

05.1;11

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЩНЫХ ИОННЫХ ПУЧКОВ

© И.Г.Романов, И.Н.Царева, Г.М.Романова

В последнее время уделяется большое внимание разработкам новых износостойких материалов для узлов трения и различного инструмента. Развитие новой техники на современном этапе требует проведения исследований по дальнейшему упрочнению уже имеющихся высокопрочных материалов. Мощные ионные пучки являются весьма перспективными для этих целей. Однако научных публикаций по этому вопросу недостаточно.

Воздействие высокоэнергетическими импульсными потоками ионов, сопровождающееся процессами плавления, испарения и распространения акустических волн [1], стимулирует интенсивное дефектообразование как в области пробега ионов, так и далеко за ее пределами. При этом степень влияния данного вида ионного облучения на физико-механические свойства мишени зависит от дефектного состояния поверхностных слоев [2], т. е. от качества предварительной обработки.

В данном сообщении представлены результаты по изменению свойств твердых сплавов ВК-8 и Т15К6, подвергнутых облучению мощными ионными пучками (МИП) C^+ с энергией 300 кэВ на ускорителе "Темп". Плотность ионного тока варьировалась в интервале $j = 60-120 \text{ А/см}^2$. Длительность импульса составляла 10^{-7} с. Количество импульсов изменялось от 1 до 3. Для всех образцов проводились рентгеноструктурные (в режиме общей дифракции) и металлографические исследования, а также измерения микротвердости H_{μ} , коэффициента трения f (при скольжении индентора из стали ШХ-15) и параметра шероховатости поверхности (среднее арифметическое отклонение профиля R_a).

Металлографические исследования поперечных шлифов сплава ВК-8 не выявили заметных изменений микроструктуры, в то время как в Т15К6 под действием сильноточной ионной обработки наблюдается уменьшение плотности

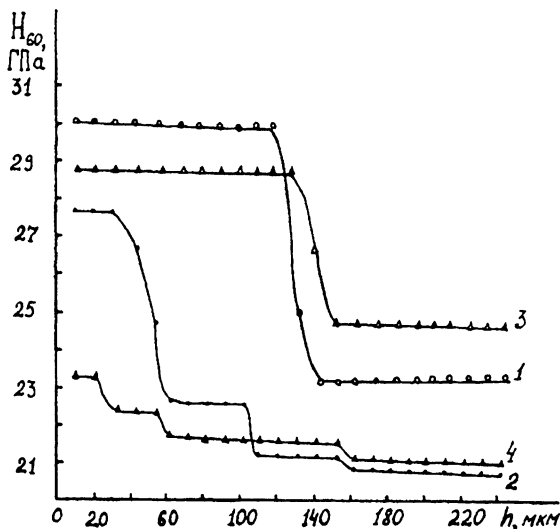


Рис. 1. Распределение микротвердости по глубине для облученных мощными ионными пучками C^+ твердых сплавов (необлученный ВК-8: $H_{\mu} = 23$ ГПа, необлуч. Т15К6: $H_{\mu} = 25$ ГПа): 1 — ВК-8, $j = 80$ А/см², $n = 3$; 2 — ВК-8, $j = 100$ А/см², $n = 3$; 3 — Т15К6, $j = 80$ А/см², $n = 3$; 4 — Т15К6, $j = 120$ А/см², $n = 3$.

и коагуляции карбидных включений (рис. 1). Такое поведение может быть связано с различием в тепловых свойствах этих материалов. Так, наличие в сплаве Т15К6 не только карбида WC , но и TiC (15%) обуславливает более высокую теплоемкость и меньшую теплопроводность по сравнению с ВК-8. Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что фазовый состав Т15К6 под действием облучения не изменялся, а в сплаве ВК-8, имеющем более высокую концентрацию кобальтовой прослойки, обнаружено структурно-фазовое превращение $\beta-Co$ (ГЦК) \rightarrow $\alpha-Co$ (ГПУ). Аналогичные результаты для карбида вольфрама со связующим кобальтом были получены в работах [3,4] и после ионной имплантации, когда мартенситные превращения вызывали искажение кристаллической решетки, возникновение напряжений и повышение вследствие этого твердости имплантированного материала. Металлографический анализ не выявил характерную зону высокотемпературного воздействия, которая обычно наблюдается в сталях, обработанных мощными ионными пучками [2]. Так как толщина прогретого слоя даже в металлах не превышает 2–4 мкм, то полиморфные превращения типа ГЦК \rightarrow ГПУ в твердом сплаве на глубинах ~ 7 мкм (глубина зондирования рентге-

новских лучей) являются радиационно-стимулированными и не связаны с влиянием тепловых полей. Под действием пучков C^+ в материале мишени распространяются акустические волны [1,5] с высокой амплитудой давления (на 2-3 порядка выше, чем при других видах ионной обработки), которые могут вызывать данные превращения по сдвиговому механизму. Волновыми процессами можно объяснить и образование модифицированной зоны за пределами пробега ионов. При достижении давления волнового фронта предела текучести в материале мишени интенсивно протекают процессы пластической деформации, приводящие к росту плотности дислокаций, что, в свою очередь, является ответственным за образование упроченной зоны глубиной ~ 250 мкм с повышенной микротвердостью (в 1.5 раза). Увеличение плотности ионного тока выше 80 А/см^2 снижает эффективность ионного воздействия. Предполагаемой причиной спада H_μ может быть не только коагуляция зерен карбидов, но и возможный отжиг поверхностных дефектов. Известно [6], что при высокоэнергетической ионной обработке за счет аннигиляции точечных дефектов возникают вторичные акустические волны, которые также оказывают влияние на структурные и механические свойства материалов. По-видимому, нагрев приповерхностных слоев под действием высоких плотностей ионного тока уменьшает концентрацию дефектов вблизи поверхности, а тем самым и амплитуду вторичных волн.

