



Influence of mechanical vibrations under low-temperature nitriding on the characteristics of hardening layer of steels of various levels of alloying is examined.

С. Е. БЕЛЬСКИЙ, А. И. СУРУС, БГТУ

УДК 621.785.532

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ И СТРУКТУРУ УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Анализ результатов ряда исследований [1, 2] применения механических колебаний в различных технологических процессах и их влияния на кинетику диффузии легирующих элементов в стали показал, что высокочастотные механические колебания могут быть фактором, способствующим эффективному упрочнению металлических материалов методами химико-термической обработки. Поэтому для разработки технологического процесса упрочнения ответственных деталей машин, работающих в условиях интенсивного изнашивания, коррозии и сложного циклического нагружения, исследовано влияние параметров знакопеременных колебаний при различных температурно-временных режимах упрочнения на образование и свойства поверхностного слоя различных марок конструкционных сталей.

Эксперименты проводили при времени обработки от 0,5 до 5 ч по двум схемам: с вводом в расплав азотсодержащих солей высокочастотных механических колебаний различной частоты и без них. Установлено, что использование дополнительной энергии знакопеременных колебаний обеспечило повышение твердости во всем исследованном нами временном диапазоне (рис. 1). Величина прироста твердости зависит как от схемы обработки, так и от частоты используемых колебаний. Следует отметить, что применение колебаний снижает негативное влияние превышения оптимального времени процесса насыщения (2,0–2,5 ч).

При использовании аналогичных режимов и схем обработки повышенное содержание легирующих элементов в сталях способствовало увеличению твердости получаемого поверхностного слоя. Так, максимальная поверхностная твердость при использовании колебаний частотой 18 кГц, вводимых в расплав, на сталях 38ХМЮА, 40Х, 30ХГТ выше аналогичного показателя стали 45 соответственно на 35–40, 30–35 и 25–30 %. Применение колебаний примерно в равной степени повышает поверхностную твердость исследуемых материалов.

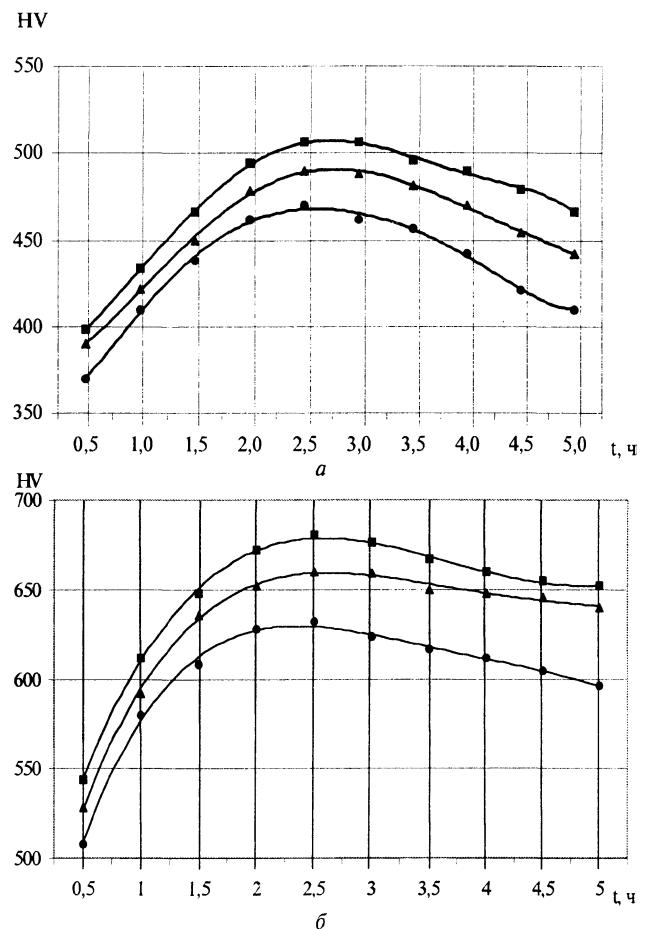


Рис. 1. Влияние времени, схемы упрочнения и частоты колебаний на поверхностную твердость стали 45 (а) и стали 40Х (б) при температуре обработки 843 К: ● — без использования колебаний; ▲ — с вводом колебаний в расплав (3 кГц); ■ — с вводом в расплав (18 кГц)

