

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРБОНИЗИРОВАННОГО СЛОЯ, СФОРМИРОВАННОГО ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИЭТИЛЕНА

Т. Д. Тимкина^а, Я. Н. Иванов^а, В. С. Чудинов^{а,б}, И. Н. Шардаков^б

^аПермский государственный национальный исследовательский университет, 614068, ул. Букирева, 15, г. Пермь, Российская Федерация

^бИнститут механики сплошных сред УрО РАН, 614013, ул. Академика Королёва, 1, г. Пермь, Российская Федерация

Ионно-плазменная обработка полимерных материалов является перспективным методом, который позволяет существенно изменить характеристики их поверхности, такие как смачиваемость, биосовместимость, адгезионные и другие свойства.

В результате ионно-плазменной обработки на поверхности полимера образуется углеродный слой толщиной в десятки нанометров. Характеристики этого нанослоя зависят от дозы и энергии имплантированных ионов, а также от типа полимера.

В данной работе исследуются механические свойства карбонизированного слоя на поверхности полиэтилена низкой плотности, полученного в результате обработки поверхности ионами азота с энергией 20 кэВ. Флюенс ионов варьировался в диапазоне от 10^{15} ион/см² до 10^{16} ион/см².

Материалы и методы

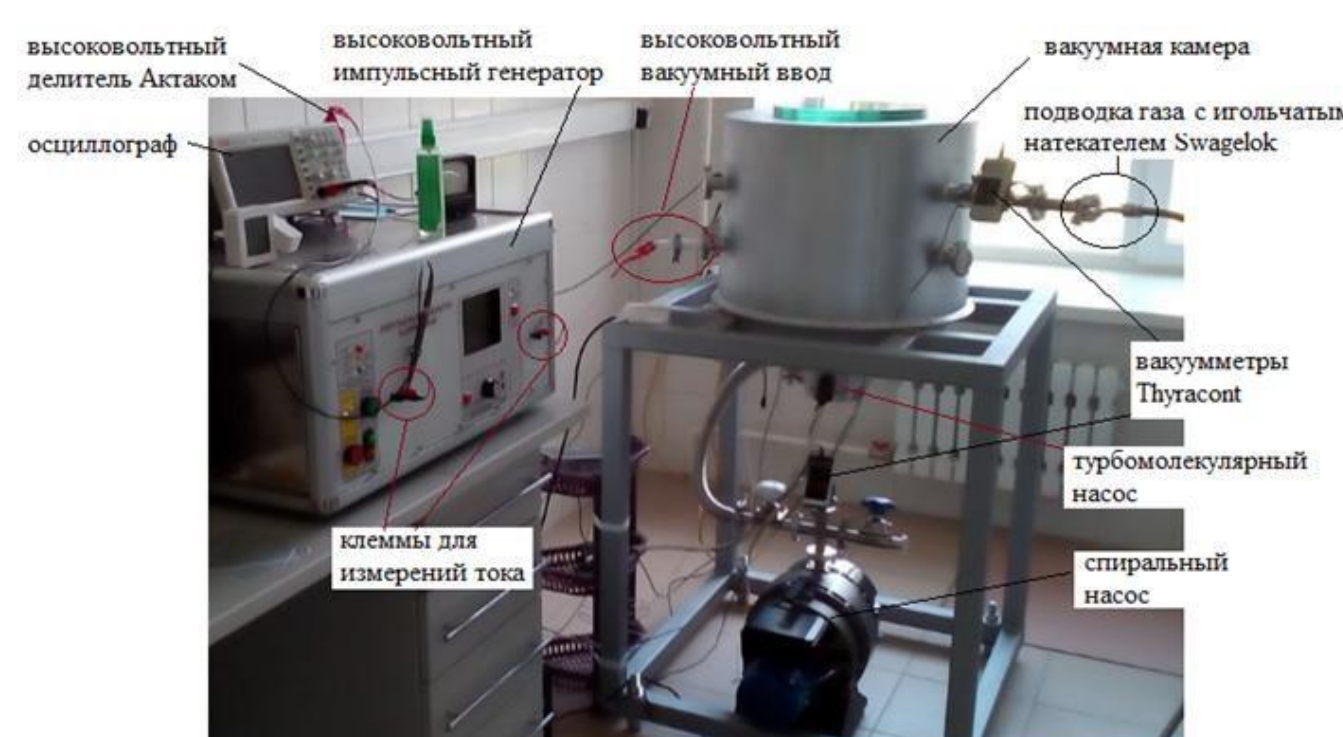
Образцы

Образцы для испытаний были изготовлены из пленки полиэтилена низкой плотности (ПЭНП). Размер образцов составлял 100 x 10 мм, толщина равнялась 40 мкм. Было подготовлено 12 образцов.

