспособностью металлорежущего инструмента. Проблема повышения работоспособности инструмента ещё более значима для обработки труднообрабатываемых и специальных материалов, где затраты на инструмент могут достигать трети и более от цены изделия.

Данная работа посвящена решению отдельных задач проблемы повышения работоспособности инструмента, а именно обоснованию методологии выбора эффективного технологического процесса изготовления инструмента [1; 2] для конкретных условий эксплуатации. Исходной посылкой для разработки методологии служит следующая аксиома: в эксплуатации не нужен инструмент, период стойкости которого недостаточен для обработки одной поверхности заготовки, и не нужен такой инструмент, у которого после обработки некоторого числа заготовок остаётся значительный ресурс эксплуатации, но недостаточный для обработки ещё одной заготовки.



### **Основы методологии нетрадиционного подхода к проблеме повышения работоспособности инструмента**

Общепринятый подход состоит в том, что разрабатывается тот или иной метод изготовления инструмента и затем оптимизируется область его применения и рациональные режимы эксплуатации инструмента. Предлагаемый в работе нетрадиционный подход к повышению работоспособности состоит в том, что он:

а) комплексный и предусматривает:

- разработку технологических процессов изготовления инструмента по принципу многовариантного упрочняющего воздействия на инструментальный материал на любом из этапов изготовления инструмента;

- распространение принципов упрочняющего воздействия на разные типы инструментальных материалов;

- разработку не только процессов изготовления инструмента, но и способов контроля качества инструмента;

б) включает в себя разработку некоего арсенала [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9] технологических процессов изготовления инструмента для того, чтобы под заданные условия эксплуатации из этого арсенала выбирать эффективный.

Разработанные технологические процессы изготовления инструмента, способы контроля его качества и прогнозирования работоспособности проверены [3; 4; 5] на новизну и защищены более изобретениями (гриф «Для служебного пользования» снят с более чем 30 изобретений только в 2010 г., соответственно формулы изобретений впервые опубликованы в № 3 и № 10 Бюллетеня изобретений РФ). Они объединены единым исследовательским и изобретательским замыслом. Их сущность сводится к тому, что:

а) упрочняющие воздействия могут быть реализованы на любом из этапов изготовления инструментального материала;

б) вид, назначение и количество упрочняющих воздействий могут быть многовариантны для любого из этапов изготовления;

в) рассмотрены три основных этапа осуществления упрочняющих воздействий:

- этап изготовления основы инструментального материала;

- этап архитектурирования покрытия;

- этап упрочнения покрытия;

г) упрочняющие воздействия разработаны для инструмента, выполненного из твёрдого сплава, режущей керамики и сверхтвёрдых материалов;

д) технологические процессы изготовления инструмента разработаны как набор последовательностей упрочняющих воздействий для достижения разного уровня работоспособности инструмента;

е) для оценки качества инструмента применены физические методы (экзоэлектронная и акустическая эмиссия) исследования состояния инструментального материала, установлены виды связи контролируемых параметров с эксплуатационными свойствами инструмента и найдены корреляции для прогнозирования его работоспособности.

Структура предлагаемой концепции комплексного подхода к проблеме повышения работоспособности инструмента представлена на рис. 1 – 2.

### **Отдельные результаты и их обсуждение**

Ниже приведено несколько примеров выбора (проектирования) эффективного технологического процесса для тех или иных условий резания в сравнении с известными решениями.

*Пример 1. Обработка специальных материалов.*

Рассмотрим случаи обработки броневой судостроительной стали АК-29 и труднообрабатываемого титанового сплава ВТ-3-1 (применяется в авиа- и судостроении).

