



ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Руководство по станкам с ЧПУ

Учебник

ИЗДАТЕЛЬСТВО
FOLIANT

Нур-Султан
2019

УДК 621.9
ББК 34.632
Р 85

Авторы:

Ганс Б. Киф
Гельмут А. Рошиваль
Карстен Шварц

Примечание Национальной библиотеки Германии
Национальная библиотека Германии включила данную публикацию в свой библиографический список.

Точная библиографическая информация доступна на сайте: <http://dnb.d-nb.de>

Рецензенты:

Ниязбекова Р. К. – доктор технических наук, доцент

Ефремова С. Н. – преподаватель специальных дисциплин Павлодарского колледжа цветной металлургии, магистр

Кригер Е. В. – мастер производственного обучения по специальности «Токарное дело и металлообработка» Павлодарского колледжа цветной металлургии

Р 85 Руководство по станкам с ЧПУ: Учебник / Пер. с немецкого. –
Нур-Султан: Фолиант, 2019. – 778 с.

ISBN 978-601-338-322-4

В книге рубрики основной части текстов соответствуют логике изложения учебного материала и учебной программы, определения и формулировки изложены согласно общепринятой научной терминологии. Детально раскрыты и показаны иллюстративно функции станков с ЧПУ, типы машин с ЧУ, программы ЧПУ с программированием и моделированием технологических процессов. В Приложении даны термины ЧПУ, стандарты, рекомендации и литература.

Учебник можно использовать при подготовке к чемпионатам «WorldSkills» по компетенциям «Токарные работы на станках с ЧПУ» и «Фрезерные работы на станках с ЧПУ».

Предназначен для студентов учебных заведений технического и профессионального образования, обучающихся по специальностям 1109000 «Токарное дело и металлообработка», 1006000 «Металлообработка» (по видам), 1014000 «Технология машиностроения» и др., а также для технологов машиностроения, технологов производства и конструкторов. В качестве справочного пособия будет интересен для специалистов, связанных с производством, выпускающим или использующим станки с ЧПУ.

ISBN 978-601-338-322-4

© 2017 Carl Hanser Verlag München
© Издательство «Фолиант», переводная, 2019

Предисловие

Если в течение 41 года после появления научной книги издается уже 30-е переработанное и обновленное издание, это означает, что вся тематика по-прежнему находится в развитии и постоянном прогрессе. Но это также и признак необходимости того, чтобы вся среда данной техники была актуальной и взаимосвязанной.

Сегодня станки с ЧПУ являются техническим стандартом технологии производства. Необходимые базовые знания преподаются в профессиональных, специальных и высших учебных заведениях и являются незаменимыми на практике. Тем не менее набор функций числового программного управления постоянно расширяется и улучшается во многих деталях. Это делает производство более точным, экономичным, а также более прозрачным для планирования и управления.

В настоящем издании рассматривается ожидаемое влияние Индустрии 4.0 на производство. Хотя приложения охватываются сетью, а процессы оцифровываются на протяжении десятилетий, использование сети Интернет создает совершенно новые возможности. В новой главе наглядно

описываются влияния Индустрии 4.0 на автоматизацию производства с помощью практического примера.

Таким образом, руководство по ЧПУ 2017/2018 включает в себя гармоничное сочетание предыдущих, обновленных глав и новых, актуальных тем. В этой задаче многие производители и авторы в полной мере поддержали нас технической информацией и изображениями, за что мы выражаем им огромную благодарность!

Издатели и авторы чувствуют себя обязанными продолжать регулярно, каждые два года, обновлять эти усовершенствования технологии ЧПУ в данной книге.

При отличном сотрудничестве с издательством и типографией удалось совершенствовать все качество книги так, чтобы вы с удовольствием брали ее в руки. За это мы также хотели бы выразить нашу особую благодарность этим сотрудникам.

Как основоположники, авторы и издатели, мы рады, что руководство по ЧПУ по-прежнему имеет свои права и по истечении 40 лет и считается предпочтительной специализированной литературой по технологии производства с ЧПУ.

Мы хотим добиваться этого и дальше.

