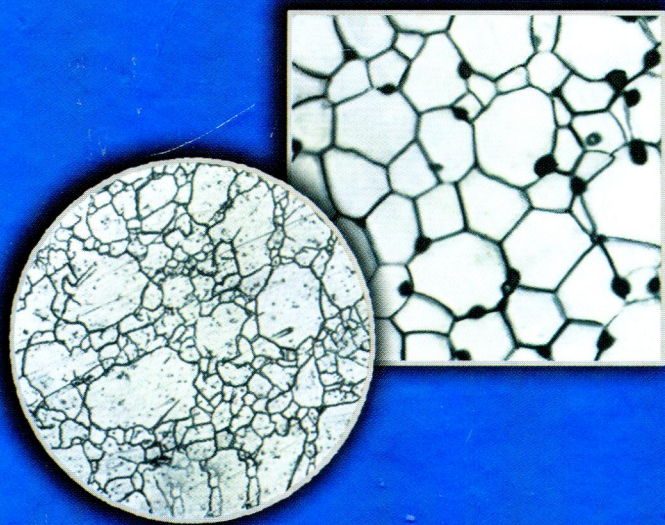


**С. С. Горелик  
С. В. Добаткин  
Л. М. Капуткина**

# **РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

---



МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ XXI ВЕКА  
К 75-летию  
Московского Государственного института стали и сплавов  
(Технологического университета)

С. С. ГОРЕЛИК  
С. В. ДОБАТКИН  
Л. М. КАПУТКИНА

# **РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Под научной редакцией профессора С.С. Горелика

*3-е издание, переработанное и дополненное*

МОСКВА  
•МИСИС•  
2005

УДК 669.1/2:548.53

ББК 34.2

Г67

**Г67 Горелик С. С., Добаткин С. В., Капуткина Л. М. Рекристаллизация металлов и сплавов. 3-е изд. — М.: •МИСИС•, 2005. — 432 с.**

ISBN 5-87623-103-7

Настоящая монография является третьим изданием того же названия. Она переработана, включая собственные результаты авторов, в соответствии с современными представлениями о рекристаллизации и сопутствующих ей процессах возврата и полигонизации. Показано, что процессы, протекающие при нагреве металлов и сплавов, содержащих после различных воздействий разного типа структурные несовершенства, являются самыми распространенными. Важнейшей характерной особенностью процессов является их зависимость от большого числа факторов, затрудняющих установление количественных закономерностей.

Монография предназначена для работников научно-исследовательских институтов и заводских лабораторий, а также для технологов, занимающихся вопросами физического металловедения, пластической деформации, термической обработки и других видов воздействия, влияющих на структуру и структурно-чувствительные свойства металлов и сплавов. Будет полезна аспирантам и студентам старших курсов.

Ил. 223. Табл. 22. Библиогр. список: 262 назв.

ББК 34.2

ISBN 5-87623-103-7

© Горелик С.С., Добаткин С.В.,  
Капуткина Л.М.

© МИСиС, 2005

# Оглавление

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	<b>6</b>
--------------------------	----------

<b>Глава 1. РОЛЬ ПРОЦЕССОВ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ, ВОЗВРАТА И ПОЛИГОНИЗАЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МЕХАНИЗМЕ ЭТИХ ПРОЦЕССОВ</b> .....	<b>9</b>
--	----------

1.1. Сущность и роль процессов рекристаллизации, возврата и полигонизации .....	9
1.2. Развитие представлений об изменениях структуры металлических и других неорганических материалов при их деформации и нагреве .....	11
1.3. Процессы рекристаллизации, возврата и полигонизации в материалах, содержащих структурные дефекты недеформационного происхождения .....	23
<i>Библиографический список к главе 1</i> .....	26

<b>Глава 2. СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МОНО- И ПОЛИКРИСТАЛЛОВ</b> .....	<b>28</b>
--	-----------

2.1. Деформация скольжением .....	29
2.2. Деформация двойникованием .....	49
2.3. Неоднородность деформации .....	53
2.4. Образование ультрамелкозернистой структуры при больших степенях деформации .....	66
2.5. Текстуры деформации .....	80
2.6. Свойства металлов и сплавов после холодной деформации ..	91
<i>Библиографический список к главе 2</i> .....	95

<b>Глава 3. ПРОЦЕССЫ, ИДУЩИЕ ПРИ НАГРЕВЕ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	<b>99</b>
--	-----------

