

Х.А. Аскеров

ВЛИЯНИЕ КАРБОНИТРИДОВ ВАНАДИЯ И НИОБИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Regulation of the temperature-deformation processing mode allows to control the allocation of carbonitrides dispersed phases, which contributes to refinement of ferrite grains and obtaining substructure developed high density of dislocations.

Thus, advances in the field of steels with high mechanical properties allows the construction of steel structures reduce metal. From this viewpoint, the most suitable are maloperlitnye grained steel with additions of niobium and vanadium

В последнее десятилетие были разработаны новые низколегированные высокопрочные стали с пониженным ($< 0,10\%$) содержанием углерода, основными преимуществами которых по сравнению с обычными конструкционными и строительными сталями являются высокая свариваемость и пластичность [1, 2].

Использование преимуществ сталей с малым содержанием перлита оказалось возможным благодаря тому, что предел текучести и временное сопротивление могут быть повышены (несмотря на низкое содержание углерода) до достаточно высокого уровня путем упрочнения малыми добавками карбонитридообразующих элементов (ниобия, ванадия, титана, азота). Дисперсионное упрочнение ведет к значительному повышению прочности, но одновременно снижается ударная вязкость. Однако в результате использования указанных элементов удалось совместить дисперсионное твердение с измельчением зерна. Эффективность влияния этих элементов зависит от растворимости их карбонитридов в аустените, что при последующем охлаждении определяет количество и дисперсность упрочняющей фазы [3].

Свойства сталей в значительной степени определяются составом, размером, формой и характером распределения карбидной фазы.

Так как ванадий сильно влияет на карбидные превращения в стали, то он существенно влияет и на ее физико-механические свойства. Основным достоинством применения для легированных сталей, особенно строительных является их способность к упрочнению. Кроме ванадия для упрочнения малоуглеродистых сталей применяют небольшие добавки ниобия. Однако эффективность упрочнения стали ванадием значительно дешевле и менее дефицитен, чем ниобий. Одно из наиболее ценных качеств ванадия как легирующего элемента в стали – его способность измельчать зерно [4]. Применительно к стали соединения ванадий с железом, углеродом, азотом и тройные : железо-углерод-ванадий, железо-азот-ванадий и железо-легирующий элемент-ванадий представляют интерес. Ванадий – сильный карбидообразующий и нитридообразующий элемент. Образующие им карбиды и нитриды являются фазами внедрения. В литературе можно встретить ссылки на следующие карбиды в системе ванадий-углерод : V_5C (4,5% C) ; V_2C (10,54 % C) ; V_4C_3 (15,02% C) ; VC (19,08% C); V_2C_3 (26,12% C). Однако при исследовании стали наиболее часто упоминаются только карбиды VC и V_4C_3 .

При нагреве стали для термической обработки карбиды или нитриды ванадия могут растворяться в аустените или оставаться нерастворенными. От этого зависят многие свойства термической обработанной стали: закаливаемость, прокаливаемость, устойчивость против отпуска, износостойкость и др. Растворимость карбида ванадия в аустените в зависимости от температуры нагрева зависит от соотношения углерода и ванадия, т.е. количества карбида ванадия. При медленном нагреве стали со структурой феррита - карбидной смеси переход через критическую точку вызывает образование мелкого зерна аустенита.

Металлургической промышленностью освоен выпуск ряда марок сталей подвергаемых контролируемой прокатке на станах 3000 и 3600 металлургических комбинатов имени Ильича и «Азовсталь».

Химический состав и механические свойства листов из мало-перлитных сталей, изготавливаемых с применением контролируемой прокатки показаны в таблицах [1,2].

Химический состав исследуемых сталей

МАРКА СТАЛИ	C	Mn	Si	S	P	Al	V	Nb
09Г2ФБ	0,09	1,70	0,35	0,010	0,02	0,05	0,09	0,05
10Г2ФБ	0,12	1,75	0,35	0,006	0,02	0,05	0,012	0,04

Таблица II

Механические свойства листов из малоперлитных сталей

МАРКА СТАЛИ	σ_B Н/мм ²	σ_T Н/мм ²	δ %	KCU	KCV
				Дж/см ²	
09Г2ФБ	550	450	22	59	88
10Г2ФБ	588	460	22	64	88

Введение ванадия и ниобия в строительные стали прежде всего повышает их прочность и упругие свойства (отношение $\frac{\sigma_T}{\sigma_B}$), такое влияние этих элементов обусловлено дисперсионным твердением в результате выделения мелкодисперсных карбидов ванадия при γ - σ превращениях или при высокотемпературном отпуске закаленной стали. Получение в строительных сталях с ванадием и ниобием повышенной прочности после высокотемпературного отпуска – одно из основных преимуществ этих сталей. Отпуск при более высокой температуре дает возможность получить в стальных изделиях детали с минимальными остаточными внутренними напряжениями, что часто очень важно для надежности и высокой эксплуатационной стойкости стальных строительных конструкций.

Существенное влияние ванадия и ниобия на повышение устойчивости против отпуска связано с замедлением распада мартенсита – пересыщенного твердого α – раствора, задержкой выделения углерода из него и образованием высокодисперсных карбидов ванадия и ниобия, вызывающих дисперсионное твердение. Мартенсит, содержащий растворенные карбидообразующие элементы, сохраняет повышенное содержание углерода.

