

Рис. 2. Исходно кристаллическая структура пластинчатого мартенсита

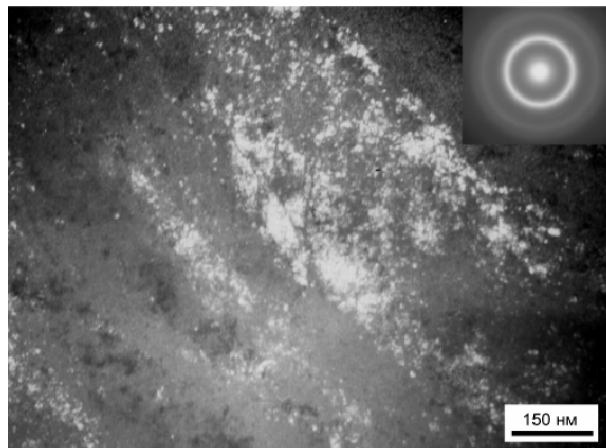


Рис. 3. В2-фаза в полосах сдвига

Полученные результаты могут быть объяснены в рамках предложенной ранее модели суперпозиции различных каналов диссипации упругой энергии в процессе МПД [5], а также наличия прямых и обратных термоупругих мартенситных превращений.

Авторы выражают благодарность А.В. Шелякову за выплавку изученного сплава и Е.А. Печиной за помощь в проведении механических испытаний в камере Бриджмена.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-02-00693) и программы Минобрнауки РФ «Научные и научно-образовательные кадры инновационной России» (проект № 2291).

Список литературы

1. Г. И. Носова, Шалимова А. В., Сундеев Р. В., Глезер А. М., Панкова М. Н., Шеляков А. В. // КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, 2009, том 54, № 6, с. 1111-1118
2. Шелехов Е.В., Свиридова Т.А. // МиТОМ. 2000. № 8.С. 16.
3. Rosner H., Schlobmacher P., Shelyakov A.V., Glezer A.M., // Materials Transactions. 2001. V.42. № 8. P. 1758
4. Potapov P.L., Shelyakov A.V., Schryvers D. // SCRIPTA MATER, 2001. V.44. P. 1.
5. Глезер А.М. // Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51. № 5.С. 36.

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СТАЛЕЙ: ВЫБОР СОСТАВОВ И РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ

Капуткина Л. М., Прокошкина В. Г., Свяжин А. Г.

НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

klm@tmo.misis.ru

В настоящее время активно разрабатывается новое направление в металлостроении – высокоазотистые стали [1–4]. Азот, как упрочняющий элемент, эффективнее, чем углерод и придает стали уникальные свойства, недостижимые с помощью других легирующих элементов. В ряде случаев азотом можно заменить никель и сделать сталь более дешевой, сохранив специальные свойства (немагнитность, коррозионную стойкость). Возможности повышения свойств стали с помощью азота еще далеко не изучены.

Насыщение жидкой стали азотом осуществляется следующими способами: переплав в плазменной печи; литьё с противодействием азота; электрошлаковый переплав под давлением; плавка в индукционной печи под давлением. В индукционных печах можно создавать давление азота над расплавом до 100 атм., что даёт «пересыщение» азотом в 10 раз по сравнению с содержанием его в стали, полученной при нормальном давлении. Достаточно несложным способом, не требующим специального оборудования, является выплавка сталей с равновесным при атмосферных условиях содержанием азота, но при этом можно ввести в сталь не более 0.10 – 0.15% масс. азота. Получение высокого содержания азота в этом случае возможно, если сталь высоколегированная, за счёт повышенного количества нитридообразующих элементов (Cr, V, Nb, Mn и др.), когда в качестве шихтовых материалов используются азотированные ферросплавы (Fe–Cr, Fe–Mn, Fe–V и др.) или металлы. Себестоимость таких сталей очень высока, поэтому их промышленное использование ограничено.

Фиксируемый в слитке азот в зависимости от состава стали и скорости охлаждения распределяется между различными фазами (рис.1). Но даже при весьма высоких скоростях охлаждения, более 10^3 К/с, выделяются нитриды. Их количество тем выше, чем больше общее содержание азота и меньше скорость охлаждения [2] .

Чем больше нитридов и выше температура их выделения, тем они крупнее и менее растворимы при последующих обработках – нагревах, то есть избыточное количество азота нежелательно.

