

В. С. Кошовкина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск
koshovkina_vs@mail.ru

Г. Г. Майер, Е. В. Мельников

Институт физики прочности и материаловедения Сибирского
отделения Российской академии наук, г. Томск

Научный руководитель – доц., д-р физ.-мат. наук *Е. Г. Астафурова* (Институт физики
прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,
г. Томск)

ВЛИЯНИЕ КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ СТАЛИ 06МБФ

АННОТАЦИЯ

Исследовали структуру и термическую стабильность стали 06МБФ после кручения под давлением (КГД) и равноканального углового прессования (РКУП). Методами РКУП и КГД в стали сформирована ультрамелкозернистая структура со средним размером элементов: 313 нм (РКУП) и 102 нм (КГД). Показано, что сформированные после КГД и РКУП состояния обладают термической стабильностью до 500 °С.

Ключевые слова: сталь, кручение под давлением, равноканальное угловое прессование.

ABSTRACT

A microstructure and a thermal stability of a low-carbon steel Fe-0,1Mo-0,1V-0,06Nb-0,09C (wt.%) subjected to an equal channel angular pressing (ECAP) and a high pressure torsion (HPT) were investigated. The average (sub-) grain sizes of steel were 313 nm after ECAP and 102 nm after HPT. It was shown that ultrafine-grained structures formed by HPT and ECAP possess thermal stability up to the temperature of 500 °C.

Key words: steel, high pressure torsion, equal channel angular pressing.

Исследовали влияние интенсивной пластической деформации кручением под квазигидростатическим давлением (КГД) и равноканальным угловым прессованием (РКУП) на структуру и термическую стабильность стали 06МБФ (Fe-0,1Mo-0,6Mn-0,8Cr-0,2Ni-0,3Si-0,2Cu-0,1V-0,06Nb-0,09C, мас. %) в ферритном состоянии. Исходные заготовки стали 06МБФ закаливали от 920 °С (0,5 ч), затем проводили высокий отпуск (улучшение) при температуре 670 °С (1 ч). КГД проводили под давлением 4 ГПа на наковальнях Бриджмена при температуре $T = 20$ °С на пять полных оборотов. РКУП

проводили по режиму V_c ($\Phi = 120$ °С, 6 проходов) при температуре 300 °С. Термическую стабильность сформированного состояния исследовали после часовых отжигов в интервале температур 500÷700 °С. Исследование структуры проводили с помощью электронных просвечивающих микроскопов Philips CM200 и Technai G2 FEI при ускоряющем напряжении 200 кВ. Средний размер (суб)зерна считали методом секущих по темнопольным электронно-микроскопическим снимкам.

Исходная структура стали состояла из полиэдрического феррита с размером зерна 2,4 мкм и пластинчатого феррита с толщиной пластин 0,4 мкм [1].

В результате кручения под давлением в наковальнях Бриджмена происходит интенсивное диспергирование структурных составляющих и формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в исследуемой стали (рис. 1, а, б). Электронограммы после КГД носят кольцевой характер: на кольцах различимы отдельные рефлекссы, их равномерное распределение по кольцу и наличие азимутальных размывов свидетельствуют о наличии высоко- и малоугловых разориентировок между структурными элементами, с которых получены электронограммы. Средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры, рассчитанный на основе анализа темнопольных электронно-микроскопических изображений, составляет 102 ± 55 нм.

