

УДК 666.1.053:541.68

## СОЖ НА ОСНОВЕ РАСТВОРОВ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТЕКЛА

И. И. ЗЛОТНИКОВ<sup>а+</sup>, П. А. ХИЛО<sup>б</sup>, М. И. ЗУБРИЦКИЙ<sup>в</sup>

Изучена возможность использования водорастворимых азотсодержащих полимеров как основы смазочно-охлаждающей жидкости для механической обработки (шлифования и сверления) стекла. Для исследований был выбран сополимер акриламида с акрилатами аммония и натрия, получаемый щелочным гидролизом полиакрилонитрильного волокна. Установлено, что высокая эффективность сополимера при механической обработке стекла обусловлена не только эффектом Ребиндера, но и механохимическими реакциями, облегчающими диспергирование стеклянной поверхности.

**Ключевые слова:** шлифование стекла, смазочно-охлаждающая жидкость, водорастворимые полимеры, механохимические процессы.

**Введение.** Механическая обработка стекла, в частности, шлифование и сверление — сложный процесс, включающий ряд механических, химических и механохимических явлений. Существенным фактором, определяющим как скорость обработки, так и качество обработанной поверхности стекла, является правильный выбор смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Как правило, СОЖ для шлифования стекла представляет собой многокомпонентный водный раствор, главной составляющей, которого являются поверхностно-активные вещества (ПАВ), играющие роль смазочного материала и уменьшающие работу диспергирования обрабатываемой поверхности. В последнее время в технологии механической обработки стекла стали широко использоваться полимеросодержащие водные растворы. В качестве полимеров наиболее часто применяют азотсодержащие полимеры и олигомеры: полиэтиленполиамин и его сополимеры, полимеры и олигомеры акрилонитрила, полигексаметиленполигуанидин и др. [1]. Однако до настоящего времени не выявлен механизм действия азотсодержащих высокомолекулярных соединений на процесс абразивной обработки стекла.

**Цель работы** — исследование механизма влияния азотсодержащих полимерных соединений на примере водорастворимого сополимера акриламида с акрилатами аммония и натрия (САА) на эффективность процесса шлифования стекла.

**Материалы и методы исследования.** Выбор САА в качестве основы СОЖ связан с тем, что он может быть легко получен щелочным гидролизом полиакрилонитрила, в качестве которого были использованы отходы (остриг) полиакрилонитрильного волокна Жлобинской фабрики искусственного меха.

Для получения САА отходы полиакрилонитрильного волокна марки НИТРОН-Д заливали 2%-м водным раствором щелочи из расчета 100 г NaOH на 126 г волокна и выдерживали в закрытой емкости в термощкафу при температуре 80÷90 °С в течение 6 ч. Полученный вязкий раствор САА фильтровали через сито для удаления остатков неразложившихся волокон и случайных примесей. Согласно литературным данным [2, 3] в макромолекулах полученного сополимера не со-

а Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси. Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а.

б Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого. Беларусь, г. Гомель.

в Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина. Беларусь, г. Мозырь.

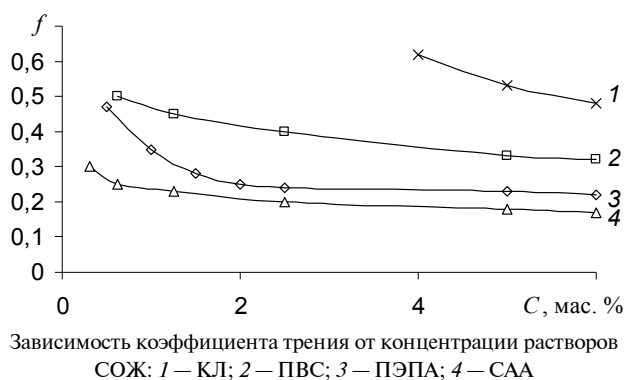
+ Автор, с которым следует вести переписку.

держатся нитрильные и карбоксильные функциональные группы, но присутствуют акриламидные и карбоксилатные группы. В полученном сополимере количество карбоксилатных групп составляло 70÷75%, а акриламидных — 25÷30%. Молекулярная масса данного САА составляет  $10^4$ – $10^5$ , он хорошо разбавляется водой в любой пропорции.

