

УДК 621.9(075.8)  
ББК 34.63-5я73  
С76

С76                    **Станки с ЧПУ:** Устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, В.А. Шкаберин. — 3-е изд., стер. — М. : ФЛИНТА, 2017. — 358 с. : ил.

ISBN 978-5-9765-1830-8

Рассмотрены особенности конструкций современных станков с ЧПУ, прогрессивного металлообрабатывающего инструмента и приспособлений, рассмотрены особенности разработки технологических процессов с применением оборудования с ЧПУ. Также рассмотрены основы программирования оборудования с ЧПУ на примере наиболее распространенных российских систем с ЧПУ (NC-201 и FANUC 21i) и применения САМ-систем для написания управляющих программ, а также были рассмотрены возможности разработки и применения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ, инструмента и приспособлений.

Для студентов технических специальностей высших учебных заведений, также пособие может быть полезно инженерно-техническим работникам, занимающимся повышением квалификации.

УДК 621.9(075.8)  
ББК 34.63-5я73

ISBN 978-5-9765-1830-8

© Коллектив авторов, 2017  
© Издательство «ФЛИНТА», 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 3  |
| Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....  | 5  |
| 1.1. История развития металлорежущего оборудования с ЧПУ .....             | 5  |
| 1.2. Основные преимущества использования станков с ЧПУ .....               | 10 |
| 1.3. Основные технические характеристики станков с ЧПУ .....               | 11 |
| 1.4. Основные требования к конструкции станков с ЧПУ .....                 | 12 |
| 1.5. Классификация устройств ЧПУ станков .....                             | 14 |
| Глава 2. УСТРОЙСТВО СТАНКОВ С ЧПУ .....                                    | 19 |
| 2.1. Особенности построения систем управления .....                        | 19 |
| 2.1.1. Структура системы УЧПУ, построенной на основе ПЭВМ.....             | 19 |
| 2.1.2. Система ЧПУ фирмы Fanuc .....                                       | 21 |
| 2.1.3. Система ЧПУ фирмы Siemens .....                                     | 23 |
| 2.2. Особенности устройства приводов .....                                 | 24 |
| 2.2.1. Классификация приводов.....   | 24 |
| 2.2.2. Приводы главного движения .....                                     | 28 |
| 2.2.3. Следящие приводы подач .....  | 33 |
| 2.2.4. Дискретные (шаговые) приводы подач.....                             | 38 |
| 2.2.5. Привод вспомогательных механизмов .....                             | 40 |
| 2.3. Устройства автоматической смены инструмента (АСИ) станков с ЧПУ ..... | 42 |
| 2.3.1. Устройства АСИ для станков токарной группы .....                    | 42 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.3.2. Устройства АСИ для фрезерно-сверлильно-расточных (многоцелевых) станков .....        | 48  |
| 2.3.3. Устройство АСИ токарно-фрезерных обрабатывающих центров.....                         | 55  |
| Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ.....                                       | 59  |
| 3.1. Требования, предъявляемые к приспособлениям .....                                      | 59  |
| 3.2. Режущий инструмент, используемый на станках с ЧПУ .....                                | 61  |
| 3.3. Материалы режущей части современного инструмента на примере материалов Sandvik.....    | 64  |
| 3.3.1. Режущий инструмент для токарных станков с ЧПУ .....                                  | 67  |
| 3.3.2. Режущий инструмент многоцелевых станков с ЧПУ .....                                  | 72  |
| 3.3.2.1. Режущий инструмент для обработки поверхностей фрезерованием .....                  | 72  |
| 3.3.2.2. Режущий инструмент для обработки отверстий.....                                    | 76  |
| 3.4. Режимы обработки на станках с ЧПУ .....  | 81  |
| 3.4.1. Точение .....  | 81  |
| 3.4.2. Фрезерование .....   | 89  |
| 3.4.3. Получение отверстий.....   | 93  |
| 3.4.4. Рекомендуемые режимы резания .....   | 97  |
| 3.5. Вспомогательный инструмент.....  | 115 |
| 3.5.1. Вспомогательный инструмент для станков с ЧПУ токарной группы .....                   | 116 |
| 3.5.2. Вспомогательный инструмент для станков сверлильно-расточной и фрезерной групп .....  | 121 |
| Глава 4. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ..... | 131 |
| 4.1. Типовые схемы переходов при фрезерной обработке.....                                   | 131 |
| 4.2. Координатные перемещения.....  | 135 |

