

УДК 539.43

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ ВАНАДИЙСОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОАЗОТИСТЫХ СТАЛЕЙ

Наркевич Н. А., Гальченко Н. К.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия,
root@ispms.tomsk.ru

Пластичность является одной из важнейших характеристик технологических свойств материала. При разработке принципов регулирования пластичности необходимо учитывать следующие аспекты: во-первых, влияние множества структурообразующих факторов на поведение материала при последующей пластической деформации; во-вторых, влияние собственно условий деформирования – температуры, скорости, технологической схемы и т.д. Выяснению влияния различных режимов дисперсионного твердения на пластичность высокоазотистых сталей, а также определению температурно-скоростных условий деформирования, позволяющих существенно ее повышать, посвящена эта работа.

Испытаниям подвергались высокоазотистые аустенитные хромомарганцевые стали, содержащие разное количество ванадия и азота, хим. состав в мас.% приведен в таблице:

	сталь	C	Cr	N	Mn	Si	V	S	P
1.	X17AG18F2	0,22	19,6	0,8	19,71	0,83	1,92	0,006	0,02
2.	X17AG18F3	0,24	19,8	0,92	21,3	0,69	2,52	0,007	0,03
3.	X17AG18F5	0,51	18,6	1,14	18,98	1,22	4,7	0,008	0,03

Пластичность оценивали по относительному удлинению δ плоских образцов при испытаниях на растяжение в температурном интервале 900-1000⁰С. Коэффициент скоростной чувствительности напряжения течения m определяли по методу Бэкофена, ступенчато изменяя скорость деформирования в диапазоне $5 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-1} \text{ с}^{-1}$. Предварительной обработкой задавали структуры, различающиеся объемной долей нитридной фазы: в деформированном состоянии с первичными нитридами ($\leq 5\%$) и после механотермической обработки ($\approx 30\%$).

Анализ деформируемости стали X20AG20F3 после механотермической обработки, формирующей структуру с непрерывно выделившимися частицами нитридов хрома и ванадия, показал, что зависимость пластичности от температуры испытаний имеет вид кривой с максимумом, рис.1.

Предел прочности с увеличением температуры испытаний непрерывно падает. Сочетанию высоких значений пластичности ($\delta = 240\%$) и предела прочности ($\sigma_b = 580 \text{ МПа}$) соответствует температура испытаний 950⁰С. Исследовано изменение высокотемпературной пластичности сталей от содержания ванадия и азота, и, следовательно, объемной доли нитридной фазы. Повышение содержания ванадия от 1,92 до 4,7% и азота от 0,8 до 1,14% повышает пластичность от 42 до 157,3% в случае испытаний предварительно деформированных сталей и от 43 до 239% при испытаниях сталей после механотермической обработки, рис.2.

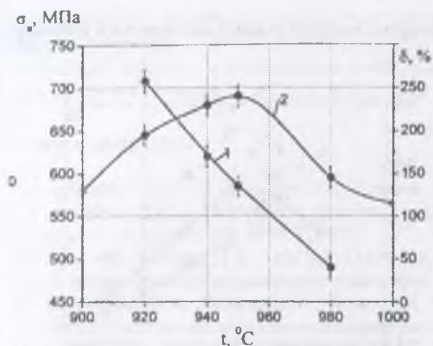


Рис.1 Зависимость механических свойств стали X20AG20F3, предварительно закаленной от 1100°C, прокатанной с обжатием $\epsilon = 50\%$ и состаренной при 700°C в течение 1 часа от температуры испытаний.

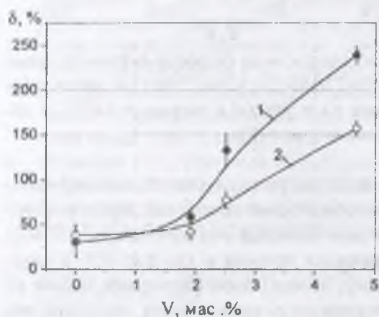


Рис.2 Зависимость относительного удлинения δ высокоазотистых сталей, испытанных при 950°C, после обработок по схемам: закалка от 1100°C+холодная прокатка с $\epsilon = 50\%$ – о и закалка от 1100°C+холодная прокатка с $\epsilon = 50\%$ + старение при 700°C в течение 1 часа – • от содержания в них ванадия.

