

Ю. М. ЗУБАРЕВ,  
А. В. ВЕБЕР,  
М. А. АФАНАСЕНКОВ

# РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

УЧЕБНИК

Под общей редакцией Ю. М. Зубарева



ЛАНЬ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • МОСКВА • КРАСНОДАР 2025

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....                                                                       | 3   |
| ПРЕДИСЛОВИЕ.....                                                                                | 4   |
| Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....                                            | 8   |
| 1.1. Требования, предъявляемые к инструментальным материалам .....                              | 8   |
| 1.2. Углеродистые стали .....                                                                   | 10  |
| 1.3. Легированные стали .....                                                                   | 12  |
| 1.4. Быстрорежущие стали.....                                                                   | 13  |
| 1.5. Металлокерамические твердые сплавы .....                                                   | 27  |
| 1.6. Безвольфрамовые твердые сплавы .....                                                       | 35  |
| 1.7. Минералокерамические инструментальные материалы .....                                      | 36  |
| 1.8. Сверхтвердые инструментальные материалы .....                                              | 39  |
| 1.9. Новые композиционные инструментальные материалы<br>на основе кубического нитрида бора..... | 47  |
| 1.10. Основные поликристаллические модификации нитрида бора,<br>выпускаемые за рубежом.....     | 51  |
| 1.11. Абразивный инструмент.....                                                                | 53  |
| Глава 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА<br>РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ .....                                 | 60  |
| 2.1. Физические явления при резании .....                                                       | 60  |
| 2.2. Процесс образования стружки .....                                                          | 62  |
| 2.3. Термодинамика при резании материалов .....                                                 | 66  |
| 2.4. Трение в процессе резания и износ инструментов .....                                       | 69  |
| 2.4.1. Виды износа режущего инструмента.....                                                    | 72  |
| 2.4.2. Критерии износа режущего инструмента.....                                                | 75  |
| 2.4.3. Влияние различных факторов на износ и стойкость<br>режущего инструмента.....             | 76  |
| 2.4.4. Стойкость режущего инструмента.....                                                      | 77  |
| 2.5. Наростообразование при резании материалов .....                                            | 78  |
| 2.6. Параметры режима резания.....                                                              | 81  |
| 2.7. Силы резания.....                                                                          | 83  |
| 2.8. Качество обработанной поверхности при резании .....                                        | 87  |
| 2.9. Вибрации при резании материалов.....                                                       | 89  |
| 2.10. Факторы, определяющие прочность режущего инструмента.....                                 | 92  |
| Глава 3. РЕЗЦЫ .....                                                                            | 96  |
| 3.1. Конструкции резцов .....                                                                   | 97  |
| 3.2. Основные поверхности резца и его геометрические параметры.....                             | 99  |
| 3.3. Углы резца.....                                                                            | 101 |
| 3.4. Классификация токарных резцов.....                                                         | 104 |
| 3.5. Фасонные резцы.....                                                                        | 109 |
| 3.6. Прогрессивные конструкции резцов .....                                                     | 113 |
| 3.7. Резцы из сверхтвердых материалов.....                                                      | 116 |
| 3.8. Строгальные и долбежные резцы .....                                                        | 126 |

