

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТРУКТУРУ КАРБОНИЗИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИУРЕТАНОВЫХ ОБРАЗЦОВ

Изюмов Р.И. *, Чудинов В.С., Свистков А.Л., Осоргина И.В., Пелевин А.Г.

* e-mail: izumov@icmm.ru

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Россия, 614013, г. Пермь, ул. Акад. Королёва 1
Лаборатория микромеханики структурно-неоднородных сред

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Работа посвящена изучению влияния различных видов механических нагрузок на состояние карбонизированных слоев на поверхности полиуретановых образцов с помощью атомно-силовой и оптической микроскопии. Интерес представляет способность углеродного слоя сохранять свою структурную целостность в результате действия больших деформаций, а также возможность появления трещин и отслоений в случае недостаточной эластичности и слабой сцепки этого слоя с подложкой необработанного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Были исследованы образцы полиуретана двух марок (PU3, PU5), каждая из которых была изготовлена по литьевой (PU3L, PU5L) и растворной (PU3R, PU5R) технологии. Карбонизированный слой на поверхности образцов был получен с применением технологии ионно-плазменной обработки в двух режимах:

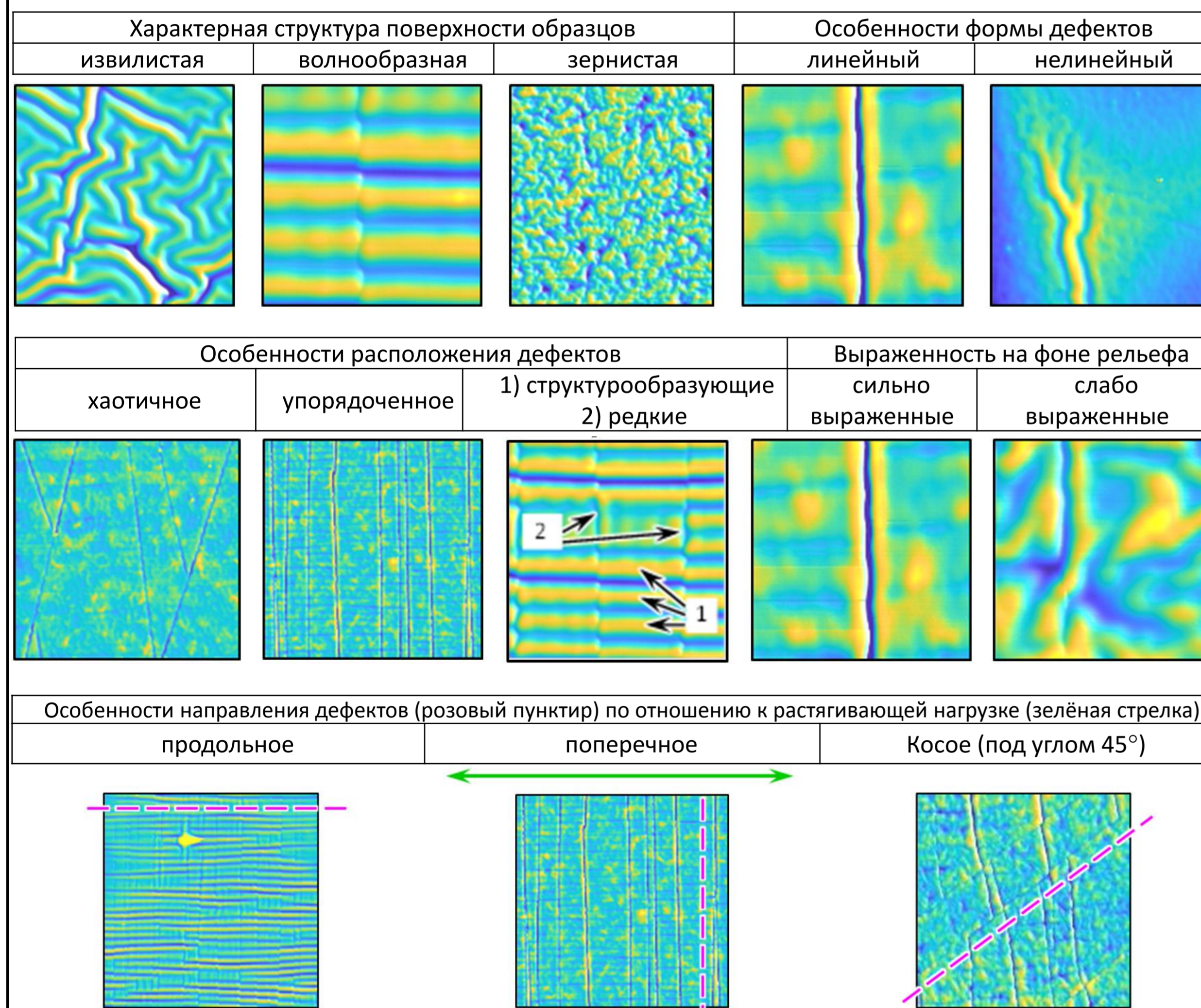
- С продолжительностью обработки 200 секунд и флюенсом 10^{15} ион/см² (образцы № 100, 101, 109, 110).
- С продолжительностью 1000 секунд и флюенсом $5 \cdot 10^{15}$ ион/см² (образцы № 103, 104, 106, 107)