В наибольшей мере эффект сверхпластичности выражен в стали X20AG20F5. При низких температурах деформирования, исключающих рекристаллизацию, увеличение объемной доли нитридных фаз в высокоазотистых сталях приводит к повышению прочностных характеристик (предела прочности, предела текучести, коэффициента деформационного упрочнения) и снижению пластичности [1,2]. Согласно [3], увеличение объемной доли упрочняющей дисперсной фазы обеспечивает высокую прочность двухфазных сплавов при низких температурах формоизменения и проявление эффекта сверхпластичности при горячей деформации. В нашей работе в исследуемых материалах предварительной обработкой задавалась структура с различной объемной долей частиц нитридов. В первом случае в холоднодеформированных сталях их объемная доля не превышала 5%. Это первичные частицы нитридов ванадия, размерами 0,15-0,8 мкм, образующиеся при охлаждении слитков и не растворяющиеся при последующей термообработке. В процессе холодной прокатки с обжатием $\epsilon = 50\%$ формируется дислокационная структура с высокими непрерывными и дискретными разориентировками в аустенитной матрице, содержащей множество деформационных двойников [4,5], при этом в структуре нитридов ванадия наблюдались лишь отдельные дислокации. Во втором случае холоднодеформированные стали старили, при этом формировалась ультрамелкозернистая структура с размерами аустенитных зерен ≤ 3 мкм с первичными частицами нитридов ванадия и вторичными выделениями глобулярных частиц нитридов хрома и ванадия. В результате такой обработки объемная доля нитридных частиц увеличивается до $\approx 30\%$. В работах [6,7] показано, что после длительного, порядка 100 часов, отжига такая структура подобна «микродуплексной». Эффект сверхпластичности в исследуемых сталях проявляется при определенных температурно-скоростных условиях деформирования. Оптимальная скорость деформирования, соответствующая макси-

мальному значению m , с увеличением содержания ванадия и азота сдвигается в сторону ее увеличения, рис.3.

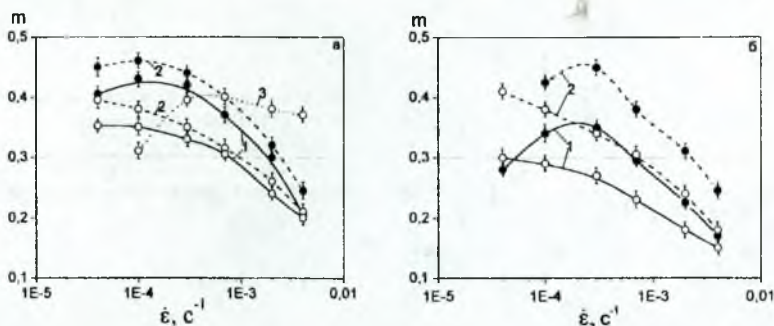


Рис.3 Зависимость показателя скоростной чувствительности m от скорости деформирования при 900°C – о, 950°C – • сталей X20AG20Ф2 (1), X20AG20Ф3 (2), X20AG20Ф5 (3), обработанных по схемам: закалка от 1100°C + холодная прокатка с $\epsilon = 50\%$ (а) и закалка от 1100°C + холодная прокатка с $\epsilon = 50\%$ + старение при 700°C в течение 1 часа (б).

Выявленные закономерности касаются ванадийсодержащих сталей, как деформационноупрочненных, так и подвергнутых механотермической обработке перед высокотемпературными испытаниями. Полученные высокие значения пластичности (до 239%) и показателя скоростной чувствительности напряжения течения m (до 0,45-0,5) в ванадийсодержащих сталях обусловлены, по-видимому, несколькими факторами, одним из которых является повышенная диффузионная подвижность атомов азота, имеющих малый радиус атома и занимающих позиции внедрения в решетке аустенитной матрицы. Кроме того, диффузионные процессы наиболее полно и эффективно протекают в этих материалах в силу самой природы дисперсноупрочненных сталей, в которых при деформировании возникают более значительные напряжения, чем в однофазных материалах [3], причем, с увеличением объемной доли нитридной фазы увеличивается протяженность межфазных границ, что обуславливает действие значительных напряжений. На заключительной стадии сверхпластической деформации по границам раздела матрица-нитрид из-за существенных различий в их механических свойствах образуются поры. Возможно, появлени пор обеспечивает условия для более легкого, чем в сплошном поликристалле, зернограницного проскальзывания [6,8], хотя, по данным [9], проскальзывание по межфазной большешугловой границе возможно и соответствует классическим представлениям о механизмах деформации.

