

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ГРАНИЦЫ В ОБЕЗУГЛЕРОЖЕННОМ
СЛОЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ.**

В. И. Большаков*, д. т. н., проф., **В. И. Сухомлин***, к. т. н., **В. И. Волох****.

**ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

***ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского»*

Введение.

Современные исследования в области материаловедения во всем мире признали важную роль внутрифазных и межфазных границ в формировании свойств поликристаллических материалов.

Границы зерен оказывают значительное влияние практически на все свойства кристаллических материалов и в частности, на металлы и сплавы. К примеру, зернограницный коэффициент диффузии на несколько порядков выше коэффициента объемной диффузии. Холодная и горячая деформация, процессы отжига и рекристаллизации, пластичность и сверхпластичность, зернограницное проскальзывание и ползучесть – все эти явления в той или иной мере зависят от границ зерен и их атомно-кристаллического строения.

Познание тонкой структуры зернограницного ансамбля в металлах шло трудным и, зачастую, противоречивым путем. Только ко второй половине XX века начала вырисовываться общая картина границ зерен на базе строгих законов кристаллогеометрии, дефектности кристаллической решетки и энергии атомного взаимодействия.

Большим прорывом в области знаний о границах зерен стала так называемая “концепция мест совпадения” предложенная в 1949 году Кронбергом и Вильсоном [1]. Эта концепция предполагает существование “особых” границ, которые отличаются от обычных тем, что для двух решеток развернутых на некоторый угол, возникает третья подрешетка, общая для первых двух, а атомы на границе раздела находятся в узлах этой подрешетки.

Дальнейшее развитие этой теории получило в работе Ранджанатана [2], в которой была использована концепция решеток совпадающих узлов (PCU), что позволило автору предложить теоретические основы образования пространственной решетки и ее кристаллографические свойства.

Привлечение передовых методов исследований: автономной полевой микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции позволило разделить большеугловые границы зерен на две группы – специальные границы и границы общего типа.

Одним из основных признаков специальной границы являются фасетки на ней. Такие фасетированные границы наблюдались в различных металлах: алюминий [3], цинк [4], золото [5], серебро [6], медь [7], нержавеющая сталь [8,9]. Обращает на себя внимание тот факт, что вышеперечисленные металлы обладают ГЦК решеткой с низкой энергией упаковки и многие из них не претерпевают полиморфных превращений в широком диапазоне температур, а содержание специальных границ в структуре может достигать 75%. Исходя из

этого показателя, Ватанабе [10], предложил совокупность технологий, позволяющих управлять количеством специальных границ, с целью достижения необходимых свойств материала, называть – зернограницное конструирование.

Анализ литературных источников показал практически полное отсутствие исследований специальных границ в сплавах, двухфазных материалах и сталях широкого применения. Отдельные работы [11-13] только подтверждают этот факт.

Поэтому исследования, направленные на изучение специальных границ и их свойств в строительных сталях являются актуальными.

Материал и методика исследований.

Исследовали стали производства ДМК им. Ф.Э. Дзержинского 09Г2С и 3пс следующего химического состава (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

стали	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
09Г2С	0,09	1,58	0,63	0,018	0,028	0,04	0,03	0,04	0,018
3пс	0,15	0,47	0,21	0,018	0,010	0,04	0,02	0,01	0,034

Образцы вырезали из горячекатаного уголка и подвергали температурному воздействию в незащищенной атмосфере. Температура нагрева составляла 750°C, а время выдержки – 1 и 3 часа. После окончания выдержки образцы охлаждали в воде для фиксации полученной структуры. Микроструктуру изучали на растровом микроскопе РЭМ-106И. Металлографические шлифы готовили по стандартной методике [14] с дополнительной операцией электрополировки в электролите Мориса: уксусная кислота – 133 мл, хромовый ангидрид – 50 г, вода – 10мл; напряжена на полировальной ячейке 16...22В. Структуру выявляли травлением в 1% растворе азотной кислоты в спирте. Продолжительность травления составляла 35...50 секунд, что превышает временной режим травления для традиционных металлографических исследований. Более глубокое травление стальных шлифов продиктовано необходимостью получения более четкого топографического контраста при исследовании микроструктуры на растровом электронном микроскопе.

Относительное количество специальных границ определяли методом секущих [15]. Замеры проводили на пяти полях и результаты усредняли для каждой стали.

Результаты и их обсуждение.

После термической обработки внутренние объёмы образцов оставались феррито-перлитными, размер ферритного зерна в стали 3пс составлял ~11 мкм., а в стали 09Г2С – 18 мкм.

