

УДК 669.153.6:629.364.1

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОТЖИГА
НА УДЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО СПЕЦИАЛЬНЫХ ГРАНИЦ В
ДОЭВТЕКТОИДНОМ ФЕРРИТЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

**В. И. Большаков, д. т. н., Г. Д. Сухомлин, д. т. н., Д. В. Лаухин, д. т. н.,
А. В. Бекетов, к. т. н., Т. В. Семенов, асп., А. Е. Щудро, студ.,
М. О. Силантьева, студ.**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

Поскольку в последние десятилетия низкоуглеродистые низколегированные стали получают все большее распространение в строительстве, и других областях промышленности, встает вопрос о более детальном изучении границ зерен с целью управления процессом структурообразования в металле для создания готовых изделий с оптимальным сочетанием механических, пластических и коррозионных свойств.

Зернограничное конструирование может служить решением такой задачи, потому что эта процедура является относительно недорогой и может помочь улучшить свойства сталей, но до настоящего времени такие методы модифицирования сталей не были детально изучены. Одной из задач является определение характера влияния межкристаллитных границ на свойства поликристаллов и изделий из них. В работах [1-5] рассмотрены структура и свойства специальных границ с позиций теории РСУ и их распространённость в различных материалах. Показано также существование специальных границ, например, в золоте [6], меди [7], сплавах на никелевой основе [8], алюминии и его сплавах [9] и других материалах, но данных об исследовании таких материалов с ОЦК решеткой как железо (феррит) и особенно материалов промышленного производства практически отсутствуют.

Описанные в литературе исследования, в которых изучали структуру и свойства специальных низкоэнергетических границ были получены в основном на сверхчистых, редких и малораспространенных металлах. В то же время, данные, которые описывали бы поведение специальных границ в промышленных сталях, практически отсутствуют. Это затрудняет, сдерживает использование теоретических и экспериментальных сведений для создания новых и усовершенствования уже существующих технологий металлопроката с целью управления зернограничной структурой для получения оптимальных эксплуатационных свойств готовых изделий.

По результатам анализа литературных источников можно сделать вывод что на сегодняшний день активно развивается теории решеток совпадающих узлов и результаты такой концепции широко применяются при зернограничном конструировании различных поликристаллических материалов. Это также свидетельствует о необходимости исследования и оценки относительного содержания специальных низкоэнергетических границ в ферритной составляющей малоуглеродистых низколегированных сталей промышленного производства. Такая оценка зависимости специальных низкоэнергетических границ в

ферритной составляющей сталей от вида термической обработки, оказывает существенное влияние на процесс модификации и улучшение свойств сталей.

С повышением темпов развития науки возникает необходимость в повышении качества материалов для разных видов деятельности. С другой стороны это повышение ограничено материальными условиями развития национальной экономики. Поэтому перед материаловедами стоит задача, решением которой должен быть высококачественный материал с оптимальными свойствами и минимальными затратами на получение таких свойств.

Целью настоящей работы было обнаружение, подсчёт и оценка ансамблей специальных низкоэнергетических границ в малоуглеродистых низколегированных сталях промышленного производства методом световой микроскопии.

Исследования были проведены на промышленных низкоуглеродистых низколегированных сталях 10Г2ФБ, 09Г2С и 06Х1.

Выбранные стали были подвержены отжигу при различных температурах и времени выдержки с целью установления влияния температуры и времени выдержки на относительное количество специальных низкоэнергетических границ (рис. 1).

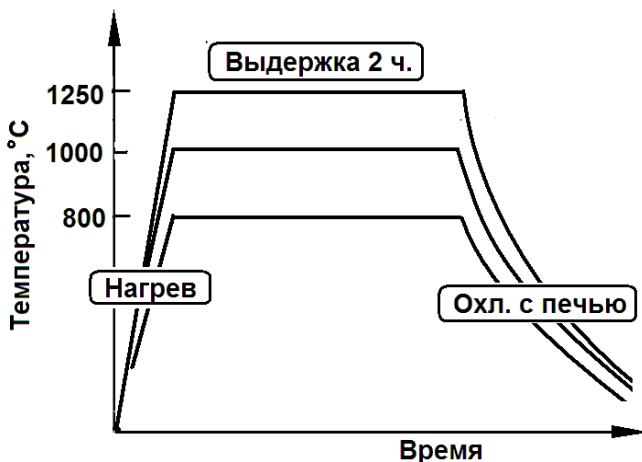


Рис. 1. График термической обработки образцов из стали 10Г2ФБ, 09Г2С и 06Х1: а – 1250°C выдержка 180мин, б – 1000°C выдержка 120мин, в – 800°C выдержка – 120мин.

