

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ*

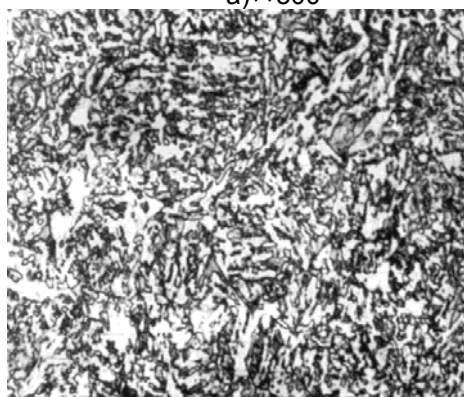
Д.П. Чепрасов, Е.А. Иванайский, А.А. Иванайский, К.С. Кровяков (г. Барнаул, Россия)

Считается общепризнанным, что в промежуточной области диаграммы термокинетического распада аустенита формируются игольчатые перистые (верхний) или мартенситоподобные (нижний) бейнитные структуры. Однако проведенные ранее исследования показали возможность формирования структуры зернистой морфологии.

На рисунке 1 представлены структуры, сформировавшиеся в результате непрерывного охлаждения стали 24Х2НАч.



а)×500



б)×500

Рисунок 1 – Структуры стали 24Х2НАч, полученные при различных скоростях охлаждения: а) нижний бейнит игольчатого строения; б) бейнит зернистой морфологии

Охлаждение стали в интервале температур распада аустенита со скоростью 18...22 °С/с, вызывало формирование структуры мартенсита. При скорости охлаждения

8...16 °С/с структура стали представлена нижним бейнитом, при этом с увеличением скорости охлаждения увеличивалась доля мартенситной составляющей. В интервале скоростей 2...8 °С/с формируется промежуточная структура зернистой морфологии, представленная на рисунке 1,б.

Установлено, что структура стали, представленная на рисунке 1,б, состоит из бейнитной α -фазы. С помощью электронно-микроскопического анализа провели уточнение тонкой структуры зернистого бейнита, полученного при охлаждении со скоростью 2,9 °С/с. Электронная микроскопия (рисунок 2) показала, что при формировании бейнита зернистой морфологии часть аустенита распадается на смесь, состоящую из бейнитной α -фазы и карбидов. Образовавшаяся карбидная фаза имеет форму, близкую к глобулярной, причем отдельные карбиды по размерам существенно отличаются друг от друга. При этом карбидная фаза сосредоточена, в основном, в тех областях, в которых еще не превращенный аустенит имел повышенную концентрацию углерода. Обращает на себя внимание тот факт, что карбиды в бейните зернистой морфологии не имеют ориентировки.

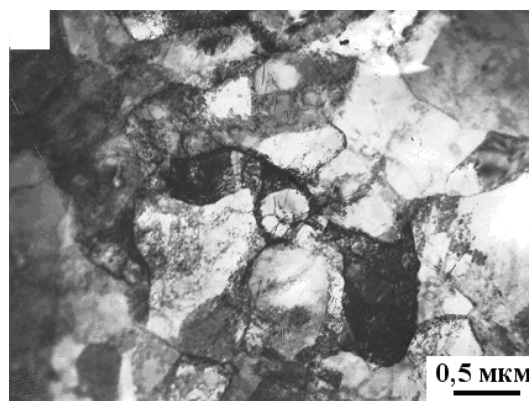


Рисунок 2 – Микроструктура образцов из стали 24Х2НАч, обработанной на зернистый бейнит. Электронная микроскопия

*Работа выполнена при финансировании в виде гранта президента РФ на поддержку молодых российских ученых и ведущих научных школ Российской Федерации

В зернистом бейните в виде включений присутствует остаточный аустенит с высокой концентрацией углерода, а так же сложная структурная составляющая, которая представляет собой механическую смесь бейнитной α -фазы и мелкодисперсных, не имеющих ориентировки в расположении глобулярных карбидов.

