

# О РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ СТАЛИ ЭВТЕКТОИДНОГО СОСТАВА ПРИ СУБКРИТИЧЕСКИХ ОТЖИГАХ

*Олейникова О.В., Пономарева И.В.*

*Руководитель – проф., д.т.н. Алимов В.И.*

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Механизм рекристаллизации низкоуглеродистых сталей с малым содержанием второй фазы изучен достаточно подробно. Сложнее обстоит дело с двухфазными сталями со значительной долей эвтектоида.

Вопрос о том, каким образом происходит рекристаллизация феррита и цементита в предварительно холоднодеформированной стали наиболее подробно освещен в работе [1]. Было показано, что первичная рекристаллизация феррита, входящего в состав перлитных колоний, не происходит до тех пор, пока сохраняется пластинчатость цементита; она еще не начинается при нагреве до 550°C и развивается выше 600°C, хотя в низкоуглеродистых сталях при таких температурах проходит уже собирательная рекристаллизация феррита. Рекристаллизация феррита начинается во время сфероидизации и коагуляции пластин цементита.

Сфероидизация цементитных пластинок сопровождается уменьшением длины образцов [2]; с помощью дилатометрических измерений исследовали кинетику сфероидизации цементита, происходящую во время рекристаллизационного отжига при 650 и 700°C, на образцах стали 60, холодноволокенных с разными степенями деформации [3]. Наряду с дилатометрией проводили микроструктурный анализ образцов, отожженных при 650 и 700°C в течение 1, 3, 5, 10, 15...60 мин. Дилатограммы показали уменьшение длины на всех образцах. Разница в зависимости от температуры сказывалась на длительности инкубационного периода до начала сфероидизации. Полная сфероидизация карбидов происходит не более, чем за 30 мин.

Анализ микроструктур показал, что полная рекристаллизация ферритных зерен происходит в течение 1 мин при сохранении пластинчатости цементита, что указывает на связь последующего уменьшения длины образцов со сфероидизацией цементита, а не уменьшения дефектности матрицы. С увеличением времени выдержки процессы сфероидизации развиваются, а после их окончания происходит перераспределение углерода и равномерное распределение зернистых карбидов, которые не отображают дилатограммы [3].

Стабильность структуры феррита при рекристаллизации изучали на образцах сталей с содержанием углерода 0,06 – 0,8%, которые после закалки с высоким отпускком подвергали холодной пластической деформации со степенями 10 – 80 % и окончательному отжигу при 680 и

710°C в течение 1,5 и 10 ч [4]. В результате такой обработки образуется структура, состоящая из равноосных полиэдрических зерен феррита, в тройных стыках которых расположены глобулы цементита. За начало развития собирательной рекристаллизации принимали начало отрыва границ зерен от цементитных глобул, в результате чего большая доля карбидов оказывалась внутри зерен феррита. Принимали, что размер зерна феррита контролируется скоростью коалесценции карбидов. Последняя увеличивается с ростом степени предварительной холодной деформации, что может быть связано с повышением количества дефектов в матрице, но при выдержке 5 ч и выше значения скорости коалесценции для всех исследованных образцов практически одинаковы. В результате такой обработки получили зерно феррита размером не более 7 – 10 мкм, т.е. сталь является сверхмелкозернистой.

Результаты исследования рекристаллизации стали ШХ15 со структурой зернистого перлита в исходном состоянии с последующей осадкой при комнатной температуре на 20 – 80 % приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение температуры начала рекристаллизации (°C) стали ШХ15, определенное разными методами\*) [5]

Метод	Деформация, %			
	20	40	60	80
Р	550	550	550	625
Р(м)	-	-	-	550
Д – Т	-	500	500	450
Т	570	525	515	510

\*Примечание. Р – рентгенографический метод обычным пучком  $d = 1$  мм (съемка на излучении Cr – K); Р(м) – рентгенографическим микропучком  $d = 0,1$  мм (съемка «на просвет» в излучении Mo – K); Д – Т – дифференциально-твердостный; Т – твердостный, по половинному разупрочнению.

