

Влияние релаксационных процессов на формирование структуры в чистых металлах и сплавах при большой деформации под высоким давлением

Дегтярев М.В., Воронова Л.М., Чащухина Т.И.



Специфика стадийного развития структуры при большой деформации под давлением, формирование субмикроструктурной структуры и ее термическая стабильность определяются доминирующим структурообразующим процессом: наклепом в железе и конструкционных сталях, барическим фазовым превращением в аустенитной стали, динамической рекристаллизацией в меди.

Образование деформационной субмикронной и наноструктуры часто связывают непосредственно с деформацией, а тип структуры – с размером образующих ее элементов. Такой подход не позволяет объяснить причину наблюдаемой экспериментально различной термической стабильности наноструктурных состояний. В зависимости от температуры, давления, скорости и степени деформации доминирующее влияние могут приобретать различные структурообразующие процессы и конкретные механизмы их реализации, оказывающие большее влияние на поведение материала, чем размер образующих структуру элементов.

Анализ стадийного развития структуры металлов и сплавов при пластической деформации проведен с учетом действующих доминирующих структурообразующих процессов, таких как наклеп в железе и конструкционных сталях, барическое фазовое превращение в аустенитной стали, динамическая рекристаллизация в меди.

При наклепе переход от дислокационного механизма деформации к ротационному обуславливает последовательную смену стадий ячеистой структуры (1 стадия на рис.1) с малоугловыми границами, смешанной (2 стадия) из ячеек и микрокристаллитов и структуры, образованной только микрокристаллитами (3 стадия) с высокоугловыми границами^[1]. Структуры этих типов образованы элементами субмикронного размера. Смена стадий определяется по перегибам на зависимости

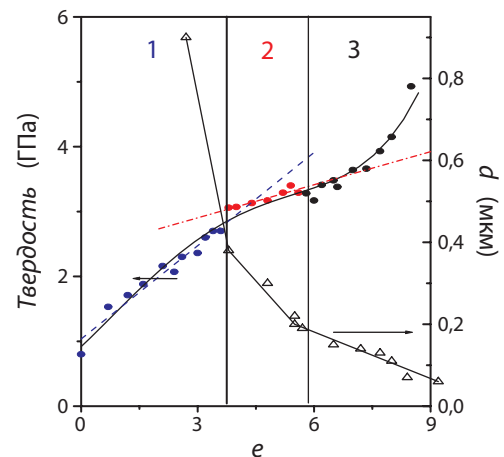


Рис.1

Стадийное развитие структуры при деформации в условиях наклепа

Тип структуры: 1 – ячеистая, 2- смешанная, 3-СМК

твердости от логарифмической деформации (e или $e^{0,5}$, рис.1). На всех стадиях происходит непрерывное упрочнение материала и измельчение элементов структуры. Легирование твердого раствора и наличие карбидной фазы уменьшает степени деформации, приводящие к началу образования микрокристаллитов (2 стадии) и формированию однородной субмикроструктурной (СМК) структуры (3 стадии). Устойчивость к деформации границ мартенситных реек задерживает переход к СМК-структуре в закаленной стали^[2].

Развитие динамической рекристаллизации (ДР) меняет подход к установлению стадийности. Структура закономерно меняется при изменении температурно-скомпенсированной скорости деформации ($\ln Z$, рис.2), а не степени

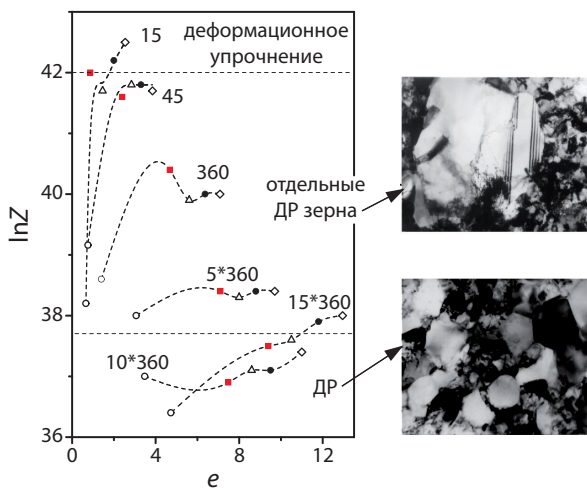


Рис.2

Стадийное развитие структуры при деформации, сопровождающейся динамической рекристаллизацией (ДР)

деформации, как в железе и сталях. Выявляются стадии наклепа, отдельных ДР зерен и развитой ДР.

