

ДЛЯ КУЗНЕЦОВ ВСЕХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.С. Матвеев, В.А. Кочетков

СПРАВОЧНИК КУЗНЕЦА

Под редакцией В.Ф. Безъязычного

Издание второе, переработанное и дополненное

**МОСКВА
«ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2023**

УДК 621.7
ББК 34.623
М33

Матвеев А.С.], Кочетков В.А.

М33 Справочник кузнеца. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.Ф. Безъязычно-го. М.: Инновационное машиностроение, 2023. 360 с.: ил.

ISBN 978-5-907523-60-9

Представлены сведения о материалах, применяемых в авиационном двигателе-строении, краткие данные о физической сущности пластической деформации, основ-ном оборудовании цехов кузнечно-штамповочного производства, используемой осна-стке, нагревательных устройствах и режимах ковки и штамповки, а также контроля температур при нагреве металла. Показана роль обработки материалов давлением в создании нанокристаллической структуры материалов.

Приведены сведения об основных кузнечных и штамповочных операциях и произ-водственных методах контроля качества поковок и штамповок. Рассмотрены вопросы термической обработки поковок и штамповок. Дано понятие "специальный процесс", изложены требования, предъявляемые к производственному персоналу и используемому оборудованию.

Второе издание (1-е издание 2011 г.) переработано в соответствии с современными нормативно-техническими материалами.

Справочник рекомендуется для подготовки рабочих на предприятиях, а также в качестве учебного пособия для обучения бакалавров в вузах и специалистов среднего профессионального образования.

**УДК 621.7
ББК 34.623**

ISBN 978-5-907523-60-9

© Матвеев А.С., Кочетков В.А., 2023 г.
© ООО "Издательство "Инновационное машиностроение", 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ АВТОРОВ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В АВИАЦИОННОМ МОТОРОСТРОЕНИИ	9
1.1. Стали и сплавы на основе железа	9
1.2. Сплавы на основе никеля	11
1.3. Сплавы цветных металлов	43
1.3.1. Сплавы на основе алюминия	43
1.3.2. Сплавы на основе магния	43
1.3.3. Сплавы на основе меди	43
1.4. Сплавы на основе титана	60
1.5. Сплавы на основе тугоплавких металлов	78
1.5.1. Сплавы на основе кобальта	78
1.5.2. Сплавы на основе хрома	78
1.5.3. Сплавы на основе ниобия	79
1.5.4. Сплавы на основе молибдена	80
1.5.5. Штамповые стали	81
Глава 2. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ И ЗАГОТОВОК	85
2.1. Методы выплавки сталей и сплавов	85
2.1.1. Получение слитков в вакуумной индукционной печи	85
2.1.2. Получение слитков в вакуумно-дуговой печи с расходуемым электродом	85
2.1.3. Получение слитков электронно-лучевым переплавом	86
2.1.4. Получение слитков плазменно-дуговым переплавом	87
2.1.5. Получение слитков методом электрошлакового переплава	87
2.2. Порошковая металлургия	88
2.2.1. Основные сведения о порошковой металлургии	88
2.2.2. Основные методы получения порошков	89
2.2.3. Приготовление шихты, формование заготовок и изделий	90
Глава 3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ	92
3.1. Строение металлов и сплавов	92
3.1.1. Общие вопросы	92
3.1.2. О моно- и поликристаллах	92
3.2. Физическая природа деформации металлов	95
3.2.1. Общие сведения	95
3.2.2. Дислокации	99
3.3. Изменение свойств металлов в результате пластической деформации	102
3.4. Холодная и горячая пластическая деформация	103
Глава 4. НАГРЕВ И НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА	106
4.1. Требования к нагреву	106
4.1.1. Общие вопросы	106
4.1.2. Окисление и обезуглероживание стали и меры борьбы с ними	107
4.2. Виды топлива и устройства для его сжигания	109
4.2.1. Жидкое топливо	110
4.2.2. Газообразное топливо	110
4.2.3. Топливосжигающие устройства	111