Образованию зернистого бейнита предшествует частичный распад переохлажденного аустенита на структурно свободный феррит. Как и в случае распада переохлажденного аустенита на феррито-карбидную смесь, при формировании бейнита зернистой морфологии превращение начинается по границам аустенитных зерен, и распространяется к центру зерна. Процесс имеет ступенчатый характер. Период интенсивного превращения сменяется стабилизацией аустенита, после которой распад продолжается с образованием α -фазы и карбидов.

С целью изучения механических свойств структуры бейнита зернистой морфологии проводились механические испытания стали 24Х2НАч со структурами верхнего и нижнего бейнита, мартенсита, и бейнита зернистой морфологии. Проводились испытания на статическое растяжение, изгиб, и ударную вязкость. Результаты испытаний приведены на рисунках 3-5.

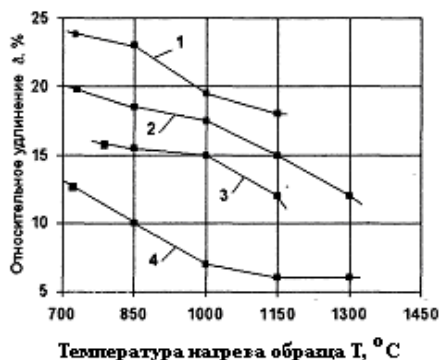


Рисунок 3 – Зависимость пластичности от температуры нагрева образца: 1-зернистый бейнит; 2-нижний бейнит; 3-верхний бейнит; 4-мартенсит

Установлено, что структура бейнита зернистой морфологии является наиболее предпочтительной с точки зрения комплекса механических свойств по сравнению с другими закалочными структурами. При приблизительно равной прочности бейнит зернистой морфологии обладает наиболее высокой

пластичностью и вязкостью по сравнению с другими видами бейнитов.

Для исследования кинетики образования зернистого бейнита использовали образцы в форме цилиндров диаметром 25 и высотой 5 мм. Эти размеры, определенные экспериментально, обеспечивают на спокойном воздухе

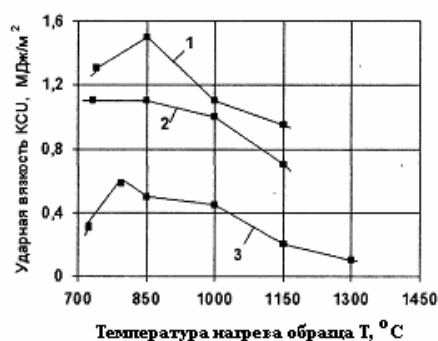


Рисунок 4 – Зависимость ударной вязкости от температуры имитации ЗТВ: 1-зернистый бейнит; 2-нижний бейнит; 3-мартенсит.

необходимую для распада аустенита на зернистый бейнит скорость охлаждения (около 2 °C/c).

Изучение кинетики образования зернистого бейнита в условиях непрерывного охлаждения проводили по разработанной методике прерванного распада аустенита, сущность которой заключается в следующем.

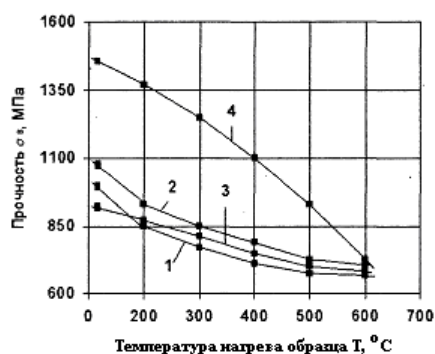


Рисунок 5 – Зависимость прочности стали 24Х2НАч: 1-зернистый бейнит; 2-нижний бейнит; 3-верхний бейнит; 4-мартенсит

образцы нагревали в хорошо прогретой печи в течение 10 мин и охлаждали на спокойном воздухе. Через определенное время после начала охлаждения на спокойном воздухе образец погружали в воду.