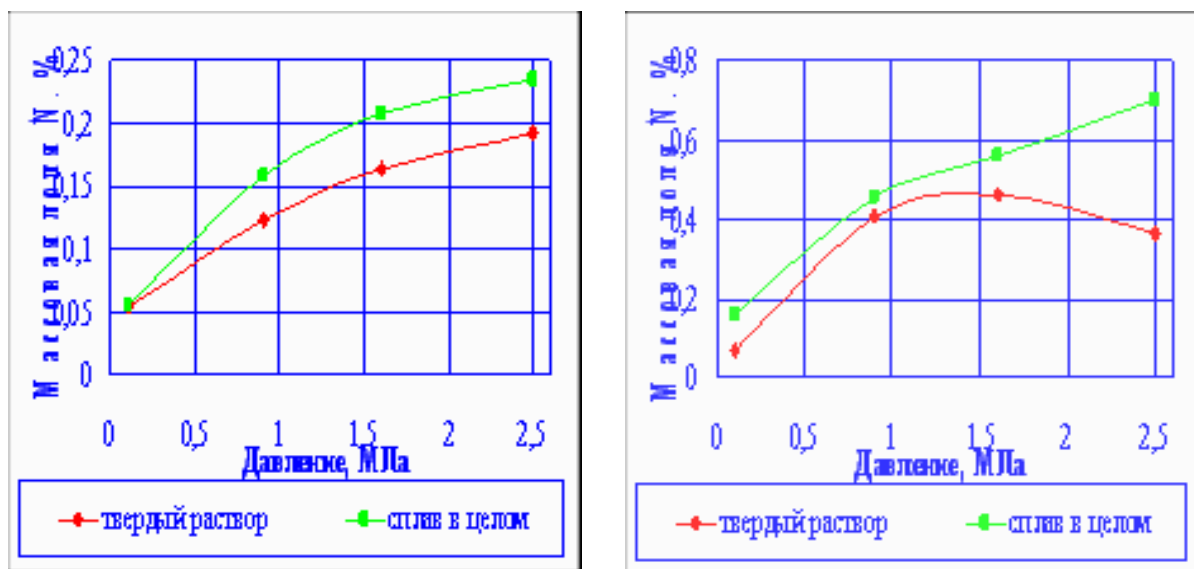


Рис. 1. Распределение азота в литой стали. Скорость охлаждения слитка $\geq 10^3$ К/с.
а – Fe–N, б – Fe–15,6%Cr–10,6%Ni–N

Термомеханическая обработка в наиболее распространенном варианте, особенно для азотистых сталей, включает горячую и реже холодную (теплую) деформацию. Для расчета нагрузок на деформирующее оборудование и анализа механического поведения используют диаграммы горячей деформации. По этим данным выбирают рациональные режимы термомеханической обработки.

Диаграммы горячей деформации промышленных азотсодержащих сталей различного состава и назначения без фазовых превращений носят обычный характер: сопротивление деформации растёт с повышением скорости деформации и снижением температуры деформации; наличие максимума не является обязательным признаком рекристаллизации [5]. Азот при прочих равных условиях повышает сопротивление де-

формации, поднимая уровень напряжений. При одинаковом базовом составе стали, легированные азотом, характеризуются более высоким уровнем напряжений на IV стадии деформации и, соответственно, более мелким рекристаллизованным зерном.

Азотсодержащие стали – это обычно легированные или микролегированные стали. С повышением температуры деформирования возрастает доля растворившихся карбонитридов Cr, V, W и других элементов, снижающих скорость диффузии и повышающих сопротивление деформации, что приводит к ускорению процессов разупрочнения.

Протекание деформационного старения, особенно при малых скоростях деформации, и выделение карбидов и карбонитридов в ходе горячей деформации легированных азотсодержащих сталей, ведет к снижению сопротивления деформации, появлению на диаграмме площадки текучести и нарушению температурно-скоростных зависимостей. Ранние стадии старения благоприятны для получения высокой прочности после закалки сталей, но могут привести к уменьшению вязкости и коррозионной стойкости, что следует учитывать.

Структура горячедеформированных азотсодержащих сталей отличается более высокой плотностью дислокаций, более широкими и несовершенными границами субзерен [6]. Регулярная полигонизованная субструктура аустенита максимально уменьшает количество крупных пакетов и кристаллов мартенсита, вызывает фрагментацию кристаллов, смещает к более высокотемпературному морфологическому типу.

Заключительной операцией термической обработки азотсодержащих сталей также является старение или отпуск. Особенностью азотсодержащих сталей является возможность разделения температурных интервалов выделения различных нитридов и карбонитридов. Поэтому выбор режимов старения зависит от того, какие конкретно частицы желательны (рис.2).

Азот повышает термическую стабильность структуры и свойств закаленных сталей. Стали, легированные азотом, более пригодны для термомеханического упрочнения.

Построены диаграммы конструкционной прочности для большого числа исследованных азотистых сталей после различных вариантов обработок [6], позволяющие подобрать лучший состав стали и обработку в зависимости от требуемых свойств. Например, для хромоникелевых мартенситных коррозионностойких сталей типа X15N5 промышленной выплавки с небольшим содержанием ($\approx 0,12\%$) азота максимальной прочности, достигаемой после холодной деформации сталей ($\sigma_{0,2} = 1600\text{--}2000$ МПа), соответствует минимальная пластичность ($\delta \leq 15\%$); максимальная пластичность ($\delta = 50\text{--}70\%$) достигается на аустенитных сталях при небольшой прочности ($\sigma_{0,2} = 250\text{--}400$ МПа). На аустенитно-мартенситных сталях (07X16N6 и 15X15N4AM3) после ВТМО с горячей деформацией прокаткой и старения достигаются высокие показатели прочности ($\sigma_{0,2} = 900\text{--}1200$ МПа) и пластичности ($\delta = 25\text{--}35\%$). При этом уровень прочности примерно на 200 МПа выше в случае легирования азотом при примерно тех же показателях пластичности, несмотря на меньшее содержание никеля.