С увеличением времени обработки наблюдался рост общей толщины упрочненного слоя (рис. 2, 3). На более легированных сталях толщина слоя получается меньшей. Так, при обработке стали 45 в течение 1,5–3,0 ч без использования дополнительной энергии колебаний толщина слоя составляет 200–290 мкм, а на стали 40Х — 180–250 мкм.

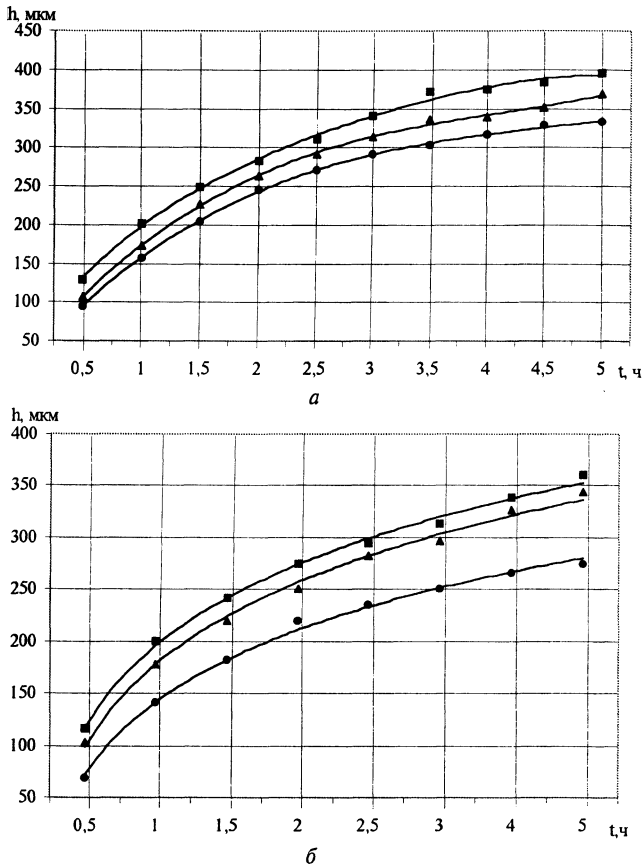


Рис. 2. Влияние времени упрочнения, частоты колебаний и схемы обработки при температуре 843 К на толщину диффузионного слоя стали 45 (а) и стали 40Х (б): ● — без использования колебаний; ▲ — с вводом колебаний в расплав (3 кГц); ■ — с вводом в расплав (18 кГц)

Еще медленнее происходит нарастание толщины слоя на стали 38ХМЮА. С увеличением времени обработки свыше 3 ч рост толщины слоя резко замедляется, особенно у легированных сталей.

При использовании колебаний частотой 3 кГц, времени обработки 2,5 ч и температуры 843 К на стали 40Х образовывался упрочненный слой толщиной 260 мкм, а при частоте 18 кГц — толщиной 300 мкм, в то время как при их отсутствии — только слой толщиной 230 мкм.

Диффузионный слой на стали 20Х увеличился от 210 до 270 мкм при использовании колебаний частотой 18 кГц, вводимых в расплав, и времени обработки 2 ч, и микротвердость поверхности повысилась от 4500 до 5200 МПа. Пониженное содержание углерода в стали 20Х обеспечивает интенсивную диффузию азота по всему поверхностному слою. Сталь Х18Н9 азотируется плохо, поскольку диффузия азота в γ -железе протекает во много раз медленнее, чем в α -железе. Однако использование колебаний и в этом случае ускоряет диффузию, вероятно, за счет увеличения градиента концентрации легирующих элементов по глубине материала в результате активации поверхности, поэтому общая толщина упрочненного слоя возрастает в 1,25–1,35 раза; следова-

