

УДК 678.046:539.612

**И. С. Баулин**, магистрант (БГТУ); **В. В. Яценко**, кандидат химических наук, доцент (БГТУ);  
**О. М. Касперович**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ)

### ТЕРМОФОРМОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ ЛИСТОВ НА ОСНОВЕ АБС-ПЛАСТИКА С ВЫСОКИМ ГЛЯНЦЕМ ПОВЕРХНОСТИ

В работе исследовалась возможность применения композитных листовых материалов на основе акрилонитрил-бутадиен-стирольных пластиков (АБС-пластиков) для производства наружных и внутренних деталей кабин дорожно-строительной техники методом позитивного термоформования. Представляло интерес оценить физико-механические свойства композитных АБС-пластиковых формованных изделий, изучить влияние технологических параметров термоформования на эксплуатационные свойства деталей. Объектами исследования являются многослойные листовые изделия, полученные методом позитивного термоформования. Исследована устойчивость АБС-пластиков в условиях практического использования, даны рекомендации по применению термоформованных АБС-пластиковых деталей для изготовления наружных и внутренних деталей кабин дорожно-строительной техники.

The possibility of application of composite sheet materials on the basis of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS-plastics) for manufacture of details of the exterior and interior for road-building techniques by a method of a positive thermoforming was investigated in an article. Was of interest to estimate a possibility of using composite ABS-plastic formed products, to lead an assessment of their strength properties, to receive values of physic-mechanical properties, to study influence of technological parameters of thermoforming on operational properties of details. Object of research are the operational characteristics of details received by a method of positive thermoforming. Stability of ABS-plastics to conditions of external application has been investigated; recommendations on use of thermoformed ABS-plastic details for application in the exterior and the interior of road-building techniques are given.

**Введение.** Термоформование – это изменение формы плоских заготовок (листов или пленок) из термопластичного полимерного материала при повышенных температурах в объемные формованные изделия.

Процесс термоформования состоит из следующих этапов:

- нагревание формуемого материала до температуры высокоэластического состояния;
- формование на специальной оснастке для термоформования;
- охлаждение в форме до температуры, при которой конфигурация отформованного изделия приобретает стабильные размеры;
- извлечение из формы готового изделия

Наиболее часто применяемыми материалами для термоформования являются ПП, УПС, ПС, ПК, АБС-пластик, ПЭВД, ПЭНД и др. [1]. Толщина формуемых листов колеблется от 0,05 до 15,00 мм, а для вспененных материалов – до 60,00 мм.

В последнее время использование термоформованных изделий из многослойных материалов считается перспективным для изготовления деталей кабин автомобильной, тракторной, дорожно-строительной техники. Процесс термоформования является экономически эффективным, так как не требует значительных инвестиций в оснастку при изготовлении малых партий деталей и прототипов в сравнении с методом литья под давлением. Требования,

предъявляемые к указанным изделиям, ограничивают круг использования пластиков для процессов термоформования. Причина заключается в особых требованиях к прочности, ударной нагрузке отформованного изделия, а также устойчивости к ультрафиолетовому излучению. Повышенный интерес представляет использование инженерных пластмасс, таких как поликарбонат; АБС-пластик; сополимера стирола с акрилонитрилом; сополимера акрилового эфира, стирола и акрилонитрила.

Для деталей наружного применения в автомобильной и дорожно-строительной технике актуальным является использование пластмасс со стабилизацией к ультрафиолетовому излучению. Экономически обоснованным является использование соэкструдированного АБС-пластика с полиметилметакрилатом (ПММА). АБС-пластик обладает необходимой ударной прочностью, а наружный слой ПММА предотвращает старение под действием ультрафиолетового излучения и придает поверхности «зеркальный» блеск. Однако существенным недостатком при переработке данного материала является неравномерность распределения поля температур во время нагревания многослойного листа пластмассы и последующее возможное изменение физико-механических свойств готового изделия [2].

**Основная часть.** Образцами для исследования прочности на растяжение, относительного

удлинения, ударной вязкости по Шарпи с надрезом были листы АБС-пластика со слоем ПММА на поверхности от производителя – компании «Senoplast» (Австрия) марки «Senosan SOLAR»; а также многослойные ударопрочные экструдированные листы АБС-пластика марки «Senosan TW» компании «Senoplast» (Австрия), вырезанные из отформованных деталей в трех различных местах, подвергающихся вытяжке.

Однако существенным недостатком при переработке данного материала является неравномерность распределения поля температур во время нагревания листа пластмассы в связи с композитным составом перерабатываемого материала. На рис. 1 изображена схема распределения слоев в композиционном листовом материале АБС/ПММА-пластика Senosan VP (Австрия).