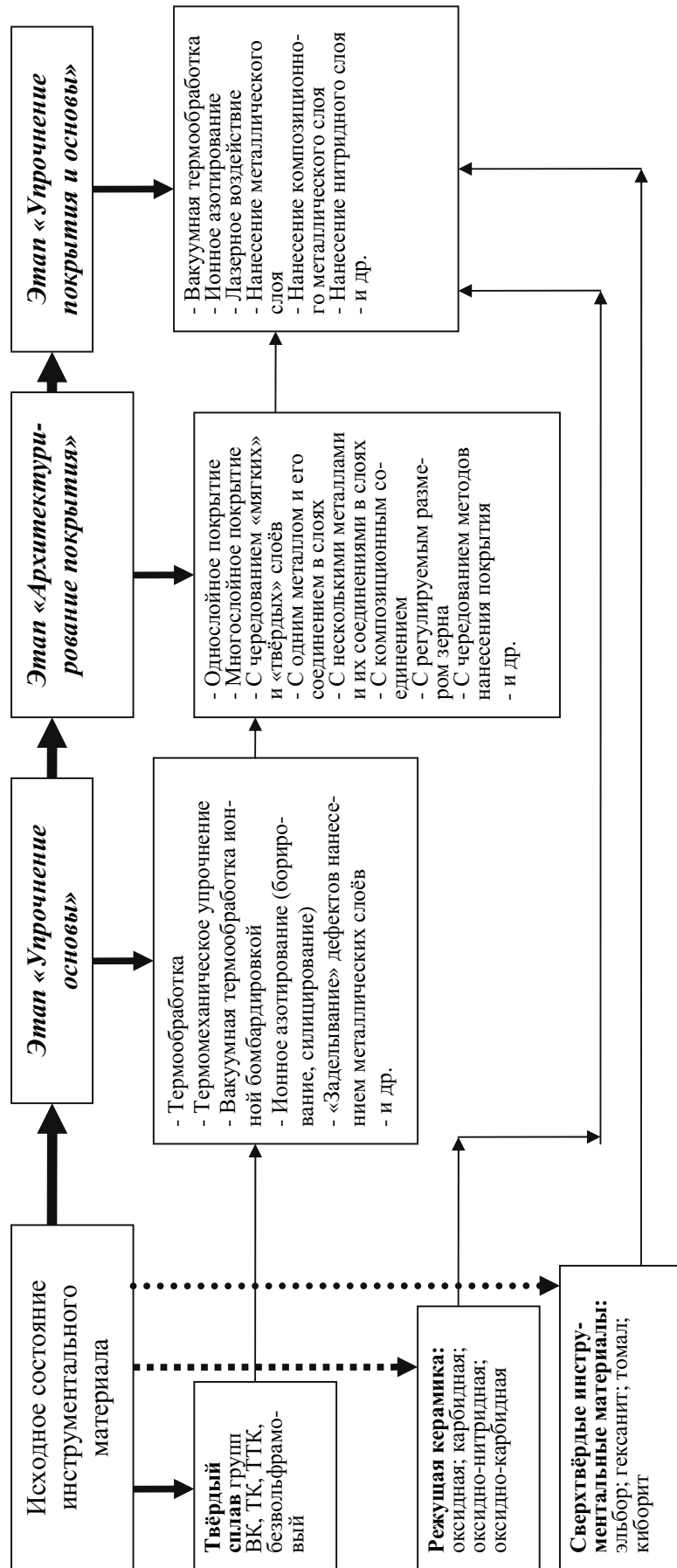


Рис. 1. Структура концепции многостадийных технологических процессов изготовления инструмента как последовательности воздействий по упрочнению исходного инструментального материала

