

МАТЕМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ

УДК 621.17

Х.А. Аскеров, А.Д. Ахмедов

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ДЕФОРМАЦИОННЫХ
ПАРАМЕТРОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И
КОМПЛЕКС МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ
СТАЛЕЙ**

В настоящее время одним из наиболее эффективных методов повышения уровня свойств в условиях массового производства проката строительных сталей является термомеханическая обработка. Правильное использование термических и механических воздействий позволяет достичь существенного повышения механических и других служебных характеристик металлопродукции из строительных сталей. В связи с этим возникла необходимость исследования процессов формирования структуры и субструктуры в ходе горячей деформации и последующего охлаждения, а также влияние температурно-деформационных параметров на процессы структурообразования [1].

В качестве материала для проведения исследования были использованы две марки строительной стали промышленной плавки: низкоуглеродистая сталь СтЗсп и низколегированная сталь 16Г2АФ.

Исследование процессов горячей деформации проводили на кулачковом пластометре. Испытания осуществляли при скорости деформации в интервале температур 900°C - 700°C и степеней деформации от 0 до 50 процентов, характерных для чистовых клетей прокатных станов.

По результатам экспериментов построены диаграммы горячей деформации строительных сталей СтЗсп и 16Г2АФ, анализ которых показал, что при выбранной скорости деформации установившаяся стадия не достигается как для стали 16Г2АФ, так и для стали СтЗсп. В начальный период деформации резко возрастает прочность аустенита вследствие горячего наклепа. Продолжающееся увеличение числа дислокаций при одновременном воздействии температуры привело к их перераспределению по механизму динамического

возврата, которых в данных условиях является единственным механизмом динамического разупрочнения [2].

Исследование исходной структуры аустенита показало, что снижения температуры подсуживания с 900°C до 700°C практически не проводит к изменению среднего размера зерна аустенита: при изменении температуры 900°C он составляет 14,37 мкм, при 800°C – 14,5 мкм, при 700°C – 14,8 мкм, несколько повышая разноструктурность.

Увеличение обжатия с 15 до 50 процентов при 900°C вызывает измельчение аустенитного зерна вдвое и получение более однородной структуры. Понижение температуры деформации с 900°C до 800°C и 700°C приводит к получению типичной деформационной структуры. Кроме сплющивания аустенитных зерен процесс деформации вызывает образование значительного числа деформационных полос [3,4].

Поскольку получаемый в результате термомеханической обработки комплекс механических свойств в значительной степени определяется соответствующими изменениями в тонкой структуре, было изучено изменение плотности дислокаций, уровня микроискажений, величины блоков исследуемых сталей после различных режимов термомеханической обработки. Исследование тонкой кристаллической структуры проводили методом рентгеноструктурного анализа на автоматическом комплексе ДРОН-2.

Исходное зерно аустенита стали 16Г2АФ при 900°C довольно мелкое, интенсивность процессов наклепа в нем достаточно велика. Уже при обжатии 15 процентов плотность дислокаций увеличилась практически в два раза по сравнению с контрольной обработкой. Проведенные электронно-микроскопические исследования показали, что дальнейшее увеличение степени деформации приводит к повышению количества объектов, занятых структурой горячего наклепа, появлению участков с ячеистой структурой, когда объемные сплетения дислокации приводит к следующему: образованию полигонизованной субструктуры когда тело деформированного зерна разделено на субзерна малоугловыми субграницами, представляющими собой плоские сетки дислокаций [5].

Деформация при низких температурах 800⁰С и 700⁰С сопровождается образованием удлинённых зерен с субструктурой, стабилизированной дисперсными карбонитридами ванадия [6].

Горячая пластическая деформация как стали 16Г2АФ, так и стали СтЗсп способствует внутризеренному образованию зародышей феррита, что вызывает значительное его измельчение и увеличение доли в структуре. Местами внутризеренного образования зародышей феррита является дислокации, ячеистая структура, границы субзерен.

В низкоуглеродистой стали СтЗсп после деформации при 900⁰С с большой скоростью протекают последеформационные рекристаллизационные процессы, а повышение степени деформации способствуют получению более мелкого рекристаллизационного зерна с повышенной плотностью дефектов кристаллического строения $\bar{\rho}=0,911 \cdot 10^{10}$ см² после контрольной обработки. $\bar{\rho}=1,876 \cdot 10^{10}$ см² после $\varepsilon=15$ процентов, $\bar{\rho}=2,456 \cdot 10^{10}$ см² после $\varepsilon=25$ процентов. За счет сохранения в аустените повышенной плотности дислокаций увеличивается число центров зарождения феррита, выделения его более дисперсные и равномерно распределены по объему. Анализ тонкой структуры стали СтЗсп после деформации при 900⁰С позволил сделать вывод, что оптимальным разовым обжатием следует считать обжатие 25÷35 процентов, которое позволяет получить в аустените упорядоченные дислокационные построения, вызывающие в свою очередь диспергирование и равномерное распределение цементитных выделений по объему [7,8,9].

Термомеханическую обработку осуществляли на опытном стенде Института черной металлургии АН Украины, в состав которого входили печи ОКБ-210 и 1-30, Экспериментальный прокатный стан ДУО-300, охлаждающее камерное устройство конструкции ИЧМ, обеспечивающее скорость охлаждения порядка 100⁰С. Упрочнению подвергались карточки металла, имеющие следующие размеры. 130 x250x 20 мм.

Режимы термомеханической обработки и полученные механические свойства представлены в таблице 1 и 2.

Термомеханическая обработка при всех исследуемых режимах приводит к значительному повышению прочности стали 16Г2АФ по сравнению с нормализацией и закалкой с отдельного нагрева.

