

УДК 548.0

ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ АМОРФНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА С ПОЛИПАРАКСИЛИЛЕНОВЫМ ПОКРЫТИЕМ

**М.Н. ВЕРЕЩАГИН, О.М. ОСТРИКОВ,
Д.Б. ЗЮКОВ, Н.П. ГЛАЗЫРИН**

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого»,
Республика Беларусь*

*Институт механики металлополимерных систем
им. В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель*

Введение. Изучение влияния тонких пленок на механические свойства твердых тел является актуальным направлением в современной науке. Однако, несмотря на большое внимание к данной проблематике, многие вопросы остаются мало изученными. Так, например, в современной литературе ограничены сведения, касающиеся влияния тонких пленок на свойства аморфных материалов.

Целью данной работы стало изучение влияния полипараксилиленовых (ППК) тонких пленок на особенности пластической деформации аморфных сплавов на основе железа.

Методика эксперимента. Аморфный сплав Fe-Cr-Mo-V-B-Si был получен методом спиннингования его расплава на наружную поверхность медного диска-кристаллизатора. Скорость охлаждения ленты составляла $8 \cdot 10^5$ °C/с. На поверхность аморфных лент наносилась тонкая пленка ППК различной толщины.

Полипараксилилен является линейным полимером с регулярной химической структурой (-CH₂-C₆H₄-CH₂-) и молекулярной массой 200000 – 500000 ед. Плотность ППК составляет 1,1 г/см³, модуль упругости при растяжении 24500 кгс/см², предел прочности при растяжении 630 кгс/см².

ППК, осаждаемый на поверхности подложек, обычно имеет кристаллическую структуру, прозрачен в оптическом диапазоне, имеет высокие диэлектрические характеристики. Пленки конформны являются равнотолщинными и ненапряженными. Адгезия ППК пленок к гладким поверхностям невелика, если не использованы различные методы предварительной обработки (например, плазмохимический).

ППК пленки на исследованных образцах получены по методу Горхэма, когда газ-мономер образуется в термическом реакторе в процессе пиролиза паров исходного димера – циклодипараксилола. Из высокотемпературного (550-650 °C) реактора затем газ-мономер поступает в низкотемпературную (0-30 °C) камеру нанесения пленок, где полимеризуется на поверхностях, имеющих температуру менее 30 °C. Получение ППК пленок идет в проточном режиме, при низких давлениях – от 0,1 до 100 Па в различных технологических зонах установки.

Аморфные ленты помещались в вакуумную камеру установки получения ППК пленок, камера откачивалась до давления 0,1 Па, затем при давлении мономера в камере 3-5 Па на образцах была получена пленка со средней скоростью 5 нм/мин. Толщина пленки составляла 10 и 100 нм. В плане исследования особенностей пластической деформации аморфных сплавов следует отметить такое достоинство получаемых покрытий, как прозрачность для световых волн.

Рентгеноструктурный и рентгенофазный анализы аморфных лент выполнены на дифрактометре ДРОН-3.

Исследовались особенности пластической деформации аморфного сплава Fe-Cr-Mo-V-B-Si с нанесенными на его поверхность пленками ППК. В качестве сосредоточенной нагрузки использовалась алмазная пирамида Виккерса прибора ПМТ-3. Данная методика позволяет дозировать величину деформации путем изменения нагрузки P на индентор, которая в данной работе изменялась от 0,5 до 2,0 Н. Глубина проникновения индентора не превышало 7 мкм. Измерялось удаление от отпечатка индентора полос сдвига в виде колец L . Фиксировалось их среднее число N . Велся статистический анализ измеренных параметров. Измерения велись на двух сторонах аморфных лент, то есть на стороне, соприкасавшейся при получении с медным диском кристаллизатором (сторона 2), и на стороне, соприкасавшейся с воздухом (сторона 1).

Результаты эксперимента и их обсуждение. Рентгеноструктурный и рентгенофазный анализы показали, что исследуемый материал рентгеноаморфный.

