

## Новий аспект використання іонно-плазмової обробки

С.С. Дяченко, доктор технічних наук, професор  
І.В. Пономаренко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

*Показано, що іонно-плазмова обробка не тільки змінює властивості поверхні, але й значно (до 40 %) збільшує показники міцності всього виробу без втрати пластичності. При цьому вирішальне значення має операція іонного бомбардування, яка забезпечує 80 – 88 % загального зміцнення. Подальше нанесення покриття може підвищити міцність не більше, ніж на 4 %. Це пояснюється заліковуванням поверхневих дефектів при іонному бомбардуванні, формуванням тонкого шару з дисперсною структурою і реалізацією механізму надпластичності при деформації.*

В сучасному виробництві значного поширення набувають іонно-плазмові покриття з нітридів, карбідів, карбонітридів тугоплавких елементів. Вони суттєво підвищують зносостійкість та довговічність деталей, забезпечують корозійну стійкість і деякі інші спеціальні властивості. Особливістю їх є можливість утворення нанокристалічної структури [1, 2], якою пов'язують високі експлуатаційні характеристики виробів після іонно-плазмової обробки (ІПО). Авторами було вперше показано, що ІПО не тільки змінює властивості поверхні, але й підвищує об'ємні механічні характеристики виробів, причому зростання міцності не супроводжується зниженням пластичності [3, 4] на відміну від результатів [5], де відмічалось зниження цієї характеристики.

Метою дослідження було визначення впливу різних видів обробки поверхні сталі (шліфування, полірування, іонного плазмового бомбардування) на механічні властивості сталі 18ХГТ. Експерименти виконували безпосередньо на стандартних зразках для випробувань на розтяг (діаметр зразків 5 і 10 мм). Випробували шліфовані та поліровані зразки після покращення (для визначення ролі шорсткості поверхні), такі ж зразки після іонного бомбардування без подальшого нанесення покриття і з покриттям TiN. Іонно-плазмову обробку здійснювали на установці «ННВ-66-И1», шорсткість і профіль поверхні визначали за допомогою профілографа-профілометра TR 200, тонку структуру поверхні вивчали за допомогою дифрактометра ДРОН 3 у хромовому  $K_{\alpha}$  випромінюванні. Мікротвердість оцінювали на мікротвердомірі ПМТ-3, використовуючи навантаження  $P = 200$  г та  $P = 20$  г, що дозволило співставити твердість на різній відстані від поверхні. Глибина проникнення індентора у матеріал зразка для навантаження 200 г складала приблизно 5 мкм, для навантаження 20 г – 0,9 мкм.

Результати випробувань на розтяг наведені у табл. 1, дані рентгенівських досліджень – у табл. 2.

Слід відзначити, що сама по собі шорсткість поверхні суттєво впливає на механічні властивості при випробуванні на розтяг. В нашому випадку шорсткість шліфованої поверхні становила  $R_a = 0,49$  мкм, полірованої –  $R_a = 0,12$  мкм. За даними

## Технічна інформація

Таблиця 1

Механічні властивості сталі 18ХГТ після різних режимів обробки

Термічна обробка	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\sigma_{\text{т}}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	Мікротвердість (МПа) при навантаженні Р	
					Р=20 г	Р=200 г
Покращення (шліфовані зразки)	855	715	17	64	–	–
Покращення (поліровані зразки)	934	875	16	64	4100	3060
Покращення + ІБ	1023	980	15	67	5570	3460
Покращення + ІБ + покриття TiN (5 мкм)	1062	1015	16	67	11050	3640

Таблиця 2

Результати рентгенівських досліджень покращеної сталі 18ХГТ після різної обробки поверхні