Приведенные данные подтверждают вуалирующее влияние большого числа карбидов на выявление температуры начала рекристаллизации, что объясняет повышение температуры начала рекристаллизации при повышении степени деформации, выявленное рентгенографическим методом. На самом деле с повышением степени предварительной деформации температура начала рекристаллизации понижается, что показано с помощью дифференциально-твердого метода [5]. Метод микропучка указывает на меньшую температуру для деформации 80 %, чем обычный, что связано с изменением при высокой степени деформации не только в матрице, но и в карбидной фазе (дробление карбидов подтверждено металлографически). Дробление приводит к увеличению числа частиц и уменьшению их размеров при постоянной объемной доле, что способствует замедлению роста зародышей при рекристаллизации и уменьшению размера рекристаллизованных зерен, а также способствует упрочнению при деформации в исходном состоянии.

Анализ данных по твердости показывает, что до окончания

первичной рекристаллизации твердость образцов стали ШХ15 растет с увеличением степени деформации, что объясняется измельчением ячеистой структуры и рекристаллизованных зерен феррита, рост которых затрудняется карбидами.

Таким образом, из данных по рекристаллизации двухфазных сталей следуют противоречивые выводы: одни данные свидетельствуют о том, что рекристаллизация матрицы не начинается до тех пор, пока не начинает идти процесс сфероидизации карбидов, другие о том, что в матрице происходит практически полная рекристаллизация до начала сфероидизации. Но информация о том, что карбиды оказывают тормозящее действие на рост рекристаллизованных зерен матрицы и тем самым способствуют более длительному сохранению мелкозернистой структуры, является однозначной.

В связи с вышеизложенным представляет интерес подробное изучение процессов рекристаллизации двухфазных сталей; в качестве модельной при этом целесообразно принять сталь эвтектоидного состава.

Нами было изучено [6] влияние предварительной холодной деформации на сфероидизацию стали 85 при нагреве ниже  $t_{Ac1}$ . Использовали деформированные (0 – 75%) образцы диам. 3мм, которые нагревали в камерной лабораторной печи до температуры  $670 \pm 10^\circ\text{C}$  и выдерживали в течение 5 мин – 6 ч.

При изучении микроструктуры и микротвердости установлено, что холодная деформация приводит к сфероидизации цементита при данной температуре, которая становится заметной уже после 5 мин выдержки, при этом с увеличением длительности отжига и степени предварительной деформации микротвердость образцов снижается, что объясняется разупрочнением ферритных прослоек в предварительно деформированной сорбитной структуре; средний диаметр карбидных частиц составляет порядка 1 мкм, а межкарбидное расстояние – порядка 5 мкм.

**Литература.** 1. Бабич В.К. Влияние полигонизации, начальных стадий рекристаллизации феррита и сфероидизации цементитных пластин на пластичность углеродистых сталей / В.К. Бабич, В.А. Пирогов // Взаимодействие между дислокациями и атомами примесей в металлах и сплавах: Тула ТПИ, 1969 г. – С. 251-256. 2. Гуляев А.П. Термическая обработка стали / Гуляев А.П. – М.: Машгиз, 1960. – 496 с. 3. Долженков И.И. Исследование кинетики сфероидизации цементита холодноволокоченной стали в процессе рекристаллизационного отжига / И.И. Долженков, М.Ф. Евсюков, В.В. Парусов // Известия АН СССР: Металлы. – 1981. – № 1. – С. 149-152. 4. Бабич В.К. Влияние частиц цементита на собирательную рекристаллизацию углеродистых сталей / В.К. Бабич, В.А. Пирогов, И.А. Вакуленко // Известия АН СССР: Металлы. – 1985. – № 6. – С. 96-99. 5. Горелик С.С. Рекристаллизация металлов и сплавов / Горелик С.С. – М.: Металлургия, 1978. – 568 с. 6. Алимов В.И. О влиянии холодной деформации на сфероидизацию цементита // В.И. Алимов, О.В. Олейникова // Оптимізація наукових досліджень – 2009. Зб.матеріалів наук.-практичної конференції. – Миколаїв: НУК, 2009. – С. 221-224.