Типичная деформационная картина, возникающая у отпечатка пирамиды Виккерса на поверхности аморфного сплава на основе железа, представлена на рис. 1. Наблюдается ансамбль полос сдвига двух типов: в виде колец, или полуколец, окаймляющих отпечаток индентора, и в виде лучей, идущих от индентора. Следует отметить, что зависимость числа указанных дефектов от нагрузки на индентор не однозначная. Согласно данным работы [2], полосы сдвига в виде колец возникают при малых нагрузках на индентор, близких к 0,5 Н. Далее процесс пластической деформации претерпевает переход к формированию полос сдвига в виде лучей, что приводит к перераспределению упругой энергии между двумя рассматриваемыми каналами пластической деформации, причем с ростом нагрузки на индентор в пределах 1-1,5 Н больше энергии расходуется на формирование лучей. При этом чешуйчатые навалы, зародившиеся на некоторой промежуточной стадии внедрения индентора, вминаются им в исследуемый материал. Исследования показали, что в случае малых нагрузок на индентор процесс формирования полос сдвига в виде колец существенно отличается от полос сдвига, формирующихся при больших нагрузках. Основное отличие заключается в том, что во втором случае формирование чешуйчатых навалов прекращается еще на стадии динамического деформирования, когда данный канал пластической деформации реализуется не в полной мере в плане использования энергии деформирования. Тогда как при малых нагрузках формирование полос сдвига заканчивается при прекращении проникновения индентора.

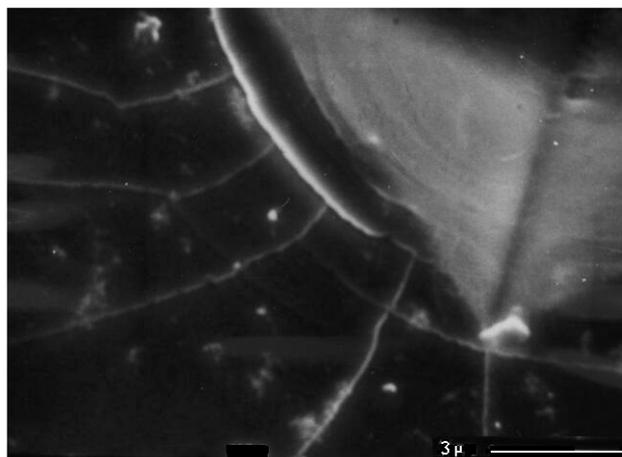
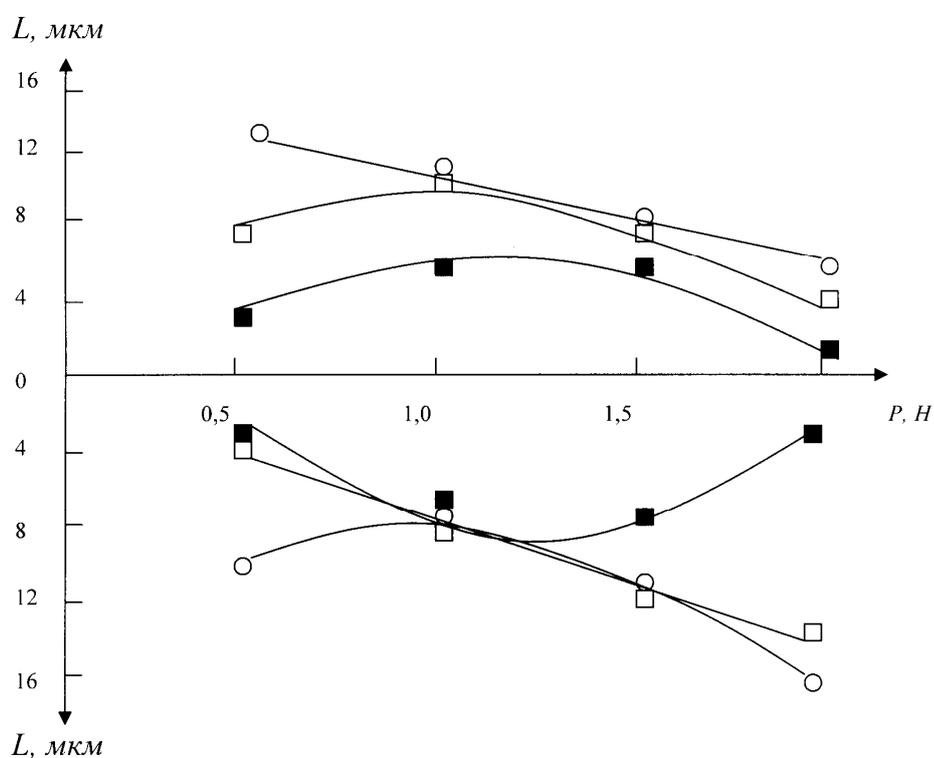


