

УДК 620.186.1: 669.017.3: 548.01: 548.4

Структура і властивості поверхневих шарів в залізі після попередньої пластичної деформації і азотування

Л. Д. Демченко, кандидат технічних наук

А. М. Титенко*, кандидат фізико-математичних наук

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Інститут магнетизму НАН і МОН України, Київ

Досліджено вплив попередньої пластичної деформації в діапазоні ступенів від 5 до 50 % на мікротвердість, структуру і фазовий склад дифузійних шарів, що формуються в α -залізі при насиченні азотом. Встановлені інтервали деформацій: 3 – 8 і 20 – 30 %, в яких при подальшому азотуванні спостерігається прискорене формування шарів нітридних ϵ і γ фаз і суттєве (в 2 рази) підвищення мікротвердості поверхневого дифузійного шару.

Дифузійне насичення сплавів на основі заліза азотом, вуглецем, бором широко застосовується в промисловості для підвищення міцності, твердості, корозійної стійкості поверхневих шарів металевих виробів. У сучасних технологіях для підвищення якості дифузійних шарів використовують різні підготовчі фізико-механічні дії на матеріал. Такі дії впливають на структуру сплавів і можуть призводити до зміни масопереносу і механізмів зміцнення. У роботах [1 – 4] показано, що дозована (10 – 30 %) холодна пластична деформація прискорює дифузію азоту і вуглецю в сплавах заліза і підвищує якість поверхневих дифузійних шарів. Причини збільшення масопереносу домішкових атомів впровадження, а також механізми зміцнення і фазоутворення в деформованих матеріалах ще й досі не з'ясовані. Проте багато закономірностей цих явищ, що відбуваються в деформованих матеріалах можна описати за допомогою дислокаційних уявлень.

Метою даної роботи є вивчення впливу попередньої пластичної деформації (ППД) в діапазоні ступенів від 5 до 50 % на мікротвердість, структуру і фазовий склад дифузійних шарів, що формуються в α -залізі при насиченні азотом.

В якості об'єкта дослідження використовували чисте залізо з вмістом домішок в ньому: 0,003 % C; 0,02 % S; 0,01 % O; не більше 0,04 % (Si + Mn + Ni + Ti) (по масі). Виплавку зливка здійснювали в індукційній вакуумній печі в атмосфері технічно чистого аргону. Попередній рекристалізаційний відпал проводили у вакуумній печі при температурі 1173 К протягом 1 години. Попередню пластичну деформацію (ППД) зразків здійснювали шляхом прокатки в паралельних валках зі ступенями обтиснення: 3, 5, 8, 10,

15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 % з точністю до $\pm 0,1$ %. Насичення азотом зразків після ППД здійснювали в атмосфері аміаку NH_3 протягом 1 години при температурі 853 К, нижче температури $\alpha \leftrightarrow \gamma$ переходу для отримання азотованих шарів на основі α -твердого розчину азоту в залізі з ОЦК ґраткою.

Азотовані шари були досліджені за допомогою металографічного, рентгеноструктурного і мікродюрOMETричного методів аналізу.

Характер розподілу мікротвердості за глибиною дифузійного шару (рис. 1) однаковий для всіх зразків після різних ступенів ППД: максимальна мікротвердість на поверхні, а потім плавне (монотонне) її зменшення до значень мікротвердості серцевини, що свідчить про міцний зв'язок дифузійного шару з матрицею-основою.

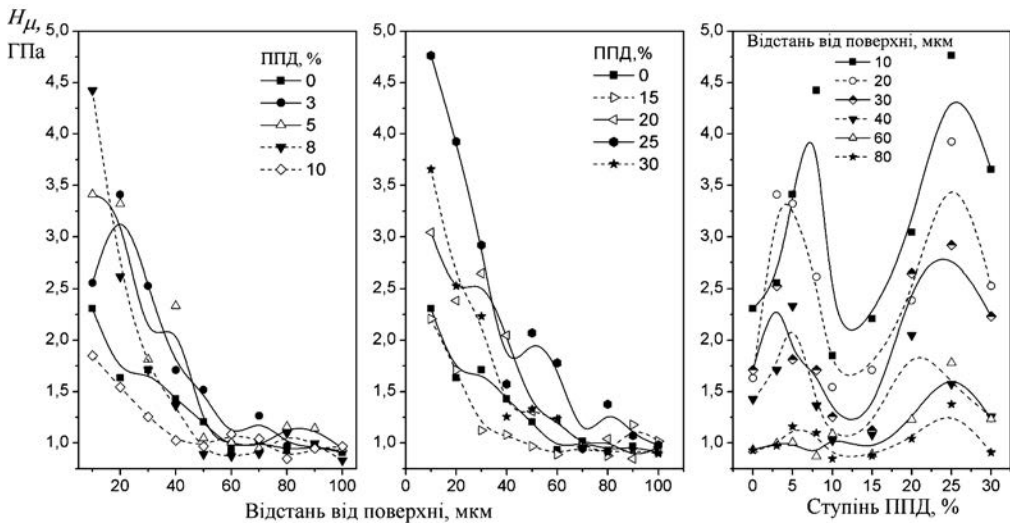


Рис. 1. Розподіли мікротвердості за глибиною азотованих шарів, отриманих в зразках α -заліза після різних ступенів ППД (температура азотування $T = 853$ К, час $\tau = 1$ година).