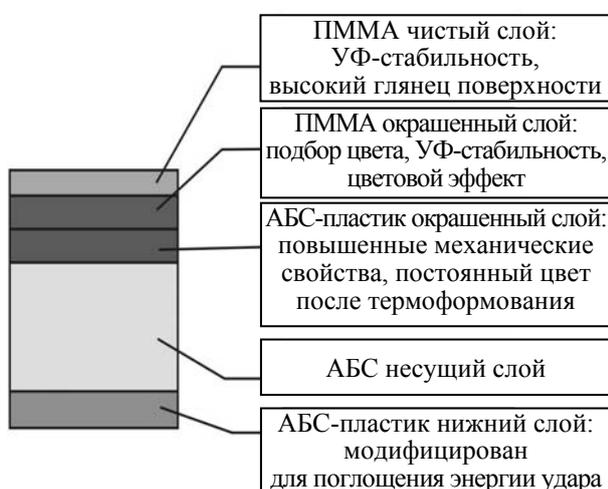


Рис. 1. Схема распределения слоев композитного двухслойного листа АБС/ПММА-пластика

Проанализировав ее, можно предположить, что целесообразно проводить нагрев материала с двух сторон, так как это дает возможность изменять поле температур как для верхней стороны листа, так и для нижней. Необходимость сохранения верхнего «зеркального» слоя полиметилметакрилатного покрытия требует проводить нагревание верхней части листа менее интенсивно, чем нижней поверхности листа. Также необходимо учесть, что поверхности листа нагреваются быстрее, чем сердцевина, поэтому для равномерного прогревания всей толщины листа следует проводить процесс нагревания как можно более длительное время.

На рис. 2 представлена временная зависимость изменения температуры поверхности и середины композитного листа в течение процесса нагревания.

Поскольку значительным фактором при определении времени нагревания листа является

толщина материала, то необходимо отметить, что приведенная зависимость составлена для композитного листового соэкструдированного листа АБС/ПММА-пластика толщиной 5 мм.

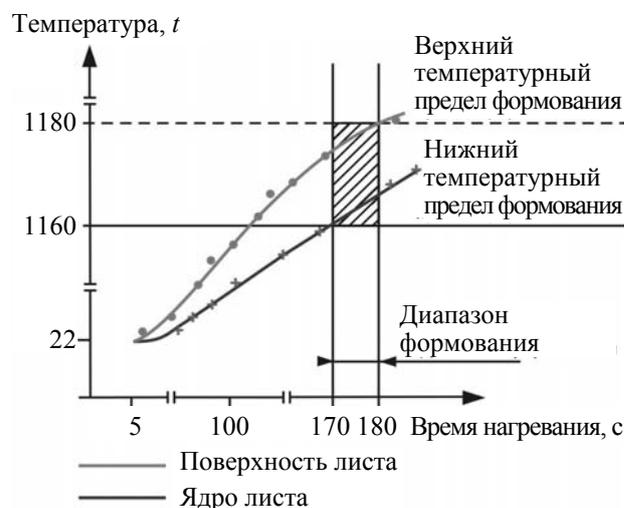


Рис. 2. Зависимость изменения температуры поверхности и середины композитного листа в процессе нагревания

Во время нагревания листов необходимо учитывать верхние и нижние температурные пределы переработки материала. Когда достигается верхний температурный предел формования – материал начинает «гореть», развиваются поверхностные дефекты (пузыри, утяжки), изменение цвета и глянца поверхности. Если не достигается нижний температурный предел формования – материал формируется «холодным», что ведет к образованию высоких внутренних напряжений и микротрещин и последующему снижению физико-механических показателей.

Из приведенных зависимостей можно сделать вывод, что оптимальный интервал переработки находится, когда температура ядра листа выше нижнего температурного предела формования, а температура поверхности сохраняется ниже верхнего температурного предела формования соэкструдированного листа АБС/ПММА-пластика.

Вследствие того что фактически измерить температуру ядра листа во время формования не представляется возможным, из опыта переработки листового пластика с глянцевым покрытием принимаем, что температура ядра листа равна температуре нижней части листа. В таблице приведены рекомендуемые температуры переработки композитного соэкструдированного АБС/ПММА-пластика.

В приведенной таблице отражены температуры переработки композитного листового АБС/ПММА-пластика, обеспечивающие сохранение высокого глянца поверхности готового изделия, применяемого в экстерьерах дорожно-

строительной техники. Также необходимо отметить, что формование осуществлялось на оснастке, изготовленной из стеклопластика и имеющей поверхность без шероховатостей и изъянов.