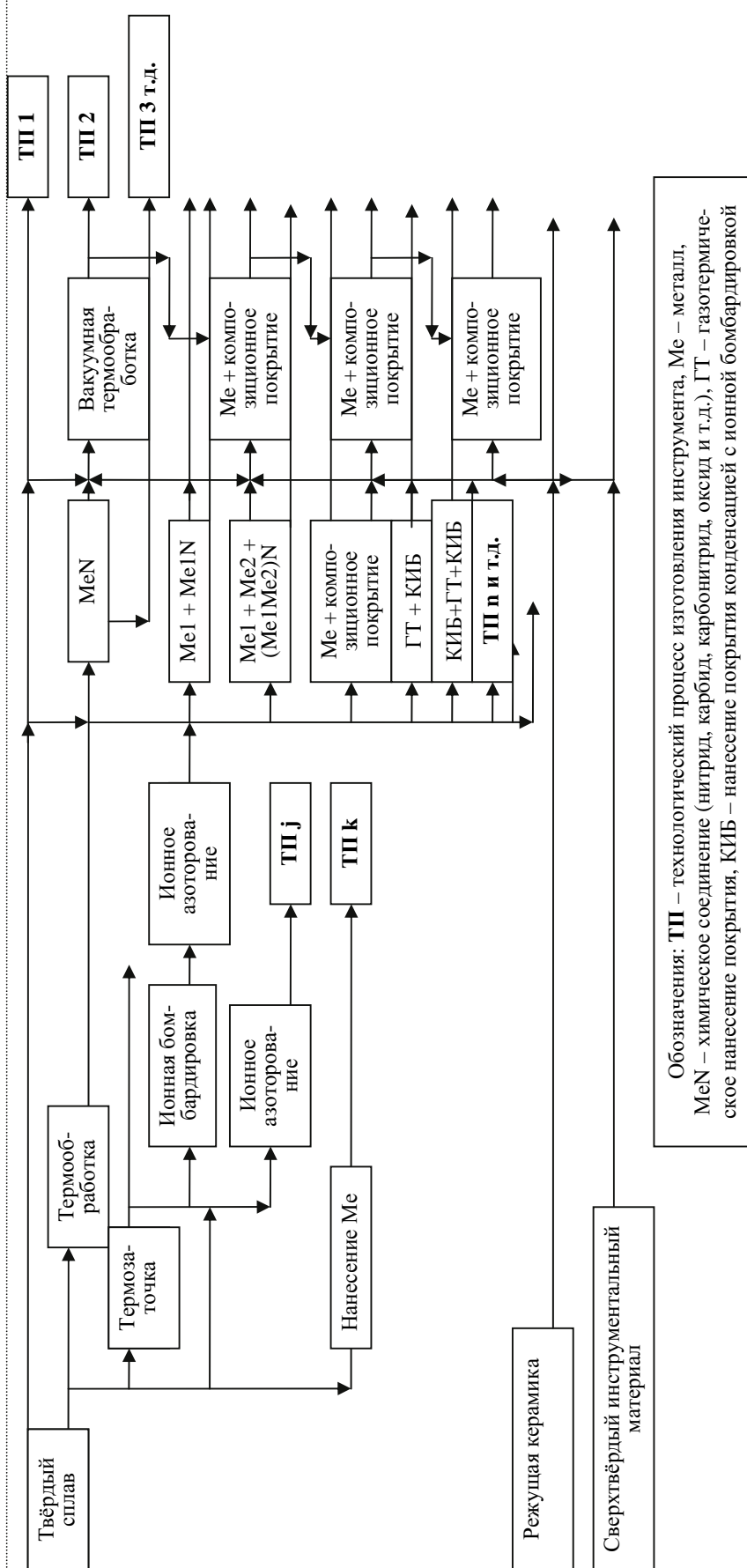


Рис. 2. Структура концепции создания арсенала технологических процессов изготовления инструмента для выбора и создания эффективного технологического процесса

**Мокрицкий Б. Я., Бурков А. А.**

**МЕТОДОЛОГИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Проведены исследования качества инструмента по работоспособности (по величине периода стойкости и коэффициенту его вариации) различных разработанных инструментальных материалов и инструмента, изготовленного зарубежными производителями по современным технологиям. Три лучших решения расположим в порядке роста качества инструмента. Это означает, что инструмент, расположившийся на самом высоком (правый столбец в табл. 1) месте, имеет максимальную работоспособность и обработал самое большое число заготовок. На втором месте инструмент с худшим результатом и т.д. Из данных табл. 1 следует, что указанные решения (строка 3) превосходят известные решения или конкурируют с ними (столбец 3 строка 4).

Таблица 1

Сопоставление эффективности разработанных и существующих приёмов упрочнения твёрдого сплава

Материал	Вид обработки	Три лучших (в порядке роста периода стойкости) инструментальных материалов		
		1	4	5
1	2	3	4	5
АК-29	Точение	2	Balzers	BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo; BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr
	Фрезерование	3	BK8 + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr	BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo
ВТ-3-1	Точение в нормальных условиях	4	BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo; Мицубиси; Balzers	Corloy Inc. BK8 + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr
	Точение «на удар»	5	Corloy Inc.; Сандвик коромант	BK8 + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr
	Фрезерование	6	Мицубиси; Corloy Inc.; Balzers	BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo BK8 + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr

Примечание: 1. иа – ионное азотирование; 2. Мицубиси, Вольф, Corloy Inc., Сандвик коромант – условное обозначение импортного инструмента (место производства) с современным многослойным покрытием, остальное – инструмент собственного производства по разработанным технологическим приемам; 3. данные получены в равных условиях резания по результатам многократных (от 5 до 10 экспериментов с коэффициентом вариации стойкости не более 0,3) испытаний

Решения были получены за счёт правильного вовлечения иерархии механизмов упрочнения инструментального материала на этапе проектирования его эксплуатационных свойств либо путём последовательного подбора упрочняющих воздействий.

