

Причина этого состоит в большой объемной доле цементита в эвтектидной стали. Сталь 9ХФ (и ее аналоги) является двухфазным образованием с соизмеримой объемной долей второй фазы. Иными словами, это композиционный материал. Хорошо известно, что в композиционном материале роль внутренних напряжений выше, чем в обычных материалах.

Анализ зависимости полного внутреннего напряжения от локальных источников, измеренная по мере удаления от поверхности валка, позволяет заключить, что полученные значения напряжений с величиной  $\sigma_v$ . Поэтому становится очевидно, что поверхность валка работает на износ и должна разрушаться. Чтобы сохранить работоспособность валка, поверхностные слои необходимо либо удалять, либо отжигать для «рассасывания» источников напряжения и уменьшения его значений, по крайней мере, на порядок.

Кривизна-кручение кристаллической решетки почти всегда выше во вторичных фрагментах. Очевидно, что вторичным фрагментам трудно испытывать дальнейшие фазо-структурные превращения, поэтому при довольно близких размерах и одинаковой плотности дислокаций вторичные фрагменты накапливают более высокое значение кривизны-кручения решетки.

Обнаружено, что величина кривизны-кручения кристаллической решетки возрастает по мере приближения к поверхности валка. Это также является доказательством того, что степень пластической деформации возрастает при приближении к поверхности, а процессы возврата и полигонизации отстают от накопления дислокаций и развития внутренних напряжений.

## **СТРУКТУРНО- ФАЗОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**Коваленко В. В., Громов В. Е.**

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия*  
[viktor\\_kovalenko\\_76@mail.ru](mailto:viktor_kovalenko_76@mail.ru)

Представлены результаты исследования структуры стали 9Х2ФМ, обработанной на феррито-перлитную структуру, в результате ударного нагружения. Механическое и термическое воздействие с поверхности образца позволяет предположить, что по мере удаления от поверхности в глубину будут образовываться градиентные структуры, т.е. изменения в структуре будут происходить по мере удаления от поверхности вглубь материала.

Исследование особенностей структурно-фазового состояния структуры проводилось с применением электронно-микроскопического анализа на расстояниях от 0 (поверхность максимального ударного нагружения) до 23 мм (противоположная сторона образца) с шагом 3 мм. Особое внимание уделено анализу трех слоев: первый слой - рабочая поверхность, подвергавшаяся наибольшей деформации в ходе эксплуатации (зона ударного нагружения); второй слой - центр образца; третий слой - обратная сторона изделия, где деформация была минимальной. Полученные количественные данные позволили охарактеризовать возникшие градиентные структуры.

Как показали проведенные исследования, 98% материала составляет перлит и лишь 2% феррит. В исходном состоянии перлитные колонии содержат дефекты: «рваный» цементит, изогнутые пластины цементита, участки, в которых пластины цементита расположены в двух направлениях. В небольших количествах присутствуют колонии разрушенного перлита, т.е. колонии, в которых образовалось много дефектных мест, в том числе и разрушенных цементитных пластин. Таким образом, в материале в исходном состоянии присутствуют два типа перлита. К первому типу относятся совершенные перлитные колонии – это колонии, не имеющие дефектов, либо число дефектов в них составляет не-

большое количество: 1) совершенные перлитные колонии и 2) перлитные колонии с дефектными, в том числе и с разрушенными, пластинами цементита. Перлитные колонии первого типа представляют собой образования с приблизительно параллельным чередованием пластин феррита и цементита. Этот перлит частично фрагментирован по первичному механизму, т.е. образующиеся субграницы располагаются примерно перпендикулярно пластинам цементита. Ко второму типу перлитной структуры относятся колонии разрушенного перлита, имеющие такие дефекты, как «рваный» цементит, изогнутые пластины цементита, пластины, расположенные в пределах одной колонии в двух направлениях, колонии с разрушенными пластинами цементита. Скалярная плотность дислокаций оказалась самой высокой в дефектных перлитных колониях колониях с разрушенным цементитом ( $\sim 3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ), в совершенных колониях она в 2 раза меньше ( $\sim 1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ) и самая низкая ( $\sim 0,8 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ ) – в ферритных зернах.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПСЕВДОПЕРЛИТА В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОЙ ЭЛЕКТРОННО - ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Коваленко В. В., Громов В. Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет. Новокузнецк, Россия*  
[viktor\\_kovalenko\\_76@mail.ru](mailto:viktor_kovalenko_76@mail.ru)

Тенденции развития современного материаловедения многие годы были сконцентрированы на получении гомогенных качественных сплавов и других металлических материалов, в которых формировалась установка на постоянные заданные свойства и эксплуатационные характеристики. Встающие проблемы создания материалов с высоким комплексом физико-механических свойств способствовали появлению интереса к композиционным материалам и металлам с градиентной структурой (ГСФС) в твердых телах. Во многих случаях наличие градиентной структуры позволяет материалу приобрести новые, ранее неизвестные свойства.

В работе приведены некоторые результаты исследования ГСФС, реализующихся на микромасштабном уровне (сотни нанометров – единицы микрометров) в процессе формирования структуры при электронно-пучковой обработке. В исходном состоянии фиксировались хаотически расположенные в объеме зерен  $\alpha$ -фазы частицы глобулярного цементита (размеры частиц в большинстве случаев изменялись в пределах 0,3–0,5 мкм). Электронно-пучковая обработка стали приводит к преобразованию структуры и фазового состава стали, том числе, к растворению глобул цементита. В зависимости от количества теплоты, передаваемой материалу электронным пучком, удается зафиксировать и подвергнуть исследованиям методами электронной дифракционной микроскопии различные стадии растворения глобул цементита и, следовательно, различные стадии преобразования структуры объема  $\alpha$ -фазы, прилегающего к растворяющейся глобуле цементита.

Размеры зоны преобразования структуры  $\alpha$ -фазы, фиксируемые методами электронной дифракционной микроскопии, составляли единицы микрометров; формирующиеся градиенты, таким образом, относятся к разряду микромасштабных. Начальные стадии преобразования глобулярных частиц цементита под воздействием тепла, передаваемого электронным пучком обрабатываемой стали, заключаются в формировании в частице вдоль границы раздела с матрицей дефектного слоя, толщина которого достигает  $\sim 100$  нм.

Результаты, полученные методами электронной дифракционной микроскопии, позволяют говорить о формировании в слое, располагающемся на границе раздела частица / матрица, градиента плотности дислокаций и градиента упругих полей напряжений (рис. 1). Пример формирования микроградиента фазового состояния стали приведен на