При этом непревратившийся в процессе выдержки на воздухе аустенит переходит в мартенсит, а продукты его распада, которые

образовались за время охлаждения на воздухе, оставались без изменений. Таким образом, можно было количественно оценить, сколько аустенита претерпело превращение за время пребывания на воздухе и в какой последовательности это превращение протекало.

Время выдержки на воздухе составляло от 80 до 180 с. Данная методика позволила поэтапно проследить за процессом образования зернистого бейнита при непрерывном охлаждении.

На основании анализа полученных экспериментальных данных предложен следующий механизм формирования зернистого бейнита. Начало превращения аустенита происходит при непрерывном переохлаждении до температуры несколько ниже A_{c1} . При такой высокой температуре сохраняется интенсивное движение атомов углерода. В результате этого имеют место флуктуации углерода. Образуются отдельные локальные участки как богатые (относительно средней концентрации) углеродом, так и обедненные им. Эти участки становятся центрами бездиффузионного гамма-альфа превращения. Вследствие интенсивной диффузии атомы углерода отводятся от фронта перекристаллизации участков аустенита. В этих местах условия начала превращения аустенита улучшаются, растет число новых центров перекристаллизации α -фазы. Высокая подвижность атомов углерода способствует увеличению скорости образования бейнитной α -фазы. Происходит скачкообразное образование её большого количества за короткий промежуток времени. Эта образовавшаяся бейнитная α -фаза врезается в аустенит, охватывая его и смыкаясь вокруг. Имеет место своеобразная блокировка еще не превратившегося, богатого углеродом аустенита, который приобретает вид отдельных островков в сформировавшейся бейнитной α -фазе. Как показали исследования, часть обогащенного углеродом аустенита сохраняется вплоть до полного охлаждения. Образование кристаллов α -фазы путем когерентного роста при упругой связи с исходной γ -фазой вызывает в обеих фазах значительные внутренние объемные напряжения. Температура превращения в данном случае недостаточно высока для их релаксации. Эти объемные структурные и тепловые напряжения вызывают в аустените деформационное упрочнение (наклеп). В упрочненном таким образом аусте-

ните возникает большая плотность дефектов кристаллического строения. Данные дефекты, в сочетании с пластичным состоянием аустенита, создают условия для образования карбидов глобулярной формы, имеющей минимальную поверхностную энергию. Наряду с этим, формированию глобулярного цементита содействует и неоднородность концентрации углерода в аустените, типичная при высокой скорости его перераспределения.

Наоборот, рост зерен аустенита, вызванный перегревом, приводит к уменьшению протяженности их границ, на которых при охлаждении начинают возникать центры зарождения α -фазы. Центров зарождения новой фазы становится меньше, устойчивость переохлажденного аустенита повышается, а процесс его распада в целом протекает менее интенсивно. По этой причине образование бейнитной α -фазы идет с меньшими напряжениями. Блокировки, наклепа и значительного обогащения углеродом непревратившегося аустенита не происходит, и процесс распада протекает по механизму образования игольчатых промежуточных структур. Приложение усилий извне, вызывающих пластическую деформацию и измельчающих зерно перегретого аустенита, вновь создает условия для его распада по механизму образования зернистого бейнита.

Одно из основных морфологических различий промежуточных структур - место расположения карбидов, которое, как показали исследования, определяется температурой аустенизации и степенью пластической деформации перегретого аустенита.

При сварке высокопрочных низколегированных сталей было отмечено, что на вязкие свойства сварочного соединения влияет структура проката и размер зерна стали. Были проведены исследования, показавшие положительное влияние зернистых структур на сопротивляемость развитию хрупкой трещины в низколегированных высокопрочных сталях. Установлено повышение вязких свойств зоны сплавления, сварных соединений сталей с зернистой структурой.

В процессе воздействия термического цикла сварки, вследствие малого времени нагрева зерно не успевает значительно увеличиться. Получение карбидов зернистой морфологии при непрерывном охлаждении, с последующим высоким отпуском стали, позволит уменьшить затраты на проведение термического улучшения сварных конструкций.