Згідно з даними залежностей мікротвердості від ступеня ППД зразків на різній глибині від поверхні, максимальне збільшення мікротвердості дифузійного шару в результаті азотування деформованих зразків спостерігається після ППД 3 – 8 і 20 – 30 % (рис. 1). Між цими двома областями ППД з максимальною мікротвердістю лежить область деформацій 10 – 15 %, в якій реєструється різке падіння мікротвердості азотованих зразків.

У недеформованих зразках максимальне значення мікротвердості азотованого шару спостерігається на глибині 10 мкм і становить 2,3 ГПа. Зі збільшенням ступеня ППД до 8 % мікротвердість в поверхневому шарі збільшується майже в 2 рази і становить 4,4 ГПа; при подальшому збільшенні до 25 – 30 % мікротвердість підвищується навіть більш ніж в 2 рази і сягає 4,8 ГПа після 25 % ППД.

Металографічний аналіз дозволив визначити будову дифузійних шарів. Дифузійні шари (рис. 2) являють собою сукупність двох шарів

нітрідних фаз на поверхні зразків і зони внутрішнього азотування. Поверхневий нітрідний шар чітко видно на всіх зразках у вигляді світлої смуги, що не травиться 5 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Під білим шаром, що не травиться, одразу знаходиться темний нітрідний шар, що травиться в кислоті.

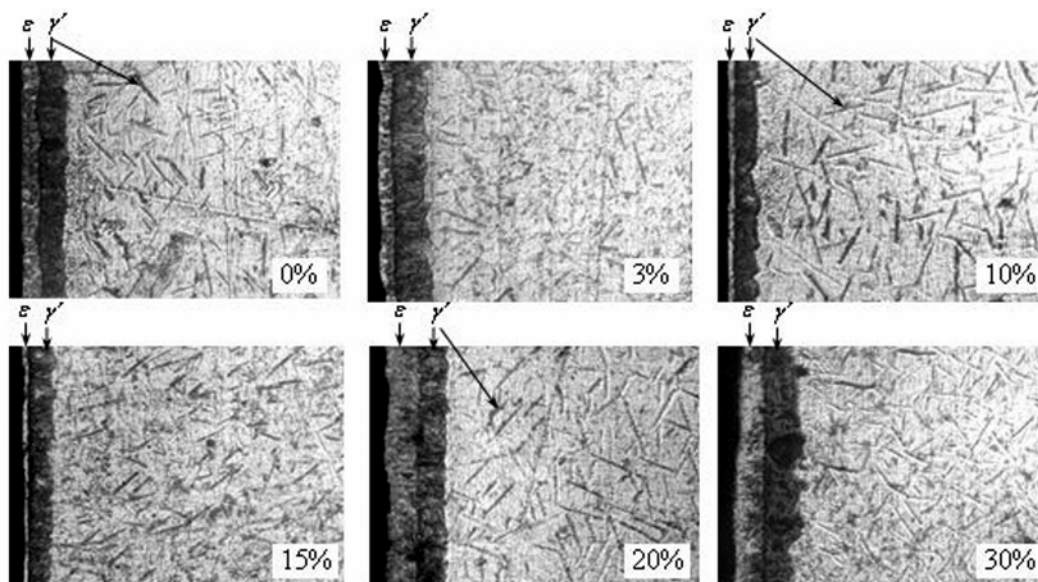


Рис. 2 Мікроструктури азотованих шарів, отриманих в зразках α -заліза після різних ступенів ППД (режим азотування: $T = 853 \text{ K}$, $\tau = 1$ година).

Встановлено, що мікротвердість шарів нітрідних ϵ і γ фаз корелює з їх товщиною в азотованому після різних ступенів ППД залізі. Утворення шару ϵ фази максимальної (8,1 ГПа) мікротвердості відбувається після ППД 5 %, в той час, як шар γ фази із більш високою (8,3 ГПа) мікротвердістю формується після ППД 20 %. Шари ϵ і γ фаз максимальної мікротвердості формуються після ППД 5 і 20 % у зразках, в яких товщина цих шарів досягає максимальних значень. ППД 20 % сприяє значному (у 1,5 – 2,0 рази) підвищенню мікротвердості (від 5,5 до 7,8 ГПа) поверхневого шару ϵ фази і (від 4,3 до 8,3 ГПа) шару γ фази.

Таким чином, високу мікротвердість дифузійних шарів в азотованому залізі після ППД 3 – 8 і 20 – 30 % (рис. 1) можна пояснити як формуванням товстих (до 56,7 мкм) поверхневих шарів нітрідних $\epsilon + \gamma$ фаз у порівнянні з недеформованими зразками за рахунок прискороного зростання шарів цих фаз в деформованому залізі, так і більш інтенсивним виділенням дисперсної нітрідної γ фази, зміцнюючої α -твердий розчин зони внутрішнього азотування, що відрізняється голчастою морфологією і відносно рівномірним розподілом.