Каждый образец был подвергнут механическим нагрузкам на:

- ТМ - разовое растяжение на 50% со скоростью 12.5%/мин (испытательная машина Тестометрик).
- ТМ2 - разовое растяжение на 50% со скоростью 100%/мин
- DMA - динамические растягивающие нагрузки на динамическом механическом анализаторе DMA/SDTA861e (далее просто DMA). Было реализовано одноосное растяжение (постоянное растягивающее усилие, последующая деформация с амплитудой, не превышающей постоянной деформации, по гармоническому закону) с частотой 1 Гц и амплитудой по деформациям в 3% (300 мкм) в диапазоне температур от 10°C до 50°C и скоростью изменения температуры 2.5 град/мин. Использовались образцы с длиной базы 1 см, толщиной от 1 до 2.5 мм, шириной 4 мм.
- нажатие на поверхность макро индентором с усилием 1Н и 10Н со скоростью 10 мм/мин.

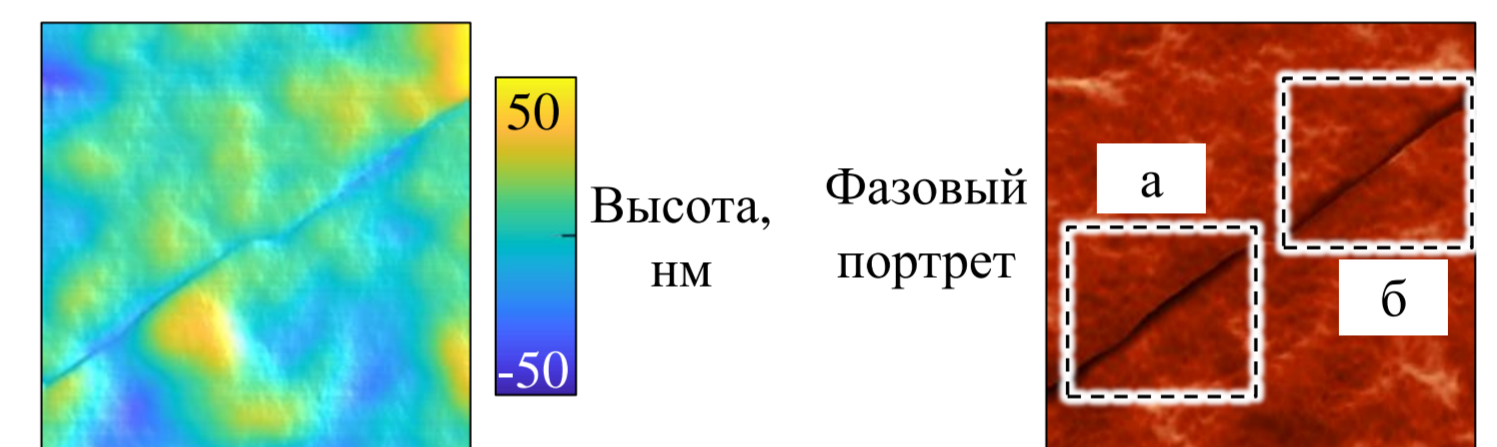
РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате анализа АСМ-сканов был выделен ряд топологических особенностей поверхности образцов. Для обозначения этих особенностей были введены следующие:



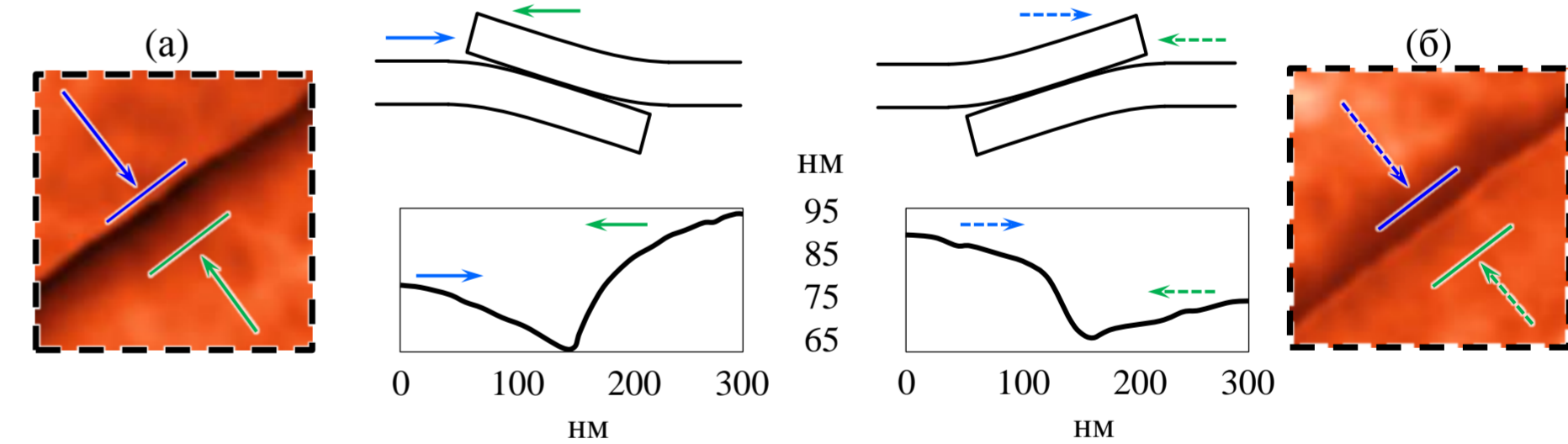
АНАЛИЗ НАКЛОННЫХ ДЕФЕКТОВ. ЯВЛЕНИЕ НАХЛЁСТА

Анализ проведён на примере образца PU3L(№101) после растяжений на Тестометрике



Слева рельеф косоугольного трещинообразного линейного дефекта. Справа – изображение фазового портрета поверхности. Участок 3x3 мкм, 10 нм/пкс

На изображении фазового портрета более тёмные оттенки соответствуют меньшему сдвигу фазы (запаздыванию колебаний зонда от колебаний основания кантилевера). Причиной этому может быть: различная адгезия участков, вязкости, шероховатости. В нашем случае мы рассматриваем одну и ту же поверхность по разные стороны от трещины, поэтому контраст фазы в области дефекта создаётся за счёт резкого перепада жесткости системы «слой-подложка». Чем более жесткий отклик поверхности, тем темнее оттенок на изображении.



