



УДК 621.771.22

Поступила 04.07.2013

В. В. ЧИГИРИНСКИЙ, С. П. ШЕЙКО,
Запорожский национальный технический университет

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Проанализировано влияние параметров контролируемой прокатки на структурно-фазовые превращения в низколегированных и углеродистых сталях.

The influence of the parameters of controlled rolling on the structural phase transitions in low-alloy and carbon steels was analyzed.

Введение. Контролируемая прокатка является одним из перспективных видов термомеханической обработки низколегированных сталей и представляет собой горячую прокатку по заданному режиму, включающему в себя запрограммированные температурные режимы и скоростные и термические обжаты на различных стадиях пластической обработки. При контролируемой прокатке за счет снижения температуры деформации в установках ускоренного межклетьевого охлаждения в сочетании с ускоренным охлаждением готового проката структура стали формируется с мелким зерном феррита, как следствие, повышается предел текучести, снижается температура и улучшается свариваемость. Контролируемая прокатка позволяет получить зерно перлита диаметром 5–10 мкм и менее, что приводит к упрочнению стали на 10–30% при сохранении высокой пластичности и вязкости [1].

Процесс роста феррита и перлита в деформированной аустенитной матрице исследован довольно мало, а имеющиеся данные достаточно противоречивы. Принято считать, что увеличение скорости роста вызвано в основном увеличением скорости диффузии за счет появления более легких путей миграции по дислокационным трубкам и другим дефектным местам решетки, а также уменьшением концентрационного пересыщения вследствие захвата атомов углерода дефектами [2].

Многочисленные экспериментальные исследования, среди которых следует отметить работы М. П. Бернштейна, подтверждают ускорение аустенит-ферритного и аустенит-перлитного превра-

щений [3], а также измельчение зерен феррита и колоний перлита после деформации при пониженных температурах сталей различного химического состава.

Цель работы – проанализировать влияние различных режимов контролируемой прокатки на структурно-фазовые превращения в низколегированных и углеродистых сталях.

Методика исследования. Для экспериментальных плавок был предложен базовый состав стали (0,08–0,16% С; 0,10–0,20% V; 0,1–0,2% Cr; 0,1–0,2% Ti), дополнительно модифицированной щелочно-земельным металлом SiBa (сталь типа 10ХФБТч). Выплавку лабораторных плавок проводили в вакуумной индукционной печи. Масса плавок – 10 кг, размер заготовок под прокатку – 50×40×70 мм. Прокатку опытных слитков на полосу толщиной 10,5 мм осуществляли на лабораторном прокатном стане. Нагрев металла под прокатку проводили в камерной печи; общее время нагрева и выдержки составляло 1,5 ч, температура металла перед прокаткой достигала 1160–1180 °С. Черновую стадию прокатки осуществляли за один проход с деформацией 40%, затем следовала пауза для подстуживания металла, после чего производили чистовую прокатку за три прохода до окончательной толщины с суммарной степенью деформации более 70%. Методика проведения экспериментальных исследований – полный факторный эксперимент [4].

Основная часть исследований. Ю. И. Матросов выделил восемь стадий технологии контролируемой прокатки листа [5]:

1. Аустенитизация при температурах, обеспечивающих получение достаточно однородной структуры металла перед прокаткой. При этом температура нагрева под прокатку для большинства сталей, микролегированных ниобием, ванадием и титаном, составляет около 1150–1200 °С.

2. Высокотемпературная деформация стабильного аустенита в области быстропротекающих процессов рекристаллизации, когда температура деформации выше температуры рекристаллизации. Цель высокотемпературной деформации – получение возможно более мелкого зерна аустенита путем чередующихся многократных обжатий и рекристаллизации. Для низколегированной стали с титаном степень деформации для развития динамической рекристаллизации при 1100–1150 °С составляет 40–60%. Однако осуществление таких режимов в промышленных условиях затруднено. Черновая прокатка на действующих толстолистовых станах проводится при температурах не ниже 980–1000 °С со степенями обжатия за проход 15–20%.

3. Среднетемпературная деформация в нижней части аустенитной области осуществляется с целью увеличения плотности дефектов кристаллической структуры металла и упорядоченного их распределения (субструктуры), что приводит к множественному образованию ферритных объемов при полиморфном γ - α -превращении.

4. Деформация аустенита в области полиморфного γ - α -превращения.

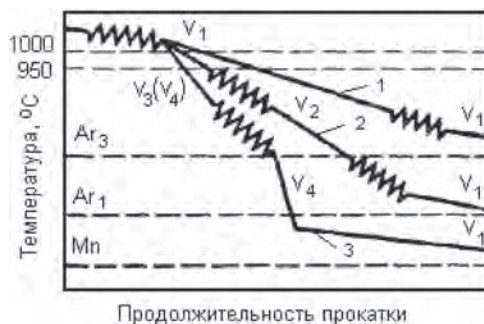
5. Деформация в двухфазной γ - α -области. Понижение температуры деформации в γ - α -области способствует упрочнению стали, так как при этом возрастает доля упрочненных деформацией зерен феррита.

6. Деформация в трехфазной области, которую целесообразно проводить, если в комплексе механических свойств первостепенное значение придается получению весьма высокой прочности.

7. Деформация ниже точки A_{γ_1} возможна при наличии мощного прокатного оборудования и невысоких требованиях к пластическим характеристикам проката.

