

количество изгибных экстинкционных контуров; в объеме зерен структурно свободного феррита и зерен феррито-карбидной смеси выявляется повышенная плотность дислокаций.

Заключение. Методами оптической, сканирующей и просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выполнены исследования фазового состава, дефектной субструктуры поверхностного слоя рельсовой стали Р65, формирующейся в результате эксплуатации на железной дороге (пропущенный тоннаж 1000 млн. т брутто). Показано, что эксплуатация рельса приводит к формированию многослойной структуры. Поверхностный слой толщиной до 20 мкм, характеризуется наличием микропор и микротрещин, имеет многофазную нано- и субмикроструктурную структуру.

Структура слоя, расположенного на расстоянии 2 мм от поверхности катания, по морфологическому признаку подобна структуре объема материала (структуре стали до эксплуатации); представлена зернами перлита преимущественно пластинчатой морфологии, зернами феррито-карбидной смеси и зернами структурно свободного феррита, особенностью которых является повышенная (по сравнению со структурой исходного состояния) плотность дислокаций.

Список литературы

1. Нестеров Д.К., Разинькова Н.Н., Чернякова Л.Е. и др. // МиТОМ. 1991. №4. С. 45-47.
2. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник / Под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. Т.3. М.: Металлургия, 1983. С. 113-136.
3. Ворожищев В.И. Состав и технология производства рельсов повышенной работоспособности. Новокузнецк: Изд-во «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2008. 351 с.
4. Курдюмов В.Г., Утевский Л.М., Энтин Р.И. Превращения в железе и стали. М.: Наука, 1977. 236 с.
5. Тушинский Л.И., Батаев А.А., Тихомирова Л.Б. Структура перлита и конструктивная прочность стали. Новосибирск: ВО Наука, 1993. 280 с.
6. Громов В.Е., Юрьев А.Б., Морозов К.В., Иванов Ю.Ф. Микроструктура закаленных рельсов. Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2014. 213 с.

ТЕРМОУПРУГАЯ МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ НА МАТЕРИАЛ

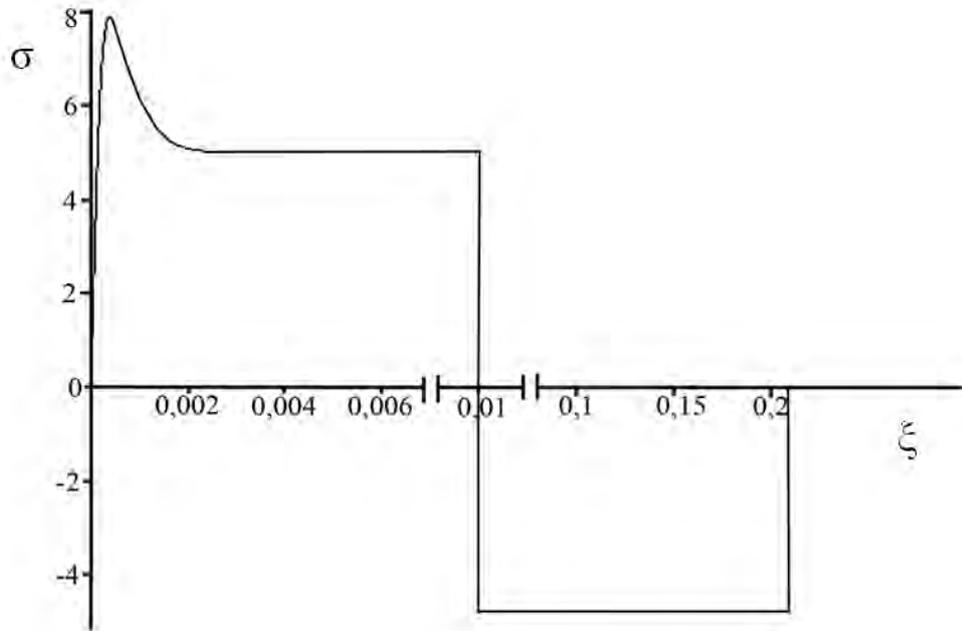
Сарычев В.Д., Невский С.А., Коновалов С.В., Алсараева К.В., Громов В.Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
nevskiy_sa@physics.sibsiu.ru