В этом и состоит преимущество предлагаемой концепции. Например, пробный техпроцесс не позволил получить нужный результат. Брали из арсенала следующий техпроцесс (см. рис. 1), т.е. к уже апробированному техпроцессу добавляли ещё одно или несколько упрочняющих воздействий, использующих тот или иной механизм упрочнения инструментального материала. Опять проверяли результат. И так до тех пор, пока не получали нужный результат. Либо применяли метод акустической эмиссии для прогнозирования работоспособности инструмента ещё на стадии пробного техпроцесса его изготовления.

### Пример 2. Колёсоточкарная обработка.

Так сложилось в мировой практике, что разработчик (или производитель) нового инструмента выходит на мировой рынок с цифрами, показывающими рациональность данного инструмента в сравнении с другими инструментами именно при восстановительной токарной обработке поверхностей катания колёс грузовых вагонов (это жесточайшие условия резания с глубиной резания до 14 мм из-за того, что приходится режущим лезвием заглабливаться под слои, самозакалённые в результате юза и пробуксовки колёс).

Полученные нами результаты при обработке колёс со скоростью резания 50-90 м/мин, подачей 2,0-0,8 мм/об при глубине резания 4-12 мм (меньшие значения – для чистовой обработки) тангенциальной пластиной формы LNMX (301940) приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 следует, что разработанный инструмент (два правых столбца) имеет не только более высокий коэффициент стойкости. Он более надёжен, т.к. имеет меньшие значения коэффициента вариации.

Таблица 2

### Сравнительная износостойкость разработанного и импортного инструмента

Сравниваемые показатели	Инструмент фирмы «Sandvik Coromant» с наноструктурным многослойным покрытием AT15S + TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	Инструмент фирмы Corloy Inc. (Корея) с наноструктурным многослойным покрытием Ti + TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN	Разработанный инструмент AT15S + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo + лазерное упрочнение	Разработанный инструмент T14K8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr
Коэффициент стойкости до износа 0,8 мм	1,0	1,2	1,6	1,3
Коэффициент вариации стойкости	0,47	0,33	0,32	0,29

Примечание: иа – ионное азотирование поверхности пластины; лазерное упрочнение – воздействие лучом лазера на покрытие с целью «залечивания» его дефектов

### Пример 3. Токарная обработка высокопрочного чугуна.

Результаты приведены для режима резания: глубина 0,13 мм, подача 0,08 мм/об, скорость резания 195 м/мин. Иллюстрация результатов приведена на рис. 3.

Анализ гистограммы позволяет заключить следующее:

а) Ударно-циклический характер нагружения инструмента (обработка поверхности с пазами) снижает период стойкости инструмента в 2,73 раза (из сопоставления столбцов 1 и 2) в сравнении с обработкой непрерывной поверхности. Достичь того уровня работоспособности, который имеет место при обработке непрерывной поверхности, не позволяет ни один из разработанных технологических приёмов упрочнения инструмента.

б) Применение покрытий с цирконием (столбцы 6 и 7) более эффективно, чем с титаном (столбцы 4 и 5).

Разработанные методы исследования свойств инструмента с использованием акустической эмиссии (АЭ) разнообразны по назначению и используемому параметру. Установлено, что акустический метод оценки свойств более достоверен, чем традиционный коэрцитивный метод. Оценка трещиностойкости наиболее просто обеспечивается при использовании эталона путём сравнения испытываемого образца с эталоном. Отношение числа N<sub>2</sub> сигналов АЭ при нагружении инструмента к числу сигналов N<sub>1</sub> при нагружении эталона характеризует трещиностойкость инструмента: чем меньше это отношение, тем выше сопротивляемость материала инструмента образованию и росту трещин. Физический смысл этого состоит в

следующей посылке: чем меньше суммарный счёт N2 у исследуемого образца, тем меньше событий в нём произошло за время нагружения. Наиболее вероятные события – это образование и рост трещин.