Эффективность СОЖ оценивали по величине коэффициента трения и интенсивности съема стекла при моделировании процесса шлифования, которое осуществляли на машине трения СМЦ-2 по схеме “ролик–колодка” при скорости 1 м/с и нагрузке 1 МПа. В качестве ролика использовали стандартные алмазные круги диаметром 50 мм, в качестве колодки — прямоугольные образцы стекла толщиной 5 мм. Подача растворов в зону шлифования осуществлялась путем окунания вращающегося круга в кювету с испытываемой жидкостью. Шероховатость обработанной поверхности измеряли на профилографе “Калибр ВЭИ”. ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре UR-20. Все эксперименты проводили с образцами листового стекла (ГОСТ 111–90) состава (мас.%): 72,0 SiO<sub>2</sub>, 14,8 Na<sub>2</sub>O, 9,6 CaO, 2,5 MgO, 0,5 SO<sub>3</sub>, 0,5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для оценки смазывающей способности растворов была исследована зависимость коэффициента трения при обработке стекла абразивным кругом от концентрации раствора САА. Для сравнения испытывали водные растворы полимера — поливинилового спирта (ПВС), олигомера — полиэтиленполиамин (ПЭПА) и мономера — ε-капролактама (КЛ). Испытания проводили до концентрации 6 мас.%; при более высоких концентрациях резко возрастает вязкость растворов, что ухудшает их смачивающую способность и приводит к нестабильности коэффициента трения.

Из данных, приведенных на рисунке, следует, что коэффициент трения при использовании всех растворов увеличивается с уменьшением их концентрации, сначала плавно, а затем — более резко. Анализ полученных зависимостей показывает, что при одинаковых концентрациях растворов использование САА дает более низкий коэффициент трения, т. е. наилучшую смазочную способность. Это различие в смазочной способности растворов исследуемых веществ наиболее выражено при низких концентрациях (< 2 мас.%). Наихудшей смазочной способностью обладает КЛ.



Дальнейшие исследования проводили для раствора САА с концентрацией 0,5 мас.%. При повышении концентрации раствора сополимера > 1 мас.% коэффициент трения незначительно снижается, однако это сопровождается появлением признаков засаливания абразивного инструмента.

Результаты испытаний 0,5%-го водного раствора САА в качестве СОЖ для шлифования стекла представлены в таблице. Для сравнения приведены данные для раствора ПЭПА, применяемого в качестве основного компонента СОЖ для алмазной обработки стекла, и чистой воды.

Эффективность использования растворов полимеров в качестве СОЖ

Характеристика	СОЖ		
	0,5% САА	0,5% ПЭПА	Вода
Коэффициент трения	0,50	0,55	0,65
Скорость съема стекла, мкм/мин	5,0	4,5	2,5
Шероховатость обработанной поверхности $R_a$ , мкм	0,32	0,36	0,45

Из приведенных данных следует, что раствор САА обеспечивает большую интенсивность съема стекла при меньшем коэффициенте трения. Низкий коэффициент трения свидетельствует о том, что применение раствора САА в качестве СОЖ способствует уменьшению шероховатости поверхности обработанного стекла.

Для выяснения роли химических и механохимических процессов, происходящих на поверхности стекла при механической обработке с использованием изучаемой СОЖ, проводили следующие исследования. В процессе шлифования в кювете с СОЖ накапливался осадок (шлам), представляющий собой дисперсию твердых частиц износа стекла с примесью частиц абразива. Шлам отстаивали в течение 1 сут и проводили отделение осадка от отработанного раствора САА.

Были проведены ИК-спектроскопические исследования исходного сополимера и отработанного (участвовавшего в шлифовании в течение 2÷4 ч). Пленки получали высушиванием водных растворов на пластинках из NaCl при температуре 100÷105 °С. Кроме того, регистрировали ИК-спектры высушенного при тех же температурах шлама и спектры чистого стеклянного порошка.

Анализ полученных результатов и их сравнение с известными литературными данными о механизме взаимодействия стекла с амидосодержащими полимерами [4] позволяет сделать вывод, что основным видом взаимодействия САА со стеклом является образование водородных связей между поверхностными гидроксильными группами стекла и NH<sub>2</sub>-группами САА. В ИК-спектрах это, в первую очередь, проявляется следующим образом. Если в спектрах исходного САА, высушенного на поверхности NaCl присутствует интенсивная, достаточно узкая полоса поглощения с максимумом около 3200 см<sup>-1</sup> (группа NH<sub>2</sub>) [5], то в спектре высушенного шлама эта полоса значительно шире, а ее максимум смещается в область более низких частот.

