

УДК 669.017

**А.Е. БАРМИН**

## **ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ В МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ.**

Розроблено методику одержання субмікроструктурної структури в маловуглецевій сталі з використанням пластичної деформації та термічної обробки. Наведено результати дослідження структури та властивостей субмікроструктурної сталі.

### **Введение.**

В последние десятилетия энергично разрабатываются методы получения материалов с нанокристаллической (НК) и субмикроструктурной (СМК) структурой. Большой интерес к материалам с НК и СМК структурой объясняется тем, что эти материалы показывают высокую прочность – в 2-2,5 раза выше по сравнению с обычными материалами, а также превосходную сверхпластичность при повышенных температурах [1,2]. Ранние разработки по получению НК и СМК структуры в основном были сфокусированы на чистых алюминии и меди или на их сплавах, и довольно редко интерес касался сталей. Наш же интерес к малоуглеродистой стали мотивируется следующим: во-первых, малоуглеродистая сталь является основным конструкционным материалом, а во-вторых, получив НК или СМК структуру в этих сталях можно повысить их прочностные характеристики без изменения химического состава.

Известно [1-4], что процессами интенсивной пластической деформации (ИПД) можно получить СМК и НК материалы, средний размер зерен которых менее 1 мкм. Хорошо известно, что механический размол металлических порошков позволяет получить НК структуру. Однако для получения массивных материалов эти порошки необходимо спекать при довольно высоких температурах, что приводит к росту зерна и средний размер зерна увеличивается в 10-100 раз.

Разработаны также методы получения СМК и НК структуры в массивных материалах основные на ИПД, такие, как равноканальноугловое прессование (РКУП), деформация кручением тонких дисков [3], накопительное прессование прокаткой. Однако процессы используемые в этих методах нуждаются в огромном количестве энергии и специальном оборудовании. В настоящей работе предложена методика более технологичного получения СМК структуры в массивных образцах из малоуглеродистой стали.

### **Методика и материал исследования.**

В работе были использованы образцы из малоуглеродистой стали (Сталь 20 с химическим составом: С – 0,19 %, Si – 0,21%, Mn – 0,53%, P – 0,018%, S – 0,021%, Cr – 0,05%, Ni – 0,03%, Cu – 0,02%) с размерами 100x20x4 мм, средний размер зерна в исходном состоянии составлял 25мкм.

Данная конструкционная сталь используется для изготовления деталей, работающих на износ без высоких нагрузок после предварительной цементации, а также в сварных конструкциях.

Для получения СМК структуры в малоуглеродистой стали была разработана и опробована следующая методика:

1) Образцы, прежде всего, были подвергнуты аустенизации при  $t = 950^{\circ}\text{C}$  в течение 1 часа с последующей закалкой от температуры аустенизации с охлаждением в 10% растворе NaCl в воде. Во избежание обезуглероживания поверхностных слоев а также предотвращения окисления образцы пересыпались графитом.

2) После закалки образцы были пластически деформированы путем прокатки на суммарное обжатие 75% (за 10 проходов) при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ .

3) После прокатки образцы были подвергнуты отжигу при различных температурах ( $350^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$ ,  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $550^{\circ}\text{C}$ ,  $650^{\circ}\text{C}$ ) в течение 30 минут.

Ключевой особенностью данного метода получения СМК структуры является прокатка образцов в закаленном состоянии.

Основная идея данной методики заключается в следующем: путем закалки и последующей прокатки, стальных образцов, добиться как можно более сильного измельчения структуры с образованием высокоугловых границ. Затем, выбором оптимальной температуры отжига получить более стабильную СМК структуру с высокими механическими свойствами.

Для исследования микроструктуры образцов в различных состояниях, определения среднего размера зерен методом секущих и для фотографирования структуры использовался микроскоп МИМ-7 при различных увеличениях.

Структурные исследования проводились также методом электронной микроскопии с помощью электронного микроскопа ПЭМ – 100 при ускоряющем напряжении 100кВ. Объекты для электронно-микроскопических исследований готовились методом угольных реплик.

Для экспрессной оценки механических свойств образцов производилось измерение микротвердости на ПМТ-3 при нагрузке 100г.