4.3. Нагревательные печи кузнечно-штамповочных цехов	115
4.4. Нагревательные устройства	124
4.5. Автоматическое регулирование рабочей температуры печи	142
Глава 5. ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ КОВКИ И ШТАМПОВКИ	146
5.1. Общие вопросы	146
5.2. Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов	147
5.3. Влияние нагрева на структуру и механические свойства стали	149
5.4. О режиме нагрева заготовок дляковки и штамповки	150
5.5. Охлаждение поковок и штамповок	152
5.6. Недостатки процессов нагрева и горячего деформирования металлов	152
Глава 6. КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУР ПРИ НАГРЕВЕ МЕТАЛЛА	154
6.1. Контроль температуры термоэлектрическими датчиками	154
6.2. Контроль температуры оптическими и радиационными пирометрами	157
6.3. Регистрирующие приборы	159
Глава 7. ОБОРУДОВАНИЕ ЦЕХОВ КОВКИ И ШТАМПОВКИ	163
7.1. Классификация оборудования	163
7.1.1. Общие вопросы	163
7.1.2. Паровоздушные молоты	164
7.1.3. Механические молоты	167
7.1.3.1. Фрикционные молоты с доской	167
7.1.3.2. Молоты с гибкой связью	168
7.1.3.3. Бесшаботные молоты	169
7.1.4. Винтовые прессы (молоты)	170
7.1.5. Гидравлические прессы	173
7.1.6. Кривошипные горячештамповочные прессы	177
7.1.7. Горизонтально-ковочные машины	179
7.1.7.1. Общие вопросы	179
7.1.7.2. Типы поковок, изготавливаемых на ГКМ	181
7.1.8. Машины специального назначения	183
7.1.8.1. Ковочные вальцы	183
7.1.9. Раскатка кольцевых заготовок	186
7.1.9.1. Общие вопросы	186
7.1.9.2. Способ и устройство для повышения точности раскатываемых кольцевых заготовок	189
7.1.9.3. Электровысадочные машины	195
7.1.9.4. Вертикально-ковочные и радиально-обжимные машины	196
7.1.10. Основные характеристики оборудования дляковки и штамповки	197
7.1.11. Выбор оборудования	197
7.2. Вспомогательное оборудование	199
Глава 8. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РУЧНОЙ КОВКИ И КОВКИ НА МОЛОТАХ	202
8.1. Инструмент для ручнойковки	202
8.1.1. Основной технологический инструмент для ручнойковки	202
8.2. Основной технологический инструмент для машиннойковки	205
8.3. Ручной поддерживающий инструмент для ручнойковки иковки на молотах	209
8.4. Некоторые правила изготовления и эксплуатации кузнечного инструмента	211

Глава 9. ОСНОВНЫЕ КУЗНЕЧНЫЕ ОПЕРАЦИИ	213
9.1. Осадка	213
9.1.1. Общие вопросы	213
9.1.2. Разновидности осадки	216
9.2. Протяжка	217
9.2.1. Общие вопросы	217
9.2.2. Протяжка на оправке	218
9.3. Раскатка	219
9.4. Скручивание	220
9.5. Прошивка	221
Глава 10. ШТАМПОВКА НА ПРЕССАХ И МОЛОТАХ	223
10.1. Способы горячей объемной штамповки	223
10.2. Штамповка на молотах	226
10.2.1. Основные этапы разработки технологического процесса	227
10.3. Штамповка на кривошипных горячештамповочных прессах	243
10.4. Штамповка на электровинтовых прессах	246
10.5. Штамповка на гидравлических прессах	248
10.6. Изотермическая штамповка	249
Глава 11. ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	254
11.1. Обработка давлением легированных тепло- и коррозионно-стойких сталей	254
11.2. Обработка давлением жаропрочных сталей и сплавов на основе железа и никеля	258
11.3. Обработка давлением титановых сплавов	264
11.4. Обработка давлением сплавов на основе алюминия	270
11.5. Обработка давлением магниевых сплавов	274
Глава 12. КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И КАЧЕСТВА ПОКОВОК И ШТАМПОВОК	278
12.1. Понятие "специальный процесс"	278
12.2. Требования к персоналу и оборудованию, аттестация персонала и оборудования	279
12.3. Входной контроль исходных материалов	281
12.4. Технологический контроль качества выполнения процесса ковки и штамповки	281
12.5. Контроль геометрической формы и размеров поковок и штамповок	283
12.6. Инструменты и приборы, применяемые для контроля геометрической формы и размеров поковок и штамповок	283
12.7. Окончательный контроль	291
Глава 13. ДЕФЕКТЫ ПРИ КОВКЕ И ШТАМПОВКЕ	295
13.1. Дефекты исходного материала	295
13.2. Дефекты, возникающие в процессе изготовления поковок и штамповок	297
13.2.1. Общие вопросы	297
13.2.2. Основные дефекты поковок, изготавливаемых на молотах	299
13.2.3. Основные дефекты при горячей объемной штамповке на кривошипных горячештамповочных прессах	301
13.2.3.1. Общие вопросы	301
13.2.3.2. Основные дефекты, возникающие при штамповке выдавливанием	302
13.2.4. Некоторые виды дефектов при штамповке поковок на горизонтально-ковочных машинах	303
13.2.5. Основные виды дефектов при вальцовке	305