3.1. Возврат .....	103
3.2. Полигонизация .....	108
3.3. Формирование центров первичной рекристаллизации .....	114
<i>Библиографический список к главе 3</i> .....	128

<b>Глава 4. РОСТ ЗЕРЕН НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ</b> .....	<b>129</b>
---	------------

4.1. Атомное строение границ зерен и механизм их миграции ...	129
4.2. Особенности основных стадий рекристаллизации .....	144

4.3. Влияние движущих и тормозящих сил на направление миграции границ .....	155
4.4. Роль неуравновешенности зернограничной энергии .....	157
4.5. Роль вакансий, образующихся на начальных стадиях первичной рекристаллизации .....	161
4.6. Влияние зернограничной энергии на скорость миграции границ на разных стадиях рекристаллизации .....	166
4.7. Термическая устойчивость ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры .....	172
<i>Библиографический список к главе 4</i> .....	178
<b>Глава 5. ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ УРОВЕНЬ И СКОРОСТЬ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛОВ И ОДНОФАЗНЫХ СПЛАВОВ</b> .....	<b>179</b>
5.1. Температурный уровень рекристаллизации ( $t_p^n$ ) металлов .....	181
5.2. Закономерности влияния на $t_p^n$ малых концентраций примеси .....	184
5.3. Влияние больших концентраций примеси на $t_p^n$ однофазных сплавов .....	196
<i>Библиографический список к главе 5</i> .....	200
<b>Глава 6. РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПЕРЕСЫЩЕННЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ И ГЕТЕРОФАЗНЫХ СПЛАВОВ</b> .....	<b>201</b>
6.1. Температурный уровень рекристаллизации пересыщенных твердых растворов .....	202
6.2. Рекристаллизация гетерофазных сплавов .....	221
<i>Библиографический список к главе 6</i> .....	236
<b>Глава 7. РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПОСЛЕ КРИТИЧЕСКОЙ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ</b> .....	<b>237</b>
7.1. Общие закономерности .....	237
7.2. Механизм рекристаллизации после критической деформации .....	242
<i>Библиографический список к главе 7</i> .....	260
<b>Глава 8. ТЕКСТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ (ТР)</b> .....	<b>261</b>
8.1. Практические значения ТР, методы их описания .....	261
8.2. Основные теории формирования ТР .....	263
8.3. Ослабление текстуры при рекристаллизации .....	272
8.4. Практические примеры управления ТР .....	274
<i>Библиографический список к главе 8</i> .....	278
<b>Глава 9. ДИАГРАММЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ</b> .....	<b>279</b>
<i>Библиографический список к главе 9</i> .....	294

<b>Глава 10. СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ТЕПЛОЙ ДЕФОРМАЦИИ И ПОСЛЕДУЮЩЕМ НАГРЕВЕ .....</b>	<b>295</b>
10.1. Диаграммы деформации и структурные процессы в металлах .....	295
10.2. Диаграммы деформации и структурные процессы в сплавах .....	303
10.3. Структурные процессы при нагреве после теплой деформации .....	317
<i>Библиографический список к главе 10</i> .....	323
<b>Глава 11. СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ .....</b>	<b>325</b>
11.1. Динамические процессы структурообразования .....	325
11.2. Структурные изменения после горячей деформации .....	369
11.3. Механические и эксплуатационные свойства горячедеформированных сталей .....	384
<i>Библиографический список к главе 11</i> .....	394
<b>Глава 12. РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И СТРУКТУРНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ СПЛАВОВ .....</b>	<b>395</b>
12.1. Общие представления .....	395
12.2. Зональная грубозернистость, связанная с распадом пересыщенного твердого раствора .....	401
12.3. Структурная неоднородность в изделиях сложной формы, вызванная неоднородностью деформации .....	413
12.4. Структурная неоднородность, вызванная неоднородностью фазового состава .....	414
<i>Библиографический список к главе 12</i> .....	416
<b>Глава 13. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ В МАТЕРИАЛАХ И ИЗДЕЛИЯХ, СОДЕРЖАЩИХ СТРУКТУРНЫЕ НЕСОВЕРШЕНСТВА НЕДЕФОРМАЦИОННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ .....</b>	<b>417</b>
13.1. Порошковые материалы .....	418
13.2. Текстура и субструктура поликристаллических пленок кремния .....	425
<i>Библиографический список к главе 13</i> .....	431