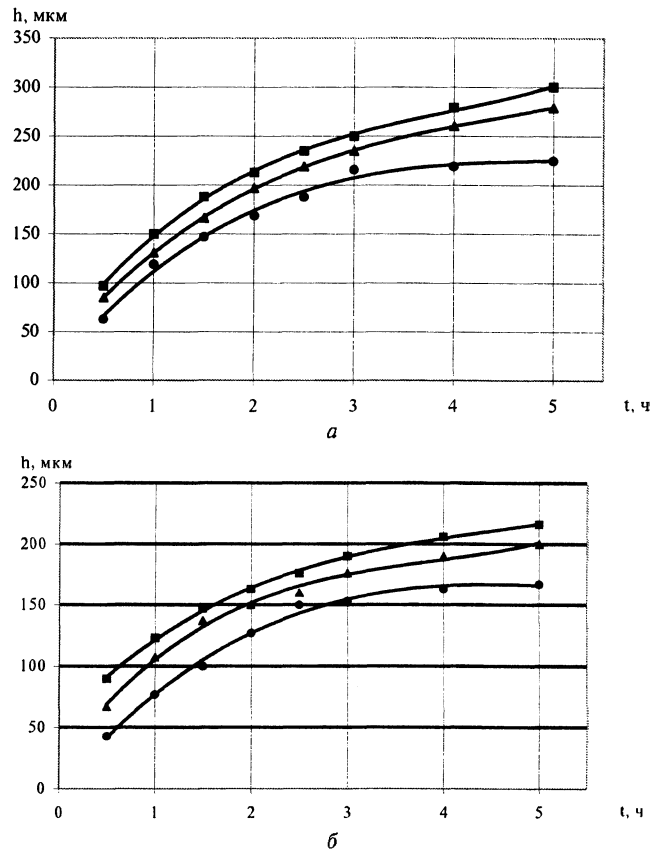


Рис. 3. Влияние времени упрочнения, частоты колебаний и схемы обработки при температуре 843 К на толщину диффузионного слоя стали 38ХМЮА (а) и стали Х18Н9 (б): ● — без использования колебаний; ▲ — с вводом колебаний в расплав (3 кГц); ■ — с вводом в расплав (18 кГц)

тельно, расширяются возможности поверхностного упрочнения и высоколегированных сталей. Повышение толщины слоя наиболее характерно для легированных сталей при значительном времени обработки (4,0–5,0 ч), что может быть объяснено интенсификацией как физико-химических процессов в расплаве, так и диффузии в стали. Таким образом, применение энергии знакопеременных колебаний обеспечивает существенный прирост как глубины упрочненного слоя, так и его поверхностной твердости, причем использование частоты 18 кГц оказалось более эффективным.

Анализ микроструктур показал, что поверхностные слои исследуемых сталей, подвергнутых упрочнению по рассматриваемым схемам, состоят из двух зон. На поверхности образуется белый тонкий нетравящийся слой (зона соединений), содержащий нитрокарбиды $Fe_3(N,C)$. Под ним находится основной диффузионный слой, представляющий собой твердый раствор азота в феррите.

Образование в поверхностном слое данных фаз объясняется относительно невысокой температурой процесса (823–843 К), которая ниже максимальной температуры существования γ -фазы в системе Fe–N (864 К), вследствие чего на

сталей образуется по существу азотированный слой, а углерод проникает на глубину лишь нескольких микрометров.

Поскольку нитрокарбидная зона в значительной степени влияет на поверхностную твердость, износостойкость и предел выносливости упрочненных деталей, изучена кинетика роста нитрокарбидного слоя в зависимости от технологических параметров процесса.

Так, на стали 40X, упрочняемой без применения колебаний при 823 К, зона соединений появлялась после выдержки 0,5 ч. За 5 ч процесса она возрастала до 11 мкм. Повышение температуры обработки до 833 и 843 К при выдержке 5 ч увеличивало нитрокарбидный слой соответственно до 14 и 20 мкм, что на 27 и 80% выше по сравнению с температурой 823 К. Такое увеличение толщины зоны соединений объясняется образованием значительного количества цианата натрия с интенсивным выделением атомарного азота в расплаве солей [3].