Глубина обезуглероженного слоя для стали 3пс составляла 200 мкм, а для стали 09Г2С – 350 мкм.

В настоящее время известны основные признаки, наличие которых прямо указывает на принадлежность границ зерен к специальным (низкоэнергетическим) [9,12].

1. Если на границе наблюдаются фасетки (изменение направления границы разделяется на 2-3 однонаправленные группы), то такая граница является специальной.

2. Если граница обеими концами входит в тройные стыки с противоположными углами превышающие 170° , то эта граница принадлежит к специальным.

3. Граница является специальной, если она одним концом входит в четверной или пятерной стык, а другим концом в тройной с образованием противоположащего угла превышающего 170° .

На основании этих признаков были проанализированы снимки микроструктуры стали 3пс после трехчасовой выдержки при температуре 750°C . и идентифицированы границы зерен. На рисунке 1 черными стрелками обозначены специальные границы, а четверные стыки – светлыми объемными стрелками. Среднее относительное значение количества специальных границ для этого режима обработки равно 32%.

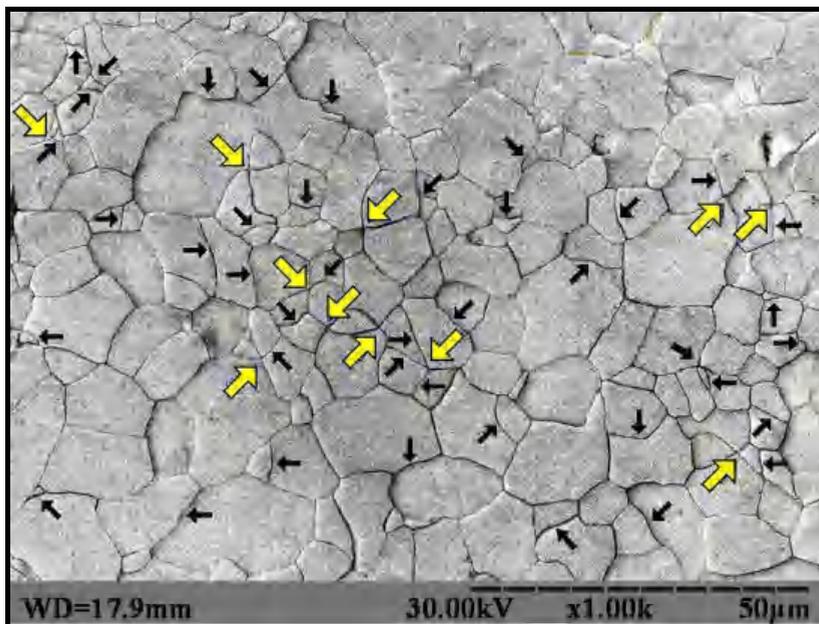


Рис. 1. Сталь 3пс после выдержки 3 ч при температуре 750°C .

Микроструктура стали 09Г2С после трехчасовой выдержки при температуре 750°C в незащищенной атмосфере приведена на рисунке 2. Обозначения специальных границ и множественных стыков аналогичное приведенному на рисунке 1. Среднее относительное значение количества специальных границ для этой стали равно 36%.

Удельное содержание специальных четверных стыков в структурах не подсчитывали, так как они встречаются сравнительно редко, что сдерживает набор достаточного количества статистических данных, однако, даже небольшие количества указывают на сравнительно большую вероятность присутствия специальных границ в исследуемом материале

Повышенное содержание специальных границ в обезуглероженных слоях по сравнению с основным металлом можно объяснить отсутствием перлитных или других малоподвижных элементов структуры.