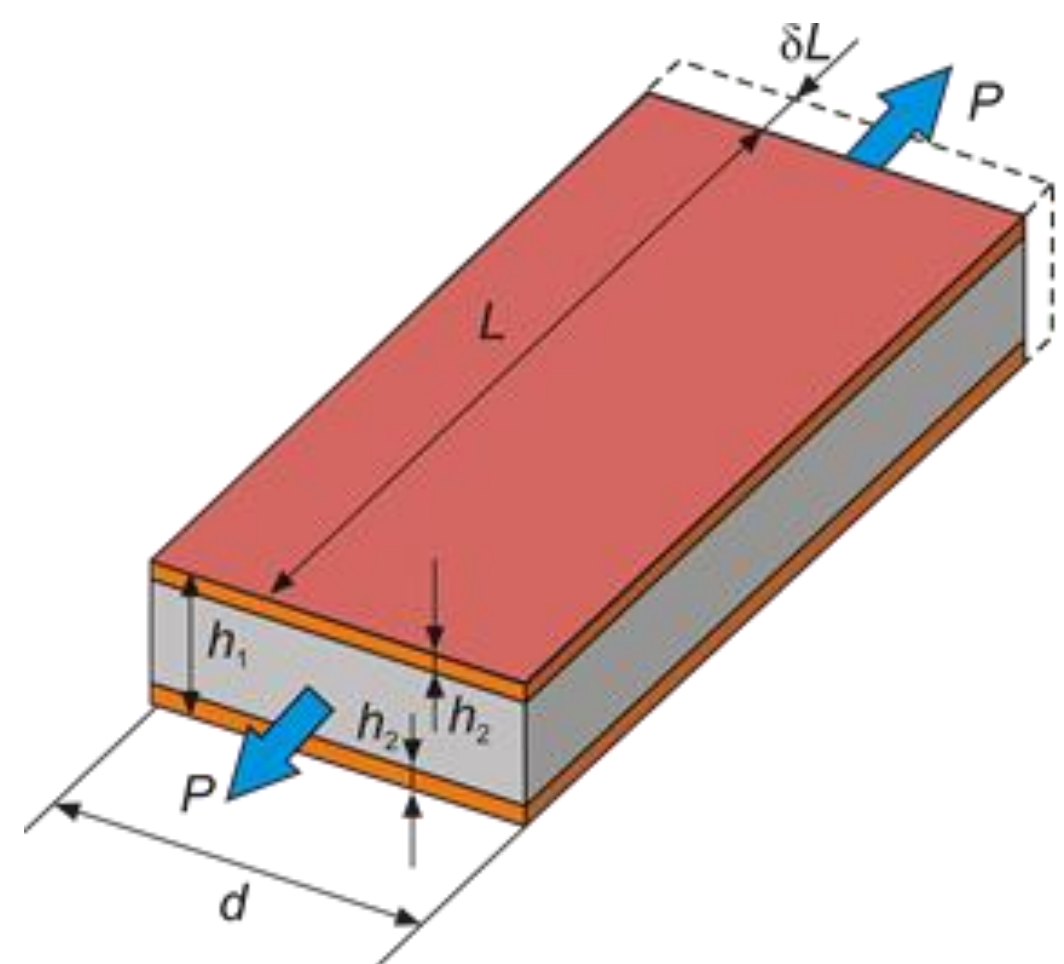
Обработка

Образцы обрабатывали на ионно-плазменной системе "VSIO-20KV-100NS" высокоэнергетическими ионами азота с энергией 20 кэВ. Флюенс ионов варьировался в диапазоне от 10^{15} ион/см² до 10^{16} ион/см².

За среднюю толщину карбонизированного слоя было принято значение 70 нм, полученное из расчетов в TRIM.



Модель композитного стержня



Способ определения модуля упругости карбонизированного слоя основан на результатах одноосного растяжения образцов пленки полиэтилена и расчета на основе модели композитного стержня (1).

$$E_l = \frac{E_f h_1 - E_s (h_1 - 2h_2)}{2h_2}, \quad (1)$$

Рис.1 Схема нагружения образца

Одноосное растяжение

Все эксперименты на одноосное растяжение проводились с использованием тестометрической испытательной машины FS100.

Был установлен следующий режим деформации: деформация до 1% при постоянной скорости 1%/мин.

Продольная деформация образца определялась по смещению траверсы испытательной машины.

Растягивающее усилие P регистрировалось с помощью датчика силы.

Эксперимент по описанной методике проводился при нескольких значениях флюенса (10^{15} , 3×10^{15} , 5×10^{15} и 10^{16} ион/см²) с энергией ионов 20 кэВ.

Разрушающая деформация

Исследование процесса появления трещин в углеродном слое при одноосной деформации образцов проводилось с помощью оптической микроскопии (цифровой оптический 3D-микроскоп Hirox KH-7700). Одноосная деформация осуществлялась с помощью разработанного и созданного растягивающего устройства (рис. 2).