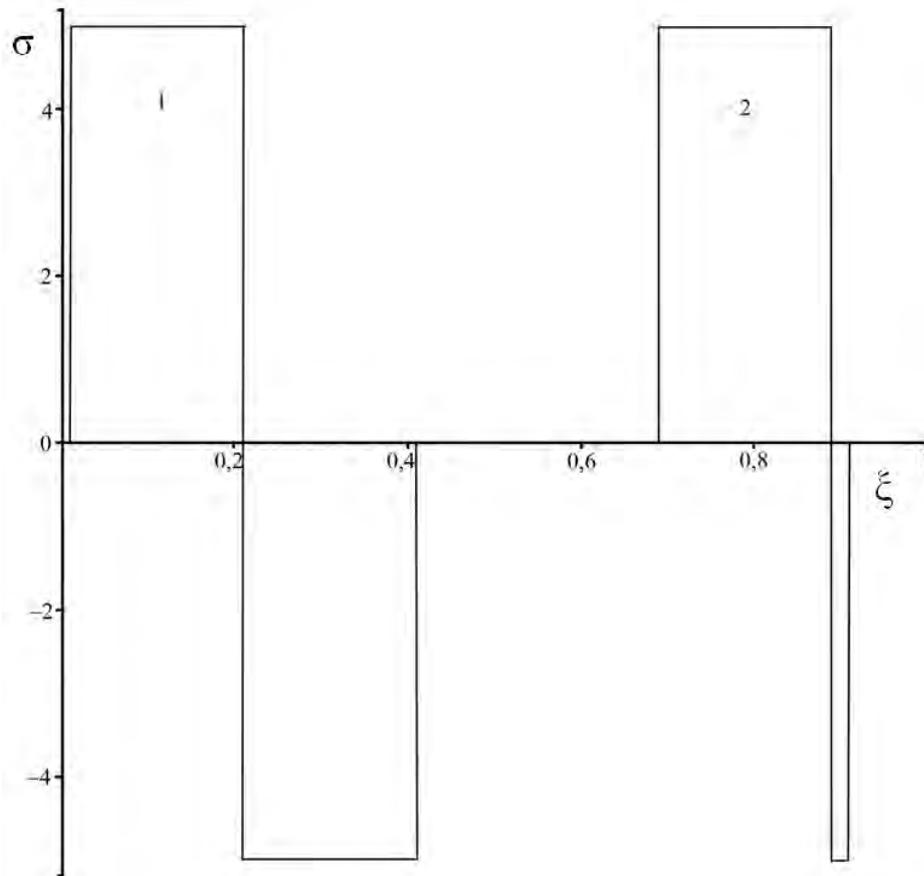
Напряженное состояние определяет особенности формирования градиентных структур при воздействии концентрированных потоков энергии любой природы, поэтому в области создания математических моделей этих процессов разрабатывается очень много различных подходов [1]. В настоящем подходе будем исходить из того, что при воздействии концентрированных потоков энергии в твердых телах формируются волны напряжений и квазистатическое напряженное состояние, обусловленное неоднородным распределением температур. Для последнего хорошо разработаны аналитические методы [2]. Для динамических задач с учетом отраженных волн и немонотонно заданной температуры на границе известны только численные решения соответствующих задач [3]. Для закрытия этого пробела разработана аналитическая модель решения динамической задачи термоупругости для одномерного конечного слоя, на одной границе которого задана зависи-

мость температуры от времени в форме трапеции, а на другой отсутствие теплового потока. Границы слоя свободны от напряжений. Поставленная краевая задача решается с помощью преобразований Лапласа и суммированием падающих и отраженных волн.

Результаты расчетов распределений напряжений в зависимости от координаты для различных моментов времени представлены на рисунке 1 *а, б*.



а



б

Рис. 1. Зависимость напряжения от координаты: в моменты безразмерного времени:
а) 0,21; *б)* 0,41

Из этого распределения видны биполярный характер термоупругой волны и симметричное расположение участков сжатия и растяжения (рис. 1 а). Если создать несимметричный температурный нагрев, то соответственно несимметрично будут распределены участки сжатия и растяжения. При подходе волны к тыльной поверхности происходит отражение: участок сжатия в подающей волне компенсируется отраженной волной растяжения, и на расстоянии менее 0,2 (120 мкм) от тыльной поверхности напряжение нулевое на момент времени до 1,2 (рис.1 б, кривая 2). Начиная с момента времени 1,1, отраженная волна растяжения суммируется с участком растяжения в падающей волне, что приводит к удвоению напряжения (рис. 1 б, кривая 1). Такое возрастание напряжений приводит к возникновению откола. Более детальное исследование места возникновения откола требует учета времени действия растягивающих напряжений и использования модели временной прочности. Поэтому нахождение координаты места откола – отдельная задача.

Таким образом, на основании решения несвязанной термоупругой задачи с параболическим уравнением теплопроводности при заданном треугольном профиле температуры на поверхности показано, что биполярность термоупругой волны обусловлена сменами режимов нагрева и охлаждения. Выявлены участки удвоенного растяжения у тыльной границы и удвоенного сжатия у лицевой поверхности. Созданное поле напряжений приведет к перестройке дефектной структуры материала, и будет способствовать ускоренному массопереносу. Это обстоятельство может объяснить увеличение глубины упрочненного слоя, превышающую глубину теплового влияния.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4166.2015.2 и – докторов наук МД-2920.2015.8, РФФИ в рамках научных проектов №№ 13-02-12009 офи_м, 15-08-03411, 14-08-00506а, госзаданий Минобрнауки №№ 2708 и 3.1496.2014/К на выполнение научно-исследовательской работы.

Список литературы

1. Диденко А.Н., Лигачев А.Е., Куракин И.Б. Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов. М.: Энергоатомиздат. 1987. 187 с.
2. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. М.: Мир, 1970. 256с.
3. Марков А.Б., Ротштейн В.П. Термический и деформационно-волновой механизмы упрочнения углеродистой стали при воздействии высокоэнергетического сильнофокусированного электронного пучка // ФиХОМ, 1997. №6. С. 36-41.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДИСЛОКАЦИОННУЮ СУБСТРУКТУРУ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОЙ МЕДИ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ

**Ярополова Н. Г.¹, Коновалов С. В.¹, Загуляев Д. В.¹, Бондаренко К. Ю.¹,
Комиссарова И. А.¹, Иванов Ю. Ф.², Громов В. Е.¹**

¹*Сибирский государственный индустриальный университет*

Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru

²*Институт сильноточной электроники СО РАН*

Томск, Россия, yufi@mail2000.ru

Настоящая работа, являющаяся продолжением исследований, начатых в [1, 2], посвящена установлению влияния слабого магнитного поля на параметры дислокационной субструктуры технической чистой меди, подвергаемой испытаниям на ползучесть. В каче-