---

|   |     |
|---|-----|
| 4.3. Обработка системы отверстий.....   | 136 |
| 4.4. Особенности проектирования технологических операций<br>для многоцелевых станков..... | 138 |
| 4.4.1. Особенности обработки деталей на многоцелевых<br>станках с ЧПУ.....                | 138 |
| 4.4.2. Последовательность выполнения операций на МС.....                                  | 141 |
| 4.4.3. Последовательность выполнения переходов на МС.....                                 | 143 |
| Глава 5. ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ.....   | 145 |
| 5.1. Общие сведения о погрешности обработки поверхностей<br>деталей на станках с ЧПУ..... | 145 |
| 5.2. Методика определения погрешности линейного<br>позиционирования станков с ЧПУ.....    | 150 |
| 5.3. Способы наладки станков с ЧПУ сверлильно-фрезерно-<br>расточной группы.....          | 152 |
| 5.4. Рекомендации по эксплуатации станков с ЧПУ.....                                      | 157 |
| Глава 6. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ.....   | 161 |
| 6.1. Система управления станков с ЧПУ.....  | 161 |
| 6.2. Системы координат станка.....  | 162 |
| 6.3. Методы программирования обработки на станках с ЧПУ.....                              | 166 |
| 6.4. Кодирование и запись управляющих программ.....                                       | 168 |
| 6.4.1. Структура управляющей программы.....   | 169 |
| 6.4.2. Структура кадров.....  | 172 |
| 6.4.3. Структура слов.....  | 173 |
| 6.4.3.1. Размерные слова.....   | 173 |
| 6.4.3.2. Функция подачи и главного движения.....  | 173 |
| 6.4.3.3. Функция инструмента.....   | 174 |
| 6.4.3.4. Кодирование подготовительных функций.....  | 175 |
| 6.4.3.5. Кодирование вспомогательных функций.....   | 175 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.5. Формат управляющей программы.....   | 183 |
| 6.6. Порядок разработки УП .....   | 185 |
| 6.7. Разработка схемы движения режущих инструментов.....   | 186 |
| Глава 7. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ,<br>ОСНАЩЕННЫХ УЧПУ NC-201 .....                                    | 188 |
| 7.1. Формат кадра.....   | 189 |
| 7.2. Типы кадров .....   | 190 |
| 7.3. Программирование подачи .....   | 191 |
| 7.4. Программирование скорости резания.....  | 191 |
| 7.5. Программирование использования инструмента.....   | 192 |
| 7.6. Программирование токарной обработки на станках,<br>оснащенных системой ЧПУ NC-201 .....                       | 192 |
| 7.6.1. Программирование подготовки к обработке.....  | 192 |
| 7.6.2. Программирование перемещений .....  | 194 |
| 7.6.2.1. Быстрое позиционирование осей G0.....   | 194 |
| 7.6.2.2. Линейная интерполяция (G01) .....   | 195 |
| 7.6.2.3. Круговая интерполяция (G02-G03).....  | 196 |
| 7.6.3. Программирование в абсолютной системе, по прираще-<br>ниям и относительно нуля станка (G90, G91, G79) ..... | 199 |
| 7.6.4. Определение режима динамики приводов<br>при программировании .....  | 200 |
| 7.6.5. Нарезание резьбы.....   | 203 |
| 7.6.6. Технологические циклы .....   | 204 |
| 7.6.6.1. Многопроходная осепараллельная черновая<br>обработка .....  | 205 |
| 7.6.6.2. Осепараллельная черновая обработка с последующей<br>получистой обработкой .....                           | 207 |
| 7.6.6.3. Черновая обработка параллельно профилю .....  | 207 |
| 7.6.6.4. Цикл чистовой обработки профиля .....   | 210 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.7. Программирование обработки на обрабатывающих центрах.....                                | 210 |
| 7.7.1. Программирование угловых перемещений.....  | 210 |
| 7.7.2. Программирование обработки отверстий на станках<br>типа ОЦ.....                        | 212 |
| 7.7.2.1. Постоянный цикл глубокого сверления (G83).....                                       | 216 |
| 7.7.2.2. Постоянный цикл нарезания резьбы метчиком (G84).....                                 | 217 |
| 7.7.2.3. Особенности постоянных циклов .....  | 218 |
| 7.7.3. Программирование фрезерной обработки.....  | 219 |
| 7.7.3.1. Компенсация радиуса инструмента (G41-G42-G40).....                                   | 219 |
| 7.7.3.2. Особенности программирования контуров<br>при фрезерной обработке.....                | 223 |
| <br>  |     |
| Глава 8. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ<br>НА СТАНКАХ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ FANUC21I..... | 226 |
| 8.1. Конфигурация программы .....   | 228 |
| 8.2. Задание режимов резания.....   | 229 |
| 8.3. Функция инструмента (Т-функция) .....  | 231 |
| 8.4. Вспомогательные функции .....  | 233 |
| 8.5. Подготовительные функции (G-функции) .....   | 235 |
| 8.6. Программирование перемещений инструмента.....  | 239 |
| 8.6.1. Позиционирование (G00).....  | 239 |
| 8.6.2. Линейное интерполирование (G01) .....  | 240 |
| 8.6.3. Круговая интерполяция (G02, G03) .....   | 241 |
| 8.6.4. Нарезание резьбы с постоянным шагом (G32).....   | 245 |
| 8.7. Функция пропуска (G31).....  | 248 |
| 8.8. Быстрая подача.....  | 250 |
| 8.8.1. Подача в минуту (G98).....   | 251 |
| 8.8.2. Подача на оборот (G99).....  | 251 |
| 8.9. Функция компенсации.....   | 252 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Глава 9. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАНКОВ С ЧПУ .....                                      | 254 |
| 9.1. Особенности использования САМ-систем при разработке УП .....   | 257 |
| 9.1.1. Структура САМ-системы .....  | 260 |
| 9.1.2. Разработка информационно-технического комплекса создания постпроцессоров для современного технологического оборудования с ЧПУ .....    | 261 |
| 9.1.2.1. Анализ функций и современных методов создания постпроцессоров для технологического оборудования с ЧПУ .....                          | 261 |
| 9.1.2.2. Индивидуальный постпроцессор .....   | 265 |
| 9.1.2.3. Обобщенный постпроцессор .....   | 266 |
| 9.1.2.4. Универсальные постпроцессоры .....   | 268 |
| 9.1.2.5. Инвариантное постпроцессирование .....   | 270 |
| 9.1.3. Создание постпроцессоров для современного технологического оборудования с ЧПУ с использованием генератора постпроцессоров G-POST ..... | 270 |
| 9.2. Автоматизированная подготовка производства и изготовления детали фланец .....  | 275 |
| <br>  |     |
| Глава 10. РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ, ИНСТРУМЕНТА И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ .....                              | 280 |
| 10.1. Разработка библиотеки станочных приспособлений в рамках интегрированной автоматизированной системы .....                                | 280 |
| 10.1.1. Настройка структуры библиотеки станочных приспособлений .....   | 282 |
| 10.1.2. Установка виртуальных станочных приспособлений при моделировании механообработки .....  | 282 |
| 10.1.3. Создание таблицы семейств и гибких компонентов .....  | 283 |