При исследовании фрикционных свойств было выявлено неоднозначное влияние облучения на коэффициент трения (рис. 2). После обработки с j менее 80 А/см^2 коэффициент трения, как правило, возрастал. Дальнейшее повышение плотности ионного тока вызывало снижение f , и наблюдалась тенденция возврата к исходным значениям. Аналогичное поведение было обнаружено и при измерении параметра шероховатости поверхности R_a . Так, для образцов из твердого сплава ВК-8 максимальный прирост $\Delta R_a = 0.1$ мкм регистрировался после облучения с $j < 80 \text{ А/см}^2$, а затем происходило снижение до первоначальных значений. Такое изменение микрогеометрии объясняется процессами селективного распыления и оплавления поверхности. При скольжении стального индентора по твердому сплаву срез должен осуществляться по наиболее мягкой связке из кобальта. Если предположить, что при облучении в более мягкой компоненте мишени образуется высокая плотность дислокаций, повышающая сдвиговые напряжения в зоне контакта, то коэффициент трения должен возрасти. С другой стороны, оплавление поверхности

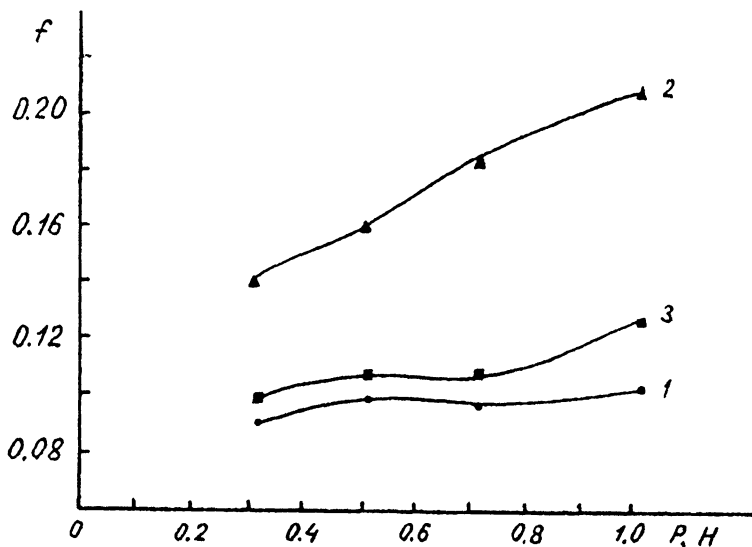


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от нагрузки для сплава ВК-8, облученного МИП C^+ : 1 — необлученный, 2 — $j = 80 \text{ A/cm}^2$, $n = 3$, 3 — $j = 100 \text{ A/cm}^2$, $n = 3$.

при высоких плотностях ионного тока ($> 80 \text{ A/cm}^2$), приводящее к сглаживанию профиля, и фазовые превращения $\beta\text{-Co}$ (ГЦК) \rightarrow $\alpha\text{-Co}$ (ГПУ) снижают величину f . Известно, что материалы с ГПУ-структурой обладают низкими значениями коэффициента трения по сравнению с ОЦК- и ГЦК-кристаллами за счет меньшего адгезионного схватывания [7].

Проведенные эксперименты показали, что мощные ионные пучки могут быть использованы для упрочнения твердых сплавов. Однако необходимо подбирать такие условия облучения, учитывая возможность сильного разогрева поверхности, которые позволили бы получать определенные сочетания между микротвердостью и коэффициентом трения.

Список литературы

- [1] Погребняк А.Д., Ремнев Г.Е., Чистяков С.А., Лизачев А.Е. // Физика. 1987. № 1. С. 52-56.
- [2] Романов И.Г., Павлов А.П., Царева И.Н. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 1992. Т. 56. № 7. С. 2.
- [3] Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Дж. М. Поута, Г. Фоти, Д.К. Джекобсона. М.: Машиностроение, 1987. 424 с.
- [4] Anderson A.D., Loretto M.H., Dearmley G. // Mater. Sci. and Eng. 1988. V. 106. N 1-2. P. 503.

- [5] *Ерофеев В.И., Романов И.Г., Царева И.Н.* // Волновые задачи механики. Сб. науч. тр. Н. Новгород, 1992. С. 51.
- [6] *Семих Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 3. С. 273-274.
- [7] *Чижос Х.* Системный анализ в трибонике. М.: Мир, 1982. 351 с.

Нижегородский филиал
Института машиноведения РАН

Поступило в Редакцию
11 мая 1995 г.
В окончательной редакции
20 марта 1996 г.