Ганс Б. Киф



Гельмут А. Рошваль



Карстен Шварц



Обзор содержания

* обновлено ** нововведение

Часть 1	Введение в технологию ЧПУ	19
	1 Историческое развитие производства с ЧУ	20
	2 Вехи развития ЧУ.....	32
	3 Что такое ЧУ или ЧПУ?	36
Часть 2	Функции станков с ЧПУ	57
	1 Информация о перемещении	58
	2 Функции переключения.....	95
	* 3 Функции числового управления.....	109
	4 ПЛК – программируемые логические контроллеры	167
	5 Влияние ЧПУ на узлы станка	191
Часть 3	Электрические приводы для станков с ЧПУ	199
	* * 1 Регулирование привода для станков с ЧПУ	200
	2 Приводы подачи для станков с ЧПУ	217
	3 Основные приводы шпинделей.....	235
	* * 4 Определение размеров приводов для станков.....	243
	5 Механический расчет шпинделей на основании технологических параметров.....	253
Часть 4	Типы станков с числовым программным управлением	265
	* 1 Станки с ЧПУ	266
	* 2 Аддитивные технологии производства.....	358
	* 3 Гибкие производственные системы	380
	* 4 Промышленные роботы и манипулирование	422
	5 Энергоэффективное экономичное производство	446

Часть 5	Инструменты в производстве с ЧПУ	459
1	Конструкция инструментов	459
2	Управление инструментом (Tool Management)	486
3	Интегрированное в станок измерение заготовок и регулирование процесса	513
* * 4	Интегрированное в станок измерение заготовок в серийном производстве	527
5	Лазерный инструментальный контроль	535
Часть 6	Программа ЧПУ и программирование	542
* 1	Программа ЧПУ	542
* 2	Программирование станков с ЧПУ	585
3	Системы программирования ЧПУ	605
4	Моделирование технологических процессов	623
Часть 7	От обработки производственной информации до Индустрии 4.0	641
1	Прямое ЧПУ – Direct Numerical Control или Distributed Numerical Control	642
2	ЛВС – Local Area Networks	659
3	Цифровая разработка продуктов и производство: от САПР и АСУП к PLM (управление жизненным циклом изделия)	677
* 4	Индустрия 4.0	696
* * 5	Индустрия 4.0 на среднем производственном предприятии	710
Часть 8	Приложение	722
1	Директивы, стандарты, рекомендации	722
2	Список терминов ЧПУ	729

Оглавление

Предисловие	3
Обзор таблиц	17
Часть 1 Введение в технологию ЧПУ	19
1 Историческое развитие производства с ЧУ	20
1.1 Первые послевоенные годы	20
1.2 Восстановление станкостроительной промышленности	21
1.3 Станкостроительная промышленность в Восточной Германии	21
1.4 Глобальные изменения	23
1.5. Дальнейшее развитие немецкой станкостроительной промышленности	24
1.6 Японское влияние	24
1.7 Немецкий кризис	25
1.8 Причины и последствия	25
1.9 Гибкие производственные системы	26
1.10 Мировой экономический кризис 2009	28
1.11 Ситуация и перспективы	29
1.12 Заключение	30
2 Вехи развития ЧУ	32
3 Что такое ЧУ или ЧПУ?	36
3.1 От ЧУ к ЧПУ	36
3.2 Аппаратное обеспечение	37
3.3 Программное обеспечение	39
3.4 Типы управления	39
3.5 Оси ЧПУ	41
3.6 ПЛК, PLC	42
3.7 Блок сопряжения	44
3.8 Компьютер и ЧПУ	44
3.9 Программа ЧПУ и программирование	46
3.10 Ввод данных	48
3.11 Обслуживание	49
3.12 Заключение	53
Часть 2 Функции станков с ЧПУ	57
1 Информация о перемещении	58
1.1 Введение	58
1.2 Обозначение осей	58
1.3 Позиционный контур автоматического регулирования	61

1.4 Измерение координат.....	64
1.5 Простая диагностика измерительных приборов.....	78
1.6 Компенсации.....	79
2 Функции переключения	95
2.1 Пояснения	95
2.2 Смена инструмента.....	96
2.3 Смена инструмента на фрезерных станках и обрабатывающих центрах	96
2.4 Смена инструмента на токарных станках.....	100
2.5 Кодирование посадочного места для инструмента	100
2.6 Переключение на обработку другой детали	102
2.7 Изменение частоты вращения.....	105
2.8 Скорость подачи.....	106
2.9 Заключение	106
3 Функции числового управления	109
3.1 Определение	109
3.2 Основные функции ЧПУ	109
3.3 Специальные функции ЧПУ	115
3.4 Предотвращение столкновений	119
3.5 Интегрированные концепции безопасности для станков с ЧПУ	128
3.6 Мониторинг состояния и оценка машинных параметров	146
3.7 Индикации в ЧПУ	152
3.8 Сенсорное обслуживание с ЧПУ	153
3.9 Открытые системы управления	158
3.10 Обзор цен	161
3.11 Преимущества новейших разработок с ЧПУ	163
3.12 Заключение	164
4 ПЛК – программируемые логические контроллеры	167
4.1 Определение	167
4.2 История создания ПЛК.....	167
4.3 Конструкция и принцип действия ПЛК.....	168
4.4 Шина данных и полевая шина	171
4.5 Преимущества ПЛК.....	176
4.6 Программирование ПЛК и документирование	178
4.7 Программа	180
4.8 Программная память.....	181
4.9 ПЛК, ЧПУ и ПК в интегрированном режиме	182
4.10 Критерии отбора ПЛК	183