При сравнении ИК-спектров исходного и отработанного сополимера были обнаружены новые полосы поглощения в области около 1000÷1100, 1250÷1260 и 1420 см<sup>-1</sup>. Эти полосы характерны для кремнийорганических соединений, в частности, полоса поглощения 1000÷1100 см<sup>-1</sup> может быть связана с появлением химической связи типа ≡ Si—O—C ≡, а полоса 1250÷1260 см<sup>-1</sup> характерна для колебаний группы ≡ Si—CH<sub>3</sub> [6]. Обнаруженные эффекты свидетельствуют о химическом взаимодействии между сополимером и стеклом, заключающемся во включении силоксановых фрагментов в структуру САА.

На основании анализа приведенных данных можно сделать предположение о механизме действия олигомера при его использовании в качестве основы СОЖ для механической обработки стекла. На первом этапе происходит взаимодействие макромолекул олигомера с поверхностью стекла, вначале путем образования многочисленных водородных связей, а затем, возможно, и посредством химического взаимодействия между OH-группами стекла и продуктами механодеструкции олигомера. В результате механической обработки поверхностные адсорбированные слои олигомера удаляются, унося частицы стекла. На свежееобразовавшихся поверхностях стекла адсорбируются новые слои олигомера, еще более прочно связанные со стеклом, которые, в свою очередь, удаляются при шлифовании, и процесс повторяется. По мере работы раствор САА обогащается олигомерными продуктами, в состав которых входят акриламидные и карбоксилатные группы и силоксановые фрагменты различной молекулярной массы, что требует обновления раствора. Кроме того, происходит абразивное изнашивание поверхности стекла под действием алмазного инструмента, в котором раствор САА играет роль ПАВ, пластифицирующего поверхность стекла и облегчающего его разрушение. Однако именно механохимические процессы способствуют снижению шероховатости поверхности, тем самым, улучшая качество ее обработки.

**Заключение.** Таким образом, высокая эффективность САА при механической обработке стекла обусловлена не только эффектом Ребиндера, необходимым условием проявления которого является способность САА прочно адсорбироваться на поверхности стекла [7], но и механохимическими реакциями, облегчающими диспергирование поверхности стекла.

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что водные растворы САА являются перспективной СОЖ для алмазной обработки стекла. Помимо хороших технологических показателей данная СОЖ характеризуется низкой стоимостью, т. к. ее основной компонент — САА — может быть легко получен из отходов производства.

### Обозначения

$R_a$  — шероховатость поверхности;  $f$  — коэффициент трения;  $c$  — концентрация.

### Литература

1. **Коровкин В. П., Альтшуллер В. М.** Смазочно-охлаждающие жидкости для алмазной обработки оптического стекла // Оптико-механическая промышленность. — 1987, № 6, 56—61
2. **Круль Л. П., Якимцова Л. Б., Нарейко Е. И., Бражников М. М., Матусевич Ю. И.** Влияние концентрации едкого натра на химический состав гидролизата нитрона Д // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. — 1999, № 4, 95—97
3. **Круль Л. П., Якимцова Л. Б., Матусевич Ю. И., Кракодеев Д. В.** Влияние природы сополимеров акрилонитрила на химический состав продуктов их щелочного гидролиза // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. — 2000, № 1, 103—105
4. **Ковалевская Т. И., Сечко А. Э.** Использование методики ИК-спектроскопии для анализа структуры и состава отходов стекловолокна, полиамидов и композитов на их основе // Материалы, технологии, инструменты. — 1999, № 3, 37—41
5. **Инфракрасная спектроскопия полимеров** / Под ред. И. Деханта. — М.: Химия. — 1976
6. **Воронков М. Г., Милешкевич В. П., Южелевская Ю. А.** Силоксановая связь. — Новосибирск: Наука. — 1976
7. **Рибиндер П. А., Щукин Е. Д.** Поверхностные явления в твердых телах в процессах из деформации и разрушения // УФН. — 1972 (108), вып. 1, 3—42

*Поступила в редакцию 18.10.06.*

Zlotnikov I. I., Khilo P. A., and Zubritskii I. I. **Cutting emulsion based on polymer solutions for machining of glass.**

A possibility of using water-soluble nitrogen-containing polymers as the base of the cutting emulsion for the machining (grinding and polishing) of glass is analyzed. Copolymer of acrylamide with ammonia and sodium acrylates produced by the alkaline hydrolysis of acrylic fiber serves as the polymer base. It is found that high efficiency of copolymer in glass machining is caused by mechanochemical reactions facilitating the dispersion of the glass surface in addition to the Rehbinder effect.

**Keywords:** glass grinding, cooling lubricant, water-soluble polymers, mechanochemical processes.