Аналогичные данные по кинетике роста нитрокарбидного слоя получены и для стали 38ХМЮА, азотированной по тем же технологическим параметрам. Таким образом, рост нитрокарбидного слоя этой стали происходит менее интенсивно и толщина его при всех режимах упрочнения значительно меньше, чем на стали 40X. Такое торможение процесса диффузии объясняется наличием в стали 38ХМЮА легирующих элементов (Cr и Mo), что значительно повышает растворимость азота в α -фазе и тем самым тормозит образование высокоазотистой фазы.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что для образования максимального нитрокарбидного и диффузионного слоев на исследуемых сталях, азотируемых в обычных условиях, наиболее предпочтительной является температура 843 К.

Для выбора оптимальной рабочей толщины нитрокарбидного слоя, а следовательно, и режима обработки особый интерес представляет исследование его структуры и плотности. Нитрокарбидный слой стали 40X, образовавшийся при температуре 843 К и выдержках 2,0 и 2,5 ч, имеет вид, как отмечено ранее, светлой нетравящейся полосы, без пористых включений. Но уже после 3-часовой выдержки в нем наблюдаются прерывистые поры, число которых значительно увеличивается с повышением продолжительности процесса до 5 ч. Нитрокарбидный слой стали 38ХМЮА, полученный при той же температуре, меньше по толщине и выглядит иначе. Если при времени азотирования в течение 2,0 и 2,5 ч слой еще прерывистый, то при 3-часовой выдержке он выглядит уже сплошным и беспористым и сохраняется таким вплоть до 5-часовой продолжительности процесса.

Исследования микроструктуры также показали, что с увеличением степени легированности материала в той части основной диффузионной зоны, которая примыкает к нитрокарбидной кромке после 3 ч процесса, появляются нитрокарбида в виде глобулей, игл, прожилков или сетки по границам зерен.

Проведение процесса по схеме с возбуждением колебаний частотой 3 кГц в расплаве солей приводило к возрастанию толщины карбонитридного слоя. Так, после 5-часовой выдержки при температуре 823 К нитрокарбидный слой стали 40X увеличился на 9 %, при 833 К – на 14 и при 843 К – на 20 %. С повышением частоты колебаний толщина слоя увеличивалась. Данные для стали 38ХМЮА, упрочненной в тех же условиях, качественно аналогичны, однако частота колебаний на скорость образования нитрокарбидного слоя этой стали влияет меньше, чем стали 40X.

Использование знакопеременных колебаний наряду с увеличением толщины поверхностного нитрокарбидного слоя обеспечивает повышение его плотности. Даже при времени обработки в течение 5 ч у обоих исследованных сталей не наблюдалось пор, включений и разрыхлений. Это можно объяснить интенсификацией под действием колебаний диффузии азота в глубь материала, что препятствует коагуляции нитрокарбидов $Fe_3(N,C)$. Дополнительное уплотняющее воздействие на поверхностный слой оказывает и протекающий в расплаве под воздействием колебаний процесс кавитации. Можно предположить, что подобный слой будет иметь повышенную износостойкость особенно в условиях сочетания статических и динамических нагрузок. Работоспособность нитрокарбидной зоны оценивается также пластичностью, которая зависит от концентрации азота и углерода, ее гомогенности. Как было отмечено ранее, присутствие в этой зоне γ -фазы (Fe_4N) повышает ее хрупкость [1, 4]. Образование такой фазы зависит от температуры обработки и может происходить при температурах ниже 823 К.

Исследование распределения микротвердости по глубине диффузионного слоя стали 40X при различных амплитудно-частотных параметрах и схемах процесса показывает, что понижение твердости идет постепенно на всех образцах и, таким образом, переход к основе стали имеет плавный характер, что свидетельствует о прочной связи упрочненного слоя с сердцевиной материала. Микротвердость по всему слою увеличивается при использовании знакопеременных колебаний. Следует отметить, что увеличение частоты от 3 до 18 кГц приводит к возрастанию микротвердости.