Анализ количественных соотношений между специальными и обычными большеугловыми границами зерен проводили по специальной методике. Ее преимущество состоит в простоте и результативности, поскольку она использует традиционный метод секущих. При пересечении секущей границы зерна, анализировали ее морфологические особенности и крайние точки (тройные стыки). Если в одном из стыков противолежащий угол близок к 180°, или гра-

ница содержит резкие изломы (фасетки), такая граница относилась к числу специальных (рис. 2).

Суммарные числа пересечений секущих с обычными $N_{об}$ и со специальными $N_{спец}$ границами использовались для определения относительного количества η специальных границ из соотношения:

$$\eta = \frac{N_{спец}}{N_{спец} + N_{общ}}$$

Учитывали относительное количество специальных стыков в структуре поликристалла, которые в определенной степени также отражает относительное количество специальных границ. Для этого выделяли двумерную плоскую сеть границ стыков и определяли углы между границами в тройных стыках. Стыки, содержащие один из углов равный 180 ± 5 относили к специальным.

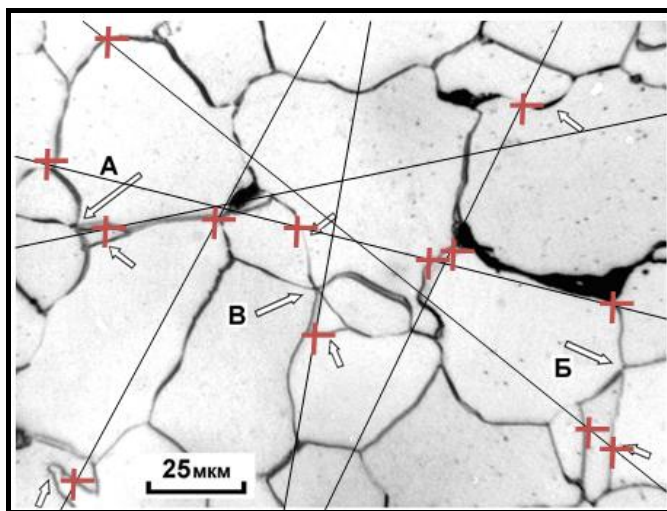
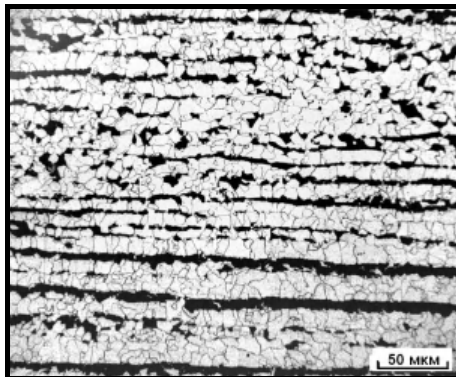


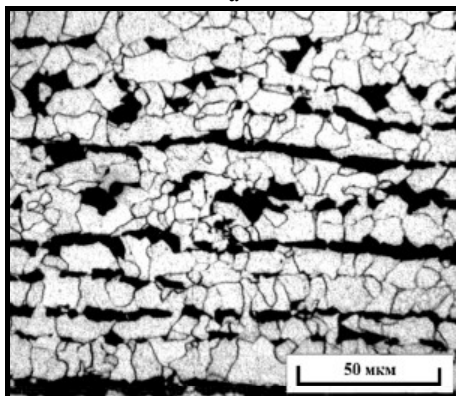
Рис. 2. Схема определения количества специальных границ методом секущих.