Аустенитная сталь на стадии образования микроструктур упрочняется, а элементы ее структуры измельчаются при сохранении постоянного соотношения фаз. На стадии СМК-структуры релаксацию обеспечивает сдвиговое γ - ε превращение: при неизменных твердости материала и размере микроструктурных элементов изменяется фазовый состав стали.

Стадийность развития структуры при деформации определяет ее поведение при нагреве – кинетику рекристаллизации и склонность к росту зерна [3].

Высокая степень размерной однородности СМК-структуры и отсутствие текстуры в материале затрудняют рост отдельных микроструктурных элементов при нагреве. В этом случае первичная рекристаллизация протекает по кинетике нормального роста зерна. Повышение равновесности структуры происходит за счет совершенствования границ и формы микроструктурных элементов в условиях низкой скорости роста. Отжиг ячеистой и смешанной структуры приводит к росту отдельных центров и бимодальному распределению элементов структуры по размерам до завершения первичной рекристаллизации.

СМК - структура (рис.3, кривая 3) обладает

наибольшей термической стабильностью среди ультрадисперсных структур, образованных в условиях наклепа. Структура смешанного типа, в которой присутствуют как высоко- так и малоугловые границы, напротив, имеет наиболее низкую термическую стабильность даже в сравнении с ячеистой структурой (рис.3, кривые 2 и 1).

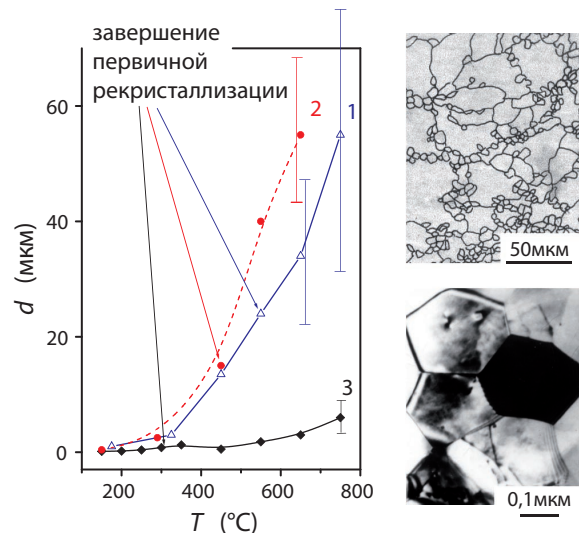


Рис.3

Стабильность структур разного типа при отжиге железа.

Типы структур:

1 – ячеистая, 2- смешанная, 3-СМК

В меди, деформируемой при комнатной температуре, невозможно избежать постдинамической рекристаллизации, она приводит к образованию в наклепанной матрице отдельных крупных зерен (рис.2). Такая структура уже при комнатной температуре термически нестабильна. В области развитой ДР структура становится размерно однородной, но сохраняет геометрическую и дислокационную неоднородность зерен, определяющую их различную склонность к росту при нагреве. Даже небольшой нагрев (при 100°C) приводит к катастрофическому росту отдельных зерен [4].

Установление связи стадийного развития структуры при деформации с сопутствующими механизмами релаксации позволяет прогнозировать термическую стабильность материалов в субмикроструктурном и наноструктурном состоянии.

¹ Дегтярев М.В., Физика металлов и металловедение 99, № 6 (2005) 47.

² Дегтярев М.В., Воронова Л.М., Чашухина Т.И., Металлы 5 (2005) 17.

³ Дегтярев М.В., Воронова Л.М., Чашухина Т.И., Физика металлов и металловедение 99, № 3 (2005) 58

⁴ Чашухина Т.И., Воронова Л.М., Дегтярев М.В., Известия РАН. Серия физическая 71 (2007) 281