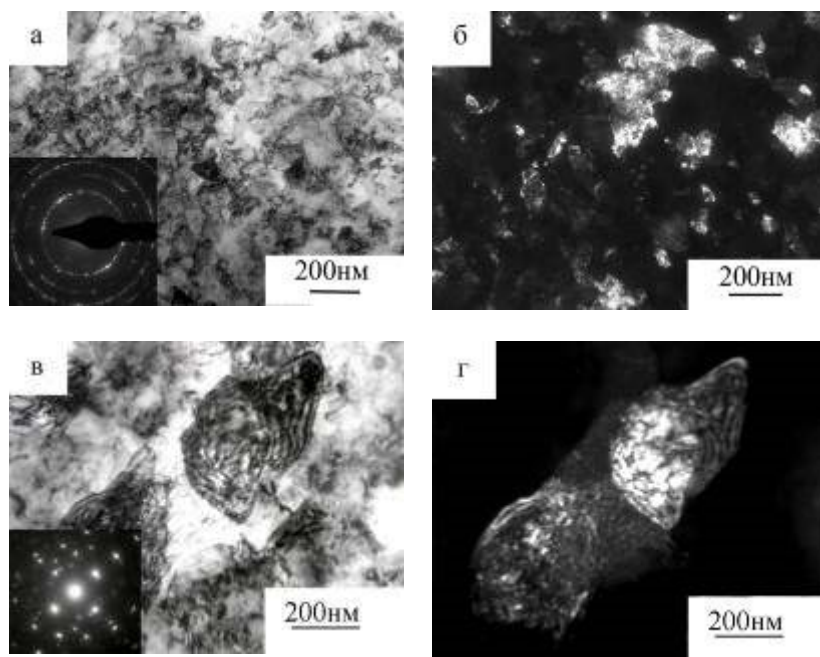


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения структуры стали 06МБФ после КГД (а, б) и РКУП (в, г): а, в) светлопольные изображения и микродифракционные картины; б, г) темнопольные изображения к (а, в) полученные в рефлекссе α -Fe (микродифракционные картины сняты с участков площадью $S = 0,95$ мкм² (вклейка а) и $S = 0,5$ мкм² (вклейка в))

После РКУП в стали 06 МБФ наблюдается измельчение феррита и формирование УМЗ структуры со средним размером структурных элементов 313 ± 241 нм (рис. 1, в, г). Структура стали после РКУП неравновесная, границы элементов структуры размывы. Наблюдается

большое количество контуров экстинкции, значительные азимутальные размытия рефлексов на электронограмме. Все это свидетельствует о высоком уровне внутренних напряжений в стали.

Таким образом, сформированные в стали методами РКУП и КГД структуры имеют существенные различия в среднем размере структурных элементов. Коэффициенты вариации линейных размеров (отношение средоквадратичного отклонения к среднему размеру \bar{d} [2]) для УМЗ состояний в исследуемой стали составляют 0,54 после КГД и 0,77 после РКУП, что указывает на более высокую степень однородности распределения элементов структуры по размерам в стали, подвергнутой КГД. Микродифракционная картина после РКУП имеет точечный характер с типичными азимутальными размытиями. После КГД на электронограмме наблюдали яркие рефлексы, выстроенные в кольцо, что свидетельствует о большеугловых и малоугловых разориентировках в структуре и указывает на большее ее измельчение по сравнению с состоянием после РКУП. Такие особенности сформированных состояний обусловлены различиями в степени деформации ($\epsilon = 4$ для РКУП и $\epsilon = 7$ для КГД) и температуре деформации после деформации используемыми методами.

Изучение влияния отжигов на сформированную УМЗ структуру при интенсивной пластической деформации (ИПД) показало, что отжиг при 500 °С не приводит к увеличению размеров зеренно-субзеренной структуры (112 ± 64 нм – для КГД и 286 ± 213 нм для РКУП). При ИПД и отжиге 600 °С значения размера зерна увеличиваются до 392 ± 273 нм для КГД и 480 ± 450 нм для РКУП. А после отжига при 700 °С структура становится рекристаллизованной с размером зерна для КГД – 1667 ± 656 нм и для РКУП – 2880 ± 1560 нм.

Таким образом, после интенсивной пластической деформации методами равноканального углового прессования и кручения под давлением в стали 06МБФ происходит формирования УМЗ структур со средним размером структурных элементов 313 нм и 102 нм. Полученные КГД и РКУП структуры стали 06 МБФ обладают высокой термостабильностью до 500 °С независимо от метода ИПД.

Авторы выражают благодарность проф. Добаткину С. В., д-ру техн. наук Одесскому П. Д., д-ру физ.-мат. наук Найденкину Е. В. за помощь в организации исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Формирование ультрамелкозернистой структуры в низкоуглеродистой стали 06МБФ методом холодного кручения под давлением / Г. Г. Майер, Е. Г. Астафурова, В. С. Кошовкина [и др.] // Деформация и разрушение материалов. – 2014. – № 6. – С. 19–24.
2. Новиков В. Ю. Вторичная рекристаллизация / В. Ю. Новиков. – М. : Металлургия, 1986. – 128 с.