

PACS: 81.30.Kf, 81.40.Vw

М.В. Дегтярев, Т.И. Чашухина, Л.М. Воронова

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ 30ХГСН2А НА ОБРАЗОВАНИЕ АУСТЕНИТА В МЕЖКРИТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

Институт физики металлов УрО РАН
ул. С. Ковалевской, 18, г. Екатеринбург, 620219, Россия
E-mail: highpress@imp.uran.ru

Исследовано влияние высокого давления при предварительной деформации на образование аустенита при нагреве деформированной стали 30ХГСН2А в межкритическом интервале (МКИ) температур. Деформация в условиях высокого давления обеспечивает большую плотность мест зарождения аустенита – высокоугловых границ, приводя к повышению скорости и полноты превращения. Это вызывает кажущееся снижение температуры A_{C3} . В условиях изотермического нагрева предварительная деформация под высоким давлением не влияет на температуру начала образования аустенита (A_{C1}).

Структурное состояние стали существенно влияет на процесс образования аустенита при нагреве [1,2]. Увеличение дефектности исходной структуры повышает скорость и полноту α - γ -превращения в МКИ температур и одновременно интенсифицирует рекристаллизацию непревращенного феррита. Отжиг при температуре ниже температуры A_{C1} стали, имеющей после деформации прокаткой и сдвигом под давлением одинаковую твердость и средний размер элементов структуры, показал, что развитие рекристаллизации зависит от квазигидростатического давления при деформации [3].

Целью работы было исследование влияния высокого давления при деформации в наковальнях Бриджмена на образование аустенита в МКИ температур.

Сталь 30ХГСН2А после улучшения (закалки и отпуска при 650°C, 60 min) деформировали сдвигом под давлением 10–11 GPa и перекрестной прокаткой. Расчетная степень деформации при сдвиге составила $e = 3.5$ и $e = 6.5$, а при прокатке $e = 3.5$. Затем образцы нагревали в соляной ванне с выдержками от 1.5 до 240 min и охлаждали в воде. Объемную долю аустенита определяли по количеству мартенсита в структуре после закалки. После деформации с $e = 3.5$ и $e = 6.5$ твердость и размер элементов структуры составили соответственно 4.5 и 7 GPa; 0.15 и 0.05 μm . В результате сдвига под давле-

нием с обеими степенями деформации структура стали образована микрокристаллитами с высокоугловой разориентировкой по границам. После прокатки в структуре наблюдаются как микрокристаллиты, так и дислокационные ячейки с малоугловой разориентировкой.

Объемная доля аустенита возрастает с увеличением выдержки при 750°C (рис. 1), достигая максимума после отжига в течение 60 min (90 и 85% соответственно после сдвига с $e = 3.5$ и прокатки). В ходе дальнейшей выдержки доля аустенита уменьшается, но и после 240 min она на 10–20% выше равновесного значения. В образцах, деформированных сдвигом под давлением с $e = 3.5$, после всех выдержек доля образовавшегося аустенита на 5–20% больше, чем в образцах, деформированных прокаткой с той же степенью. После выдержки 10 min и более твердость стали коррелирует с объемной долей мартенсита в структуре (рис. 2).

