

Влияние предварительной пластической деформации на ионно-плазменное азотирование стали 40ХМФА

Константинов В.М., Лешок В.А.

Белорусский национальный технический университет

В современном машиностроении различные варианты азотирования находят широкое применение. К достоинствам данного способа химико-термической обработки (ХТО) относятся получаемые механические свойства насыщаемой поверхности: повышенные износостойкость, коррозионная стойкость, сопротивляемость знакопеременным нагрузкам. Однако, термодиффузионное насыщение поверхности азотом, как и большинство других, является длительным процессом, имеющим относительно высокую энергоёмкость [1, 2]. Литературный анализ свидетельствует об огромном кластере научных исследований в области интенсификации различных процессов ХТО, в том числе азотирования [3-7 и др.].

Анализ традиционных представлений о стадиях ХТО свидетельствует, что наиболее часто лимитирующей весь процесс стадией являются сорбционные процессы на поверхности раздела, а также диффузия в глубь обрабатываемого сплава. Одной из причин эффективности ионно-плазменного азотирования (ИПА) является интенсификация сорбционных процессов на поверхности изделия. В этой связи актуальным является изучение влияния предварительной пластической деформации (ППД) на толщину и микротвёрдость азотированного слоя при ИПА.

Были проведены 2 режима обработки стали 40ХМФА. Первая половина образцов была подвержена стандартному, применяемому на большинстве предприятий, режиму ИПА. Следующая партия образцов была подвержена сначала предварительной поверхностной пластической деформации, а после такому же режиму ИПА.

После ППД микротвёрдость поверхностного слоя ожидаемо возросла с 279...286 $Hv_{0,05}$ до 299...312 $Hv_{0,05}$. Причины этого очевидны – наклеп и высокая плотность дислокаций. Повышение микротвёрдости составило $\Delta HV = 20...26$.

После ИПА микродюрOMETрическая картина несколько изменилась (рисунок 1). Микротвёрдость, после ППД азотированного слоя повысилась с 587 $Hv_{0,05}$ до 680 $Hv_{0,05}$. Это увеличение присутствует на глубину 8-9 мкм. Глубже (более 10 мкм) образцов микротвёрдость примерно одинакова. Разница в микротвёрдости азотированного слоя до и после ИПА составила $\Delta HV = 93$. Таким образом было установлено, что ППД непропорционально увеличивает микротвёрдость диффузионного слоя после ИПА. Для стали 40ХМФА температура рекристаллизации находится в пределах 708...991 °С. Процесс ИПА происходит при 600 °С. Температура ХТО существенно ниже температур рекристаллизационных процессов стали 40ХМФА. Поэтому полный процесс рекристаллизации не происходит. При данных режимах обработки происходят только полигонизация и частично возврат. Дислокационная картина ППД сохраняется.

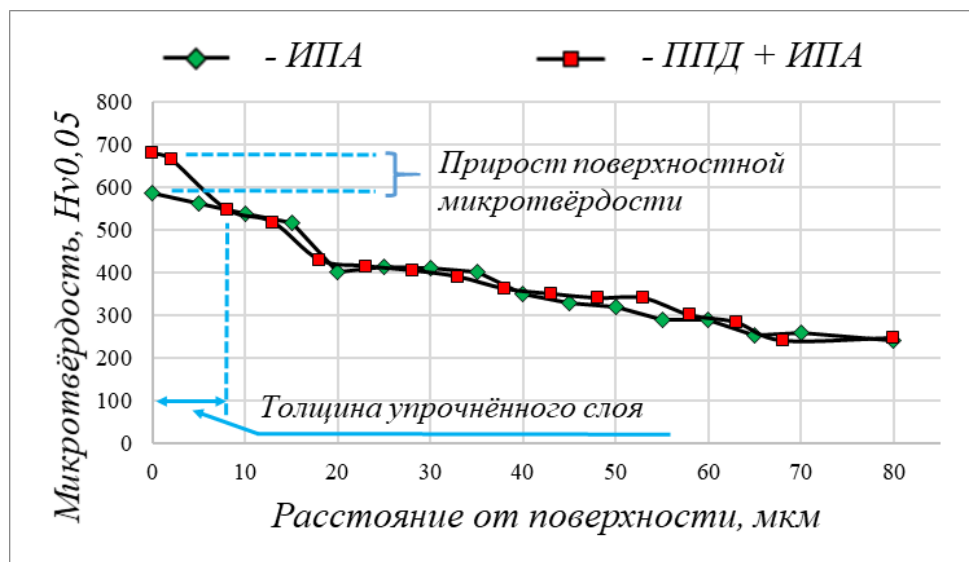


Рисунок 1 – Распределение микротвёрдости вглубь материала для двух режимов обработки: 1 – ионно-плазменное азотирование (ИПА), 2 –предварительная поверхностная пластическая деформация с последующих ионно-плазменным азотированием (ППД+ИПА)