Таким образом, использование высокочастотных механических колебаний, вводимых в рас-

плав азотсодержащих солей, способствует существенному повышению твердости и толщины поверхностного слоя. В наибольшей степени активация процесса сказывается на формировании нитрокарбидного слоя, обеспечивая его повышенную плотность и толщину. Проведенные исследования [5, 6] показали, что эксплуатационные свойства поверхности, полученной после упрочнения с использованием колебаний по сравнению с упрочнением в обычных условиях, существенно возросли.

Литература

1. Лахтин Ю.М., Коган Л.Д. Азотирование стали. М.: Машиностроение, 1976.

2. Ангелов Г.О. и др. Применение ультразвука в промышленности. М.: Машиностроение, 1975.

3. Сурус А.И., Урбанек Ж.М., Пуровская И.В. и др. Влияние частоты механических колебаний на содержание компонентов в расплаве азотсодержащих солей и диффузию азота в сталь при ХТО // Тр. БГТУ. Мн., 1994. Вып. II, Сер. II.

4. Finner B. Änderungen der eigenschaten der bauteiloberfläche durch das badnitrieren. 1970. Bd. 24, S. 3–6.

5. Сурус А.И., Пыжик А.И., Боровский П.В. Повышение усталостной долговечности деталей лесных машин путем поверхностного упрочнения // Тр. БГТУ. Мн., 1994. Вып. II, Сер. II.

6. Довгяло И.Г., Дулевич А.Ф., Бельский С.Е. и др. Исследование износостойкости тяжело нагруженных деталей лесных машин, упрочненных низкотемпературной карбонитрацией // Тр. БГТУ. Мн., 1997. Вып. V, Сер. II.



ЛЕГИРУЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ И РУДЫ

На рынке металлического хрома

По данным фирмы "Eramet", спрос на металлический хром на мировом рынке снизился с 22–23 тыс. т в 2001 г. до 20 тыс. в 2002 г. Структура потребностей была следующей (%): производство специальных сплавов – 50, алюминиевых сплавов – 20, прочих сплавов – 20, прочей продукции, включая сварочный пруток, – 10.

В 2002 г. в общем спросе на металлический хром удельный вес Северной Америки составлял примерно 50%, Европы – 25%, Японии – 21%, прочих стран – 4%.

Как отмечает "Roskill's Letter from Japan", спрос на алюмотермический хром понизился из-за падения объема производства специальных хромовых сплавов, используемых в АРКП.

Цены металлического хрома на мировом рынке за последние несколько месяцев существенно понизились.

На западноевропейском рынке разовых сделок цены алюмотермического хрома (99%) в январе 2003 г. составляли 3500–3600 долл. за т франко-склад против 3800–4000 долл. в конце 2002 г.

Вместе с тем на японском рынке существенно возрос спрос на электролитический хром со стороны продуцентов электроники.

В Японии производство металлического хрома, по оценке, увеличилось с 1350 т в 2001 г. до 1550–1600 т в 2002 г., в основном в результате роста его производства компанией "NKK Materials", сумевшей увеличить его выпуск с 600 т в 2001 г. до 900 т в 2002 г.

Импорт металлического хрома в Японию в январе – ноябре 2002 г. уменьшился на 25% – до 2369 т. Падение отгрузок обусловлено более низким спросом на алюмотермический хром со стороны продуцентов специальных хромовых сплавов, используемых в производстве турбин и АРКП. Ввоз данного товара из КНР и Франции сократился на 18 и 30% соответственно.

Из России в январе – ноябре 2002 г. было ввезено 115 т (снижение по сравнению с тем же периодом 2001 г. на 39%), причем ввоз электролитического хрома оставался на неизменном уровне – примерно в 100 т. Это отражает более активный спрос на этот вид продукции. Его поставляет также фирма "Eramet Marietta" (США).