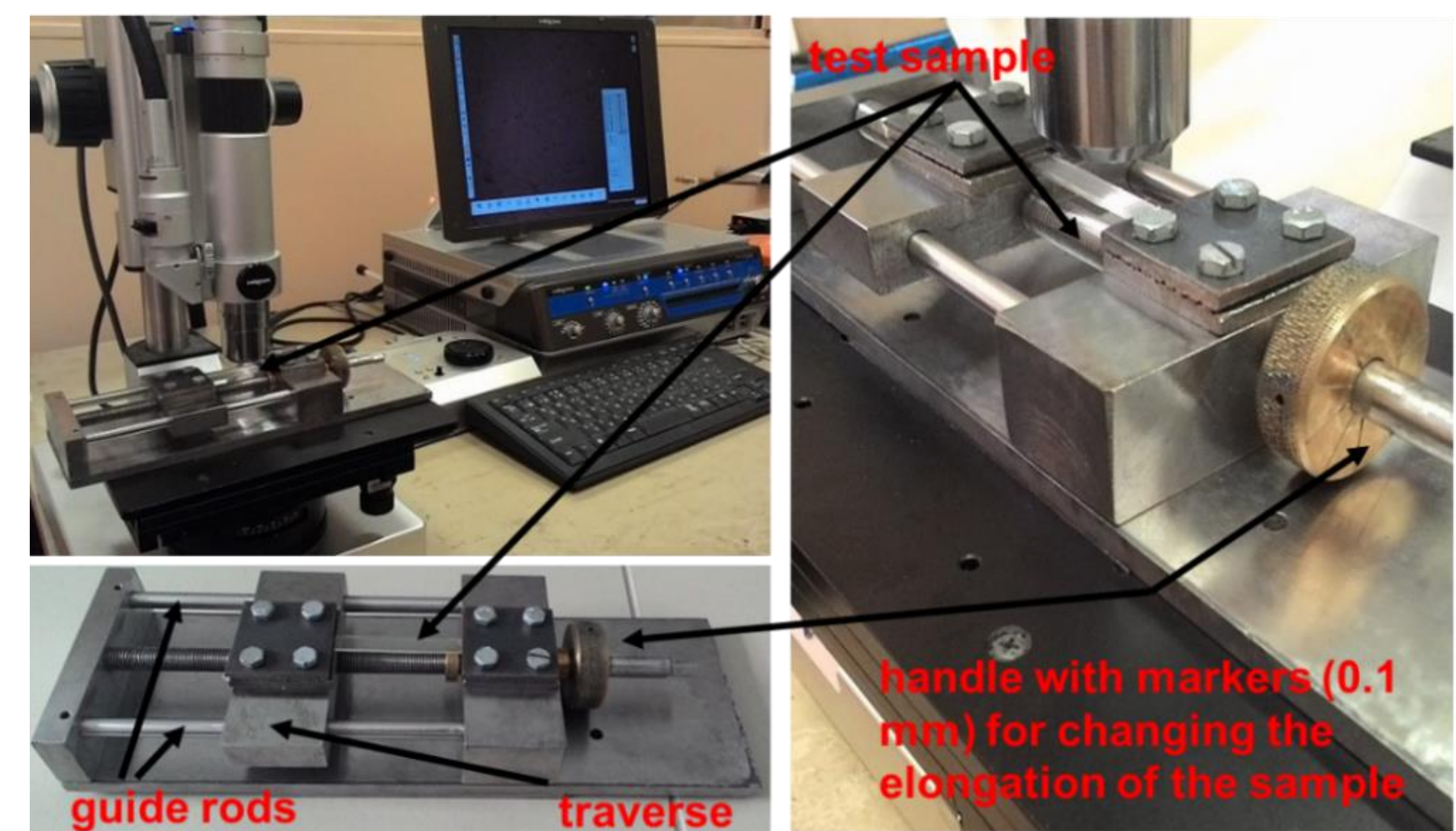


Рис.2 Растягивающее устройство

Результаты

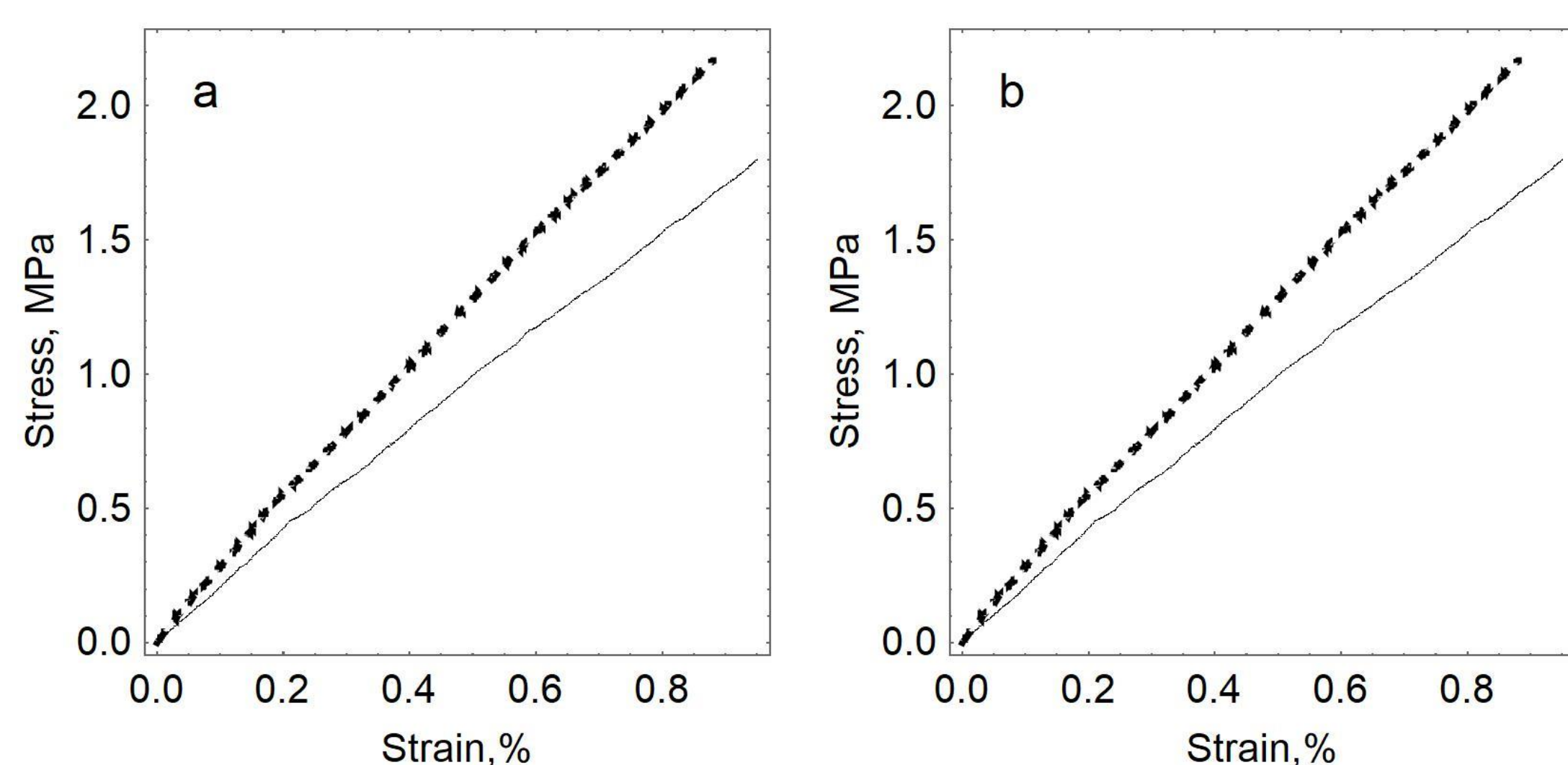


Рис.3 Диаграммы деформирования образцов до (сплошная линия) и после (пунктирная линия) ионно-плазменной обработки: а) образец, обработанный плазмой с флюенсом 10^{15} ион/см², б) образец, обработанный плазмой с флюенсом 10^{16} ион/см².

Статистическая обработка этих результатов показывает, что на таком наборе данных разброс значений составляет не более 3%. Такая точность измерения модуля упругости подтверждает достоверность зависимости, показанной на рис. 4б.