Есть основания полагать, что обнаруженное повышение микротвердости диффузионного слоя обусловлено не только сохранением наклепа от ППД, но и повышением концентрации азота в поверхностном слое. Это может быть обусловлено активацией сорбционных и диффузионных процессов за счет повышенной концентрации дислокаций. Известно ускорение диффузионных процессов по дислокациям [8, 9 и др.]. Энергия активации в этом случае существенно ниже.

Интересным является сравнение влияния пластической деформации на высокотемпературные процессы ХТО (борирование и силицирование) [10-11]. Принципиальным отличием является наличие периодической рекристаллизации. Решающее значение в этом случае играет повторяющаяся поверхностная пластическая деформация при вращении контейнера. Поэтому ускорение обусловлено в том числе зернограничными эффектами.

Обобщая вышесказанное, можно предположить, что при данной комбинации технологий (ППД+ИПА) будут происходить лишь первичные стадии рекристаллизации (полигонизация, возврат). Все это может обеспечить определенную интенсификацию ИПА. Данные предположения представляют научный интерес и необходимы в дальнейших разработках.

Литература

1. Ворошнин Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие / Л.Г. Ворошнин, О.Л. Менделеева, В.А. Сметкин. – М.: Новое издание; Минск: Новое издание, 2010. – 304 с.
2. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / Г.В. Борисенок, Л.А. Васильев, Л.Г. Ворошнин и др. - М.: Металлургия, 1981. - 424 с.
3. Шарифова Э.Г. Анализ литературных данных по изучению способов интенсификации процесса азотирования / Э.Г. Шарифова, О.В. Силина, К.В. Макарова // Пермский национал полит университет, Master's Journal. – 2015. - С. 60-65.
4. Александров В.А. Сокращение длительности процесса азотирования коррозионно-стойких сталей / В.А. Александров, А.В. Грачев, С.И. Барабанов // МиТОМ. – 2011. – № 7. – С. 37–39.
5. Белашова И.С. Кинетика роста диффузионного слоя при термогазоциклическом способе азотирования / И.С. Белашова, А.О. Шашков // МиТОМ. – 2012. – № 6. – С. 46–50.

6. Будилов В.В. Ионное азотирование инструментальных сталей с наложением магнитного поля / В.В. Будилов, К.Н. Рамазанов, Р.К. Вафин // МиТОМ. – 2011. – № 7. – С. 40–42.
7. Силина О.В. Влияние размера зерна аустенита на азотируемость низкоуглеродистой мартенситной стали 12Х2Г2НМФТ / О.В. Силина, С.С. Югай // МиТОМ. – 2010. – № 11. – С. 57–61.
8. Интенсификация процессов химико-термической обработки сталей: монография / Л.Г. Петрова, В.А. Александров, П.Е. Демин, А.С. Сергеева; под ред. Л.Г. Петровой. – М.: МАДИ, 2019. – 160 с.
9. Ковалевская Ж.Г. Структура и свойства поверхностных слоев и покрытий при модифицирующей ультразвуковой обработке / Ж.Г. Ковалевская: дис. ... докт. тех. наук. 15.02.2019. – Томск, 2018. – 334 с.
10. Константинов В.М. Исследование процесса диффузионного легирования металлических порошков для защитных покрытий / В.М. Константинов, Ф.И. Пантелеенко, О.П. Штемпель // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Прикладные науки. - 2002. - № 2. - С. 49-56
11. Константинов, В.М. Ускоренная диффузия легирующих элементов в железе при химико-термической обработке порошков во вращающемся контейнере / В.М. Константинов // Доклады НАН Беларуси. – Минск, 2007. – Т. 51, – № 2. – С. 103