4.11 Заключение	185
4.12 Табличное сравнение ЧПУ/ПЛК	185
5 Влияние ЧПУ на узлы станка	191
5.1 Конфигурация машины	191
5.2 Станина машины	193
5.3 Направляющие	194
5.4 Обшивка станка	196
5.5 Снабжение СОЖ	197
5.6 Отвод стружки	197
5.7 Заключение	197
Часть 3 Электрические приводы для станков с ЧПУ	199
1 Регулирование привода для станков с ЧПУ	200
1.1 Определение	200
1.2 Осевая механика	201
1.3 Аналоговое регулирование	202
1.4 Аналоговое регулирование против цифрового	203
1.5 Цифровая интеллектуальная приводная техника	204
1.6 Типы регуляторов и регулировочная характеристика	205
1.7 Коэффициент усиления разомкнутой цепи и коэффициент усиления контура управления положением	208
1.8 Регулирование с упреждением	208
1.9 Преобразователи частоты	209
1.10 Заключение	214
2 Приводы подачи для станков с ЧПУ	217
2.1 Требования к приводам подачи	218
2.2 Виды приводов подачи	219
2.3 Виды линейных электродвигателей	226
2.4 Преимущества/недостатки линейных электродвигателей	228
2.5 Подключение приводов к ЧПУ	228
2.6 Измерительные датчики	231
2.7 Заключение	232
3 Основные приводы шпинделей	235
3.1 Требования к приводам шпинделя	235
3.2 Виды приводов шпинделя	236
3.3 Конструктивные формы приводов шпинделя	238
3.4 Варианты трехфазных синхронных двигателей	240
3.5 Преимущества и недостатки синхронных двигателей	241

4 Определение размеров приводов для станков	243
4.1 Принцип действия.....	243
4.2 Определение размеров приводов шпинделя.....	249
4.3 Заключение.....	251
5 Механический расчет шпинделей на основании технологических параметров	253
5.1 Выбор двигателя.....	253
5.2 Подшипник.....	254
5.3 Смазка.....	255
5.4 Процессы обработки.....	256
5.5 Требования к шпинделям относительно Индустрии 4.0.....	260
Часть 4 Типы станков с числовым программным управлением	265
1 Станки с ЧПУ	266
1.1 Обрабатывающие центры, фрезерные станки.....	266
1.2 Токарные станки.....	277
1.3 Шлифовальные станки.....	285
1.4 Зуборезные станки.....	295
1.5 Сверлильные станки.....	311
1.6 Фрезерно-отрезные станки.....	313
1.7 Установки для лазерной обработки.....	315
1.8 Вырубные и высечные прессы.....	322
1.9 Трубогибочные станки.....	328
1.10 Электроискровые станки.....	329
1.11 Машины для электронно-лучевой обработки.....	332
1.12 Гидроабразивные станки.....	334
1.13 Многооперационные станки.....	336
1.14 Измерение и испытание.....	349
1.15 Заключение.....	354
2 Аддитивные технологии производства	358
2.1 Введение.....	358
2.2 Определение.....	359
2.3 Технологическая цепочка.....	361
2.4 Классификация генеративных технологий производства.....	363
2.5 Важнейшие адаптивные технологии.....	365
2.5.1 Лучевая плавка.....	365
2.5.2 Лазерное спекание.....	368
2.5.3 3D-печать.....	370
2.5.4 Моделирование методом наплавления.....	371