|   |     |
|---|-----|
| 10.1.4. Создание станочных приспособлений на примере<br>кулачков для трехкулачкового патрона.....   | 285 |
| 10.2. Разработка библиотеки виртуальных 3D-моделей<br>режущего инструмента в системе Pro/Engineer<br>Wildfire 4.0 .....   | 288 |
| 10.2.1 Анализ базовых инструментов САПР Pro/Engineer<br>для создания библиотек виртуальных 3D-моделей режущего<br>инструмента.....                                    | 288 |
| 10.2.2. Разработка структуры библиотеки виртуальных<br>3D-моделей режущего инструмента .....  | 289 |
| 10.2.3. Основные этапы создания 3D-моделей режущего<br>инструмента.....   | 291 |
| 10.2.4. Определение режимов резания для инструмента .....   | 294 |
| 10.2.5. Использование режимов резания для инструмента.....  | 295 |
| 10.2.6. Библиотека параметров инструмента .....   | 297 |
| 10.2.7. Твердотельные модели инструментов в Pro/Engineer<br>Wildfire 4.0 .....  | 297 |
| 10.2.8. Использование модели инструмента .....  | 300 |
| 10.2.9. Твердотельный инструмент для токарной обработки .....   | 302 |
| 10.2.10. Использование настраиваемого инструмента<br>при сверлении.....   | 303 |
| 10.2.11. Пример создания токарного инструмента .....  | 304 |
| 10.2.12. Примеры токарного инструмента, включенного<br>в библиотеку.....  | 311 |
| 10.3. Разработка виртуальных моделей технологического<br>оборудования с ЧПУ.....  | 315 |
| 10.3.1. Анализ современных автоматизированных систем<br>верификации и выбор оптимальной для создания виртуальных<br>моделей технологического оборудования с ЧПУ ..... | 315 |
| 10.3.1.1. Применение систем симуляции<br>в компьютерном интегрированном производстве .....  | 315 |

---

|  |             |
|--|-------------|
| 10.3.1.2. Сравнительный анализ возможностей современных автоматизированных систем верификации .....                              | 316         |
| 10.3.1.3. Преимущества VeriCUT перед встроенными модулями верификации САМ-систем.....  | 319         |
| 10.3.1.4. Симуляция в системе VeriCUT.....   | 320         |
| 10.3.2. Пример разработки виртуальной модели токарно-фрезерного станка Takisawa EX-308 в автоматизированной системе VeriCUT..... | 325         |
| 10.3.2.1. Технические характеристики станка и оснастки .....   | 325         |
| 10.3.2.2. Основные этапы создания виртуальной модели станка .....  | 326         |
| 10.3.2.3. Построение 3D-моделей деталей станка в Pro/Engineer .....  | 327         |
| 10.3.2.4. Создание сборочной модели станка.....  | 330         |
| 10.3.2.5. Экспорт моделей в STL-формат .....   | 332         |
| 10.3.2.6. Создание виртуальной модели станка Takisawa EX-308 в автоматизированной системе VeriCUT .....                          | 334         |
| 10.3.2.7. Присоединение управляющей программы и проверка работы виртуальной модели станка .....                                  | 343         |
| <br>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | <br>345     |
| <br>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ<br>И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....   | <br><br>346 |