

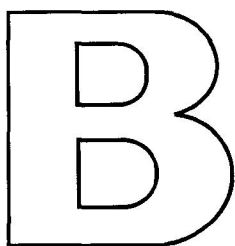
В

ДЛЯ ВУЗОВ

*С.Н. Григорьев*

МЕТОДЫ  
ПОВЫШЕНИЯ  
СТОЙКОСТИ  
РЕЖУЩЕГО  
ИНСТРУМЕНТА

МАШИНОСТРОЕНИЕ



ДЛЯ ВУЗОВ

---

*С.Н. Григорьев*

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».*



---

МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
2011

УДК 621.9.025

ББК 34.63

Г83

**Рецензенты:**

зав. лабораторией ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН д-р техн. наук

Н.А. Воронин,

зам. гл. технолога ФГУП «ММПП «Салют» д-р. техн. наук,

проф. В.А. Горелов

**Григорьев С.Н.**

Г83      **Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник**  
для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с.: ил.  
ISBN 978-5-94275-591-1

Представлены сведения о современных инструментальных материалах, мировых тенденциях их совершенствования. Проведены систематизация и классификация методов нанесения покрытий и модификации поверхностного слоя инструмента из различных материалов. Раскрыты физические основы и технологические особенности методов. Приведены примеры их практической реализации, а также данные о влиянии различных методов на работоспособность инструментов широкой номенклатуры. Материал представлен с учетом новейших достижений науки и техники в области модификации поверхности и нанесения различных покрытий, в том числе наноструктурных.

Предназначен для студентов высших технических учебных заведений, обучающихся по широкому спектру машиностроительных специальностей в рамках направления «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». Может быть полезен аспирантам и инженерно-техническим работникам, занимающимся проблемами повышения работоспособности металлообрабатывающего инструмента и других изделий машиностроения.

УДК 621.9.025

ББК 34.63

**ISBN 978-5-94275-591-1**

© С.Н. Григорьев, 2011

© Издательство «Машиностроение», 2011

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <b>Введение</b> .....   | 7  |
| <b>Глава 1. МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ</b> .....   | 10 |
| 1.1. Классификация инструментальных материалов и общие требования, предъявляемые к ним .....  | 10 |
| 1.2. Инструментальные стали .....   | 13 |
| 1.2.1. Углеродистые стали .....   | 13 |
| 1.2.2. Легированные стали .....   | 13 |
| 1.2.3. Быстрорежущие стали (БРС).....   | 16 |
| 1.3. Твердые сплавы .....   | 23 |
| 1.4. Керамика .....   | 38 |
| 1.5. Сверхтвердые инструментальные материалы .....  | 42 |
| 1.6. Причины отказов и основные направления совершенствования режущих инструментов, изготовленных из различных инструментальных материалов .....          | 50 |
| 1.6.1. Виды отказов инструмента .....   | 50 |
| 1.6.2. Направления совершенствования режущих инструментов .....   | 58 |
| <b>Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА И ЭФФЕКТАХ, ДОСТИГАЕМЫХ ОТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ</b> ..... | 69 |
| 2.1. Классификация методов поверхностной упрочняющей обработки режущего инструмента .....   | 69 |
| 2.2. Различные механизмы упрочнения инструментальных материалов .....   | 73 |
| 2.2.1. Субструктурное упрочнение (упрочнение дислокациями) .....  | 73 |
| 2.2.2. Твердорастворное упрочнение (упрочнение атомами внедрения или замещения) .....   | 74 |
| 2.2.3. Поликристаллическое упрочнение (упрочнение границами зерен) .....  | 75 |
| 2.2.4. Многофазное упрочнение (упрочнение дисперсными частицами) .....  | 76 |
| 2.3. Эффекты, достигаемые применением методов поверхностной упрочняющей обработки .....   | 77 |
| 2.4. Алгоритм выбора оптимального метода поверхностной упрочняющей обработки режущего инструмента .....   | 79 |

|   |                |
|---|----------------|
| <b>Глава 3. НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА .....</b>                    | <b>82</b>      |
| 3.1. Материалы, использующиеся в качестве покрытий, и требования, предъявляемые к ним .....             | 82             |
| 3.2. Подготовка поверхности режущего инструмента к нанесению покрытий .....                             | 92             |
| 3.3. Методы химического осаждения покрытий из газовой фазы .....  | 98             |
| 3.3.1. Высоко- и среднетемпературные методы химического осаждения (HT-CVD, MT-CVD) .....                | 98             |
| 3.3.2. Химическое осаждение с плазменным сопровождением (PA-CVD) .....                                  | 106            |
| 3.4. Методы физического осаждения покрытий (PVD-методы) .....   | 109            |
| 3.4.1. Классификация и особенности методов .....  | 109            |
| 3.4.2. Ионно-термическое испарение .....  | 121            |
| 3.4.3. Электродуговое испарение .....   | 134            |
| 3.4.4. Осаждение распылением .....  | 153            |
| 3.4.5. Осаждение в сопровождении пучка ускоренных частиц .....  | 165            |
| 3.5. Осаждение нанопокровтий .....  | 177            |
| 3.6. Особенности эксплуатации режущего инструмента с покрытием .....                                    | 186            |
| 3.6.1. Контактные и тепловые процессы при обработке инструментом с покрытием .....                      | 186            |
| 3.6.2. Эксплуатационные показатели инструмента с покрытием .....  | 191            |
| <br><b>Глава 4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ЛЕГИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА .....</b> | <br><b>196</b> |
| 4.1. Ионная химико-термическая обработка .....  | 196            |
| 4.1.1. Общие вопросы .....  | 196            |
| 4.1.2. Физическая сущность и технологические особенности процесса .....                                 | 198            |
| 4.1.3. Ионное азотирование в тлеющем разряде ....   | 201            |
| 4.1.4. Азотирование в вакуумно-дуговом разряде ...  | 211            |
| 4.2. Ионная имплантация .....   | 217            |
| 4.2.1. Физические основы и технологические особенности процесса .....                                   | 217            |