Из выбранных сталей были сделаны шлифы с целью получения снимков микроструктуры в исходном состоянии и целью определения и подсчета удельного количества специальных границ в ферритной составляющей сталей (рис. 3).

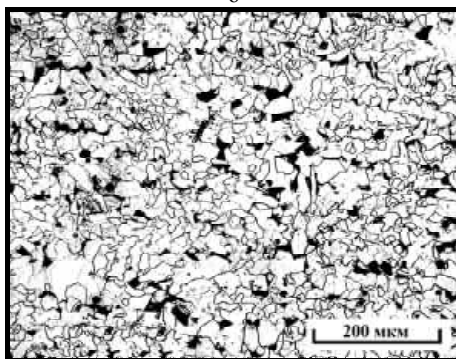
Проанализировав все вышеизложенное можно сделать вывод, что с повышением температуры отжига существует склонность сталей к увеличению размера зерна. Стоит отметить также обратить внимание на то что при температурах 800°C и 1000°C размер зерна в стали 10Г2ФБ существенно не отличается, это можно объяснить тем что в химическом составе стали 10Г2ФБ присутствуют такие сильные карбидообразующие элементы как ванадий и ниобий, которые в свою очередь сдерживают рост зерна.



а



б



в

Рис. 3. а – сталь 10Г2ФБ после контролируемой прокатки, б – сталь 09Г2С после горячей прокатки, в – сталь 06Х1 после горячего прессования.