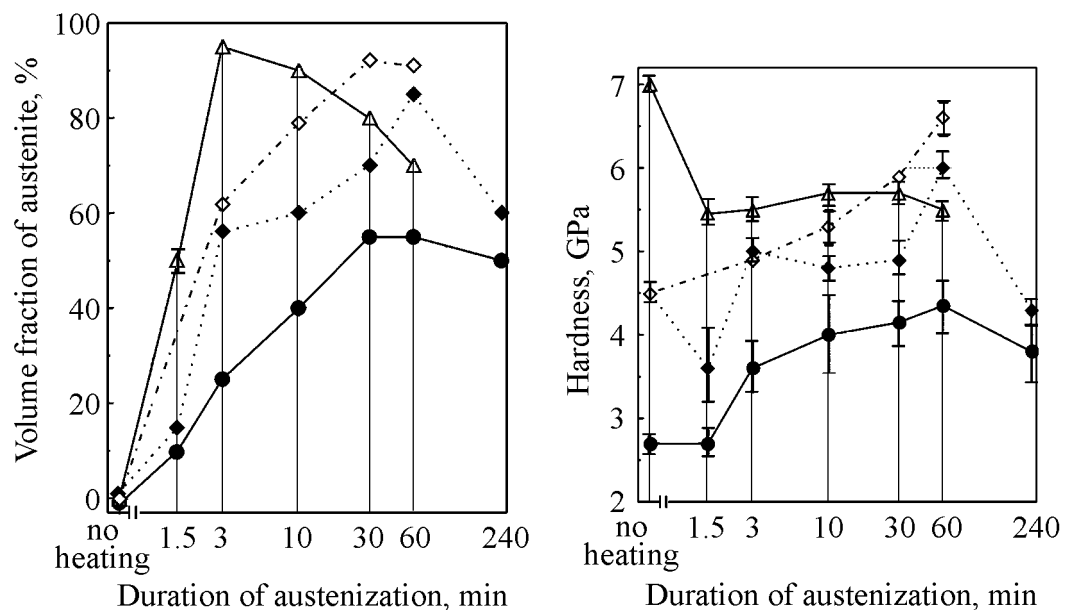


Рис. 1. Влияние исходного состояния стали 30ХГСН2А на кинетику образования аустенита при 750°C: ● – без деформации; ◆ – прокатка с $e = 3.5$; ◇ – сдвиг с $e = 3.5$; Δ – сдвиг с $e = 6.5$

Рис. 2. Твердость после закалки из МКИ стали 30ХГСН2А с различным исходным состоянием: ● – без деформации; ◆ – прокатка с $e = 3.5$; ◇ – сдвиг с $e = 3.5$; Δ – сдвиг с $e = 6.5$

Увеличение степени деформации до $e = 6.5$ в условиях высоких давлений существенно ускоряет α – γ -превращение, и максимум достигается после выдержки 3 min. Объемная доля аустенита при этом составляет 95–100% [2]. То есть такая деформация приводит к кажущемуся снижению температуры A_{C3} от 770 (определенной дилатометрически в недеформированной стали) до 750°C. Образовавшийся аустенит оказывается метастабильным, поскольку при увеличении выдержки его объемная доля уменьшается.

Высокое давление при деформации вызывает ускорение образования и увеличение доли метастабильного аустенита, но не влияет на время выдержки, приводящей к образованию его максимального количества.

Увеличение степени деформации в исследованных пределах приводит к снижению точки A_{C3} .

Доля аустенита в первые минуты выдержки должна быть пропорциональна количеству образовавшихся зародышей, т.е. мест зарождения. После деформации сдвигом и прокаткой с $e = 3.5$ твердость стали, отражающая плотность деформационных дефектов, была одинаковой. При этом в структуре после прокатки при равных размерах доля микрочастиц, а следовательно, и высокоугловых границ меньше, чем после сдвига. Значит, большая полнота превращения в стали, деформированной сдвигом под давлением, не может быть объяснена, как в [1], большей общей плотностью дефектов. После сдвига с $e = 6.5$ микрочастицы в 3 раза мельче, чем после сдвига с $e = 3.5$, и аустенита образовалось больше. Следовательно, полнота превращения соответствует плотности высокоугловых границ в исходной структуре.

Степень деформации и давление не оказывают существенного влияния на растворение карбидной фазы при изотермической выдержке в МКИ. Обогащение аустенита углеродом, проходящее с увеличением выдержки, приводит к более высокой твердости закаленной стали при равной объемной доле мартенсита (рис. 2) и появлению остаточного аустенита после выдержки 30 min и более.

В ряде работ, например [1], обнаружено, что предварительная холодная деформация приводит к снижению температуры A_{C1} .

Температура начала образования аустенита в стали 30ХГСН2А, определенная dilatометрическим методом, составила 715°C. Образцы нагревали при 720; 710 и 700°C с выдержками от 1.5 до 240 min и последующей закалкой в воде. Сравнивали развитие превращения при изотермическом нагреве стали 30ХГСН2А после следующих обработок: 1 – улучшения без деформации; 2 – улучшения и перекрестной прокатки с $e = 3.5$; 3 – закалки на мартенсит, гидроэкструзии с противодавлением с $e = 0.6$ и отпуска при 200°C, 60 min; 4 – улучшения и сдвига под давлением с $e = 6.5$. Дефектность структуры оценивали по твердости стали, которая после исходных обработок составляла соответственно 2.7; 4.5; 5.4 и 7 GPa.