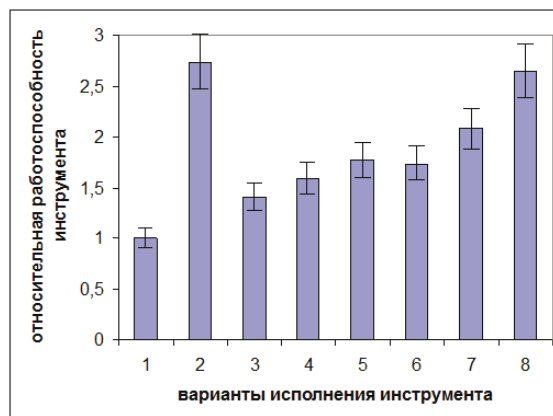


Рис. 3. Гистограмма относительной работоспособности инструмента с различным состоянием инструментального материала при точении детали «импеллер» (за единицу принят период стойкости ВОК-60 в исходном состоянии): 1 – ВОК-60 в исходном состоянии; 2 – то же при обработке непрерывной поверхности; 3 – ВОК-60 после стабилизирующей термообработки; 4 – ВОК-60 после стабилизирующей термообработки и нанесения покрытия из титана; 5 – ВОК-60 после стабилизирующей термообработки и нанесения покрытия из титана + нитрида титана; 6 – ВОК-60 после стабилизирующей термообработки и нанесения покрытия из циркония; 7 – ВОК-60 после стабилизирующей термообработки и нанесения покрытия из циркония + нитрида циркония; 8 – ВОК-60 круглой формы после стабилизирующей термообработки и нанесения покрытия из циркония + нитрида циркония

Большими возможностями оценки качества инструмента обладают те методы, которые позволяют исследовать параметры АЭ в кинетике нагружения материала. Из всех разработанных динамических методов нагружения здесь приведены сведения по маятниковому скрайбированию (новизна защищена патентами РФ на изобретения № 2140075, 2140076, 2138039, 2138038, 2147735, 2147737, 2124715). Установлен вид связи отдельных параметров АЭ с физико-механическими или эксплуатационными свойствами инструментального материала. Так, например, из анализа графиков накопления энергии  $E$  сигналов (физический смысл: площадь под кривой графика пропорциональна накопленной работе разрушения) во время нагружения образца следует, что образование трещин в твёрдосплавном материале с покрытием начинается позже, чем без покрытия, хотя на разрушение покрытия не требуется значительной работы. Этим, в частности, подтверждена сложная и многофункциональная роль покрытий на инструменте, в том числе во взаимосвязи с материалом основы и процессами в поверхностных слоях основы инструментального материала.

При анализе графиков скорости изменения плотности энергии по безразмерному коэффициенту  $Kp$  оценки долей вязкого и хрупкого механизмов разрушения с учётом распределения амплитуд акустических сигналов установлено, что традиционные архитектуры покрытий инициируют развитие хрупкого механизма разрушения в инструментальном материале, причем акты хрупкого разрушения протекают с большими амплитудами сигналов, число таких актов велико, а интенсивность сигналов значительна. Применение в покрытиях «мягких» металлических слоёв даже при малости толщины такого слоя резко повышает долю вязкого механизма разрушения, что требует большей величины работы на разрушение и соответственно влечёт за собой повышение работоспособности инструмента. Этим, в частности, подтверждена целесообразность и необходимость исполнения покрытий с чередованием «мягких» и «твёрдых» слоёв в покрытии.



Методология исследования свойств материалов маятниковым акустическим методом положена в основу разработки методов оценки свойств инструментальных материалов с тем, чтобы на основе большего, чем при обычном акустическом методе оценки, числа параметров АЭ без субъективного фактора оперативно производить оценку свойств. Например, метод оценки трещиностойкости инструмента по частоте сигналов АЭ реализуется на основе сравнительного анализа зависимости спектральной плотности (спектра мощности) от частоты сигналов АЭ (см. рис. 4).

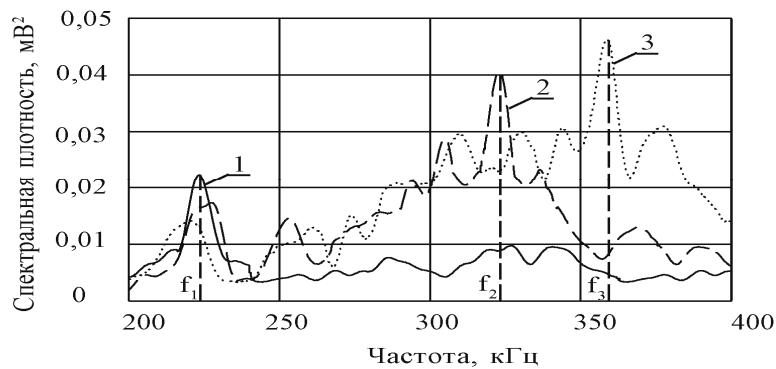


Рис. 4. Пример записи спектров частот сигналов образцов:  
1 – BK8; 2 – BK8 + Zr + ZrN; 3 – BK8 + TiC + TiCN + NiN

Установлено, что значение частоты, характеризующей пик спектральной плотности (значение  $f_1$  для кривой 1 на рис. 4, значение  $f_2$  для кривой 2 и т.д.), имеет корреляцию с трещиностойкостью инструментального материала. Установлено, что чем выше значение характеристической частоты  $f$ , тем выше работоспособность инструмента за счёт лучшей его трещиностойкости. Физический смысл установленных зависимостей состоит в следующем: образование и рост мелких трещин сопровождается генерацией сигналов АЭ большой (высокой) частоты, крупных трещин – генерацией сигналов малой (низкой) частоты.