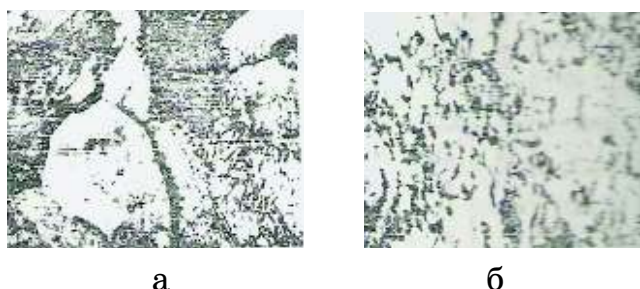
Чем выше карбидообразующая способность элемента, тем больше количество углерода задерживается в растворе α . При повышении температуры отпуска α раствор обедняется карбидообра-

зующим элементом и из него выделяется избыточный углерод в виде второй порции карбида.

Закаленная сталь, в которой карбид ванадия при нагреве под закалку перешёл в твердый раствор, при отпуске разупрочняется меньше, чем сталь без ванадия. Чем больше карбида ванадия в стали и чем больше его переходит в твердый раствор, тем более устойчива сталь против отпуска. Если карбид ванадия не растворяется в аустените при нагреве под закалку, то задерживающее влияние ванадия на разупрочнение стали при отпуске не проявляется. Таким образом, повышенная устойчивость ванадиевой стали против отпуска определяется не абсолютным содержанием ванадия в стали, а его количеством, растворяющимся в аустените. Изложенные особенности влияния этих элементов на свойства строительных сталей делают весьма перспективным легирование ванадием и ниобием.

Особый интерес вызывает малоperlитная сталь 09Г2ФБ, высокие прочностные свойства которой обеспечиваются созданием мелкозеренной ферритной структуры в результате контролируемой прокатки [6].

Электронномикроскопические исследования микроструктуры позволили сделать количественную оценку, в результате которой получен средний размер субзерна феррита примерно 0,05 мкм. Плотность дислокаций в феррите составила $= 10 (10)\text{см}(-2)$ (рис.1).



а – х 25000

б – х 50000

Рисунок 1 - Микроструктура стали 09Г2ФБ
после контролируемой прокатки

Повышая скорость охлаждения после контролируемой прокатки, то есть используя различные охлаждающие среды, в стали 09Г2ФБ наряду с игольчатым ферритом наблюдаются участки с кар-

бидными выделениями, характерными для речного дислокационного мартенсита (рис.2).



а – дислокации в феррите

б – карбидные выделения X 50000

Рисунок 2 - Микроструктура стали 09Г2ФБ после контролируемой прокатки с последующим ускоренным охлаждением

В ряде работ [7,8] установлено, что при снижении температуры аустенитизации с 1250 до 1050 ... ферритное зерно измельчается на 0,5 – 1 балл. Кроме того, для увеличения измельчения зерна аустенита деформация при горячей прокатке должна носить убывающий характер с преобладанием степени деформаций (до 50%) в аустенитной области. Дальнейшее измельчение зерна обеспечивается при снижении температуры контролируемой прокатки от 1000 до 700.

Регулирование температурно-деформационного режима обработки позволяет контролировать выделение дисперсных фаз карбонитридов, что способствует измельчению зерна феррита и получению развитой субструктуры с повышенной плотностью дислокаций [9]. Повышение прочности и сопротивления разрушению в игольчатом феррите, вероятно, можно объяснить тем, что прочность сплава регулируется размером субструктурных единиц, которые зависят от температуры превращения.

Таким образом, достижения в области создания сталей с высоким комплексом механических свойств позволяет при строительстве стальных конструкций снизить металлоёмкость. С этой точки зрения наиболее приемлемыми являются малоперлитные мелкозернистые стали с добавками ниобия и ванадия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пикеринг Ф.Б. Физическое металловедение и разработка сталей. М., 1982. 184с.
2. Ю.И. Матросов, Н.И. Карчевская и др. Карбонитриды ниобия и ванадия в малоperlитных сталях. Известия АН СССР: Металлы. 1975. №3. с. 151-155.
3. Большаков В.И., Монгайт И.А. Закалка с прокатного нагрева малоperlитной стали с ниобием и ванадием. // Металловедение и термическая обработка металлов. М. 1983, №2 с.42-44.
4. Большаков В.И., Аскеров Х.А. Карбидообразование и упрочнение строительных сталей с ванадием. // Перспективные задачи инженерной науки. GAUDEMUS, 2001, Днепропетровск, с 115.
5. И.Н. Голиков, М.И. Гольдштейн, И.И. Мурзин. Ванадий в стали. М. Металлургия, 1968 с.291.
6. Большаков В.И., Монгайт И.А. Исследование тонкой структуры закаленной стали с ниобием и ванадием после контролируемой прокатки. – Известия вузов. Черная металлургия, 1983, №7, с. 102-106.
7. Большаков В.И. Разработка теоретических основ и внедрение процессов субструктурного упрочнения строительных сталей с целью повышения их эксплуатационных свойств. – Диссертация на соискание уч. степени доктора техн. наук, - Днепропетровск 1985, -450 с.
8. Большаков В.И., Стародубов К.Ф., Тылкин М.А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности, - М: Металлургия, 1977.-200 с.
9. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М : Металлургия, 1983.-460.