2.5.5 Стереолитография	371
2.5.6 Прочие методы.....	374
2.6 Преимущества аддитивных технологий производства	375
2.7 Заключение	378
3 Гибкие производственные системы	380
3.1 Определение	380
3.2 Гибкие производственные модули	383
3.3 Гибкие производственные системы	384
3.4 Технические характеристики ГПС	389
3.5 Критерии использования ГПС	390
3.6 Принципы организации производства	392
3.7 Выбор и компоновка станка	392
3.8 Системы транспортировки заготовок	394
3.8.1 Выбор транспортной системы	398
3.8.2 Функциональная последовательность линейной транспортной системы	399
3.9 Требования ГПС к ЧПУ	403
3.10 Управляющий компьютер ГПС.....	404
3.11 Экономические преимущества ГПС.....	406
3.12 Проблемы и риски при расчете ГПС.....	408
3.13 Гибкость и комплексность.....	409
3.13.1 Комплексность продукта	412
3.13.2 Гибкость производства	413
3.14 Моделирование ГПС.....	413
3.14.1 Преимущества моделирования	415
3.14.2 Обусловленные системой значения параметров.....	415
3.15 Системы планирования производства (PPS)	416
3.16 Заключение	418
4 Промышленные роботы и манипулирование	422
4.1 Введение	422
4.2 Определение: что такое промышленный робот?	423
4.3 Конструкция промышленных роботов	424
4.4 Механика/кинематика	425
4.5 Захват или исполнительный элемент	425
4.6 Система управления	427
4.7 Технология безопасного робота.....	430
4.8 Программирование	433
4.9 Датчики	435
4.10 Примеры использования промышленных роботов	436
4.11 Подключение роботов к станкам	438

4.12 Роботы с требованиями ЧПУ	440
4.13 Критерии использования промышленных роботов	442
4.14 Заключение и перспективы	443
5 Энергоэффективное экономичное производство	446
5.1 Введение	446
5.2 Что такое энергоэффективность?	446
5.3 Цеха	446
5.4 Станочный парк	447
5.5 Особый случай: обрабатывающие центры	447
5.6 Энергоэффективные программы ЧПУ	448
5.7 Возможности производителей машин	449
5.8 Возможности пользователей	450
5.9 Компенсация реактивного тока	452
5.10 Заключение	455
5.11 Перспективы	455
Часть 5 Инструменты в производстве с ЧПУ	459
1 Конструкция инструментов	459
1.1 Введение	459
1.2 Требования	459
1.3 Разбивка инструментов	462
1.4 Зажимы со стороны станка	466
1.5 Модульные инструментальные системы	472
1.6 Регулируемые инструменты	473
1.7 Резьбофрезерование	477
1.8 Специальные инструменты	479
1.9 Выбор инструментов	484
2 Управление инструментом (Tool Management)	486
2.1 Мотивы для введения	486
2.2 Оценка управления инструментом	488
2.3 Техническое задание	488
2.4 Оценка решений	489
2.5 Введение управления инструментом	489
2.6 Разбивка	489
2.7 Интеграция	490
2.8 Идентификация инструментов	490
2.9 Поиск инструментов	492
2.10 Классификация инструментов	493
2.11 Компоненты инструмента	493

2.12 Инструментальные сборки.....	495
2.13 Спецификации инструментов.....	497
2.14 Рабочие операции.....	497
2.15 Предварительная настройка инструмента.....	498
2.16 Логистика инструментов.....	500
2.17 Электронная идентификация инструментов.....	502
2.18 Заключение.....	509

3 Интегрированное в станок измерение заготовок и регулирование процесса.....	513
3.1 Введение.....	513
3.2 Отправные точки для регулирования процесса.....	513
3.3 Области применения измерительных систем заготовок и инструментов.....	514
3.4 Измерительные системы для станков.....	519

4 Интегрированное в станок измерение заготовок в серийном производстве.....	527
4.1 Введение.....	527
4.2 Измерительные головки для кратчайшего времени измерения при изготовлении отверстий.....	528
4.3 Измерители шероховатости для автоматизированного испытания поверхностей.....	529
4.4 Измерительный щуп DIGILOG для регистрации результатов цифровых и аналоговых измерений.....	531
4.5 Максимальная производительность за счет одновременного измерения.....	532
4.6 Заключение.....	533

5 Лазерный инструментальный контроль.....	535
5.1 Введение.....	535
5.2 Контроль поломки.....	536
5.3 Контроль отдельной режущей кромки.....	536
5.4 Измерение инструментов для высокоскоростного резания.....	537
5.5 Комбинированные лазерные измерительные системы.....	538
5.6 Заключение.....	539

Часть 6 Программа ЧПУ и программирование.....	542
------------------------------------------------------	------------

1 Программа ЧПУ.....	542
1.1 Определение.....	544
1.2 Структура программ ЧПУ.....	544