### Общие рекомендации

Для конкретных условий эксплуатации инструмента из разработанного арсенала эффективный технологический процесс должен выбираться исходя из учёта стоящих задач не только на основе учёта периода стойкости инструмента. Здесь важны экономические показатели.

Рациональные области применения разработанных инструментов приведены в табл. 3 и на рис. 5.

### Выводы

На основании выполненного комплекса теоретико-экспериментальных исследований [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9] предложены научно обоснованные технологические и технические решения, направленные на повышение периода стойкости металлорежущего инструмента при обработке заготовок из специальных материалов, внедрение которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса. Получены следующие основные результаты и выводы:

1. Созданы методология и концепция комплексного подхода к решению проблемы повышения эксплуатационных свойств металлорежущего инструмента, состоящие в разработке арсенала технологических упрочняющих воздействий на каждой стадии его изготовления.



Рекомендации по областям применения разработанного инструмента

Группа обрабатываемых материалов	Вид обработки	Схема технологического процесса изготовления инструмента	Рекомендуемая скорость резания, м/мин	Коэффициент повышения стойкости
Специальные легированные стали для колёс локомотивов и вагонов	Колёсооткаряная обработка	AT15S + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo + лазерное упрочнение	50-80	1,6 в сравнении с AT15S + TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
		T14K8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr		1,3 в сравнении с AT15S + TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiN
Титановые сплавы BT-3-1, BT 20	Точение в нормальных условиях	BK8 + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr	40-80	2,1 в сравнении с инструментом фирмы Сандвик Коромант
	Точение «на удар»	BK8 + и.а. + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr	35-60	2,6 в сравнении с инструментом фирмы Сандвик Коромант
	Торцевое фрезерование	BK8 + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr BK8 + и.а. + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo	60- 80	1,4 – 1,6 в сравнении с инструментом фирмы Сандвик Коромант
Судостроительные стали АК-29, АК-32ПК	Точение	BK8 + иа + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrMo; BK8 + и.а. + TiC+Ti +Zr + (TiZr)N + Zr	140-200	3,6 – 4,2 в сравнении с инструментом фирмы Corlov
	Торцевое фрезерование	BK8 + и.а. + TiC + Ti + Zr + (TiZrMo)N + ZrM BK8 + и.а. + TiC + Ti + Zr + (TiZr)N + Zr	120-160	4,2 – 4,4 в сравнении с инструментом фирмы Corlov
	Точение	ВОК 71 + вакуумная термообработка + Nb + Zr	150-280	1,8 в сравнении с BK8 + TiN + TiCN + TiN
		ВОК-60 + науглероживание + термообработка + ионная очистка + Zr + ZrN + термообработка	120	2,6 в сравнении с ВОК-60
Высокопрочный чугун	Точение «на удар»	ВОК-60 + вакуумная термообработка + Zr + ZrN	195	2,0 в сравнении с ВОК-60
		Киборит с ионным азотированием + (Ti, Zr) + ZrN.	195	6,4 в сравнении с BK8 и 3,5 раза в сравнении с ВОК-60

Это позволяет управлять работоспособностью инструмента и выбирать эффективный технологический процесс изготовления инструмента применительно к конкретным условиям эксплуатации и обеспечивает увеличение периода стойкости в 2...6 раз по сравнению с неупрочнённым инструментом и до двух раз по сравнению с новейшими решениями.

2. Эффективность упрочняющих воздействий существенно различается для разных инструментальных материалов. Например, вакуумная термообработка твёрдого сплава по

величине прироста периода стойкости инструмента до 30 % менее эффективна, чем вакуумная термообработка режущей керамики или сверхтвёрдого инструментального материала и наоборот, нанесение покрытия до двух раз более эффективно для твёрдого сплава, чем для режущей керамики и сверхтвёрдых инструментальных материалов.