## **Результаты.**

Для достижения СМК структуры по разработанной методике очень важным этапом является закалка. С целью увеличения прокаливаемости и закаливаемости образцы были подвергнуты аустенизации при температуре  $950^{\circ}\text{C}$  в течении 1 часа, последующая закалка производилась в раствор состава:  $\text{H}_2\text{O} + 10\%\text{NaCl}$ . Это позволило получить более однородную структуру закалки.

В результате закалки, наряду с мартенситом, обнаружены выделения избыточного феррита (рис.1).

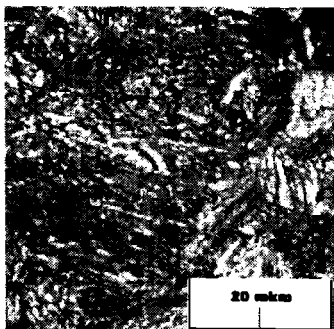


Рис. 1 Структура стали 20 после закалки

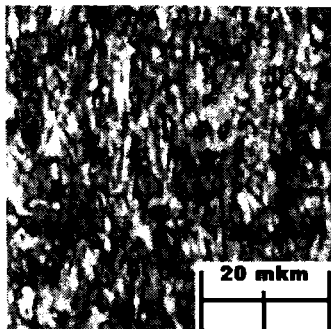
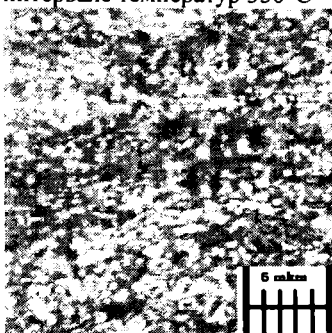


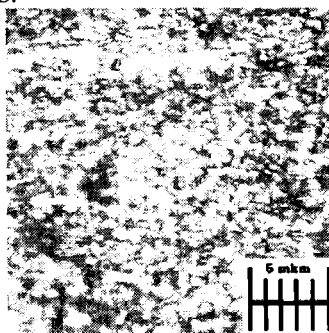
Рис. 2 Структура стали 20 после закалки и прокатки на 75%

На рисунке 2 представлена микроструктура образца, прокатанного на суммарное обжатие 75%. Необходимо отметить, что образцы после прокатки не имели макродефектов. Из рисунков 1 и 2 видно, что прокатка привела к небольшому измельчению и образованию ячеистой микроструктуры, а также к появлению текстуры прокатки.

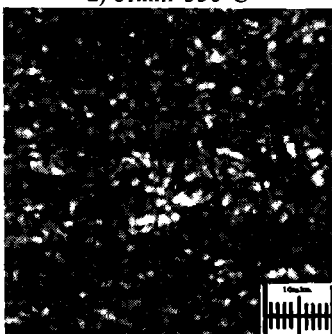
На рисунке 3 представлены структуры образцов полученные в результате отжига в интервале температур 350°C - 650°C.



