

Очередная стадия характеризуется существенным увеличением толщины переходного слоя до 200 нм. Слой состоит из кристаллитов α -фазы, имеющих часто ярко выраженную линзовидную морфологию, что является несомненным аргументом в пользу мартенситного механизма формирования структуры наблюдающегося переходного слоя. Кристаллы мартенсита располагаются в большинстве случаев перпендикулярно границе раздела карбид/переходный слой. Следовательно, температура стали в данном объеме материала превышала температуру полиморфного $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Вдоль границ, отделяющих переходный слой от глобулы цементита и α -матрицы, наблюдаются наноразмерные (~15 нм) частицы еще одной фазы. Индексирование микроэлектроннограммы показывает, что с наибольшей вероятностью данные частицы относятся к карбиду железа состава Fe_3C , т.е. на данной стадии растворения глобулы углерод, покидающий частицу, выходит на границы раздела и вновь образует карбид того же состава – «вторичный» цементит.

На следующей стадии растворения глобулы цементита отчетливо видно, что вокруг частицы формируется двух- (много-) слойная структура. Можно предположить, что многослойное строение переходного слоя, формирующееся на данной стадии, связано с присутствием как жидкофазного, так и твердофазного механизмов растворения. Подслой, примыкающий к частице, формируется в результате жидкофазного механизма растворения, т.е. в результате контактного плавления стали вдоль границы раздела карбид/матрица. Высокоскоростная кристаллизация расплава привела к формированию наноразмерных кристаллитов α -Fe. По мере приближения к пятну расплава степень растворения частиц цементита усиливается. Это приводит к нарушению симметрии переходной зоны.

На предпоследней стадии отчетливо видно, что вокруг частицы цементита в результате полиморфного превращения формируются кристаллы псевдопакетного и пластинчатого мартенсита, разделенные островками остаточного аустенита. На данной стадии растворения глобулярная частица цементита еще обнаруживается.

На заключительной стадии растворения глобулярных частиц наблюдается формирование трехфазной структуры, состоящей из частицы цементита неправильной формы (неполностью растворившаяся глобула цементита), кристаллов пластинчатого мартенсита и островков аустенита. Преобладающей фазой является остаточный аустенит. Описанная структура не содержит глобул первичного цементита, которые полностью растворились. В результате последующей высокоскоростной кристаллизации в данном объеме формируется так называемая пластинчатая эвтектика, состоящая из чередующихся пластин феррита и аустенита.

МЕЛКОМАСШТАБНЫЕ УРОВНИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРУКТУРНО – ФАЗОВОГО ГРАДИЕНТА СТАЛИ 9ХФ ПРИ ВНЕШНИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Коваленко В. В., Громов В. Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет
Новокузнецк, Россия*

Новейшие методы электронной микроскопии и локального рентгеновского анализа, включая метод прямого разрешения кристаллической решетки, а также специально развитые ядерно-физические методы (электронная спектроскопия и вторичная ионная масс-спектроскопия) позволяют детально описывать градиентные структуры, как про-

тяженные, так и субмикронные. В зависимости от масштаба, на котором реализуются переменные параметры (макро-, мезо- или микрообъемы), градиентные структуры подразделяются на протяженные (от миллиметров и более), локализованные (около сотен нанометров) и субмикроскопические (несколько нанометров).

Субмикро-и наномасштабный (до 100 нм) уровень формирования градиента структуры и фазового состава наиболее ярко проявляется на атомарном уровне и связан с перемещением атомов легирующих элементов в процессе термомеханического воздействия на материал. Рассмотрим этот масштабный уровень градиента на примере преобразования структуры цементита при пластической деформации пластинчатого перлита. В литературе преимущественно обсуждаются два механизма разрушения пластин цементита перлитных колоний при деформации.

Первый из них заключается в перерезании пластин движущимися дислокациями и выносом ими атомов углерода в феррит в поле напряжений дислокаций. Вторым механизмом является вытягивание в процессе пластической деформации дислокациями атомов углерода из решетки карбидной фазы с образованием атмосфер Коттрелла вследствие заметной разницы средней энергии связи атомов углерода с дислокациями (0,6 эВ) и с атомами железа в решетке цементита (0,4 эВ). Диффузия углерода протекает в поле напряжений, создаваемом дислокационной субструктурой, которая формируется вокруг пластины цементита.

Итак, распад цементита сопровождается уходом части атомов углерода на дислокации и другие дефекты (вакансии, субграницы, границы зерен, микротрещины) ферритной матрицы. Следовательно, в стали формируется градиент элементного состава: в цементите концентрация углерода составляет ~6,67 вес.% и, по мере удаления от границы раздела карбид / матрица, концентрация углерода снижается, приближаясь к равновесной. В структуре пластинчатого перлита расстояния, на которых совершается данное перераспределение углерода, составляет единицы-десятки нанометров, что позволяет говорить о формировании в стали наномасштабного градиента.

Проиллюстрируем данные представления на примере преобразования структурно-фазового состояния стали 9ХФ после деформации холодным прокатом.

Как показали электронно-микроскопические исследования, процесс разрушения пластин цементита перлитной колонии состоит из нескольких этапов и завершается формированием фрагментированной структуры α -фазы. Скользящие дислокации измельчают остатки пластин цементита и выносят их в объем вторичных фрагментов. На границах фрагментов резко возрастает плотность дислокаций.

Таким образом, процесс разрушения пластин цементита в стали 9ХФ, деформированной холодной прокаткой, сопровождается переносом атомов углерода из пластин цементита в ядрах скользящих дислокаций с последующим формированием в объеме феррита наноразмерных частиц цементита, разрезанием пластин и перемещением отдельных частиц цементита по механизму Гегузина-Кривоглаза в полях внутренних напряжений. В первом случае в стали формируется градиент концентрации атомов углерода, во втором – градиент объемной доли частиц цементита. Оба градиента относятся к наноразмерному масштабу.