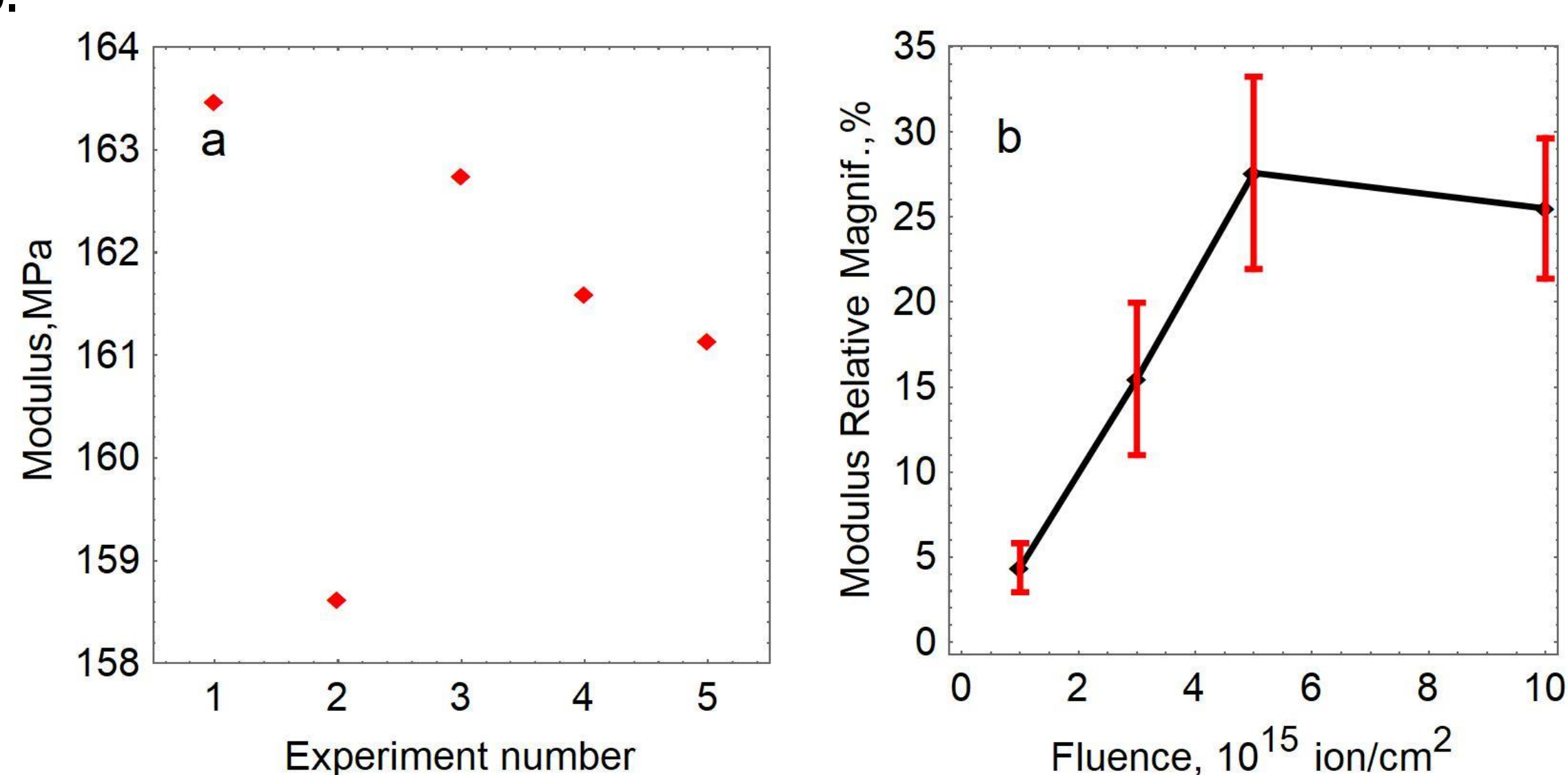


Рис.4 а) Результаты валидации (значения упругого модуля) методики для пленок полиэтилена (LDPE). б) Зависимость относительного увеличения упругого модуля (среднее значение и стандартное отклонение) от флюенса ионно-плазменной обработки.

Зависимость модуля упругости карбонизированного слоя коррелирует с результатами спектрофотометрии. При флюенсе 10^{15} ион/см² достигается насыщение изменений в структуре поверхностного слоя.

