

**В.В. Кисиль, В.Е. Гончаров, С.В. Закарлюка**

# **Теория и технология обработки металлов давлением**



**Донецк  
2019**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

## **ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Учебное пособие  
для обучающихся образовательных учреждений высшего  
профессионального образования

*В дар библиотеке  
от авторов СЗЕР  
Закарюка С.В.  
20.11.2019г*

Донецк  
2019

**Рекомендовано Ученым советом**

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»**  
в качестве учебного пособия для обучающихся образовательных учреждений  
высшего профессионального образования  
(протокол № 7 от 25.10.2019г.)

**Рецензенты:**

Горбатенко Владимир Петрович – доктор технических наук, профессор  
кафедры «Физическое материаловедение» Донецкого национального  
технического университета;

Шевелев Александр Иванович – доктор технических наук, директор ООО  
«АЯКС 2010».

**Авторы:**

Кисиль Виктор Владимирович – кандидат технических наук, доцент;  
Гончаров Владимир Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Обработка металлов давлением» Донецкого национального  
технического университета;

Закарлюка Сергей Владимирович — кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Обработка металлов давлением» Донецкого национального  
технического университета.

**Кисиль, В. В. Теория и технология обработки металлов давлением**  
: учеб. пособие для вузов / В. В. Кисиль, В. Е. Гончаров, С. В. Закарлюка;  
ГОУВПО «ДОННТУ». - Донецк : ДОННТУ, 2019.- 359 с.: ил. 209, табл. 12.

Кратко изложены элементы современной теории и технологии  
производства основных видов продукции, полученной обработкой  
металлов давлением. Представлены тенденции развития производства  
металлопродукции различными видами обработки, включая  
энергосберегающие и совмещенные технологии. Приведены основы  
расчета геометрических, силовых, технико-экономических показателей  
процесса, а также классификация и стандартизация продукции на примере  
продольной прокатки. Приведены описание, характеристика и схемы  
расположения основного и вспомогательного оборудования отечественных  
и зарубежных прокатных станов, описание оборудования для производства  
металлопродукции другими видами обработки металлов давлением.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ.....</b>	<b>10</b>
1.1 Развитие металлургии Донецкой области.....	12
1.2 Основные проблемы металлургического комплекса.....	15
Контрольные вопросы.....	16
<b>2. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ОМД.....</b>	<b>17</b>
2.1 Прокатка.....	17
2.2 Волочение.....	20
2.3 Прессование.....	21
2.4 Ковка.....	21
2.5 Штамповка.....	22
2.6 Гибка.....	23
Контрольные вопросы.....	24
<b>3. ПРОДОЛЬНАЯ ПРОКАТКА.....</b>	<b>25</b>
3.1 Некоторые общие положения теории прокатки.....	25
3.2 Механические свойства металлов.....	26
3.3 Предел текучести металла.....	28
3.4 Некоторые законы пластической деформации.....	31
3.5 Основные определения и параметры продольной прокатки.....	32
3.6 Контактное трение.....	35
3.7 Условие захвата металла валками.....	36
3.8 Стадии процесса прокатки.....	37
3.9 Экспериментальное определение коэффициента трения.....	39
3.10 Влияние факторов прокатки на коэффициент трения.....	40
3.11 Способы повышения захватывающей способности валков.....	41
3.12 Расчетное определение коэффициента трения.....	42
Контрольные вопросы.....	43
<b>4. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ.....</b>	<b>45</b>
4.1 Опережение и отставание.....	45
4.2 Экспериментальное определение опережения.....	48
4.3 Формулы для определения опережения.....	49
4.4 Зависимость опережения от факторов прокатки.....	49
4.5 Определение средней скорости деформации.....	50
Контрольные вопросы.....	50
<b>5. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛА</b>	<b>52</b>
5.1 Напряженно-деформированное состояние метал.....	52
5.2 Сила и давление прокатки.....	54
5.3 Влияние факторов прокатки на среднее нормальное контактное напряжение.....	65
5.4 Момент и мощность прокатки.....	66
5.5 Уширение при продольной прокатке.....	69

