

## КИНЕТИКА АЗОТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ЛЕГИРОВАННОГО АРМКО-ЖЕЛЕЗА

Азотирование является одним из основных процессов химико-термической обработки, нашедшей широкое применение в промышленности.

Номенклатура азотируемых сталей определяется присутствием нитридообразующихся элементов, ответственных за повышение твердости в диффузионном слое. По степени средства элементов к азоту их можно расположить в следующем порядке: титан, алюминий, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь.

Наряду с легированием стали большой интерес представляет азотирование сталей, предварительно поверхностно-легированных нитридообразующими элементами. Интерес к этому методу вызван возможностью получения более высокого уровня эксплуатационных свойств по сравнению со свойствами диффузионных слоев, полученных при насыщении одним элементом. В частности, предложены процессы азотирования сталей, поверхностно легированных хромом /1/, титаном и алюминием /2-3/.

В настоящей работе для предварительного поверхностного легирования армко-железа были выбраны ванадий, алюминий и хром. Выбор этих металлов определялся возможностью получения в диффузионном слое мелкодисперсных, устойчивых против коагуляции нитридов, обладающих высокой твердостью. Диффузионные слои исследовались методом микроструктурного анализа. Насыщение аммиаком производилось при радиационном нагреве в потоке аммиака в интервале температур 600-900°C в течение 1; 3 и 6 часов.

Для удаления окисной пленки с поверхности образцов применялся четыреххлористый углерод ( $CCl_4$ ). Введение делассиватора осуществлялось пропусканием аммиака над поверхностью  $CCl_4$ . Вследствие высокой летучести четыреххлористого углерода его пары легко увлекаются азотирующим газом и доставляются к обрабатываемым деталям.

Делассиватор вводился при рабочей температуре печи 400-500°C в течение 2-3 мин.

**Ванадирование** производилось при температуре  $980^{\circ}\text{C}$  в течение 6 часов в контейнере с плавким затвором. Смесь для ванадирования имела следующий состав: 50% V, 48%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 2%  $\text{NH}_4\text{Cl}$ <sup>1</sup>. Глубина диффузионного слоя достигала 125 мк. Травление азотированного покрытия выявляет зону повышенной травимости с наиболее высокой твердостью. Однако эта зона является лишь частью диффузионного слоя, определяющей его твердость. За зоной высокой твердости располагается область высокоазотистого твердого раствора и выделений нитридов железа, практически не влияющих на твердость. При оценке глубины диффузионного слоя учитывалась только глубина его высокопрочной зоны. На ванадированном покрытии при проведении процессов азотирования в интервале температур  $600\text{--}900^{\circ}\text{C}$  глубина азотированного слоя лимитируется глубиной самого ванадированного слоя. При азотировании ванадированного покрытия получают достаточно пластичные, нехрупкие диффузионные слои, хорошо сцепленные с сердцевиной.

**Алитирование** производилось при температуре  $950^{\circ}\text{C}$  в течение 6 часов в смеси ферроалюминия и хлористого аммония. В результате на поверхности армо-железа образуется алитированный слой глубиной 120 мк. Для уменьшения концентрации алюминия на поверхности и увеличения толщины слоя были проведены диффузионные отжиги по различным режимам:  $950^{\circ}\text{C}$  - 2 и 4 часа;  $1000^{\circ}\text{C}$  и 5 часов. Максимальная глубина диффузионного слоя была достигнута отжигом  $1100^{\circ}\text{C}$  в течение 5 часов и составляла 320 мк.

В результате азотирования армо-железа, предварительно поверхностно легированного алюминием, образуется диффузионный слой, состоящий из нескольких частей: первая - хрупкая, но твердая, скалывающаяся зона, для которой характерно наличие пор в диффузионном слое; вторая часть после травления имеет структуру, аналогичную структуре алитированного слоя, но с высокой твердостью, третья часть представляет собой зону высокоазотистого твердого раствора с характерными включениями  $\text{Fe}_4\text{N}$ , выделившимися при охлаждении.

Аналогично азотированию ванадированного покрытия глубина азотированного слоя на техническом железе с алитированным покрытием не превышает глубины алитированного слоя. Полностью алитированное покрытие азотируется в течение 3 часов при температуре

<sup>1</sup>Ванадирование проведено в МАИ под руководством М.А.Карпмана и Д.Ф.Альтшудера

700°C.

