

УДК 666.151:666.1.053.2

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ РАСКЛИНИВАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ РЕЗКИ СТЕКЛА

И. И. ЗЛОТНИКОВ, П. А. ХИЛО

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

Введение

В современной стекольной промышленности основным способом раскроя листового стекла является нанесение на его поверхность линии реза с последующим разделением листа по этой линии. Для ускорения процесса резки и повышения качества разлома применяют специальные расклинивающие жидкости [1], [2]. Механизм действия расклинивающих жидкостей заключается в следующем. Проникая в магистральную трещину, наносимую режущим инструментом (твердосплавным роликом) на поверхность стекла, жидкость создает в ней расклинивающее давление – эффект Ребиндера [3]. Суть этого явления заключается в первую очередь в том, что молекулы жидкости, достигая зон, где ширина микротрещины примерно равна размеру молекулы, своим давлением стремятся расклинить эту трещину для дальнейшего продвижения. Давление на стенки микротрещины у ее вершины может достигать огромных значений – до 10 ГПа [4]. Все это значительно облегчает разлом стекла по линии реза. Кроме того, применение расклинивающей жидкости улучшает качество торца и кромки стеклоизделий, уменьшая образование микроосколков, и обеспечивает надежность и долговечность режущего узла за счет его смазывания. В связи с этим создание новых поколений расклинивающих жидкостей для резки стекла является актуальной научно-технической проблемой.

При разработке и исследовании расклинивающих жидкостей определяющую роль играет способ оценки расклинивающих свойств данной жидкости. Обычно в лабораторных условиях эффективность расклинивающей жидкости оценивают по усилию разлома образца стекла по линии реза при поперечном изгибе. Такой способ оценки расклинивающих жидкостей полностью совпадает с процессом резки стекла в промышленных условиях и применялся авторами при выполнении данного исследования. Для этого на поверхность прямоугольного образца стекла размером 20 × 60 мм и толщиной 4 мм наносили поперечную линию реза твердосплавным роликом с углом заточки 140° при нагрузке на ролик 10–60 Н. Дорожку, вдоль которой наносился надрез, предварительно смазывали исследуемой жидкостью. Линию реза на образец стекла наносили с помощью специально изготовленного лабораторного устройства, обеспечивающего регулирование и постоянство нагрузки на режущий ролик. Образец с нанесенным надрезом подвергали испытанию на двухупорный изгиб. Параметры испытания: расстояние между опорами – 40 мм, скорость нагружения 5 мм/мин, нагружающий индентор располагался со стороны, обратной линии надреза.

Однако описанный выше процесс длителен и трудоемок, так как требует изготовления большого количества одинаковых стеклянных образцов, тщательного нанесения на них линий реза при фиксированной нагрузке и их последующий разлом при изгибе с точной фиксацией разрушающего напряжения. Для определения разрушающего напряжения при изгибе образцов требуется наличие соответствующего

оборудования. Чтобы добиться удовлетворительной погрешности получаемых результатов, необходимо для получения одного экспериментального значения испытывать 5–7 образцов. Такой метод оправдан при оценке свойств готовой жидкости, а при выборе компонентов и модификаторов разрабатываемой жидкости необходим более быстрый, хотя и менее точный экспресс-метод.

Цель работы – разработать простой и быстрый экспресс-метод для лабораторной оценки расклинивающего действия различных жидкостей. Такой метод должен позволять быстро производить сравнительную оценку расклинивающих свойств большого ряда жидкостей и выбирать наилучшие для дальнейшего исследования и усовершенствования.

Объекты и методы исследования

Эффективность расклинивающего действия жидкости было предложено оценивать по степени растворения в исследуемой жидкости (перехода в стабильный золь) аморфного диоксида кремния (кремнезема). Возможность осуществления такого способа и его применимость базируется на следующих предпосылках.