На рисунке пунктиром выделены участки: (а) - изменение жесткости со стороны синей стрелки происходит скачкообразно, а со стороны зелёной – плавно; (б) – наоборот. Это явление можно объяснить следующим образом. В области между синей и зелёной чертой, произошло растрескивание углеродного слоя на 2 части и последующий наплыв одного берега трещины на другой. Верхний берег ощущается индентором как более жесткий, т.к. его край имеет опору на нижний слой. В втором участке наоборот – верхний берег расположен со стороны синей стрелки.

Контрольные образцы PU3R PU3L, PU5R не имели линейных дефектов. При этом контрольные образцы PU5L литьевого типа ещё до испытаний на механические нагружения имели подобные дефекты. По всей видимости, их поверхностный слой чрезвычайно хрупок и покрывается дефектами в результате элементарных манипуляций с образцами. Образцы типа PU3L выделяются особой зернистой структурой рельефа. Другие образцы имели извилистый рельеф.

Наименьшее влияние на структуру образцов оказали испытания на динамические нагружения с изменением температуры. Рельеф сохранил свои особенности, а дополнительные дефекты не проявились.

После значительных деформаций на машине Тестометрик на образцах были выявлены изменения в структуре карбонизированного слоя. В основном это линейные трещинообразные дефекты, расположенные в поперечном направлении по отношению к направлению деформаций. В редких случаях обнаружены линейные дефекты, расположенные под углом около 45° по отношению к направлению растяжения.

Различные типы образцов имели различную выраженность дефектов. Можно выделить две группы:

- 1) Образцы, на которых появившиеся дефекты существенно изменили структуру рельефа.
- 2) Образцы, на которых дефекты не изменили структуру рельефа, и на её фоне не выделяются.

Отдельно выделяется PU3L(№104), на котором не появилось дефектов.

Каждую из указанных групп образцов объединяет одинаковый режим обработки: первая группа обрабатывалась в течение 200 секунд с флюенсом 10^{15} ион/см², вторая – 1000 секунд, $5 \cdot 10^{15}$ ион/см².

Кроме этого, было замечено, что эти группы образцов отличает преобладающий на поверхности тип линейного дефекта: для первой группы характерны дефекты, которые можно сравнить с желобами, для второй группы характерны трещинообразные дефекты, берега которых расположены внахлест, что было косвенно подтверждено анализом фазового портрета дефектов поверхности (подробнее далее).

Влияние нажимного воздействия макроиндентором с усилием 10 Н было исследовано на образце PU3L(№104).

Установлено, что на участке под вершиной индентора, появились множественные линейные дефекты. Они расположены преимущественно в одном направлении и заметно искривлены. Вид дефектов – трещинообразный. На небольшом расстоянии от этого участка подобные дефекты не обнаружены. Во всех случаях поверхность не изменилась по сравнению с контрольным образцом – структура мелкозернистая, слабовыраженная.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа полученных данных о рельефе поверхности обработанных на ионно-плазменной установке полиуретановых образцов была получена зависимость структуры и выраженности рельефа от материала, рецептуры изготовления и режима ионно-плазменной обработки. Образец типа PU3L(№104) имеет наилучшую среди изученных образцов стойкость к появлению дефектов и искажению структуры поверхности карбонизированного слоя при воздействии различного вида механических нагрузок. Интересны дальнейшие исследования в растянутом состоянии. Это позволит определить, как те или иные виды дефектов проявляют себя в процессе деформирования поверхности: будет ли наблюдаться раскрытие трещин или поджатые берега трещин могут разглаживаться, сохраняя карбонизированное покрытие неразрывным? Будут ли берега трещин скользить относительно друг друга в случае косоугольного направления или они будут прижиматься друг к другу и образовывать волнообразные стыки? Подтвердить наличие перехлеста можно с помощью анализа кривых наноиндентирования и сравнения их с результатами численного и конечно-элементного моделирования. Все эти моменты могут оказаться существенными для практического применения материала, покрытого карбонизированным слоем.