

*В.Н. ОСТАПЧУК, А.Я. МОВШОВИЧ, Б.В. ГОРЕЛИК*

## **К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ**

В статье приведены результаты исследования влияния вакуумно-плазменной обработки на механические свойства сталей.

### **Введение**

Характер влияния ионной бомбардировки на структуру и свойства твердого тела определяется главным образом природой ионов, их энергией и дозой облучения.

Интервал энергии ионов, обеспечивающих стадию ионной бомбардировки при вакуумно-плазменной обработке таков, что они могут: очищать поверхность от загрязнений, разогревать поверхность детали, стимулируя миграцию поверхностных атомов и эмиссию вторичных электронов, а также обеспечивать поверхностную имплантацию бомбардирующих ионов.

В связи с тем, что технология вакуумно-плазменных покрытий широко применяется в промышленности, представляется целесообразным изучение влияния ионной бомбардировки на структуру и механические свойства упрочняемых сталей [1].

### **Методика исследования**

Исследование проведено на образцах из стали Р6М5. Образцы изготовлены в виде параллелепипедов размерами 60x10x60, которые вырезались из поковки с припуском на шлифовку после термической обработки.

После термообработки и шлифовки образцы подвергали ионной бомбардировке в вакуумной установке, затем испытывали на статистический изгиб таким образом, что бомбардировочная поверхность образцов находилась в зоне растягивающих напряжений. Измеряли также микро- и макротвердости бомбардированной поверхности. В поверхностном слое методом рентгеноструктурного анализа определяли размер областей когерентного рассеяния и уровень микродеформаций.

Закалка образцов проводилась от температуры 1235°C (из соляной ванны в масле). Поскольку согласно литературным данным при ионной

бомбардировке возможна активация диффузии углерода из стали, которая из общих соображений должна дестабилизировать остаточный аустенит, представлялось интересным изучить влияние бомбардировки ионами различных материалов на фазовый состав стали, содержащей различное количество остаточного аустенита. С этой целью часть образцов отпускались один раз, вторая часть образцов – 3 раза. Отпуск осуществлялся при температуре 560°C 60 мин. После отпуска образцы охлаждались на воздухе.

После термообработки образцы со всех сторон сошлифовывались на глубину 0,5 мм, что гарантировало удаление обезуглероженного слоя. Прочность стали, подвергнутой ионной бомбардировке, определялась при испытаниях на изгиб (ГОСТ 14019-80). Выбранная методика позволяет:

- создать напряженное состояние, близкое к возникающему при работе многих инструментов;

- использовать гладкие образцы без переходов по сечению, что дает возможность уменьшить трудно учитываемое влияние концентрации напряжений, неизбежной в образцах сложной формы;

- получить меньший разброс результатов испытаний;

- более точно (по сравнению с испытаниями на растяжение или сжатие)

определить влияние структурных факторов.

Нагружение образцов осуществляли сосредоточенной нагрузкой по схеме трехточечного изгиба, при этом, обработанная поверхность располагалась в зоне действия растягивающих напряжений.

Испытания проводили до разрушения образца с записью диаграммы в координатах: нагрузка  $P$  – прогиб  $f$ . По диаграммам определяли максимальную разрушающую нагрузку  $P_{\max}$  и стрелу пластического прогиба  $f$ .

Предел прочности на изгиб  $G_{\text{изг}}$  определялся по формуле:

$$G_{\text{изг}} = \frac{3P_{\max}l}{1bh^2}$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, определенная по диаграмме «нагрузка-деформация»;

$l$  – расстояние между опорами;

$b, h$  – геометрические параметры сечения образца.

В каждой партии насчитывалось 8-10 образцов.

Макротвердость поверхности образца определялась в соответствии ГОСТ 9013-59 на приборе ТК-14-250 по шкале С на основании пяти измерений.

Микротвердость поверхности определяли на приборе ПТМ-3 при нагрузке 0,98 Н на основании 10 измерений по стандартной методике (ГОСТ9450-76).