Промышленный процесс получения осажденного аморфного кремнезема (силикагеля) состоит из приготовления водного золя кремниевой кислоты, ее поликонденсации, промывки и сушки [5]. Золь кремниевой кислоты получают путем нейтрализации растворов силиката натрия минеральными кислотами. Первой стадией этого процесса является образование истинного раствора кремниевой кислоты, которая затем полимеризуется по схеме: $n \cdot \text{Si}(\text{OH})_4 \rightarrow (\text{SiO}_2)_n + 2n \cdot \text{H}_2\text{O}$, с образованием плотных шарообразных первичных частиц (глобул) аморфного диоксида кремния размером 2–3 нм, построенных из кремнекислородных тетраэдров. Поверхность этих частиц покрыта гидроксильными группами. Водный силиказоль не является равновесной системой и стремится к уменьшению свободной поверхности, что приводит к дальнейшему укрупнению и срастанию первичных частиц. Первичные частицы беспорядочно агрегируются в ассоциации глобулярной и фибриллярной формы размером до 50 нм, которые в свою очередь образуют крупные ассоциации размером 3–5 мкм из которых и формируется пористая структурная решетка силикагеля при последующем удалении воды.

Пирогенный аморфный диоксид кремния (аэросил), получаемый гидролизом тетраоксида кремния, имеет аналогичное строение, но первичные частицы проявляют меньшую склонность к агрегатированию, что облегчает его последующее диспергирование (растворение).

Аморфный диоксид кремния достаточно близок по химическому строению, агрегатному состоянию и поверхностным свойствам к техническому силикатному стеклу, что позволяет обобщать полученные закономерности. Растворение (диспергирование) аморфного кремнезема (силикагеля) в жидкости, как и расклинивающее действие технологической жидкости при резке стекла основано на одном и том же физико-химическом явлении – возникновении расклинивающего давления вследствие стремления жидкости с низкой поверхностной энергией смочить поверхность твердого тела с более высокой энергией [6]. При резке стекла жидкость стремится расклинить образующуюся под режущим роликом магистральную трещину для дальнейшего продвижения, что и облегчает разлом стекла по трещине. В случае растворения аморфного кремнезема – жидкость стремится проникнуть в капиллярные пространства между первичными частицами, из которых сформирован пористый каркас аморфного кремнезема, что приводит к диспергированию кремнезема в жидкости при приложении небольших механических усилий (например, при перемешивании).

Осуществление экспресс-метода оценки эффективности расклинивающего действия жидкостей проводили следующим образом. Аморфный диоксид кремния марок БС-100 или Аэросил А-300 с удельной поверхностью 100–300 м²/г растворяли в исследуемых жидкостях и определяли его растворимость (массу SiO₂ в граммах, на 100 граммов растворителя). Стабильные золи диоксида кремния представляли собой прозрачные опалесцирующие жидкости, нерастворенный диоксид кремния осаждался на дне. В качестве эталона сравнения была испытана стандартная жидкость для резки стекла Ацекат 5503 (Германия).

При осуществлении экспресс-метода оценки расклинивающего действия различных жидкостей в большинстве случаев не обязательно отделять нерастворившийся осадок и проводить его точное взвешивание. Часто вполне достаточно визуально оценить качественно степень растворимости аморфного кремнезема в исследуемой жидкости.

Результаты экспериментов и их обсуждение

Сравнительные результаты определения растворимости аморфного диоксида кремния в различных жидкостях и усилия разлома стеклянных образцов при использовании данных жидкостей при резке приведены в табл. 1. Для испытаний были выбраны в первую очередь те жидкости, перспективность которых в качестве компонентов расклинивающих жидкостей была исследована ранее [7].

Таблица 1

Растворимость аморфного диоксида кремния в различных жидкостях и усилие разлома стекла

Жидкость	Растворимость SiO ₂	Усилие разлома стекла, Н
Керосин	незначительный осадок	26
Сольвент	незначительный осадок	24
Скипидар	около половины	31
Изопропиловый спирт	менее половины	35
Масло И-12А	почти нерастворим	34
Жидкость ПМС-100	слабая	24
Ацекат 5503	практически полная	18

При проведении данных экспериментов навеску 1 г аморфного диоксида кремния, предварительно высушенного при температуре 160–170 °С и тщательно растертого в ступке, засыпали в жидкость, взятую в количестве 9 г (для получения 10 % раствора), и интенсивно перемешивали.

