



Рисунок 3 – Фрактограммы поверхности разрушения образцов стали 09Г2С после прокатки и испытания на растяжение: а) прокат; б), в) прокат с ЭПД.

#### Список литературы

1. Спицын В. И., Троицкий О. А. Электропластическая деформация металлов. - М.: Наука, 1985. - 160 с.
2. Матросов Ю.И., Литвиненко Д.А., Голованенко С.А. Сталь для магистральных газопроводов.- М.: Metallurgy, 1989.- 288 с

### ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ ПОРОШКОВЫХ И ВОЛОКНИСТЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ СВМПЭ ОБРАБОТКОЙ В ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНЕ

*С.В. ПАНИН<sup>1,2+</sup>, Л.А. КОРНИЕНКО<sup>1</sup>, ХУАН ЦИТАО<sup>2</sup>, В.О. АЛЕКСЕНКО<sup>1,2</sup>, Л.Р. ИВАНОВА<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

<sup>2</sup> НИ Томский политехнический университет

E-mail: [svp@ispms.tsc.ru](mailto:svp@ispms.tsc.ru)

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) обладает повышенными значениями ряда физико-механических и функциональных свойств, в частности высоким сопротивлением изнашиванию, низким коэффициентом трения, химической стойкостью и др. СВМПЭ широко применяется в машиностроении и медицине. Однако ненаполненный СВМПЭ испытывает значительный износ при длительной эксплуатации и обладает низкими показателями предела текучести и предела прочности. Поиск путей повышения механических свойств и износостойкости композитов на основе СВМПЭ является актуальной научно-технической задачей.

Существуют различные подходы к формированию композитов на основе СВМПЭ с повышенными относительно ненаполненного полимера свойствами. Однако ввиду химической инертности полиэтилена при наполнении его различными добавками (прежде всего, минеральные наполнители) химических связей на межфазных границах не образуется, что проявляется в крайне низкой адгезии наполнителей к СВМПЭ, и как следствие, снижению механических характеристик, прежде всего модуля упругости и величины удлинения до разрушения.

Анализ результатов механических испытаний СВМПЭ, наполненного аэросилом (аморфный, пирогенный диоксид кремния с размером частиц от 5 до 40 нм) после органофункционализации [1], выявил, что наряду с повышением модуля упругости

наблюдается восьмикратное снижение трещиностойкости. Показано, что функционализация аэросила позволяет, как повысить механические свойства, так и увеличить сопротивление изнашиванию при сухом трении скольжения за счет повышения межфазной связи.

В этом контексте очевиден интерес к применению микроразмерных наполнителей, которые могут быть функционализированы с применением компатибилизаторов (промоутеров адгезии).

В работе в качестве наполнителей СВМПЭ использовали микроволокна волластонита и микропорошок метагидроксида алюминия  $AlO(OH)$ . Для модифицирования поверхности наполнителей использовали реагент «Пента-1006» (ООО «ПЕНТА-91»), а именно композит на основе поли[окси(диметилсилилена)] [2]. Функционализацию наполнителей осуществляли их обработкой в водно-этанольных ( $pH = 4,5...5,5$ ) растворах модификатора «Пента-1006» при комнатной температуре при непрерывном перемешивании в течение 5 мин. Содержание реагента «Пента-1006» составляло 1 % от массы наполнителя. Затем суспензию высушивали в тепловом шкафу при температуре 120 °С. Образцы полимерных композитов были изготовлены методом горячего прессования при температуре 200 °С и давлении 10 МПа.

Исследованы структуры, механические характеристики и износостойкость композитов на основе СВМПЭ при сухом трении скольжения в условиях различных скоростей и нагрузок. При испытании в режиме сухого трения скольжения скорость вращения контртела составляла 0,3 м/с и 0,5 м/с; нагрузка на образец равнялась 60 и 140 Н.

Показано, что по сравнению с композиционным материалом, армированным исходным (необработанным) волластонитом, модуль Юнга после функционализации возрастает на 23 %. При умеренной нагрузке на образец (60 Н) величина износа снижается в 2 раза. В случае наполнения СВМПЭ функционализированным метагидроксидом алюминия механические свойства повышаются в среднем на 10 %, а износ уменьшается как при умеренной, так и при большой скорости скольжения (60 Н и 140 Н).

Таким образом, использование функционализированных порошковых и волокнистых наполнителей позволило повысить межфазную адгезию в композитах и, как следствие, увеличить механические и триботехнические характеристики. Обсуждаются механизмы повышения межфазной адгезии на основе теории взаимной диффузии [3].

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках плана фундаментальных научных исследований государственных академий наук 2013-2020 гг, а также проекта РФФИ 16-48-700192\_p\_a «Научные основы создания многоуровневых твердосмазочных, экструдруемых, антифрикционных композитов на базе перспективных термопластичных полимеров для медицины и машиностроения».

#### **Список литературы**

1. Андериха В.Н., Шаповалов В.А., Краснов А.П., Плескачевский Ю.М. О влиянии органофилизации аэросила на трибологические свойства малонаполненных композитов СВМПЭ// Трение и износ. – 2008 (29), № 4, 421-427.
2. [http://itwpenta.ru/area/proizvodstvo\\_himicheskoy\\_produkcii1/pererabotka\\_termoplastov\\_p\\_oliolefinov\\_i\\_pvh/modifikator\\_penta-1006](http://itwpenta.ru/area/proizvodstvo_himicheskoy_produkcii1/pererabotka_termoplastov_p_oliolefinov_i_pvh/modifikator_penta-1006).
3. Plueddemann, E.P. Silane Coupling Agents, 2nd Ed., Plenum Press: New York and London, 1991.