Аустенит образуется при изотермической выдержке как выше, так и ниже температуры A_{C1} , определенной dilatометрически, независимо от исходной обработки. Образованию аустенита в изотермических условиях всегда предшествует инкубационный период. С увеличением степени деформации инкубационный период уменьшается, а при снижении температуры существенно увеличивается (таблица).

При 710–720°C в деформированной стали, содержащей большую плотность дефектов, аустенит образуется быстрее и в большем количестве (особенно после обработки 4), чем в недеформированной. Снижение температуры

Изменение объемной доли аустенита (%) в стали 30ХГСН2А в процессе изотермической выдержки вблизи температуры A_{C1}

Температура изотермической выдержки, °С	Обработка	Продолжительность выдержки, min			
		1.5	10	60	240
720	1	0	0	20	20
	2	0	10	30	–
	3	0	5	25	25
710	1	–	0	< 1	5
	2	–	< 1	7	10
	3	–	< 1	7	10
	4	–	5	10	10
700	1	–	0	< 1	< 1
	2	–	0	< 1	< 1
	3	–	0	< 1	< 1
	4	–	< 1	< 1	< 1

нивелирует этот эффект. При 700°С во время инкубационного периода, превышающего 10 min, деформированная (обработки 2 и 3) сталь рекристаллизуется, и к началу образования аустенита дефектность структуры понижается до близкого уровня. Обработка 4 обуславливает после такого нагрева рекристаллизованную структуру с ферритным зерном размером 0.5 μm . В стали с такой субмикроструктурой инкубационный период образования аустенита заметно короче (таблица). Однако, независимо от исходной обработки, объемная доля аустенита, образовавшегося при 700°С, составляет около 1%. При температуре ниже 700°С образование аустенита не обнаружено.

Таким образом, приложение высокого квазигидростатического давления при деформации увеличивает полноту α - γ -превращения при нагреве в МКИ, тем самым приводя к снижению точки A_{C3} . В условиях изотермического нагрева предварительная деформация под высоким давлением не влияет на температуру начала образования аустенита A_{C1} .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 04-03-96132 и гранта поддержки ведущих научных школ НШ-778.2003.

1. С.С. Дьяченко, Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах, Металлургия, Москва (1982).
2. Т.И. Чащухина, М.В. Дегтярев, Л.М. Воронова, Л.С. Давыдова, В.П. Пилюгин, ФММ 87, № 1, 64 (1999).
3. Т.И. Чащухина, М.В. Дегтярев, Л.М. Воронова, Л.С. Давыдова, В.П. Пилюгин, ФММ 91, № 5, 75 (2001).

M.V. Degtyarov, T.I. Chashchukhina, L.M. Voronova

EFFECT OF HIGH PRESSURE AT PRELIMINARY COLD DEFORMATION OF STEEL 30XГCH2A ON AUSTENITE FORMATION IN INTERCRITICAL TEMPERATURE RANGE

Effect of high pressure at preliminary deformation on austenite formation upon heating the deformed steel 30XГCH2A in the intercritical temperature range (ITR) has been investigated. Deformation under high pressure ensures a high density of sites for austenite origination, i.e. the large-angle incoherent grain boundaries, thus increasing the rate and completeness of transformation. As a result, the temperature A_{C3} seems decreasing. During the isothermal heating the preliminary deformation under high pressure does not influence the temperature of initial austenite formation (A_{C1}).

Fig. 1. Influence of the initial state of steel 30XГCH2A on kinetics of austenite formation at 750°C: • – no deformation; ◆ – rolling with $e = 3.5$; ◇ – shear with $e = 3.5$; Δ – shear with $e = 6.5$

Fig. 2. Hardness of the ITR quenched steel 30XГCH2A of different initial state: • – no deformation; ◆ – rolling with $e = 3.5$; ◇ – shear with $e = 3.5$; Δ – shear with $e = 6.5$