

Aided Steels // Materials Science Research International, 2003. Vol. 9, № 3. P. 223–229.

21. *Okayasu M., Sato K., Mizuno M.* et al. Fatigue properties of ultra – fine grained dual phase ferrite / martensite low carbon steel // International Journal of Fatigue, 2008, 30. P. 1358–1365.

22. *Tanaka I., Yashiki H.* Magnetic and Mechanical Properties of Newly Developed High – Strength Nonoriented Electrical Steel // IEEE Transactions on Magnetics, 2010. Vol. 46, № 2. P. 290–293.

23. *Голованенко С.А., Фонштейн Н.М.* Двухфазные низколегированные стали. М.: Металлургия, 1986, 207 с.

24. *Ban L., Hui W., Yong Q.* et al. High cycle fatigue behavior of medium – carbon trip steel at different tensile strength levels // Chinese Journal of Materials Research, 2008. Vol. 22, № 6. P. 629–633.

25. *Hamada A.S., Karjalainen L.P., Ferraiuolo A.* et al. Fatigue Behavior of Four High – Mn Twinning Induced Plasticity Effect Steels // Metallurgical and Materials Transactions. Vol. 41A, May 2010. P. 1102–1108.

26. *Hamada A.S., Karjalainen L.P.* High – cycle fatigue behavior of ultrafine – grained austenitic stainless and TWIP steels // Materials Science and Engineering A. 2010. Vol. 527. P. 5715–5722.

27. *Терентьев С.В., Яцук С.В., Кораблева С.А.* и др. Характеристики усталости автолистовых сталей // Деформация и разрушение материалов, 2013, № 2. С. 2–11.

28. *Minakawa K., McEvily A.J.* On the Influence of Microstructure on the Threshold Level for Fatigue Crack Growth in Steels // Strength Metals and Alloys. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Conf., Aachen, 1979. Vol. 2. Toronto et al., 1979. P. 1145–1150.

29. *Deng R.Y., Ye Z.J.* Fatigue crack growth rate in ferrite – martensite dual – phase steel // Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 1991. Vol. 16. 109–122.

30. *Ishihara T.* The influence of mean stress on fatigue crack propagation in dual phase low carbon steel // Journal of Materials Science, 1983. 18. 2629–2638.

31. *Song Yu-jiu, Guo Zhen-feng, Liu Jing-hua.* Fatigue fracture of martensite – ferrite duplex structure / 5<sup>th</sup> Heat Treatment of Materials. Proceedings. Vol. I. Budapest, 1986. P. 389–396.

32. *Niendorf T., Rubitschek F., Maier H.J.* et al. Fatigue crack growth – Microstructure relationships in a high – manganese austenitic TWIP steel // Materials Science and Engineering A 527, 2010. P. 2412–2417.

33. *Su Yu., Zhang Mei, Fu Ren-yu* et al. Fatigue properties of low – silicon TRIP – SH steel // Jinshu rechuli = Heat Treat. Metals, 2008. Vol. 33, № 8. P. 25–30.

34. *Hilditch T., Beladi H., Hodgson P., Stanford N.* Role of microstructure in the low cycle fatigue of multi-phase steels // Materials Science and Engineering, 2012, A534. P. 288–296.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	3
<b>Введение</b> .....	5
<b>Глава 1</b>	
<b>Основные понятия, термины и методы испытания</b> .....	18
1.1. Основные положения .....	18
1.2. Основные условные обозначения.....	23
1.3. Отечественные и международные стандарты по усталости материалов .....	24
<b>Глава 2</b>	
<b>Физические основы пластической деформации и зарождения трещин</b> .....	27
2.1. Кристаллическое строение металлических материалов и теоретическая прочность на сдвиг.....	27
2.2. Дефекты кристаллической решетки.....	33
2.3. Свойства и взаимодействие дислокаций.....	37
2.4. Основные механизмы пластической деформации.....	43
2.5. Основные механизмы зарождения микротрещин.....	46
<b>Глава 3</b>	
<b>Закономерности распространения трещин с позиций механики разрушения</b> .....	56
3.1. Коэффициент концентрации напряжений.....	59
3.2. Элементы механики разрушения.....	61
3.3. Линейная упругая механика разрушения.....	64
3.4. Нелинейная упругопластическая механика разрушения (деформационные критерии).....	77
3.5. Практическое определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.....	81
<b>Глава 4</b>	
<b>Области кривых усталости</b> .....	96
4.1. Полная кривая усталости.....	96