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.9. Элементы режима резания при токарной обработке .....            | 131 |
| Глава 4. СВЕРЛА, ЗЕНКЕРЫ, РАЗВЕРТКИ .....                            | 134 |
| 4.1. Сверла. Их виды и конструкции .....                             | 135 |
| 4.2. Спиральные сверла .....                                         | 140 |
| 4.3. Геометрия спирального сверла .....                              | 141 |
| 4.4. Специальные конструкции сверл .....                             | 145 |
| 4.5. Сверление глубоких отверстий .....                              | 150 |
| 4.6. Элементы режима резания при сверлении .....                     | 158 |
| 4.7. Особенности процесса резания при сверлении .....                | 160 |
| 4.8. Износ сверл и критерии затупления .....                         | 162 |
| 4.9. Зенкеры, их назначение, виды и конструкции .....                | 163 |
| 4.10. Развертки, их назначение, виды и конструкции .....             | 168 |
| 4.11. Элементы режима резания при зенкеровании и развертывании ..... | 174 |
| Глава 5. ПРОТЯЖКИ .....                                              | 177 |
| 5.1. Элементы круглой протяжки .....                                 | 183 |
| 5.2. Особенности стружкообразования при протягивании .....           | 187 |
| 5.3. Классификация протяжек и их применение .....                    | 192 |
| 5.4. Типы протяжек .....                                             | 194 |
| 5.5. Высокоэффективные конструкции протяжек .....                    | 200 |
| 5.6. Износ и стойкость протяжек .....                                | 210 |
| 5.7. Элементы режима резания при протягивании .....                  | 217 |
| Глава 6. ФРЕЗЫ .....                                                 | 223 |
| 6.1. Геометрические элементы режущей части фрезы .....               | 224 |
| 6.2. Основные типы фрез и их применение .....                        | 235 |
| 6.3. Износ фрез и геометрия их режущей части .....                   | 250 |
| 6.4. Рекомендуемая геометрия фрез .....                              | 252 |
| 6.5. Особенности процесса резания при фрезеровании .....             | 255 |
| 6.6. Сила резания и мощность при фрезеровании .....                  | 257 |
| 6.7. Режимы резания при фрезеровании .....                           | 260 |
| Глава 7. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС .....               | 262 |
| 7.1. Дисковые и пальцевые модульные фрезы .....                      | 263 |
| 7.2. Червячные модульные фрезы .....                                 | 265 |
| 7.3. Различные конструкции червячных модульных фрез .....            | 275 |
| 7.4. Зубодолбление .....                                             | 278 |
| 7.5. Долбяки .....                                                   | 280 |
| 7.6. Износ долбяков и элементы режима резания .....                  | 285 |
| 7.7. Нарезание зубьев гребенками и резцами .....                     | 286 |
| 7.8. Шевингование .....                                              | 290 |
| Глава 8. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ .....                       | 294 |
| 8.1. Методы изготовления резьбы на металлических изделиях .....      | 298 |
| 8.2. Нарезание резьбы резцами и гребенками .....                     | 301 |
| 8.3. Фрезерование резьбы .....                                       | 305 |
| 8.4. Нарезание резьбы метчиками .....                                | 308 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.5. Плашки.....                                                                                                               | 314 |
| 8.6. Резьбонарезные головки .....                                                                                              | 315 |
| 8.7. Инструмент для накатывания резьбы.....                                                                                    | 316 |
| 8.8. Шлифование резьб.....                                                                                                     | 318 |
| Глава 9. АБРАЗИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ.....                                                                                            | 320 |
| 9.1. Выбор типа и характеристики шлифовального круга<br>из традиционных абразивных материалов.....                             | 320 |
| 9.1.1. Выбор связки круга. Виды связок .....                                                                                   | 324 |
| 9.1.2. Выбор зернистости круга. Понятие зернистости.....                                                                       | 327 |
| 9.1.3. Выбор твердости шлифовального круга.<br>Степени твердости .....                                                         | 330 |
| 9.1.4. Выбор структуры круга. Понятие структуры .....                                                                          | 332 |
| 9.1.5. Крупнопористые круги и их применение.....                                                                               | 333 |
| 9.1.6. Точность и неуравновешенность кругов .....                                                                              | 334 |
| 9.1.7. Проверка прочности кругов .....                                                                                         | 335 |
| 9.1.8. Условное обозначение кругов и их маркировка .....                                                                       | 336 |
| 9.2. Абразивный инструмент на органических связках.....                                                                        | 337 |
| 9.2.1. Абразивные круги на бакелитовой связке.....                                                                             | 338 |
| 9.2.2. Абразивные круги на вулканитовой связке .....                                                                           | 341 |
| 9.3. Рекомендуются характеристики шлифовальных кругов .....                                                                    | 342 |
| 9.4. Особенности процесса полирования заготовок.....                                                                           | 349 |
| 9.5. Абразивный инструмент из эльбора. АЭРОБОР —<br>новое поколение кругов из эльбора на керамической связке .....             | 354 |
| 9.6. Абразивные инструменты из алмаза .....                                                                                    | 357 |
| 9.7. Инструмент для хонингования.....                                                                                          | 359 |
| 9.8. Абразивные инструменты на гибкой основе .....                                                                             | 361 |
| 9.9. Правка шлифовальных кругов .....                                                                                          | 368 |
| Глава 10. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ<br>И РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТОВ.<br>МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ИХ КОНСТРУИРОВАНИЯ ..... | 380 |
| 10.1. Направления совершенствования режущих свойств инструмента... ..                                                          | 380 |
| 10.2. Методика выбора марки инструментального материала .....                                                                  | 382 |
| 10.3. Повышение износостойкости изделий<br>из инструментальных сталей.....                                                     | 385 |
| 10.4. Криогенная обработка вместо традиционных СОТС .....                                                                      | 386 |
| 10.5. Твердые смазки для покрытия инструмента .....                                                                            | 387 |
| 10.6. Применение при резании металлов СОТЖ<br>в распыленном состоянии.....                                                     | 389 |
| 10.7. Повышение стойкости металлорежущего инструмента<br>за счет новых составов СОТС .....                                     | 391 |
| 10.8. Повышение износостойкости режущего инструмента.<br>CVD- и PVD-покрытия .....                                             | 392 |
| 10.9. Упрочнение режущего инструмента методом<br>ионной имплантации .....                                                      | 395 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.10. Ионно-вакуумная модификация режущих инструментов .....                               | 397 |
| 10.11. Создание алгоритма для системного подхода<br>к выбору имплантируемых элементов ..... | 402 |
| 10.12. Термическая обработка твердого сплава .....                                          | 406 |
| 10.13. Анализ методов крепления режущих пластин<br>к корпусу инструмента .....              | 408 |
| 10.14. Модульный принцип при конструировании инструмента .....                              | 416 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                            | 418 |
| ЛИТЕРАТУРА .....                                                                            | 420 |