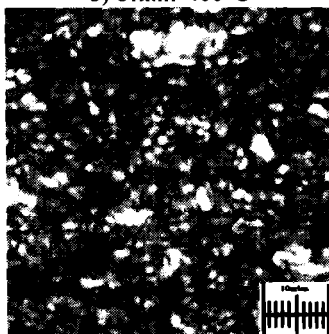
а) отжиг 350°C



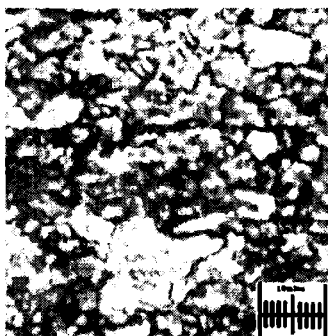
б) отжиг 400°C



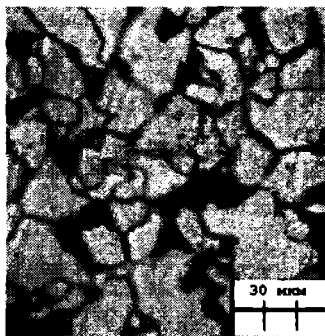
в) отжиг 450°C



г) отжиг 550°C



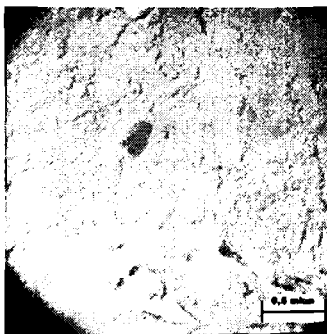
д) отжиг 650°C



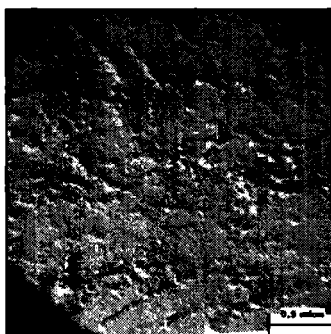
е) исходное состояние

Рис. 3 Структура стали 20 после отжигов 350°C - 650°C и в исходном состоянии

Из рисунка видно что с увеличением температуры отжига происходит увеличение среднего размера зерна. Особенно интенсивный рост зерна происходит при более высоких температурах 550°C – 650°C. Наименьший средний размер зерна был получен при температурах 350°C и 400°C и составил соответственно 0,5 и 1 мкм. Для подтверждения полученных результатов производились электронно-микроскопические исследования на ПЭМ – 100. Образцы для этих исследований были подготовлены методом угольных реплик, результаты представлены на рисунке 4.



а) отжиг 350°C



б) отжиг 400°C

Рис. 4 Структура стали 20 после отжигов 350°C и 400°C (угольные реплики)

Как известно [5,6] с ростом степени деформации снижается температура начала первичной рекристаллизации. Вследствие этого, в результате отжига при 350°C получается рекристаллизованная структура, однако при снижении температуры отжига до 300°C образцы не будут претерпевать рекристаллизации и структура этих образцов будет представлять собой мартенсит отпуска. Также известно [5,6], что на скорость рекристаллизации очень сильное влияние оказывает температура отжига, чем выше тем быстрее протекает рекристаллизация. Поэтому, уже при температурах отжига 550°C и 650°C в образцах наблюдается процесс

собирающей рекристаллизации, который и приводит к росту среднего размера зерна.

Для оценки механических свойств производилось измерение микротвердости при одинаковой нагрузке. Все результаты сведены в таблицу.

Таблица

Результаты механических испытаний

Состояние образца	d, мкм	H <sub>100,2</sub> , кг/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , кг/мм <sup>2</sup>
Исходное (поставка)	25	170	60
Закалка 950°C	–	280	98
Закалка 950°C + прокатка 75%	–	460	161
Закалка 950°C + прокатка 75% +отжиг650°C	12	175	61
Закалка 950°C + прокатка 75% +отжиг550°C	4	305	107
Закалка 950°C + прокатка 75% +отжиг450°C	2	370	130
Закалка 950°C + прокатка 75% +отжиг400°C	1	410	144
Закалка 950°C + прокатка 75% +отжиг350°C	0,5	450	158

Для примерной оценки σ<sub>в</sub> воспользовались формулой пересчета твердости в предел прочности σ<sub>в</sub> = 0,35·Н [7].

Как видно из таблицы, твердость образцов, оттоженных при температурах 350°C и 400°C, выросла примерно в 2,5 раза по сравнению с образцами в исходном состоянии и в ~ 1,5 раза по сравнению с образцами в закаленном состоянии.

#### Выводы.

Разработана и опробована методика, получения СМК структуры в малоуглеродистой стали, ключевым моментом которой, является, деформация стали в закаленном состоянии.

Показана возможность, значительного повышения прочностных характеристик малоуглеродистой стали без изменения химического состава.

Автор выражает благодарность за оказанное содействие и ценные советы д. ф.-м. н., проф. Ильинскому А.И. и к. т. н. Павлюченко А.А.

**Список литературы:** 1. Носкова Н. И., Мулюков Р. Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. Екатеринбург: Уро РАН, 2003. 279 с. 2. Лякишев Н.П., Алымов М.И. // Наноматериалы конструкционного назначения. Российские нанотехнологии 2006. т.1. № 1-2. с. 71. 3. Валиев Р.З. // Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, используя интенсивные пластические деформации. Российские нанотехнологии 2006. т.1. № 1-2. с. 208. 4. С. С. Koch //Top-down synthesis of nanostructured materials: Mechanical and thermal processing methods. Mater. Sci. 5 (2003), p. 91-99. 5. Лившиц Б.Г. Металлография. – М.: Металлургияиздат, 1963. 422с. 6. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Основы металлографии и пластической деформации стали. – К., Вища шк. Головное изд-во, 1987. 240с. 7. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. –М.: Металлургия, 1989. 456с.

*Поступила в редколлегию 24.09.07*