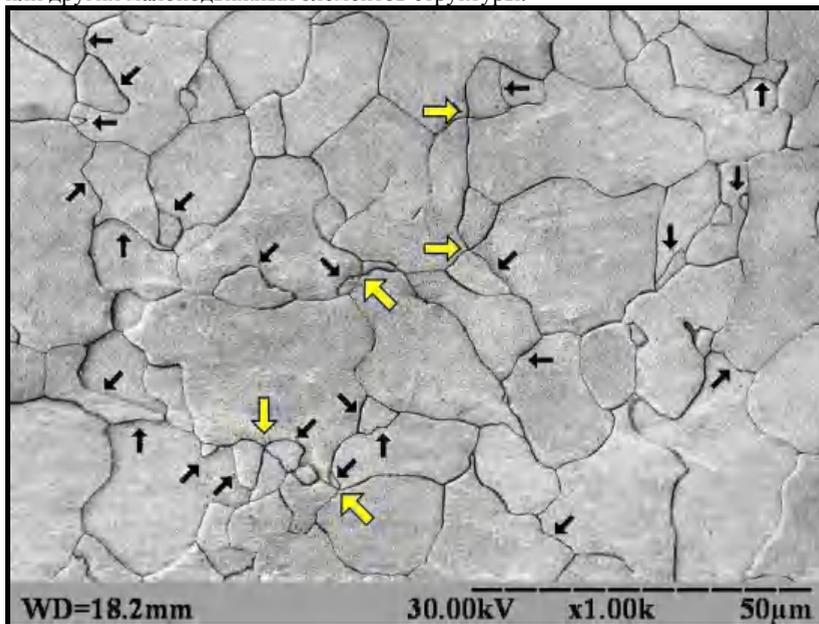


Рис. 2. Сталь 09Г2С после 3-х часовой выдержки при температуре 750°C.

Перспективность такого явления состоит в применении его как поверхностного слоя, повышающего стойкость изделий против атмосферной и некоторых других видов коррозии.

Предварительные исследования показывают, что такая обработка, повышающая содержание низкоэнергетических границ приводит также к изменениям в активности коэрцитивной силы всего материала.

Выводы

1. Изотермическая термообработка низколегированных и низкоуглеродистых сталей при надкритической температуре 750°C в течение 3-х часов приводит к образованию специальных границ в феррите.
2. Впервые показано, что в процессе пребывания сталей при температуре 750°C, в открытой атмосфере в обезуглероженном слое относительное количество специальных границ достигает значения 32% для стали 3пс и 36% для стали 09Г2С.
3. Повышенное содержание специальных границ в обезуглероженном слое может благоприятно сказаться на коррозионной стойкости сталей, применяемых в условиях, не требующих высоких прочностных свойств.

Список использованных источников

1. Kronberg M.L., Wilson, F.H. Secondary recrystallization in copper. // Trans. AIME, – 1949, – Vol. 18, – P. 501–509.
2. Ranganathan, S. On the Geometry of Coincidence-Site Lattices. // Acta Cryst. – 1966, – Vol. 21, – P. 197–199.
3. Bishop G.H., Hartt W.H., Bruggeman G.A. Grain boundary faceting of (10 $\bar{1}$ 0) tilt boundaries in zinc. // Acta Met. – 1971, – Vol. 19. – P. 37-47.
4. Андреева А.В., Фионова Л.К. Низкоэнергетические ориентации границ зёрен в алюминии. // ФММ. – 1981. – Т.52. – С. 593-602.
5. Goodhew P.H., Tan T.Y., Balluffi R.W. Low energy planes for tilt grain boundaries in gold. // Acta Metall. – 1978, – Vol. 26. – P. 557-567.
6. Косевич В.М., Байзульдин Б.К. Фасетированная структура двойниковых границ {112} в серебре. // ФММ. – 1979. Т.48. – С. 443-445.
7. Фионова Л.К. Аккомодационные фасетки границ зёрен. // Физика металлов и металловедение. – 1984.– Т. 57. Вып. 3. – С. 427-429.
8. Murr L.E. Strain-induced dislocation emission from grain boundaries in stainless steell. // Mat. Sci. Eng., – 1981, – Vol. 51, №. 1, – P. 71-79.
9. Сухомлин Г.Д. Множественные специальные стыки границ зерен в ГЦК поликристаллах. //ФММ, т. 54, вып. 2.- 1982.- С. 402-405.
10. Watanabe, An approach to grain-boundary design for strong and ductile polycrystals, Res. Mechanica,– 1984, Vol. 11, –P. 47-84..
11. Большаков В.И., Сухомлин Г.Д. и др. Специальные границы в мартенситных структурах низкоуглеродистых сталей. // Металлознавство та термічна обробка металів – 2006. – №4 (35) – С. 5 - 14.
12. Bolshakov V., Sukhomlin G., Laukhin D., Beketov O., Derkach T., Kuksenko V. Special boundaries and plural grain boundary junctions in the hypoeutectoid ferrite of low-carbon steels. // Theoretical foundations of civil engineering. – Warszawa.: Polit. Warsh. – 2007. – P. 73-80.
13. Парусов В. В., Сагура Л. В., Парусов Э. В., Сивак А. И. Влияние режимов термомеханической обработки на формирование специальных границ в катанке из низкоуглеродистой стали. // Сб. научных трудов „Строительство, материаловедение, машиностроение”. – Вып. 64, – Дн-вск, ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – С. 238 - 242.
14. Лаборатория металлографии. / Панченко Е.В., Скаков Ю.А. и др. – М.: Металлургия, 1965. – 440 с.
15. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. - М.: Мет-гия, 1970.- 375 с