Из сравнения полученных данных следует, что между степенью растворимости диоксида кремния в данной жидкости и эффективностью ее расклинивающего действия существует корреляция – чем лучше растворимость, тем эффективнее данная жидкость при использовании ее в качестве расклинивающей жидкости при резке стекла. Исключение составляет полисилоксановая жидкость ПМС-100, которая обладает расклинивающим эффектом одинаковым с сольвентом, но плохо растворяет диоксид кремния. На основании этого факта следует предположить, что эффективность расклинивания зависит не только от смачивающей способности жидкости (ее поверхностной энергии), но и от характеристик ее молекул (размер, подвижность, характер взаимодействия со стеклом). Полисилоксановая (кремнийорганическая) жидкость имеет молекулярное строение, наиболее близкое к строению стекла из всех исследуемых жидкостей, что, по-видимому, и является определяющим в данном случае. Известно [6], что при наличии специфического сродства адсорбата к

адсорбенту адсорбция, обусловленная самопроизвольным уменьшением энергии Гиббса всей системы, может протекать даже с увеличением поверхностной энергии.

Для некоторых, наиболее перспективных жидкостей была определена предельная растворимость диоксида кремния. При этом было обнаружено, что добавление изопропилового спирта в исследуемые жидкости значительно повышает растворимость диоксида кремния, хотя в чистом изопропиловом спирте растворимость невысокая. На рис. 1 и 2 приведены зависимости растворимости аморфного диоксида кремния в различных растворителях от процентного содержания в них изопропилового спирта.

Как следует из приведенных на рисунках данных, для каждой из исследованных жидкостей существует оптимальная концентрация изопропилового спирта, обеспечивающая максимальную величину растворимости.

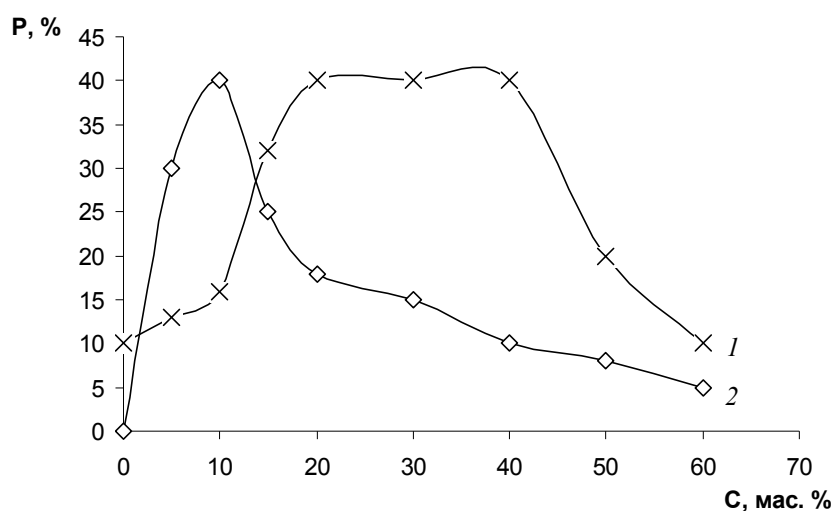


Рис. 1. Растворимость аморфного диоксида кремния в скипидаре (1) и четыреххлористом углероде (2) в зависимости от содержания в них изопропилового спирта

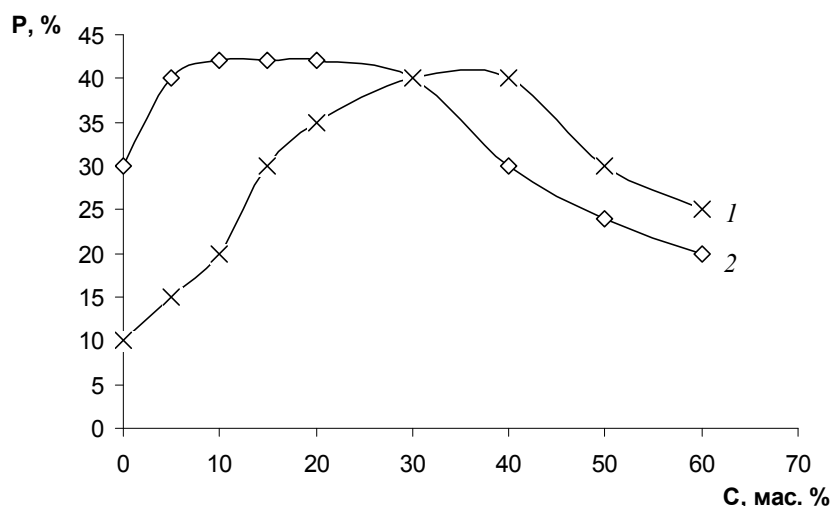


Рис. 2. Растворимость аморфного диоксида кремния в нефрасе (1) и сольвенте (2) в зависимости от содержания в них изопропилового спирта

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что изопропиловый спирт является универсальной добавкой для всех расклинивающих жидкостей на углеводородной основе.