---

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.2. Оборудование для проведения ионной имплантации .....  | 226 |
| 4.2.3. Изменение свойств инструментальных материалов и эксплуатационных показателей инструмента .... | 231 |
| 4.3. Лазерная обработка .....  | 235 |
| 4.3.1. Технологические особенности процесса .....  | 235 |
| 4.3.2. Принципы работы и основные виды технологических лазеров .....                                 | 240 |
| 4.3.3. Схемы лазерной обработки (закалки и легирования) .....  | 245 |
| 4.3.4. Выбор условий лазерной обработки .....  | 249 |
| 4.3.5. Механизм упрочнения различных инструментальных материалов после лазерной обработки .....      | 253 |
| 4.4. Электронно-лучевая термообработка .....   | 255 |
| 4.4.1. Физические основы и технологические особенности .....   | 255 |
| 4.4.2. Принципы работы и основные типы оборудования для электронно-лучевой обработки .....           | 260 |
| 4.4.3. Примеры применения электронно-лучевой обработки .....   | 264 |
| 4.5. Электроэрозионное легирование .....   | 265 |
| 4.5.1. Физические основы процесса .....  | 265 |
| 4.5.2. Структура формируемого поверхностного слоя .....  | 267 |
| 4.5.3. Электродные материалы, используемые в процессах электроэрозионной обработки .....             | 268 |
| 4.5.4. Электроискровое легирование .....   | 271 |
| 4.5.5. Электроимпульсное легирование .....   | 273 |
| 4.5.6. Технологические схемы и особенности обработки .....   | 274 |
| 4.5.7. Оборудование для электроэрозионной обработки .....  | 278 |
| 4.6. Другие методы термической обработки и легирования .....   | 282 |
| 4.6.1. Криогенная обработка (обработка холодом) .....  | 282 |
| 4.6.2. Обработка токами высокой частоты (ТВЧ) .....  | 283 |
| 4.6.3. Обработка импульсным электрическим током .....  | 284 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 5. ДЕФОРМАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА</b>           | 288 |
| 5.1. Общие вопросы .....   | 288 |
| 5.2. Статические способы деформационного упрочнения  | 290 |
| 5.3. Динамические способы деформационного упрочнения   | 297 |
| 5.3.1. Дробеструйная обработка .....   | 297 |
| 5.3.2. Ультразвуковая обработка .....  | 305 |
| 5.3.3. Чеканка .....   | 309 |
| 5.3.4. Виброударная обработка .....  | 312 |
| 5.3.5. Статико-импульсная обработка .....  | 316 |
| 5.4. Упрочнение в магнитном поле .....   | 319 |
| 5.4.1. Физическая сущность и технологические особенности процесса .....                          | 319 |
| 5.4.2. Изменение свойств инструментальных материалов после обработки в магнитном поле .....      | 328 |
| <b>Глава 6. КОМБИНИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА</b>              | 331 |
| 6.1. Ионное азотирование и нанесение покрытий .....  | 331 |
| 6.2. Лазерная обработка и нанесение покрытий .....   | 339 |
| 6.3. Лазерное легирование и азотирование .....   | 344 |
| 6.4. Криогенно-эрозионная обработка .....  | 348 |
| <b>Глава 7. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ</b> | 352 |
| 7.1. Оценка прочности адгезионной связи .....  | 352 |
| 7.1.1. Общие вопросы .....   | 352 |
| 7.1.2. Метод отрыва штифта .....   | 354 |
| 7.1.3. Метод сдвига .....  | 355 |
| 7.1.4. Склерометрический метод (скрайбирование или царапанье) .....                              | 356 |
| 7.1.5. Метод вдавливания (отслаивания) .....   | 359 |
| 7.2. Оценка твердости поверхностного слоя .....  | 360 |
| 7.3. Оценка толщины упрочненного слоя .....  | 362 |
| 7.4. Оценка шероховатости поверхности .....  | 362 |
| 7.5. Оценка остаточных напряжений в поверхностном слое   | 363 |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....   | 366 |