УДК 669.1

ФОРМИРОВАНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СТАЛИ

FOR FORMATION OF THE ULTRAMELOKEROZERNY STRUCTURE IN SHIPBUILDING STEEL

Окорокова Ольга Вячеславовна
аспирантка,
Липецкий государственный технический университет,
Металлургический институт
ol4ek88@mail.ru

Редичкина Татьяна Викторовна
старший преподаватель,
Липецкий государственный технический университет,
Металлургический институт

Okorokova Olga Vyacheslavovna
Graduate Student,
Lipetsk state technical university,
Institute of Metallurgy
ol4ek88@mail.ru

Redichkina Tatyana Viktorovna
Senior Lecture,
Lipetsk state technical university,
Institute of Metallurgy

Аннотация. В данной статье рассмотрен механизм образования субзеренной структуры в стали аустенитного класса. Представлено влияние легирующих элементов и параметров обработки на формирование особых свойств, которые обеспечат работу морских судов в суровых условиях Арктического региона.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, хладостойкость, свариваемость, бейнит, фрагментация.

Annotation. In this paper, the mechanism of the formation of a subgrain structure in austenitic steel is considered. The influence of alloying elements and processing parameters on the formation of special properties that will ensure the operation of sea vessels in the harsh conditions of the Arctic region is presented.

Keywords: low-carbon steel, cold resistance, weldability, bainite, fragmentation.

Усовершенствование технологии производства судостроительной стали сегодня является для нашей страны стратегической задачей. В настоящее время происходит активное освоение Арктического региона. Поэтому высока потребность в толстолистовом прокате с пределом текучести более 460 МПа, поставляемом согласно требованиям Российского морского регистра судоходства. Данный вид стали должен обладать хорошей свариваемостью, обеспечивать высокую хладостойкость (до минус 60 °С), трещиностойкость, сопротивляемость слоистым разрушениям. К судостроительным сталям предъявляются суровые требования по однородности механических свойств в направлении толщины проката и жесткие требования по сопротивлению металла слоистым разрушениям.

Основным легирующим элементом, оказывающим наиболее существенное влияние как на прочностные характеристики, так и на пластичность и вязкость стали является никель, который, понижая критические точки превращения, обеспечивает формирование феррито-бейнитной структуры. Микролегирование ниобием замедляет рост зерен аустенита при нагреве и тормозит процесс собирательной рекристаллизации за счет снижения диффузии из-за твердорастворного упрочнения аустенита атомами ниобия [1]. Ниобий не только замедляет рекристаллизацию, что способствует получению измельченного конечного зерна при проведении высокотемпературной пластической деформации, но и упрочняет сталь путем выделения вторичных фаз.

Свариваемость является наиболее важным свойством для низкоуглеродистой стали, она определяется содержанием углерода (0,05–0,08 %). Высокая хладостойкость обеспечивается введением никеля, меди для компенсации уменьшения содержания углерода, увеличением содержания марганца, микролегированием ванадием, ниобием, титаном.

Формирование однородной ультрамелкозернистой структуры и получение субструктуры обеспечит низкоуглеродистую сталь вышеперечисленными свойствами. Получение высокой прочности и ударной вязкости и сопротивления хрупкому разрушению является основной задачей для стали северного исполнения.

Деформационное разбиение структуры, а именно, разбиение зерен на более мелкие разориентированные области, разделенные высокоугловыми границами, называется фрагментацией. При этом происходит увеличивается плотность распределения дислокаций до 10^{12} м$^{-2}$, формирование слаборазориентированной ячеестой структуры, разделенной дислокационными границами, появление пластических разворотов одной части кристалла относительно другой. На первых этапах фрагментации в структуре образуются фрагменты, разориентированные на небольшие углы, с развитой субструктурой внутри, по мере продолжающейся деформации углы разориентировки увеличиваются. Финальной стадией фрагмента-

ции является образование изотропных фрагментов, разориентированных большеуголовыми границами и практически свободных от дислокаций [2].

На комплекс механических свойств оказывает влияние не только легирование, но и параметры обработки. В промышленности используются различные схемы термомеханической обработки низкоуглеродистой стали, обеспечивающей формирование феррито-бейнитной структуры. Сочетание горячей деформации и фазовых превращений позволит достичь определенного уровня свойств.

В работе [3] показано влияние таких параметров, как скорость, степень деформации, температура на структуру и установлены три температурные области, для которых характерны различные механизмы (рис. 1): прерывистая динамическая рекристаллизация в области горячей деформации ($T > 0{,}5\ T_{пл.}$); двойникование, фрагментация и непрерывная динамическая рекристаллизация в области теплой деформации ($T = 0{,}35–0{,}5\ T_{пл.}$); двойникование и фрагментация в области холодной деформации ($T < 0{,}35\ T_{пл.}$)