На основании исследования деформационного рельефа можно предположить, что одним из главных процессов, обеспечивающих основной вклад в общее удлинение, является зернограницное проскальзывание и проскальзывание по межфазным границам. Величина межзеренного сдвига в зоне разрушения, определенная по разности фокусировки на соседние зерна, составляет 1-2 мкм, то есть по величине соизмерима с размерами самих зерен.

Резюмируя, можно сказать, что максимальные значения пластичности в ванадийсодержащих аустенитных высокоазотистых сталях получаются при температуре деформирования 950°C. Проявление эффекта сверхпластичности выражается тем больше, чем больше объемная доля дисперсных частиц нитридной фазы. Относительное удлинение δ и величина показателя скоростной чувствительности напряжения течения m в стали, предварительно состаренной выше, чем в случае развития дисперсионного твердения непосредственно в процессе высокотемпературного деформирования. По-

видимому, это связано со стабилизирующим величину зерна влиянием частиц нитридов, выделяющихся при старении при 700^oС. При 950^oС рекристаллизация значительно опережает процесс дисперсионного твердения, инкубационный период зарождения нитридов значительно больше, а скорость их роста меньше, чем при 700^oС.

Список литературы

1. Дубовик Н.А., Зуев Л.Б., Пак В.Е. Влияние режимов механотермической обработки на коэффициент деформационного упрочнения аустенитных сталей с азотом // Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. №12. С.35-37.
2. Зуев Л.Б., Дубовик Н.А., Пак В.Е. О природе упрочнения высокоазотистых сталей на основе железохромомарганцевого аустенита // Изв. вузов. Черная металлургия. №10. С.61-64.
3. Шоршоров М.Х., Тихонов А.С., Булат С.И., Гуров К.П., Надирашвили Н.И., Антипов В.И. Сверхпластичность металлических материалов. М.:Наука. 1973. 220 с.
4. Дубовик Н.А., Зуев Л.Б. Эволюция дислокационной структуры в высокоазотистых аустенитных сталях // Изв. вузов. Черная металлургия. 1992. №4. С.34-37.
5. Литовченко И.Ю., Тюменцев А.Н., Линжин Ю.П., Гирсова С.Л., Нестеренков В.А., Овчинников С.В., Строкатов Р.Д., Дубовик Н.А. Особенности переориентации кристаллической решетки и механизм локализации деформации в высокоазотистых аустенитных сталях в условиях их фазовой нестабильности в полях неоднородных напряжений // Физическая мезомеханика. 2000. Т.3 №3 С.5-14.
6. Гальченко Н.К., Строкатов Р.Д., Радашин М.В. Сверхпластичность высокоазотистых аустенитных сталей // Металлы. 1999. №3. С.91-94.
7. Полетика И.М., Суховаров В.Ф., Панин В.Е., Тимофеев В.Н. Исследование процессов распада и рекристаллизации в высокоазотистых хромоникелевых сталях // ФММ. Т.57. 1984. С.981-984.
8. Кузнецова Р.И., Жуков Н.Н. Порообразование при сверхпластичности // ФММ. 1977. Т.44. вып.6. С.1277-1281.
9. Джифинс Р.К. Атомный механизм разрушения. М.:Металлургиздат. 1963. 593 с.

УДК 669.0.46.539.382.2.

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ СОСТОЯНИЙ КОТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Пискаленко В. В., Конева Н. А.*, Зуев Л. Б.**, Данилов В. И.**, Целлермайер В. Я., Громов В. Е., Коновалов С. В.

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия,
gromov@physics.sibsu.ru*

** Томский Государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, Томск*

*** Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
Россия, Томск*

Решение проблемы надежной безотказной службы теплоэнергетического оборудования имеет важное народно-хозяйственное значение. Для этого необходим постоянный неразрушающий контроль за дефектами и их развитием. Деградация механических свойств металла при эксплуатации определяется изменениями в структурно-фазовых состояниях.