8. Охлаждение стали после завершения деформации осуществляется на воздухе со скоростью охлаждения 0,5–1,0 °С/с или в установках ламинарного охлаждения проката со скоростью около 15 °С/с.

В зарубежной и отечественной практике в промышленных условиях контролируемая прокатка листа осуществляется в две или три стадии (см. рисунок). Первая стадия начинается от температур нагрева под прокатку до 950–1000 °С, когда проис-



Технологические схемы контролируемой прокатки с различными способами охлаждения: $v_1 = 3\text{--}7$ °С/с, охлаждение (подстуживание) на воздухе; $v_2 = 5\text{--}25$ °С/с, душирующие установки; $v_3 = 50\text{--}70$ °С/с, водовоздушная смесь; $v_4 = 150\text{--}200$ °С/с и выше, устройства с камерами сложного профиля: 1, 2 – прокатка листа из стали с Nb и V соответственно в две и три стадии; 3 – прокатка листа из стали без микродобавок

ходит быстрая рекристаллизация аустенита, завершающаяся в пределах междеформационной паузы. На второй стадии процесса в интервале температур от 950 °С до A_{γ_3} рекристаллизация в обычных сталях затрудняется, а в сталях с ниобием она практически подавлена. В этой области температура и степень деформации оказывают существенное влияние на кинетику рекристаллизации. Если температурно-деформационные условия выбраны правильно, то зерно уменьшается в результате статической рекристаллизации. Деформация приводит к образованию полос скольжения и выделению дисперсных фаз. С повышением степени деформации растет число полос скольжения и увеличивается однородность их расположения, что способствует получению мелкого равномерного зерна феррита после превращения. В результате повышается хладостойкость стали.

На третьей стадии при температуре ниже A_{γ_3} процессам дисперсионного упрочнения с измельчением зерна сопутствует развитие субзерен текстуры, причем два последних фактора имеют решающее значение в улучшении свойств стали.

В работе [1] указаны четыре фактора, обуславливающие измельчение ферритного зерна при контролируемой прокатке. Это, во-первых, понижение температуры нагрева под прокатку, приводящее к уменьшению размеров исходного, а следовательно, и рекристаллизованного аустенитного зерна. Вторым фактором является замедление рекристаллизации при горячей деформации, которое может быть достигнуто различными путями: снижением температуры и повышением степени деформации, повышением температуры рекристаллизации за счет легирования твердого раствора, выделения из твердого раствора перед рекристаллизацией или в процессе ее дисперсных частиц второй фазы, тормозящих миграцию границ зерен

и блоков. Третий фактор состоит в понижении температуры γ - α -превращения, что может быть достигнуто как соответствующим легированием, так и регулированием скорости последодеформационного охлаждения. Наконец, важным фактором является предотвращение роста ферритного зерна в верхней части ферритной области, например при охлаждении стали в рулонах. Указанные четыре механизма не исчерпывают всех возможностей уменьшения ферритного зерна при контролируемой прокатке. Мелкое ферритное зерно может быть также получено из нерекристаллизованного или частично рекристаллизованного аустенитного зерна с высокой плотностью дефектов кристаллического строения в результате зарождения феррита на дефектах внутри аустенитного зерна.

Результаты исследований показали, что эффект контролируемой прокатки связан не только с измельчением зерна, но и с созданием устойчивой субструктуры, причем во многих случаях влияние субструктуры является преобладающим.

Установлено, что контролируемая прокатка низколегированной стали с окончанием в двухфазной области при 750–700 °С позволяет наряду с повышением прочностных свойств увеличить на 350–400 КДж/м² ударную вязкость при низких

температурах, а также примерно на 40 °С понизить критическую температуру хрупкости по сравнению с окончанием прокатки в нижней части γ -области. В случае окончания прокатки при 700 °С получены следующие значения механических свойств, определяемых при испытании на растяжение: предел текучести 450 МПа, временное сопротивление разрыву 550 МПа, относительное удлинение около 25%. Дальнейшее снижение температуры деформации обеспечивает повышение прочностных характеристик при заметном снижении пластичности и ударной вязкости при комнатной температуре. Эффект повышения механических характеристик авторы работы [6] связывают с измельчением ферритного зерна и созданием в феррите устойчивой дислокационной субструктуры.

Выводы. Таким образом, имеющиеся сведения показывают принципиальную возможность повышения уровня механических свойств проката из низколегированных сталей. В результате этого появляется возможность замены сложнолегированных сталей. Однако необходимость снижения температуры прокатки до межкритических или даже субкритических значений создает определенные трудности в реализации процесса на существующем прокатном оборудовании.

Литература

1. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы. Донецк: Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008.
2. Погорельский В. И. Контролируемая прокатка непрерывнолитого металла. М.: Металлургия, 1979.
3. Бернштейн М. Л. Структура деформированных металлов. М.: Металлургия, 1977.
4. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планируемого эксперимента / Ф. С. Новик, Е. Б. Арсов. М.: Машиностроение, 1980.
5. Матросов Ю. И. Контролируемая прокатка – многостадийный процесс ТМО низколегированных сталей // Сталь. 1987. № 7. С. 75–80.
6. Большаков В. И. Термическая обработка стали и металлопроката: учеб. для студ. высш. техн. учеб. зав. / В. И. Большаков, И. Е. Долженков, В. И. Долженков. Днепропетровск, 2002.