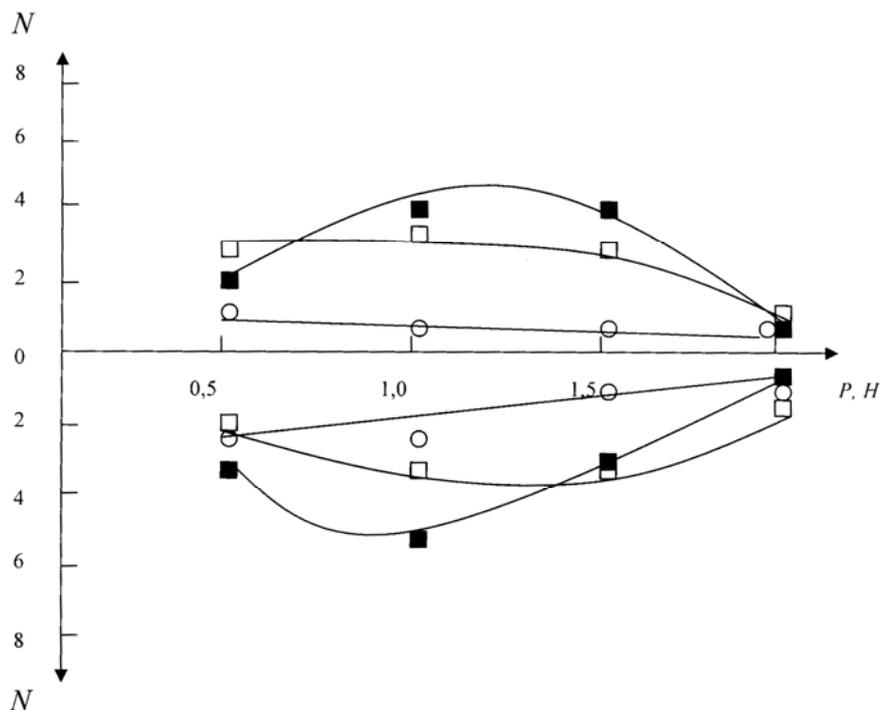
Рис. 1. Типичная деформационная картина, возникающая на поверхности аморфного сплава у отпечатка пирамиды Виккерса. Снимок сделан с помощью растрового электронного микроскопа Cam Scan-4

Уменьшение числа чешуйчатых навалов с ростом нагрузки не всегда приводит к уменьшению удаления их от отпечатка индентора. Для исследованного сплава на стороне 2 в отличие от стороны 1 наблюдается некоторое увеличение их удаленности от индентора с ростом нагрузки на него. Это говорит о том, что напряженное состояние и структура у двух поверхностей аморфной ленты различна. Вероятно, плотность дисклинаций на стороне 2 выше, чем на стороне 1. Являясь концентраторами внутренних напряжений, дисклинации способствуют активации процесса формирования полос сдвига. Более того, по данным работы [1], дисклинации в аморфных материалах активно взаимодействуют с дислокациями полос сдвига, что облегчает процессы генерации и развития полос сдвига.