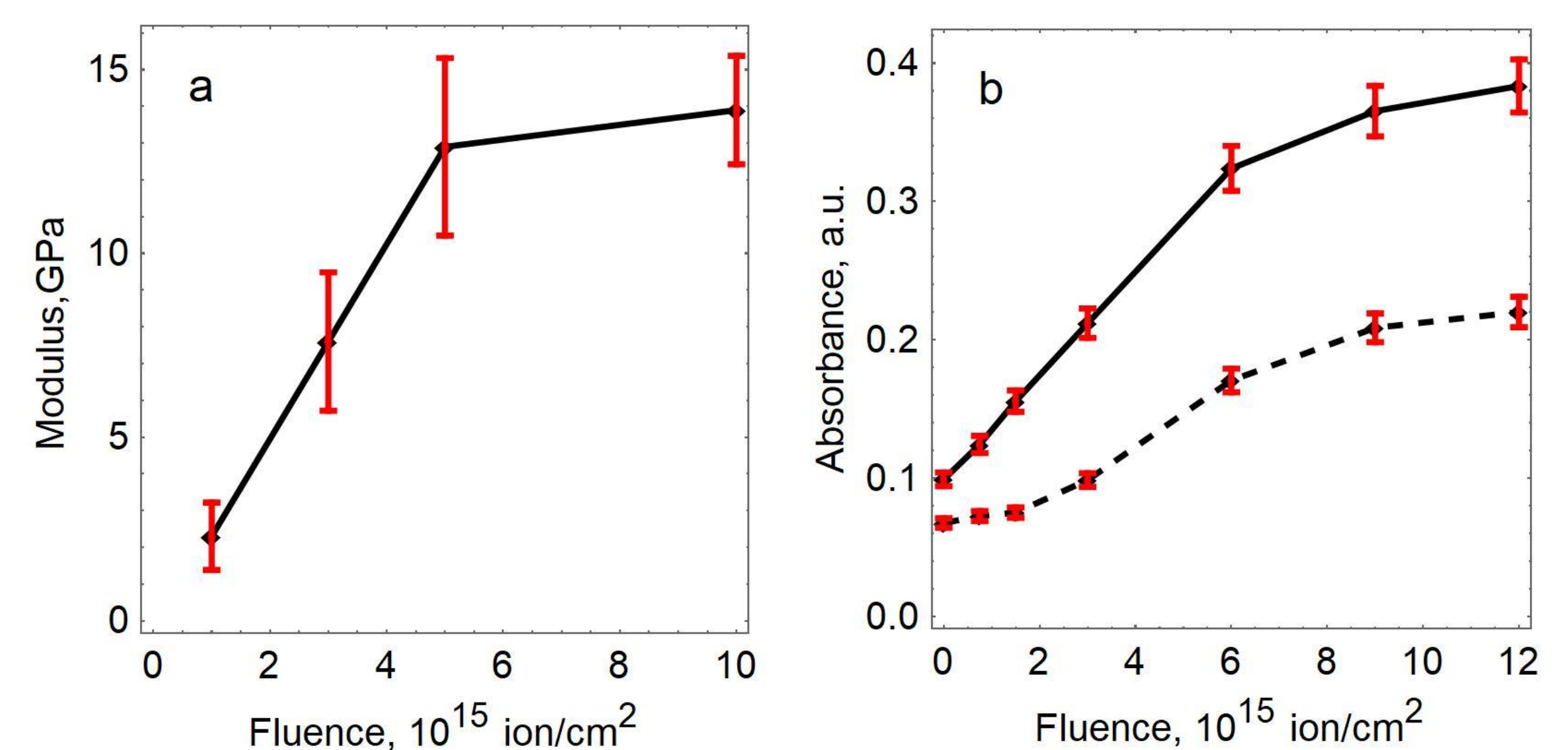


Рис.5 а) Зависимость упругого модуля карбонизированного слоя (среднее значение и стандартное отклонение) от флюенса обработки; б) Зависимость поглощения света (среднее значение и стандартное отклонение) от флюенса обработки. Длина волны: сплошная линия – 357 нм, пунктирная линия – 555 нм.

На рис. 6 показана величина одноосной деформации, которая соответствует появлению трещин в углеродном слое. Это значение значительно уменьшается с увеличением дозы ионов. Эта зависимость указывает на более выраженное проявление хрупких свойств поверхностного слоя по мере увеличения флюенса. Все трещины на поверхности образцов расположены перпендикулярно направлению деформации.