Глава 14. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ	307
14.1. Общие вопросы	307
14.2. Пример использования программы QForm 3D в производстве компрессорных лопаток ГТД	309
Глава 15. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОКОВОК И ШТАМПОВОК	315
15.1. Назначение термической обработки	315
15.1.1. Общие вопросы	315
15.1.2. Классификация основных видов термической обработки	317
15.2. Отжиг первого рода	318
15.3. Отжиг второго рода	321
15.4. Закалка	323
15.5. Отпуск	324
15.6. Термомеханическая обработка	325
15.6.1. Термомеханическая обработка сталей	325
15.6.2. Термомеханическая обработка стареющих сплавов	326
15.7. Термообработка поковок и штамповок из углеродистых и легированных конструкционных сталей	328
15.8. Термообработка поковок и штамповок из никелевых сплавов	334
15.9. Термообработка поковок и штамповок из титановых сплавов	334
15.10. Термообработка поковок и штамповок из цветных сплавов	334
Глава 16. НАНОТЕХНОЛОГИЯ И ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ	335
16.1. Введение	335
16.2. Способы получения объемных конструкционных наноструктурных материалов методами их обработки давлением	337
16.3. Компактирование нанопорошков прессованием	338
16.4. Методы интенсивной пластической деформации	339
Глава 17. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ И ОПЛАТА ТРУДА	346
Глава 18. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНЫХ ЦЕХАХ	349
18.1. Общие требования безопасности	349
18.2. Требования безопасности перед началом работы	350
18.3. Требования безопасности во время работы	350
18.4. Требования безопасности в аварийных ситуациях	352
18.5. Требования безопасности по окончании работы	352
18.6. Требования техники безопасности при работе на нагревательном оборудовании	353
18.6.1. Общие требования	353
18.6.2. Требования безопасности в аварийных ситуациях	355
18.6.3. Требования безопасности по окончании работы	355
Список литературы	356

ОТ АВТОРОВ

Справочник знакомит читателей со свойствами труднодеформируемых металлов, применяемых в авиадвигателестроении, энергетическом машиностроении и других производствах; способами получения металла, влияющими на качество поступающих в кузнечный цех исходных заготовок; особенностями нагрева (охлаждения) заготовок; средствами контроля температуры нагрева; применяемым оборудованием и инструментом для выполнения операцийковки и штамповки, его влиянии на качество поковок и штамповок, а также с особенностями контроля технологических процессов и качества продукции, основными видами сбоев технологических процессов и методами их корректировки.

Приведены основные этапы разработки технологииковки и штамповки заготовок, в том числе компьютерного моделирования технологического процесса изготовления лопатки авиационного двигателя. Описаны некоторые способы получения нанокристаллической структуры материала методами пластической деформации.

Дополнительно освещены вопросы организации системы качества в свете международных стандартов ИСО 9000, объяснено понятие "специальный процесс" и рассмотрены требования к его выполнению, а также отражены вопросы термической обработки поковок и штамповок, технического нормирования и оплаты труда кузнецов и штамповщиков, вопросы техники безопасности при работе на кузнечно-штамповочном и термическом оборудовании.

В состав справочника в сжатой форме включены не только информационные материалы, известные по научно-технической литературе, но и сведения в области горячей обработки металлов давлением и организации кузнечно-штамповочного производства в ПАО "ОДК-Сатурн" (г. Рыбинск), являющемся разработчиком и производителем современных авиационных двигателей и энергетических установок.

Авторы выражают искреннюю признательность сотруднику управления главного металлурга ПАО "ОДК-Сатурн" В.Б. Быстрову, взявшему на себя труд внимательного ознакомления с представленной рукописью и сделавшему ценные замечания, сотруднику управления главного металлурга Р.А. Казакову, подготовившему материалы по компьютерному моделированию процессов штамповки, а также сотрудникам С.П. Лелю, С.А. Кукушкину, оказавшим техническую помощь в подготовке материалов справочника.

Авторы выражают также глубокую благодарность главному редактору справочника д-ру техн. наук, проф. В.Ф. Безъязычному за высокий профессионализм и тщательность в подготовке к печати материалов справочника.