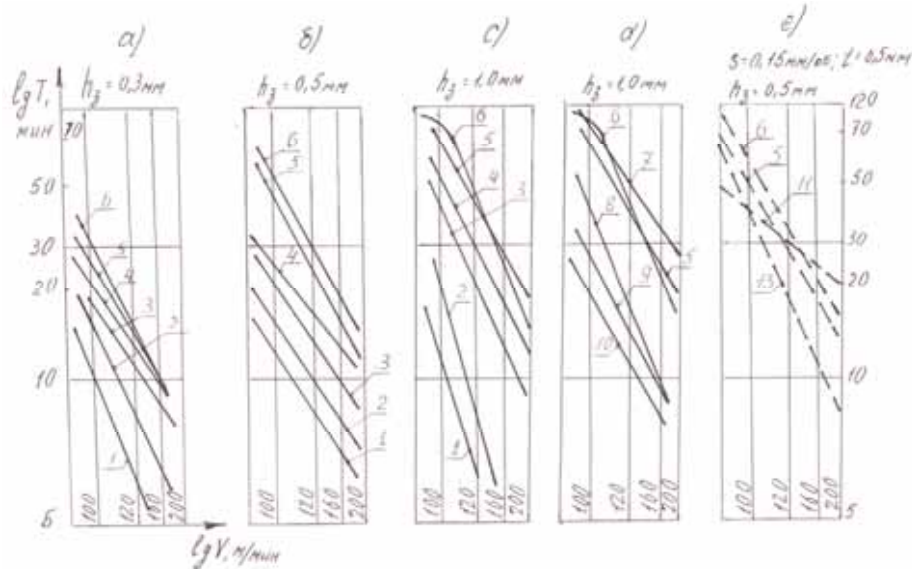


Рис. 5. График влияния элементов режима резания ( $V$  – скорость резания) на период стойкости  $T$  инструмента при токарной обработке заготовок из специализированной судостроительной стали АК-29 (а, б, с) и АК-32П (d, e) при подаче  $S = 0,3$  мм/об, глубине резания 1,5 мм и разной величине допустимого износа  $h_3$ : **1** – BK8+TiN; **2** – TT10K8B+TiN; **3** – инструмент с покрытием производства фирмы Мицубиси; **4** – BK6OM+(TiMo)N (изменение размера зерна в покрытии по В.П. Табакову); **5** – TT10K8B+TiC+(TiCr)N (по А.С. Верещаке); **6** – BK8+и.а.+TiC(ГТ)+Ti+Zr+(TiZrMo)N+ZrMo; **7** – TT10K8B+и.а.+TiC(ГТ)+Ti+Zr+(TiZrMo)N+ZrMo; **8** – BK8+и.а.+Ti+(TiZrMo)N+ZrMo+лазер; **9** – TT10K8B+TiC(ГТ)+Ti+Zr+(TiZr)N; **10** – BK8+тз+Ti+(TiZrMo)N+Zr+лазер; **11** – инструмент с покрытием изготовлен фирмой Сандвик Коромант; **12** – инструмент с покрытием изготовлен фирмой Corlovo; **13** – TT10K8B+и.а.+TiC(ГТ)+Ti+(TiZrMo)N+ZrMo; приняты условные обозначения: ГТ – газотермический метод осаждения покрытия; и.а. – ионное азотирование; тз – термозаточка основы инструментального материала

3. Уровень эффективности одинакового упрочняющего воздействия на режущую керамику и сверхтвёрдые инструментальные материалы сопоставим (отличие в несколько процентов). Это объясняется ограниченными возможностями вовлечения механизмов упрочнения по сравнению с твёрдым сплавом и создаёт предпосылки для применения более дешёвого материала и технологического приёма упрочнения.

4. Степень повышения периода стойкости металлорежущего инструмента в результате воздействия на него совокупности нескольких технологических воздействий не равна алгебраической сумме эффектов его повышения от каждого воздействия в отдельности. Как правило, общий эффект прироста стойкости меньше суммы эффектов повышения стойкости отдельных технологических воздействий. Однако при реализации смежных механизмов упрочнения в совокупности воздействие общий эффект прироста стойкости значительно выше суммы эффектов повышения стойкости отдельных воздействий. Так, чередование в покрытии слоёв различной твёрдости по сравнению с таким же количеством слоёв одинаковой твёрдости обеспечивает более высокую стойкость.

5. Достижение сверхэффектов повышения периода стойкости осуществимо при реализации смежных механизмов упрочнения. Таким образом, в совокупности воздействий следует использовать сразу нескольких иерархических уровней механизмов упрочнения инструментального материала, причём чем больше уровней, тем выше эффект, а пропуск хотя бы одной стадии хотя бы на одном из этапов изготовления сопровождается снижением эффекта.