Хромирование осуществлялось неконтактным методом вакуумно-диффузионной металлизации, обеспечивающим глубокое поверхностное насыщение. Для уменьшения концентрации хрома на

поверхности была произведена прокатка. Исследовались образцы с содержанием на поверхности 40% Cr, глубина хромированного слоя составляла 1,15 мм. При азотировании хромированного покрытия с повышением температуры и времени азотирования глубина темной зоны, являющейся высокопрочной частью диффузионного слоя, увеличивается.

При низких температурах насыщения аммиаком травлением удается выявить столбчатое строение высокопрочного слоя.

В настоящей работе исследовалось влияние режима химико-термической обработки на глубину и твердость азотированного слоя железа, поверхностно легированного хромом, алюминием и ванадием.

За глубину диффузионного слоя принимали зону повышенной твердости. На рис. I представлено изменение глубины

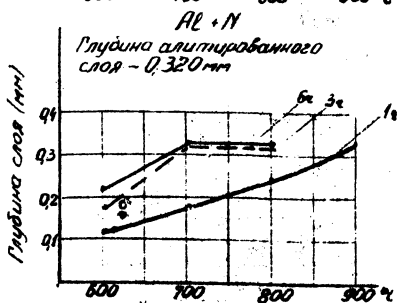
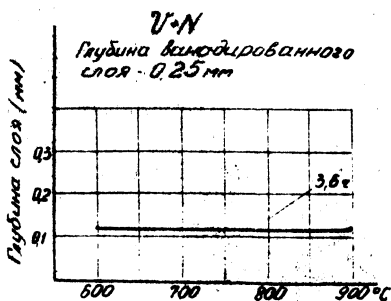
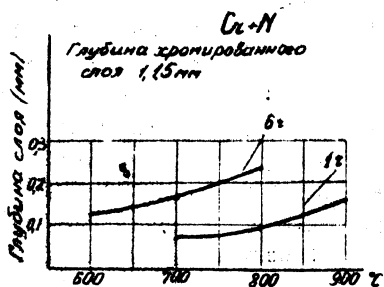


Рис. I. Влияние температуры и продолжительности азотирования на глубину диффузионного слоя

диффузионного слоя в зависимости от температуры и времени азо-

тирования. С повышением температуры и увеличением времени азотирования глубина диффузионного слоя на предварительно хромированном железе возрастает. Максимальная глубина слоя получена при 800°C в течение 6 часов и достигает 240 мк.

При азотировании азитированного армко-железа для одночасовых процессов глубина слоя увеличивается с повышением температуры. При шестичасовых и трехчасовых процессах глубина слоя с повышением температуры также растет. При 700°C в течение 3 часов азитированное покрытие азотируется полностью, и дальнейший рост температуры не приводит к увеличению высокопрочной зоны диффузионного слоя.

В случае ванадированных покрытий одночасовые выдержки привели к полному азотированию покрытия. При температуре азотирования 600°C и выдержке 1 час получен твердый диффузионный слой глубиной 120 мк, т.е. равный толщине ванадированного покрытия.

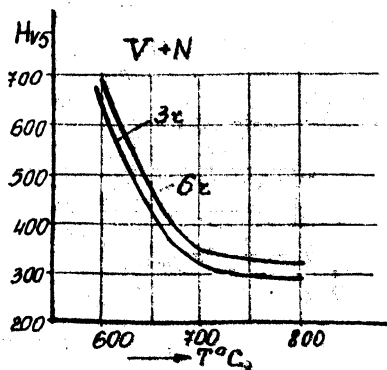
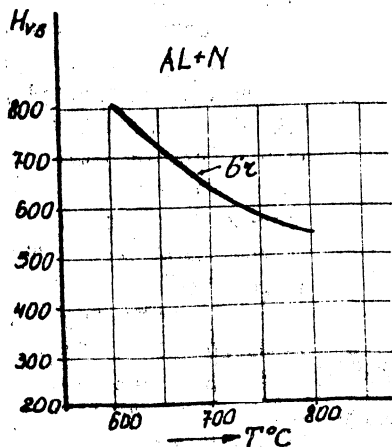
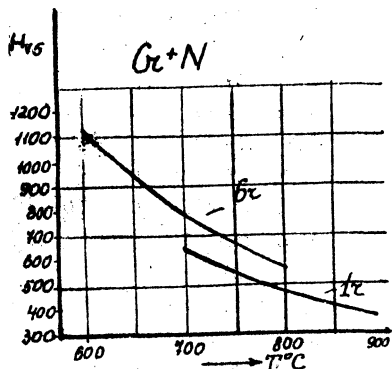


Рис. 2. Зависимость поверхностной твердости предварительно легированного армко-железа от режима азотирования

Азотирование приводит к повышению поверхностной твердости у всех предварительно легированных материалов (рис.2). Максимальная твердость достигается при температуре азотирования 600°C и с повышением температуры уменьшается.