### **Результаты испытаний**

Важнейшим свойством инструментальных сталей является твердость. Она характеризует напряженное состояние близкое к неравномерному всестороннему сжатию и определяет сопротивление пластической деформации и контактными напряжениям, возникающим в процессе приложения нагрузок.

Сравнительный анализ значений твердости образцов прошедших различную обработку показал, что в результате ионной бомбардировки твердость либо не изменялась, либо уменьшалась. Причем уменьшение твердости наблюдалось только в тех случаях, когда температура образцов превышала теплостойкость материала основы. Микротвердость при этом наблюдается только в тех случаях, когда температура образцов превышает теплостойкость материала основы. Микротвердость при этом может как уменьшаться так и увеличиваться, что зависит от используемого реакционного газа. Увеличение НРСэ соответствует увеличению микротвердости. Точки же, относящиеся к ионной бомбардировке титаном в среде азота при давлении в вакуумной камере  $8,3 \cdot 10^{-2}$  Па лежат выше, что может быть связано с влиянием на измеряемые значения микротвердости тонкого слоя покрытия TiN, которое образуется на поверхности образцов, о чем можно судить хотя бы по желтоватому цвету бомбардированных поверхностей. Толщина такого покрытия невелика (доли микрометра), однако, принимая во внимание высокую твердость нитрида титана (22000-25000 МПа) некоторое влияние на измеряемые значения микротвердости может оказываться. Это влияние выражается в повышении измеряемых значений на 700-900 МПа, причем в пределах этой совокупности точек просматривается корреляция между микро- и макротвердостью.

Вместе с тем, ионная бомбардировка титана в среде инертных газов (аргона) не привела к увеличению микротвердости поверхностного слоя.

Результаты сравнительных испытаний статистическим изгибом показали, что бомбардировка ионами Ti<sup>+</sup> способна изменить предел прочности быстрорежущей стали. При этом наблюдалась корреляционная зависимость между временем процесса бомбардировки и изменением прочностных характеристик. Увеличение времени приводит к увеличению

среднего предела прочности образцов ~ на 25%. Однако зависимость «предел прочности – время бомбардировки» не является прямопропорциональной.

Установлено, что при разогреве поверхности образцов под воздействием обработки ускоренными ионами выше теплостойкости стали эффект повышения прочности не наблюдался и происходило даже его снижение. Что, по всей видимости, связано с термическим разупрочнением материала [1].

Анализ диаграммы изгиба показал, что разрушение носит хрупкий характер, при этом полная работа разрушения увеличивается с увеличением разрушающей нагрузки. Интересным представляется результат увеличения работы разрушения в тех случаях, когда разрушающая нагрузка, а следовательно, и предел прочности были ниже, по сравнению с контрольными. Это наблюдалось в тех случаях, когда в результате интенсивной ионной бомбардировки происходило термическое разупрочнение стали. Кроме того, увеличение величины прогиба позволяет говорить о некотором уменьшении склонности быстрорежущей стали к хрупкому разрушению. Величина прогиба отражает суммарную деформацию (упругую и пластическую), в которой у инструментальных сталей с хрупким разрушением доля упругой деформации преобладает.

### **Выводы**

1. Ионная бомбардировка приводит к повышению вязких параметров разрушения. Однако заметное изменение параметров разрушения происходит при таких технологических режимах обработки, когда твердость стали начинает уменьшаться.
2. Применение предварительного нагрева образцов до температуры 300-350°C с целью очистки поверхности не приводит к изменению механических свойств по сравнению с образцами, не прошедшими вакуумно-празменную обработку.
3. Бомбардировка ионами Ti изменяет предел прочности при изгибе. При этом наблюдается корреляционная зависимость между временем процесса и изменением прочности.
4. Увеличение микротвердости поверхности связано с образованием тонкого твердого слоя.

Список литературы: 1. Верещака А.С., Третьяков И.П. Режущий инструмент с износостойкими покрытиями. – М.: Машиностроение. – 1968. – 192 с. 2. Остапчук В.Н., Мовшович А.Я., Горелик Б.В. Влияние времени ионной очистки температур косвенного подогрева на адгезионную прочность вакуумно-плазменного покрытия / Высокие технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – Вып.1. – С.211-216.