Максимальный прирост прочности составил 400Н/мм²/52 процента/ после прокатки при 900⁰С обжатиет 25 процентов по сравнению с закалкой с отдельного нагрева.

Таблица 1

Механические свойства стали 16Г2АФ после термомеханической обработки

Механические свойства	Режимы упрочнения					
	Температуры деформации 900 ⁰ С			Температуры деформации 900 ⁰ С		
	Степень обжатия, %					
	15	25	35	15	25	35
Временное сопротивление разрыву $\sigma_B, Н / мм^2$	$\frac{984}{784}$	$\frac{1091}{828}$	$\frac{1172}{831}$	$\frac{978}{719}$	$\frac{1019}{780}$	$\frac{1022}{801}$
Предел текучести $\sigma_B, Н / мм^2$	$\frac{795}{680}$	$\frac{872}{757}$	$\frac{933}{767}$	$\frac{726}{630}$	$\frac{816}{686}$	$\frac{810}{719}$
Относительное удлинение $\delta, \%$	$\frac{17}{21}$	$\frac{16}{18}$	$\frac{16}{17}$	$\frac{19}{22}$	$\frac{17}{20}$	$\frac{18}{23}$
Относительное сужение $\psi, \%$	$\frac{52}{60}$	$\frac{37}{56}$	$\frac{33}{55}$	$\frac{35}{55}$	$\frac{26}{54}$	$\frac{24}{53}$

В числителе указаны значения после закалки, в знаменателе - после закалки и отпуска при 600⁰С, 1 час.

Таблица 2

Механические свойства стали СтЗсп после термомеханической обработки

Механические свойства	Режимы упрочнения					
	Температуры деформации 900 ⁰ С			Температуры деформации 900 ⁰ С		
	Степень обжатия, %					
	15	25	35	15	25	35
Временное сопротивление разрыву $\sigma_B, Н / мм^2$	$\frac{644}{596}$	$\frac{667}{567}$	$\frac{642}{571}$	$\frac{643}{575}$	$\frac{650}{593}$	$\frac{681}{607}$
Предел текучести $\sigma_B, Н / мм^2$	$\frac{518}{463}$	$\frac{516}{455}$	$\frac{527}{460}$	$\frac{528}{447}$	$\frac{525}{465}$	$\frac{557}{487}$
Относительное удлинение $\delta, \%$	$\frac{23}{30}$	$\frac{22}{29}$	$\frac{21}{28}$	$\frac{27}{26}$	$\frac{23}{28}$	$\frac{22}{28}$
Относительное сужение $\psi, \%$	$\frac{53}{60}$	$\frac{60}{62}$	$\frac{58}{61}$	$\frac{63}{64}$	$\frac{57}{64}$	$\frac{52}{62}$

Закалка с прокатного нагрева низкоуглеродистой стали СтЗсп также приводит к повышению прочности по сравнению с закалкой с отдельного нагрева: σ_T увеличивается на 111 Н /мм²/ 26 процентов/, σ_B -на 102 Н/мм²/ 18 процентов/ после прокатки при 900⁰С с $\varepsilon=25$

процентов, что свидетельствует о возможности фиксации эффекта термомеханической обработки.

Результаты испытаний на ударный изгиб свидетельствуют о высокой хладостойкости исследуемых строительных сталей, упрочненных по оптимальным режимам. Наряду с достаточно высокими абсолютными значениями ударной вязкости : $KCU^{-70} = 0,38$ МДЖ/м² для стали Ст.Зсп, $KCU^{-70} = 0,60$ МДЖ/м² для стали 16Г2АФ-исследуемые стали отличаются низкой температурой перехода в хрупкое состояние, расположенной ниже минус 50 С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Диаграмма горячей деформации. Структура и свойства сталей. Справочник. Под ред. Проф. М.А. Бернштейна.И. Металлургия.1989.-544с.
2. Тылкин М.А., Большаков В.И., Одесский П.Д. Структура и свойства строительной стали. М.: Металлургия. 1983, 287с.
3. З.Большаков В.И.. Термическая обработка конструкционных сталей. Базилиан Пресс. Канада, 1998-316с.
4. Большаков В.И., Аскеров Х.А., Котова Л.И., Погребная Н.Э. Повышение качества металлопроката путем термической и термомеханической обработки Тез. Докл. Всесоюз. Научн.-техн. Конф.-Москва., 1988.с.21.
5. Большаков В.И., Аскеров Х.А., Антонов С.М., Лукьянскова А.Н. Повышение вязкости строительной стали СтЗсп термомеханической обработкой Разработка ресурсосберегающих технологий, эффективных технологии производства строительных материалов и конструкций и ведения строительно-монтажных работ. Тез. Докл. Респ. Научн-техн. Конф.- Днепропетровск, 1988.-с.136.
6. Большаков В.И.,Аскеров Х.А., Смольянинова Н.А., Антонов С.М. Влияние режимов термомеханической обработки на конструктивную прочность строительной малоуглеродистой стали. Практика, проблемы разработки и внедрение ресурсосберегающих технологий Тез. Докл науч-техн конф- Липецк, 1991.-с.11-12
7. Большаков В.И., Аскеров Х.А. Карбидообразование и упрочнение строительных сталей с ванадием. Перспективные задачи инженерной науки. Сборник научных трудов международной конференции. Днепропетровск. 2001, выпуск 2.с 125
8. Жербин М.М. Высокопрочные строительные стали. Киев Будивельник, 1973,с 158.
9. Х.А.Аскеров. Эффективность технологии термической и деформационно-термической обработки с использованием тепла прокатного нагрева толстолистовой стали для морских стационарных платформ. Материалы международной науч техн конф Стародубовские чтения. Днепропетровск 19-21 апреля, 2005г с130.

Получено __.__. 2006 г.