4.2. Малоцикловая усталость .....	97
4.3. Многоцикловая усталость .....	100
4.4. Гигацикловая усталость.....	103

## Глава 5

### Периоды и стадии усталости металлических материалов 123

5.1. Периодичность и стадийность процессов пластической деформации и разрушения при статическом деформировании.....	123
5.2. Периодичность и стадийность процессов пластической деформации и разрушения при многоцикловой усталости .....	129

## Глава 6

### Период зарождения усталостных трещин ..... 145 |

6.1. Стадия циклической микротекучести .....	145
6.2. Стадия циклической текучести .....	151
6.3. Стадия циклического упрочнения/разупрочнения .....	165
6.4. Необратимые циклические повреждения и малые усталостные трещины .....	183
6.5. Линия необратимых повреждений (линия Френча).....	188

## Глава 7

### Период распространения усталостных трещин ..... 199 |

7.1. Общие положения .....	199
7.2. Зона пластической деформации у вершины усталостной трещины .....	202
7.3. Эффект закрытия усталостных трещин .....	204
7.4. Малые (короткие) усталостные трещины.....	206
7.5. Стадия припорогового роста усталостных трещин (РУТ).....	211
7.6. Стадия стабильного распространения усталостной трещины ..	215
7.7. Стадия ускоренного распространения усталостной трещины ..	223

## Глава 8

### Роль пластического течения приповерхностных слоев металла в формировании физического предела выносливости..... 234 |

8.1. Особенности пластического течения приповерхностных слоев металлических материалов при статической и циклической деформациях .....	234
8.2. Феноменологическая модель барьерного эффекта приповерхностного слоя на начальных стадиях деформирования ОЦК-металлов и сплавов .....	240

8.3. Роль приповерхностных слоев в накоплении усталостных повреждений и формировании физического предела выносливости .....	257
8.4. Критический размер дефекта на пределе выносливости.....	273

## Глава 9

### Факторы, влияющие на сопротивление усталости металлических материалов..... 290 |

9.1. Введение .....	290
9.2. Влияние структурного состояния материала.....	291
9.3. Влияние упорядочения структуры .....	316
9.4. Масштабный фактор .....	318
9.5. Влияние асимметрии цикла.....	325
9.6. Влияние концентрации напряжений .....	329
9.7. Влияние температуры испытания .....	331
9.8. Влияние состояния поверхностного слоя .....	332
9.9. Влияние температуры и среды испытания .....	337
9.10. Влияние частоты нагружения .....	338
9.11. Влияние контактного трения .....	338

## Глава 10

### Особенности поведения при усталости высокопрочных сталей..... 349 |

10.1. Связь между статическими механическими свойствами и характеристиками усталости.....	350
10.2. Виды кривых усталости высокопрочных сталей.....	354
10.3. Циклическое упрочнение/разупрочнение и зарождение трещин .....	359
10.4. Критический размер дефекта и закономерности распространения трещин .....	365
10.5. Влияние химического состава, термической обработки и фазовых превращений .....	373
10.6. Влияние состояния поверхностного слоя, частоты нагружения и среды.....	393
10.7. Заключение .....	403

## Глава 11

### Усталостная прочность высоколегированных трип-сталей и метастабильных аустенитных сталей..... 410 |

Введение .....	410
11.1. Усталость высоколегированных коррозионностойких трип-сталей .....	412
11.2. Метастабильные аустенитные нержавеющие стали.....	428

**Глава 12**

<b>Характеристики циклической прочности перспективных сталей для автомобильной промышленности .....</b>	<b>445</b>
12.1. Малоцикловая усталость .....	448
12.2. Многоцикловая усталость .....	455
12.3. Циклическая трещиностойкость .....	469

Научное издание

**Терентьев Владимир Федорович**  
**Кораблева Светлана Александровна**

**УСТАЛОСТЬ МЕТАЛЛОВ**

*Утверждено к печати*  
*Ученым советом Института металлургии*  
*и материаловедения*  
*им. А.А. Байкова РАН*

Редактор *Е.Ю. Федорова*  
Художник *Ю.И. Духовская*  
Художественный редактор *В.Ю. Яковлев*  
Технический редактор *З.Б. Павлюк*  
Корректоры *А.Б. Васильев, Р.В. Молоканова,*  
*Т.А. Печко, Т.И. Шеповалова*