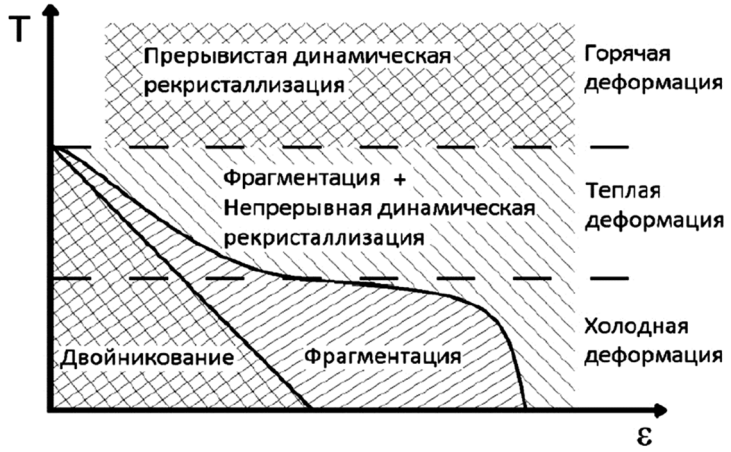
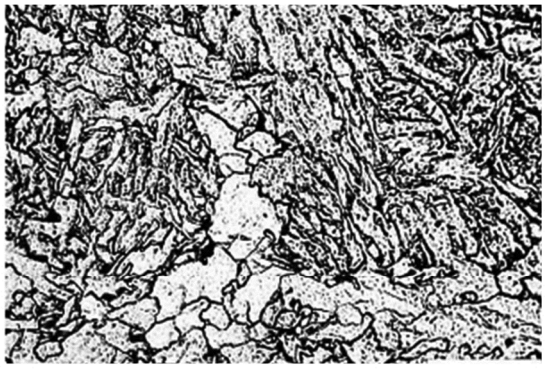


Рисунок 1 – Схематическое распределение основных механизмов эволюции структуры металлов [3]

Охлаждение крупнозернистого деформированного аустенита со скоростью 10 °С/сек позволяет получить структуру на 100 % состоящую из игольчатого бейнита. Уменьшение скорости охлаждения до 3 °С/сек приводит к формированию полигонального феррита (около 15–20 %). Второй структурной составляющей в данном случае является реечный бейнит, но также имеются участки, представленные субзернами размером 0,2–0,3 мкм, разориентированными относительно друг друга на угол 5–10° (рис. 2, 3). Увеличение размера аустенитного зерна способствует формированию продуктов бейнитного превращения, так как с ростом аустенитного зерна происходит и увеличение степени переохлаждения аустенита. Для мелкодеформированного аустенитного зерна в связи с низкой степенью устойчивости аустенита в области γ→α-превращения скорость охлаждения не влияет на количество бейнитной составляющей, так как образуется большое количество ферритной структуры.

А) Нагрев 1200 °С со скоростью 10 град/сек → выдержка 5 минут → охлаждение до 920 °С со скоростью 5 град/сек → деформация 25 % со скоростью 5 мм/сек → охлаждение со скоростью 10 град/сек



Б) Нагрев 1200 °С со скоростью 10 град/сек → выдержка 5 минут → охлаждение до 920 °С со скоростью 5 град/сек → деформация 25 % со скоростью 5 мм/сек → охлаждение со скоростью 3 град/сек

Рисунок 2 – Микроструктура стали типа E500W после соответствующих обработок

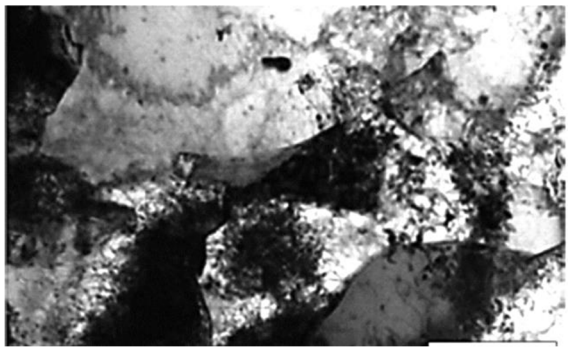


Рисунок 3 – Микроструктура бейнита с субзеренным строением

Таким образом, деформация оказывает влияние на морфологию структуры, она способствует образованию нереечного бейнита с субзеренной структурой. При этом превращение идет в деформированном аустените. Поэтому сделаем вывод, что субзеренная структура – следствие термомеханической обработки.

Литература:

1. Исследование микроструктуры микролегированной ниобием трубной стали после различных режимов контролируемой прокатки с ускоренным охлаждением / М.Ю. Матросов [и др.] // МиТОМ. – 2008. – № 3. – С. 44–49.
2. Козлов Э.В., Попова Н.А., Игнатенко Л.Н. закономерности субструктурно-фазовых превращений при пластической деформации мартенситной стали // Изв. Вузов. Физика. – 1994. – № 4. – С. 76–82.
3. Жеребцов С.В. Эффективность упрочнения титана и титановых сплавов различного класса при формировании ультрамелкозернистой структуры большой пластической деформацией // Металлы. – 2012. – № 6. – С. 63–69.

References:

1. A research of a microstructure of the pipe steel microalloyed by niobium after various modes of controlled rolling with the accelerated cooling / M.Yu. Matrosov [etc.] // MiTOM. – 2008. – № 3. – P. 44–49.
2. Kozlov E.V., Popova N.A., Ignatenko L.N. of regularity of substrukturno-phase transformations at plastic deformation of martensitny steel // Izv. Vuzov. Physics. – 1994. – № 4. – P. 76–82.
3. Zherebtsov S.V. Efficiency of hardening of the titan and titanic alloys of various class when forming ultrafine-grained structure big plastic deformation // Metals. – 2012. – № 6. – P. 63–69.