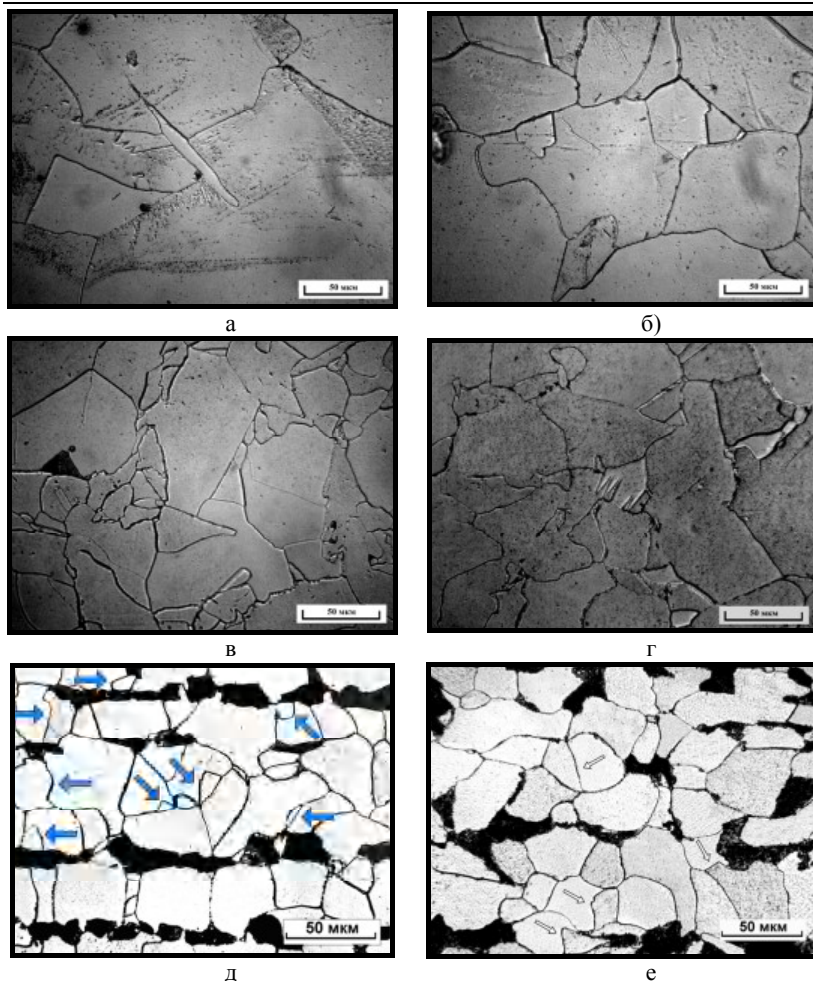


Рис 4. а – сталь 06Х1 после ТО – $T_{нагр}=1250^{\circ}\text{C}$ выдержка 180мин, охлаждение с печи; б – сталь 10Г2ФБ после ТО – $T_{нагр}=1250^{\circ}\text{C}$ выдержка 180мин, охлаждение с печи; в – сталь 09Г2С после ТО – $T_{нагр}=1000^{\circ}\text{C}$ выдержка 120мин, охлаждение с печи; г – сталь 10Г2ФБ после ТО – $T_{нагр}=1000^{\circ}\text{C}$ выдержка 120мин, охлаждение с печи; д – сталь 09Г2С после ТО – $T_{нагр}=800^{\circ}\text{C}$ выдержка 120мин, охлаждение с печи; е – сталь 10Г2ФБ после ТО – $T_{нагр}=800^{\circ}\text{C}$ выдержка 120мин, охлаждение с печи.

При температуре до 1000°C и выдержке 120 мин. карбиды ванадия и ниобия оказывают сильное сдерживающее действие, но при повышении температуры отжига до 1250°C и длительности выдержки карбиды начинают рас-

творяться и не оказывать существенного сдерживающего влияния на рост зерна.

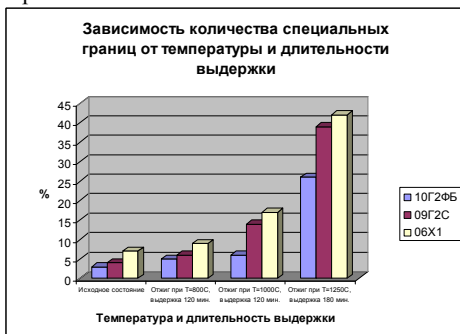


Рис 5. Диаграмма зависимости количества специальных границ от температуры и длительности выдержки.

Количество специальных низкоэнергетических границ напрямую зависит от величины зерна в стали – с увеличением температуры отжига и длительности выдержки и как следствие размера зерна, количество специальных низкоэнергетических границ в ферритной составляющей увеличивается.

Количество специальных низкоэнергетических границ напрямую зависит от процентного содержания в стали углерода, это можно объяснить тем, что чем больше процент углерода тем меньше ферритная составляющая в стали и как следствие меньшее количество границ как общего типа так и специальных низкоэнергетических.

Список использованных источников

1. Косевич В.М., Иевлев В.М., Палатник Л.С., Федоренко А.И. Структура межкристаллитных и межфазных границ. М.: Металлургия. – 1980, – 256 с.
2. Мак Лин Д. Границы зерен в металлах. Пер. с англ. под ред. М.Л. Бернштейна и А.Г. Рахштадта. М.: Металлургиздат, –1960.– 322 с.
3. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М.: Металлургия, 1987. –214 с.
4. Копецкий Ч.В., Орлов А.Н., Фионова Л.К. Границы зерен в чистых материалах. М.: Наука, –1987. –160 с.
5. Орлов А.Н., Перевезенцев В.Н., Рыбин В.В. Границы зерен в металлах. –М.: Металлургия, –1980, –224 с.]
6. McGinn J. T., Greenhut V. A., Tsakalakos T., Blanc J. A mechanism for fault formation in fine particles and implications for theories of annealing twins in F.C.C. metals. Part 2. /Acta metall., 1982. Vol. 30. P. 2103-2110.
7. Herman G., Gleiter H, Bäro G. Investigation of low energy grain boundaries in metals by sintering. // Acta Met., 1976, v. 24, - P. 353-366.
8. Alexandreanu B., Capella B. Was G. S.. Combined effect of special grain boundaries and grain boundary carbides on IGSCC of Ni-16Cr-9Fe-xC alloys. // Materials Science and Engineering A, v. 300, №1-2, –2001, –P. 94-104.
9. Eddahbi, C. B. Thomson, F. Carreño and O. A. Ruano. Grain structure and microtexture after high temperature deformation of an Al-Li (8090) alloy. // Materials Science and Engineering A –v. 284, №1-2, 2000, –P. 292-300.