Влияние пленок ППК на аморфных лентах на характер развития полос сдвига в виде колец представлено на рис. 2 в виде зависимостей $N = f(P)$ и $L = f(P)$. Как видно из рис. 2а, наличие на поверхности аморфной ленты тонкой пленки приводит к уменьшению числа полос сдвига у отпечатка индентора. Наиболее явно данный эффект наблюдается в случае пленки 100 нм. Вероятно, это обусловлено изменением кинетики деформирования материала, при этом часть энергии деформации расходуется на деформирование тонкой пленки. Более того, тонкая пленка способствует изменению коэффициента трения между внедряемым индентором и контактирующей поверхностью испытываемого материала. Все это способствует формированию под индентором более равномерного распределения напряжений [3]. Это в свою очередь способствует уменьшению числа активируемых источников формирования полос сдвига, что прямо связано с уменьшением числа полос сдвига у отпечатка индентора [4].



а)



б)

Рис. 2. Зависимости (а) среднего числа N полос сдвига у одной грани отпечатка индентора и (б) их удаления L от нее от нагрузки на индентор P (для сплава Fe-Cr-Mo-V-B-Si). Положительная область – сторона 1, отрицательная – сторона 2: ■ исходные образцы без пленки; □ с пленкой 10 нм; ○ с пленкой 100 нм

Из рис. 2б видно, что тонкие пленки способствуют увеличению удаления полос сдвига от отпечатка индентора полос сдвига типа полуколец. Это можно объяснить тем, что полосы сдвига типа полуколец формируются в областях максимальных напряжений у индентора. Тонкие пленки способствуют смещению этих областей на более удаленное расстояние от индентора, что в свою очередь и приводит к удалению от отпечатка полос сдвига типа полуколец.

Особенностью формирования полос сдвига в виде лучей является то, что их появление наблюдается при более высоких (порядка 2 Н) нагрузках на индентор, чем в случае лент без пленок. Это, вероятно, обусловлено тем, что необходимый уровень напряжений в областях зарождения лучей в материалах с пленками достигается позже, чем в сплавах без пленок. Об этом в частности свидетельствуют результаты измерений глубины проникновения индентора в зависимости от нагрузки на него, проведенные в данной работе. Было установлено, что пленка действительно способствует уменьшению глубины проникновения индентора на величину порядка 3 – 5 мкм. Пластическая деформация в исследуемых материалах с нанесенной на их поверхности пленкой проявляется менее интенсивно из-за меньшего объема материала подложки, вытиснутого индентором. А это в свою очередь приводит к тому, что стадия перехода пластической деформации от чешуйчатых навалов к лучам смещается в область более высоких нагрузок.

Выводы. Изучено влияние тонких пленок ППК на закономерности формирования полос сдвига у отпечатка пирамиды Виккерса. Установлено, что при наличии тонких пленок на поверхности стадия перехода пластической деформации от формирования чешуйчатых навалов к образованию лучей смещается в область более вы-

соких нагрузок. Тонкие пленки ППК способствуют уменьшению числа полос сдвига типа полукольца и увеличению их удаленности от отпечатка индентора.

Список литературы

1. Глезер А.М., Молотилев Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. – М.: Металлургия, 1992. – 208 с.
2. Верещагин М.Н., Шепелевич В.Г., Остриков О.М., Цыбранкова С.Н. //Труды X Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Т. IV: Взаимосвязь строения и свойств различных состояний (кристаллическое, квазикристаллическое, аморфное, жидкое). – Екатеринбург – Челябинск, 2001. – С. 3-6.
3. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987.
4. Остриков О.М. Влияние алюминиевых тонких пленок на двойникование приповерхностных слоев монокристаллов висмута //Металлы. – 2000. – № 1. – С. 79-81.

Получено 20.12.2002 г.