Разработанный экспресс-метод оценки расклинивающих свойств жидкостей был применен при исследовании возможности получения расклинивающей жидкости для резки стекла на водной основе.

Основным препятствием для использования воды в качестве расклинивающей жидкости является ее высокая поверхностная энергия (73 Дж/м^2). Для снижения поверхностной энергии воды были применены поверхностно-активные вещества (ПАВ) различной природы: изопропиловый спирт, олеат натрия, натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ), препараты ОП-7 – смесь оксиэтилированных алкилфенолов, синтамид – смесь оксиэтилированных моноэтаноламидов и эмульфор – продукт реакции олеиновой кислоты и триэтаноламина. Как и в случае органических жидкостей, для испытаний в первую очередь были выбраны те жидкости, для которых усилие разлома стекла определялось ранее [8].

Результаты качественного определения степени растворимости аморфного диоксида кремния и усилия разлома стеклянных образцов при использовании различных водных растворов приведены в табл. 2. Эксперименты по растворению проводили также как и с неводными жидкостями. Концентрация всех испытанных растворов ПАВ, кроме изопропилового спирта, составляла 0,5 %. Для приготовления растворов использовали дистиллированную воду.

Таблица 2

Растворимость аморфного диоксида кремния в водных растворах и усилие разлома стекла

Водный раствор	Растворимость SiO_2	Усилие разлома стекла, Н
Вода без ПАВ	нерастворим	42
Изопропиловый спирт, 0,5 %	около четверти	35
Изопропиловый спирт, 5 %	менее половины	32
Изопропиловый спирт, 10 %	более половины	30
Na-КМЦ	почти нерастворим	40
Олеат натрия	слабая	37
Эмульфор	слабая	34
Синтамид	слабая	32
ОП-7	заметная	32

Полученные данные свидетельствуют о том, что в случае использования водных растворов также существует корреляция между способностью жидкостей к растворению аморфного диоксида кремния и их расклинивающим действием при резке стекла. При этом очевидно, что и эффективность расклинивания и способность к растворению диоксида кремния у водных растворов ниже, чем у углеводородных жидкостей. Однако применимость разработанного экспресс-метода оценки расклинивающих свойств жидкостей и в этом случае не вызывает сомнений.

Заключение

Разработанный экспресс-метод оценки расклинивающего действия жидкостей, основанный на определении степени растворимости аморфного диоксида кремния в исследуемой жидкости, позволяет быстро и эффективно прогнозировать перспективность использования данной жидкости в качестве технологической жидкости для резки стекла.

Литература

1. Влияние расклинивающей жидкости на процесс резки стекла / В. И. Кондрашов [и др.] // Стекло и керамика. – 2001. – № 10. – С. 6–8.
2. Овчинникова, Е. И. Оптимальные параметры резки стекла твердосплавным роликом / Е. И. Овчинникова, В. А. Литвинов, Т. А. Хазова // Стекло и керамика. – 1984. – № 1. – С. 12–13.
3. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в твердых телах в процессах из деформации и разрушения / П. А. Ребиндер, Е. Д. Щукин // УФН. – 1972. – Т. 108, вып. 1. – С. 3–42.
4. Гаркунов, Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – Москва : Машиностроение, 1985. – 424 с.
5. Неймарк, И. Е. Силикагель, его свойства и применение / И. Е. Неймарк, Р. Ю. Шейнфайн. – Киев : Наукова думка, 1973. – 202 с.
6. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов. – Москва : Химия, 1988. – 464 с.
7. Хило, П. А. Физико-химические аспекты разработки новых технологических жидкостей для резки стекла / П. А. Хило, И. И. Злотников, Ю. П. Петрашенко // Полимерные композиты и трибология : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 16–19 июля 2007 г. / ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2007. – С. 194–195.
8. Хило, П. А. Эффективность использования водных растворов ПАВ в качестве расклинивающих жидкостей / П. А. Хило, И. И. Злотников, П. Д. Петрашенко // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. VI Междунар. науч.-техн. конф., 19–20 октября 2006 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2006. – С. 56–57.

Получено 23.10.2008 г.