Метод обробки	Фізичне уширення ліній, мрад		Розмір ОКР, нм	Пружна деформація поверхневих шарів $\epsilon \cdot 10^3$	Густина дислокацій $\rho$ , $\text{см}^{-2}$	Напруження I роду $\sigma_{\text{I}}$ , МПа	Напруження II роду $\sigma_{\text{II}}$ , МПа
	$\beta_{110}$	$\beta_{211}$					
Шліфування	0,8	7,6	380	0,40	$4,8 \cdot 10^8$	-20	80
Полірування	3,2	23,3	88	1,23	$5,8 \cdot 10^9$	-330	250
Шліфування + ІБ	2,2	31,7	103	1,67	$4,2 \cdot 10^9$	-150	340

табл. 1 перехід від шліфованих зразків до полірованих підвищує поріг міцності ( $\sigma_{\text{в}}$ ) на 9 %, а границю текучості ( $\sigma_{\text{т}}$ ) на 22 % при практично однакових показниках пластичності. Таким чином, знижуючи шорсткість поверхні виробів, можна суттєво збільшити їх механічні властивості при статичному навантаженні.

Значне зростання міцності спостерігається після іонного бомбардування (ІБ):  $\sigma_{\text{в}}$  зростає на 20 %,  $\sigma_{\text{т}}$  на 37 % без втрати пластичності. Подальше нанесення покриття TiN товщиною 5 мкм незначно підвищує показники міцності порівняно з отриманими після ІБ – усього приблизно на 4 %. Після повного циклу ІПО (ІБ + покриття 5 мкм) загальне зростання  $\sigma_{\text{в}}$  становить 24 %,  $\sigma_{\text{т}}$  – 41 %. Позитивний вплив ІБ проявляється також у суттєвому (майже вдвічі) зменшенні розсіювання значень механічних характеристик.

З табл. 1 видно, що механічне полірування спричиняє наклепування поверхні. Так твердість, визначена при навантаженні на індентор 20 г, на 34 % вища, ніж при навантаженні 200 г (мікротвердість шліфованих зразків не вимірювали через те, що шорсткість зразків перевищувала нормативну –  $R_a = 0,32$  мкм).

Відзначимо, що найбільший вплив на зміну властивостей створює не саме покриття, а процеси, які відбуваються в поверхневому шарі під час ІБ. Внесок ІБ у загальне зміцнення ( $\sigma_{\text{в}}$ ) складає 81 %, а для  $\sigma_{\text{т}}$  – 88 %. Відносне видовження залишається на рівні 15 – 17 %, відносне звуження навіть має тенденцію до збільшення (від 64 до 67 %).

Таким чином ІПО не тільки впливає на властивості самої поверхні, але й може бути ефективною при підвищенні конструкційної міцності виробів.

Дані табл. 2 свідчать, що у порівнянні зі шліфуванням, як полірування, так і ІБ спричиняють помітні зміни тонкої структури поверхневого шару зразка: подрібнюються області когерентного розсіювання (ОКР), збільшується густина дислокацій ( $\rho$ ), підвищуюються напруження першого і другого роду ( $\epsilon$ ). Згідно із загальними положеннями сучасного матеріалознавства всі перелічені фактори мають впливати на рівень міцності і пластичності. Крім описаних змін, відбувається, на наш погляд, заліковування поверхневих дефектів аналогічно ефекту А.Ф. Іоффе [6]. При цьому, незважаючи на тонкий поверхневий шар, «внутрішня міцність», за термінологією А.Ф. Іоффе, підвищилася від 5 МПа до 1600 МПа, що близько до теоретичної (за розрахунками для солі  $\sim 2000$  МПа), а відносне звуження  $\Psi$  сягало близько 99 %. Пізніше аналогічний ефект був отриманий Ю.В. Барановим при розтягуванні металевих зразків у електроліті – йому вдалося деформувати вольфрам на 80 – 90 % у лужному середовищі. При цьому міцність підвищилася на 30 % [7].

В наших експериментах випробування здійснювали на повітрі, тобто у відсутності середовища, яке могло б видалити пошкоджений при деформації поверхневий шар. Проте зразок, незважаючи на велике зміцнення, залишався пластичним. На нашу думку, це можна пояснити саме поведінкою поверхневого субдисперсного структурного шару. Особливості структури таких матеріалів (великий об'єм поверхні границь по відношенню до об'єму самого структурного елемента, зосередження дислокацій по границях при їх практичній відсутності в об'ємі структурних елементів, висока концентрація вакансій по границях) сприяють при розтягуванні зразка зернограничному проковзуванню структурних елементів відносно одне до одного, аналогічно процесам повзучості або над пластичності [8].