**Мокрицкий Б. Я., Бурков А. А.**

**МЕТОДОЛОГИЯ НЕТРАДИЦИОННОГО КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

6. Эффективность технологических процессов изготовления твёрдосплавного металлорежущего инструмента наиболее значимо растёт:

- на стадии подготовки основы инструментального материала за счет термообработки ионной бомбардировкой – в 1,5 раза, а также в 1,8 раза за счёт удаления дефектных зёрен, образовавшихся при алмазно-абразивной обработке пластин, стабилизации внутренних напряжений в пластине и образования ювенильных химически активных областей;

- на стадии архитектурирования покрытий за счет однократного чередования «мягких» и «твёрдых» слоёв в покрытии в 3 раза, за счет многократного чередования «мягких» и «твёрдых» слоёв в 5 раз вследствие торможения роста трещин вязкой составляющей покрытия;

- на стадии снижения дефектности покрытий в 1,5 раза за счёт лазерного упрочнения, способствующего локальному перераспределению внутренних напряжений в режущей пластине и технологическому заполнению трещин и несплошностей.

7. Разработаны рекомендации по выбору рациональных технологических процессов изготовления пластин металлорежущих инструментов в зависимости от требуемого уровня периода стойкости и экономических ограничений. При невысоких требованиях к уровню периода стойкости (увеличение до 1,5 раз) наиболее рациональными являются технологические упрочняющие воздействия на исходную инструментальную основу.

8. Технологические процессы изготовления пластин из режущей керамики и сверхтвёрдых инструментальных материалов обеспечиваются теми же приёмами, что и для твёрдого сплава, но для них наиболее эффективны вакуумная термообработка основы (увеличение стойкости в 1,7 раза) и нанесение металлических слоёв покрытия (увеличение стойкости в 1,3 раза).

9. Комбинированием технологической последовательности упрочняющих воздействий возможно частичное перекрытие областей эффективного применения групп инструментальных материалов, в частности, при точении высокопрочных отбелённых чугунов твёрдосплавный инструмент замещён керамическим с увеличением скорости резания в 2 раза без ущерба качеству, а периода стойкости инструмента в 6 раз.

10. Разработанный комплекс способов оценки качества инструмента позволяет прогнозировать работоспособность инструмента по результатам оценки физико-механических и эксплуатационных свойств инструментальных материалов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Мокрицкий, Б. Я. Повышение работоспособности металлорежущего инструмента путём управления свойствами инструментального материала: моногр. / Б. Я. Мокрицкий. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 232 с.
2. Современные методы конструирования, контроля качества и прогнозирования работоспособности режущего инструмента / Ю. Г. Кабалдин, Б. Я. Мокрицкий, Н. А. Семашко, С. П. Тараев. – Владивосток, ДВГУ, 1990. – 122 с.
3. А.с. СССР № 1372976. Многослойное покрытие и способ его получения / Ю. Г. Кабалдин, Б. Я. Мокрицкий, С. А. Изотов, А. А. Бурков, В. Н. Аникин, Н. А. Семашко, Б. П. Щелкунов. – Опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
4. А.с. СССР № 1367529. Способ изготовления твёрдосплавного инструмента / Ю. Г. Кабалдин, Б. Я. Мокрицкий, А. А. Бурков, С. А. Изотов, А. А. Андреев, В. Н. Аникин, Б. П. Щелкунов. – Опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
5. А.с. СССР № 1351154. Способ обработки режущего инструмента / Ю. Г. Кабалдин, Б. Я. Мокрицкий, А. А. Андреев, С. А. Изотов, Н. Е. Кожевников, А. А. Бурков, Ю. В. Дунаевский. – Опубл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
6. Мокрицкий, Б. Я. Управление работоспособностью инструмента при нанесении покрытий / Б. Я. Мокрицкий // СТИН. – 2010. – № 11. – С. 11-16.
7. Mokritsii, B.Ya. Estimating Tool Properties on the Basis of Acoustic Emission / B. Ya. Mokritsii // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, № 10. – Pp. 1026-1028.
8. Мокрицкий, Б. Я. Управление работоспособностью металлорежущего инструмента путём нанесения покрытий / Б. Я. Мокрицкий // Металлообработка. – 2010. – № 3. – С. 12-15.
9. Мокрицкий, Б. Я. Управление работоспособностью металлорежущего инструмента путём нанесения покрытий, механической упрочняющей обработки и контроля качества / Б. Я. Мокрицкий // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 9. – С. 38-47.