5.6 Влияние факторов прокатки на уширение.....	70
Контрольные вопросы.....	72
<b>6. СОРТАМЕНТ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПРОКАТНОЙ ПРОДУКЦИИ..</b>	<b>74</b>
6.1 Сортовой прокат.....	75
6.2 Листовой прокат.....	78
6.3 Трубы.....	79
6.4 Прочие виды проката.....	79
Контрольные вопросы.....	81
<b>7. ОБОРУДОВАНИЕ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ.....</b>	<b>74</b>
7.1 Типы прокатных станов.....	74
7.2 Основное и вспомогательное оборудование прокатных станов.....	89
Контрольные вопросы.....	96
<b>8. ОСНОВЫ КАЛИБРОВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ.....</b>	<b>97</b>
8.1 Основные понятия.....	97
8.2 Классификация калибров.....	103
8.3 Системы калибров.....	105
8.4 Вытяжная способность системы калибров.....	112
8.5 Системы калибровки простых профилей (квадратных и круглых)...	112
8.6 Особенности калибровки фланцевых профилей.....	113
8.7 Общие положения расчета калибровки валков.....	114
Контрольные вопросы.....	115
<b>9. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....</b>	<b>117</b>
Контрольные вопросы.....	131
<b>10. ПРОИЗВОДСТВО СОРТОВОГО ПРОКАТА.....</b>	<b>133</b>
10.1 Прокатка на непрерывных мелкосортных и проволочных станах...	140
10.2 Арматурная сталь .....	153
10.3 Прокатка и калибровка угловой стали.....	155
10.4 Прокатка и калибровка двутавровых балок.....	158
10.5 Прокатка и калибровка швеллера.....	160
10.6 Прокатка и калибровка рельсов.....	162
10.7 Современное состояние производства железнодорожных рельсов..	167
10.8 Современный рельсобалочный стан.....	172
10.9 Калибровка фасонных профилей проката.....	176
Контрольные вопросы.....	177
<b>11. ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА.....</b>	<b>179</b>
11.1 Технологические схемы производства листовой продукции.....	179
11.2 Производство толстолистого проката.....	180
11.2.1 Этапы (поколения) развития толстолистных станов .....	184
11.2.2 Технология производства толстого листа.....	185
11.2.3 Температурные условия прокатки.....	190
11.2.4 Термическая обработка толстых листов.....	192
11.2.5 Контролируемая прокатка толстых листов .....	194
11.2.6 Отделка толстых листов.....	197

11.3 Производство листов и полос на широкополосных станах горячей прокатки.....	199
11.3.1 Этапы (поколения) развития широкополосных станов горячей прокатки (ШСГП).....	202
11.3.2 Оборудование ШСГП.....	211
11.3.3 Технология прокатки.....	221
11.3.4 Контролируемая прокатка полос на ШСГП.....	226
11.3.5 Горячий посад слябов в методические печи.....	227
11.3.6 Транзитная прокатка металла.....	228
11.3.7 Термическая обработка горячекатаных полос.....	229
11.3.8 Разделка горячекатаных полос на листы и штрипсы.....	230
11.4 Производство листов на станах с печными моталками.....	231
11.5 Производство холоднокатаных полос и листов.....	234
11.5.1 Сортамент холоднокатаных полос и листов.....	234
11.5.2 Общая технологическая схема производства и компоновочные... решения цехов холодной прокатки.....	235
11.5.3 Этапы (поколения) развития непрерывных станов холодной прокатки листа (НСХП).....	236
11.5.4 Подготовка к прокатке и требования к исходной заготовке.....	238
11.5.5 Очистка горячекатаных полос (подката) от окалины.....	238
11.5.6 Классификация станов холодной прокатки.....	242
11.5.7 Способы прокатки холоднокатаных полос и листов.....	243
11.5.8 Последовательность технологических операций на НСХП.....	244
11.5.9 Смазочно-охлаждающие жидкости.....	245
11.5.10 Термическая обработка холоднокатаных полос.....	247
11.5.11 Дрессировка холоднокатаных полос.....	252
Контрольные вопросы.....	256
12. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	259
Контрольные вопросы.....	261
13. ДЕФЕКТЫ ПРОКАТА.....	262
13.1 Классификация дефектов.....	262
13.2 Дефекты слитка и непрерывнолитой заготовки.....	263
13.3 Дефекты прокатного происхождения.....	268
13.3.1 Дефекты нагрева.....	268
13.3.2 Дефекты, возникающие при горячей деформации.....	270
13.4 Методы обнаружения дефектов.....	271
Контрольные вопросы.....	272
14. ПРОИЗВОДСТВО ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ.....	273
Контрольные вопросы.....	276
15. ВОЛОЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ.....	277
Контрольные вопросы.....	285
16. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНЫХ ТРУБ.....	286

16.1 Производство бесшовных труб.....	287
16.2 Производство сварных труб.....	292
Контрольные вопросы.....	297
17. ПРЕССОВАНИЕ МЕТАЛЛА.....	299
Контрольные вопросы.....	309
18. ЛИСТОВАЯ ШТАМПОВКА.....	310
Контрольные вопросы.....	315
19. КОВОЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО.....	317
Контрольные вопросы.....	329
20. СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ.....	330
20.1 Литейно-прокатные агрегаты (ЛПА).....	332
20.2 Валковые литейно-прокатные агрегаты (ВЛПА).....	342
20.3 Совмещение процессов травления и прокатки при производстве холоднокатаных полос.....	343
Контрольные вопросы.....	344
21. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ БУДУЩЕГО.....	345
Контрольные вопросы.....	351
22. ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИ..	352
Контрольные вопросы.....	353
23. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	354
Контрольные вопросы.....	356
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	357