Такой характер влияния температуры на поверхностную твердость может быть объяснен коагуляцией нитридов Cr, V и Al при повышенных температурах насыщения.

Максимальная поверхностная твердость получена при азотировании хромированного технического железа и составляет 1100 кг/мм<sup>2</sup>. Минимальная поверхностная твердость зафиксирована при азотировании ванадиевого покрытия (700 кг/мм<sup>2</sup>). Низкая твердость азотированного алитированного покрытия на армко-железе (800 кг/мм<sup>2</sup>) может быть объяснена пористостью и хрупкостью периферийной части

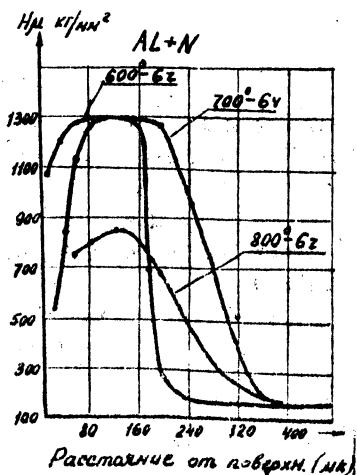
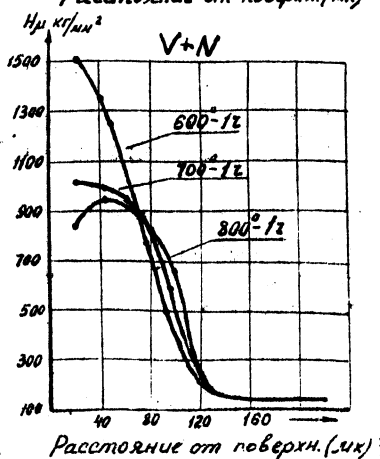
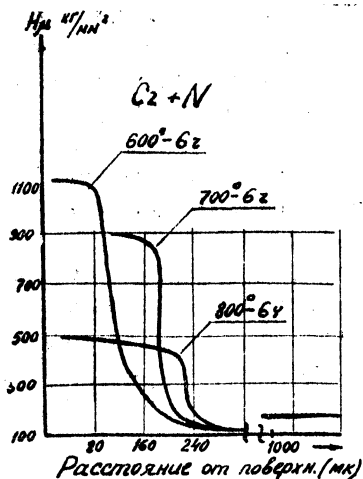


Рис.3. Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя

диффузионного слоя. Данные поверхностной твердости позволяют заключить, что нитриды ванадия обладают более низкой стойкостью против коагуляции по сравнению с нитридами алюминия и хрома, более резкое падение поверхностной твердости с повышением температуры азотирования.

Распределение микротвердости по глубине диффузионного слоя представлено на рис.3. Распределение твердости по глубине слоя при 6-часовых процессах для армко-железа, предварительно поверхностно-легированного Cr и Al, имеет вид площадок равнозначной твердости, уровень абсолютных значений которых определяется режимом азотирования. При азотировании хромированного технического железа с повышением температуры микротвердость падает. В случае азотирования алитированного покрытия микротвердость падает лишь при достижении температуры 800°C.

На основании данных анализа микроструктуры и твердости нитридокомбинированных покрытий можно сделать вывод, что азотирование предварительно легированного армко-железа позволяет получать диффузионные слои, превосходящие по твердости азотированные сложнолегированные стали, при аналогичной глубине покрытия (0,25-0,32 мм), и за более короткое время.

### Л и т е р а т у р а

1. Грибоедов Ю. Н., Мясоедов А. Н. В сб. "Некоторые вопросы технологии тяжелого машиностроения", ч.1, Магнит, М., 1960.

2. Софроенков А. Ф., Тимошина Л. Г. "Изв. вузов СССР - Черная металлургия", 1970, № 7.

3. Грдина В. И., Софроенков А. Ф. "Изв. вузов СССР - Черная металлургия", 1963, № 2.