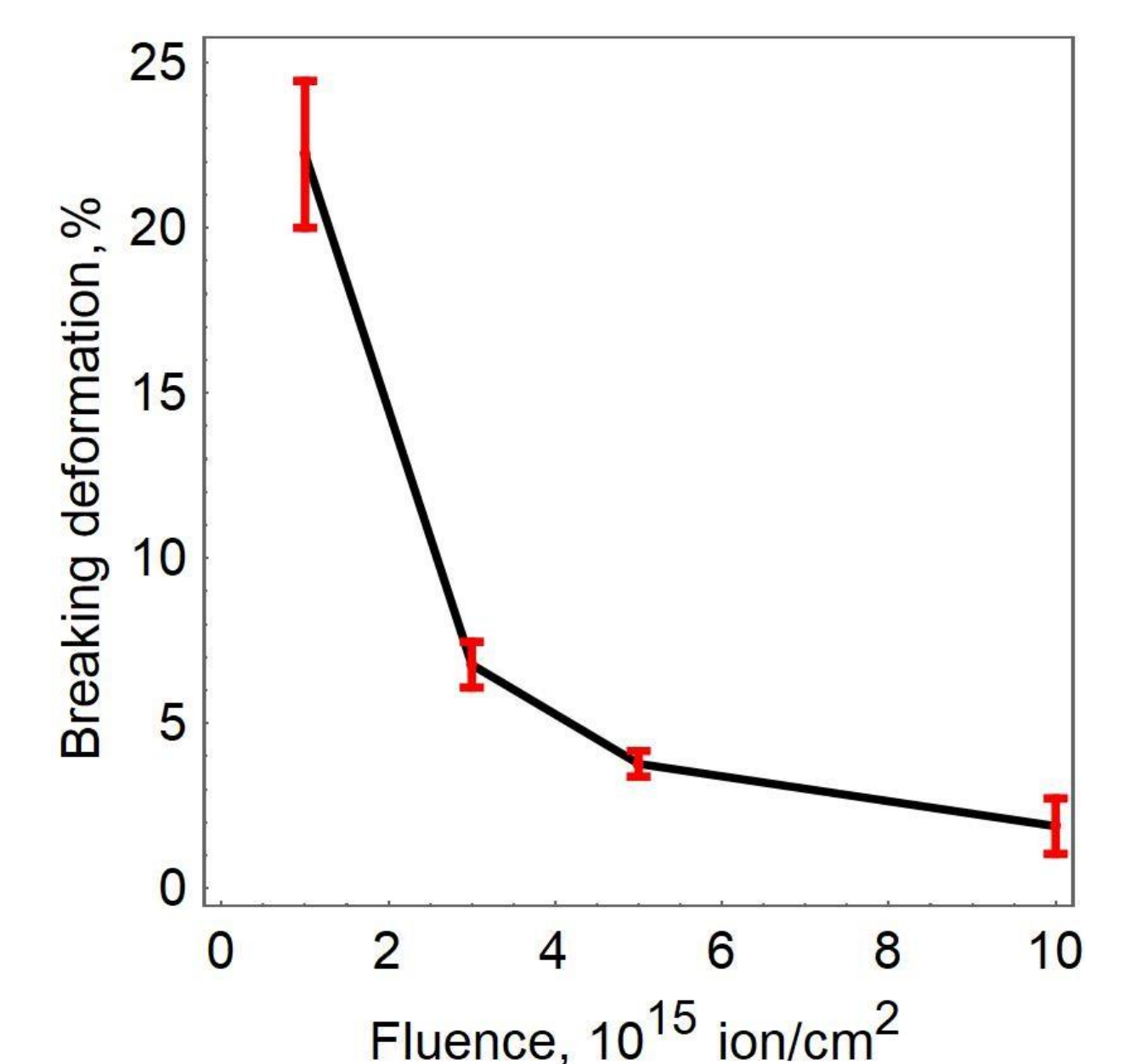


Рис.6 Зависимость разрушающей деформации карбонизированного слоя деформации (среднее значение и стандартное отклонение) от флюенса ионно-плазменной обработки.