Немонотонний вплив ППД на формування дифузійних шарів, їх структуру, товщину шарів нітридних фаз, виділення зміцнюючої нітридної фази, і, як наслідок, на їх мікротвердість, на наш погляд, обумовлений тим, що протікання дифузійних процесів в деформованих матеріалах можливе за механізмами, відмінним від міжвузельного. Так, наприклад, збільшення масопереносу атомів впровадження (азоту) в деформованому α -залізі може бути пов'язане із взаємодією атомів азоту з дислокаціями з утворенням домішкових атмосфер типу Коттрелла, і потім додатковим перенесенням атмосфер азоту рухливими дислокаціями за дислокаційно-динамічним механізмом [5, 6]. Такий процес може впливати на кінетику фазоутворення, що призводить до прискореного формування нітридних ϵ і γ фаз, що утворюються при цьому, і відповідно підвищенню механічних властивостей азотованих шарів для зразків після ППД 3 – 8 і 20 – 30 %.

Висновки У роботі виявлені інтервали ступенів деформацій 3 – 8 і 20 – 30 %, в яких при подальшому азотуванні деформованого α -заліза при $T = 853$ К і відносно швидкому його охолодженні спостерігається істотне (у 2 рази) підвищення мікротвердості поверхневого дифузійного шару, ніж при інших ступенях ППД 10 – 15 %. Знайдена кореляція між мікротвердістю, розмірами і структурою дифузійних шарів. Показано, що при ступенях деформації 3 – 8 і 20 – 30 %, в порівнянні з іншими ступенями ППД, відбувається прискорене формування шарів нітридних ϵ і γ фаз.

Література

1. Сидоренко С.І., Тиняєв В.Г., Демченко Л.Д. Холодне деформування як важливий фактор прискорення процесів насичення сплавів заліза азотом та вуглецем // *Металлофізика и новейшие технологии*. – 1998. – 20, № 12. – С. 37 – 44.
2. Демченко Л.Д., Сидоренко С.І., Тиняєв В.Г. Вплив попередньої пластичної деформації на процеси насичення сплавів на основі заліза азотом та вуглецем // *Металлофізика и новейшие технологии*. – 2000. – 22, № 8. – С. 72 – 79.
3. Demchenko L.D., Tinyaev V.G., Sidorenko S.I. The Effect of Deformation on the Diffusion Layer Formation in Iron Alloys under Saturation by Nitrogen and Carbon // *Proceeding of DIFTRANS'2001. Bulletin of Cherkasy State University. Physics*. – 2001 – 2002. – 37 – 38. – P. 229 – 233.
4. Demchenko L.D., Sidorenko S.I., Tinyaev V.G. The Effect of Deformation on Structure and Properties of Surface Diffusion Layers Formed in Iron Alloys under Alloying by Nitrogen and Carbon // *Defect and Diffusion Forum*. – 2003. – 216 – 217. – P. 87 – 92.
5. Жаринов В.П., Зотов В.С., Павлычев А.Н. Учет увлечения дислокациями при диффузии в пластически деформируемой среде // *Физика металлов и металловедение*. – 1988. – 65, № 2. – С. 230 – 233.
6. Брик В.Б. Влияние подвижных дислокаций на поверхностное насыщение кристаллов // *Украинский физический журнал*. – 1984. – 29, № 7. – С. 1059 – 1061.

Одержано 15.12.15

Л. Д. Демченко, А. Н. Титенко

Структура и свойства поверхностных слоев в железе после предварительной пластической деформации и азотирования

Резюме

Исследовано влияние предварительной пластической деформации в диапазоне степеней от 5 до 50 % на микротвердость, структуру и фазовый состав диффузионных слоев, формирующихся в α -железе при насыщении азотом. Установлены интервалы деформаций: 3 – 8 и 20 – 30 %, в которых при последующем азотировании наблюдается ускоренное формирование слоев нитридных ε и γ фаз и существенное (в 2 раза) повышение микротвердости поверхностного диффузионного слоя.

L. D. Demchenko, A. M. Titenko

The structure and properties of surface layers in iron after preliminary plastic deformation and nitriding

Summary

The effect of preliminary plastic deformation in the range of degrees from 5 to 50 % on microhardness, structure and phase composition of diffusion layers formed in α -iron at saturation with nitrogen was investigated. It was established the intervals of deformations: 3 – 8, and 20 – 30 %, in which the accelerated formation of ε and γ phase nitride layers and substantial (in 2 times) increase in microhardness of surface diffusion layers are observed at subsequent nitriding.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2016 р.
Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 40 грн., передплата на рік – 160 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2014 рр. – 10 грн.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника

просимо надсилати до редакції,

вказавши номер і дату платіжного документа.