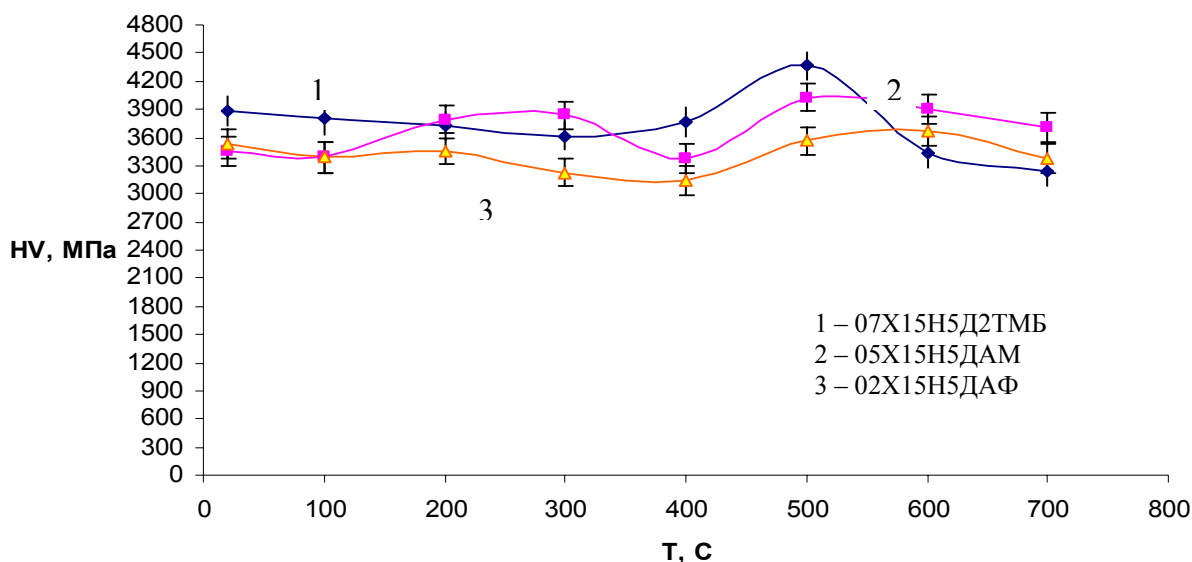


Рис. 2. Изменение твердости от температуры нагрева закаленных азотсодержащих сталей 02X15H5ДАФ (0,12%N) и 05X15H5ДАМ (0,20%N) и безазотистой стали 07X15H5Д2ТМБ

Показано, что упрочнение за счет ВТМО мартенситных сталей эффективнее, чем применение холодного наклепа, т.к. позволяет сохранить достаточный уровень пластичности. Аустенитные и аустенито-мартенситные стали могут быть упрочнены холодным наклепом, особенно если в ходе нагружения развивается в несильной степени мартенситное превращение, которое позволяет сохранить большой запас пластичности. Однако и в этих случаях рациональнее ВТМО. В результате ВТМО достигаемый уровень прочности аустенитно-, мартенситно- и двухфазных стареющих азотсодержащих сталей в 1,5–2 раза выше, чем аналогичных безазотистых, при той же пластичности и вязкости и повышенной теплостойкости.

Список литературы

1. Лякишев Н.П., Банных О.А. Новые конструкционные стали со сверхравновесным содержанием азота. // Перспективные материалы. 1995. №1. С. 73 - 82.
2. Капуткина Л.М., Свяжин А.Я., Прокошкина В.Г., Киндоп В.Э., Улунцев Д.Ю. Мартенситное превращение и процесс старения в хромоникелевых сталях с азотом. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. №1, С.20-24.
3. Костина М.В., Банных О.А., Блинов В.М. Особенности сталей, легированных азотом. // МиТОМ. 2000. №12. С. 3-6.
4. V.G.Prokoshkina, L.M.Kaputkina, Yu.I. Lojnikov. Peculiarities of deformation and structure formation in nitrogen-containing steels of various structural kinds. Journal of materials proceeding technology, vol.125 (2002), pp.97-102.
5. L.M.Kaputkina, V.G.Prokoshkina, Yu.I. Lojnikov. Hot Strain Diagrams, Strengthening and Recrystallization of Nitrogen Alloyed Steels. /Materials Science Forum Vols.467-470 (2004) pp. 281-286.
6. Л.М. Капуткина, В.Г. Прокошкина. Особенности строения и превращений при деформации и отпуске термомеханически упрочненных азотистых сталей. //Развитие идей академика В.Д. Садовского. Сб. трудов. - Екатеринбург, 2008. С.254-272.