Таким чином встановлено, що тонкий шар модифікованої структури, створеної на поверхні виробів іонним бомбардуванням, підвищує загальну міцність виробів на 35 – 40 %, не знижуючи пластичності, тобто суттєво збільшує конструкційну міцність, що пов'язано із заліковуванням дефектів при ІБ і реалізацією механізму надпластичної деформації в поверхневому нанокристалічному шарі. Підвищення конструкційної міцності досягається також при поліруванні поверхні замість шліфування.

## Література

1. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. – М.: Машиностроение, 2007. – 496 с.
2. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Академия, 2005. – 192 с.
3. Дьяченко С.С., Пономаренко И.В., Дощечкина И.В. Влияние нанокристаллических покрытий на свойства изделий из конструкционных сталей. // Междунар. конф. «Современное материаловедение: достижения и проблемы». ММС-2005. Тез. докладов, 26 – 30 сентября 2005 г. – Киев, 2005. – С. 665 – 666.
4. Дощечкина И.В., Дьяченко С.С., Пономаренко И.В. Влияние поверхностного упрочнения на механические свойства изделий. // Автомобильный транспорт. – 2005. – 16. – С. 79 – 82.
5. Рутковский А.В. Конструкционная прочность материалов с вакуум-плазменными покрытиями. Дис. ... канд. техн. наук / Институт проблем прочности НАНУ. – Киев, 2000.
6. Иоффе А.Ф. Механические свойства кристаллов // Успехи физических наук. – 1928. – VIII, 4. – С. 441 – 482.
7. Баранов Ю.В. Эффект А.Ф. Иоффе на металлах. – М.: МГИУ, 2005. – 140 с.
8. Gleiter H. Materials with ultrafine microstructures // Retrospectives and Perspectives Nanostuctured Material. – 1992. – 1. – P. 1 – 19.

Одержано 10.06.09

С.С. Дьяченко, И.В. Пономаренко

**Новый аспект применения ионно-плазменной обработки**

**Резюме**

Показано, что ионно-плазменная обработка не только модифицирует свойства поверхности, но и значительно повышает показатели прочности всего изделия («объемную прочность») без потери пластичности. При этом решающее значение имеет операция ионной бомбардировки (ИБ), которая обеспечивает 80 – 86 % общего упрочнения. Дальнейшее нанесение покрытия может увеличить прочность не более чем на 4 %. Установленный эффект объясняется залечиванием поверхностных дефектов при ИБ, формированием тонкого слоя с нанокристаллической структурой и реализацией механизма сверхпластичности при деформации.

S.S. Dyachenko, I.V. Ponomarenko

**A new aspect of ion plasma treatment application**

**Summary**

This work shows that the ion plasma treatment changes not only surface properties, but it also significantly (by 40 %) increases mechanical performance of an article as a whole (bulk strength) without ductility decreasing. It is shown that the ion bombardment (IB) plays a major role and ensures 80 – 88 % of total strengthening. The following coating can raise the strength no more than by 4 %. The found phenomenon is explained by the surface defects healing during IB, the formation of the thin nanocrystalline layer and realization of superplasticity mechanism at deformation.

***Шановні колеги!***

**Триває передплата на науково-технічний журнал  
«Металознавство та обробка металів» на 2009 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 – 15 грн., передплата на рік – 60 грн. з урахуванням ПДВ.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,  
спонсорів і рекламодавців:**

*банк УДК в м. Києві, р/р 35226004000379, МФО 820019.*

*Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,*

*з посиланням на журнал “МОМ”.*

Копію документа передплати та відомості про передплатника  
**просимо надсилати до редакції,**  
вказавши номер і дату платіжного документа.