**Рекомендуемые температуры переработки композитного соэкструдированного АБС/ПММА-пластика**

Материал	Температура верхней поверхности листа, °С	Температура нижней поверхности листа, °С	Температура оснастки, °С
АБС/ПММА листовой пластик	165–170	175–180	70–80

Выведенная экспериментальным путем методика термоформования, результаты которой представлены на рис. 2 и в таблице, применялась также и при термоформовании композитного листа «Senosan TW», не обладающего полиметилметакрилатным покрытием.

Для исследуемых образцов проводились испытания прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве по ГОСТ 11262–80.

На рис. 3 представлены результаты измерения прочности при растяжении неотформованного и отформованного АБС-пластика и АБС-пластика с ПММА покрытием.

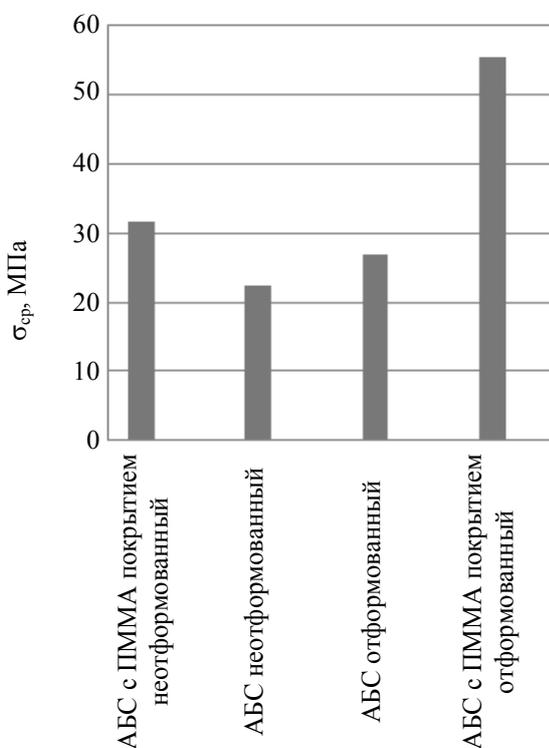


Рис. 3. Прочность при растяжении неотформованного и отформованного АБС-пластика и АБС-пластика с ПММА покрытием

При измерении механических характеристик использовали среднеарифметическое значение 5–10 испытаний (максимальное значение коэффициента вариации составляло 9%).

Из приведенных результатов можно сделать вывод, что прочность при растяжении отформованных образцов повышается в среднем в 1,2–1,7 раза. Это объясняется перестройкой надмолекулярной структуры композитного АБС-пластика во время процессов термоформования под действием температуры и ориентационной вытяжки листовой заготовки.

Упрочнение материалов после термоформования обусловлено протеканием релаксационных процессов во время длительного и равномерного нагревания листовой заготовки. Ориентационные напряжения, «зафиксированные» при экструзии листовой заготовки, успевают в значительной мере отрелаксировать в ходе предварительного нагрева листа, а напряжения, накапливаемые в процессе последующего формования заготовки в изделие, незначительны. Малая величина напряжений при формовании доказывается нулевой величиной термической усадки, которая определялась в термощкафу при температуре 180°С.

На рис. 4 приведены значения ударной вязкости по Шарпи с надрезом образцов неотформованного и отформованного АБС-пластика и АБС-пластика с ПММА покрытием.

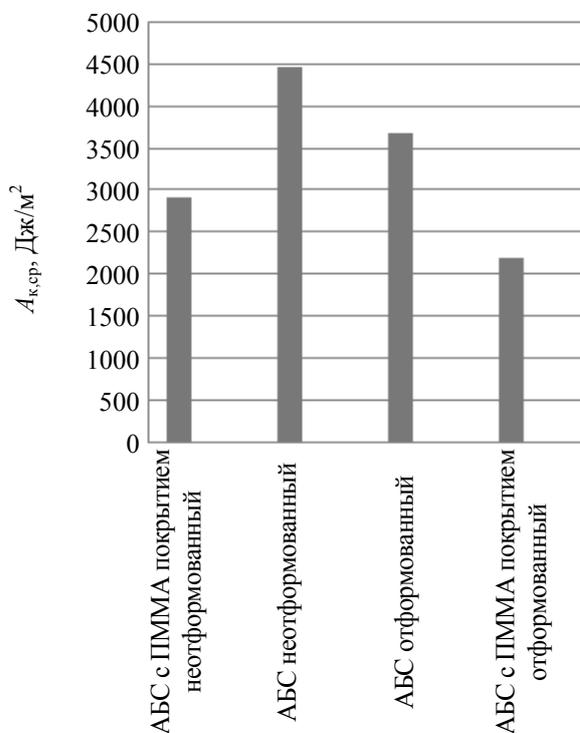


Рис. 4. Результаты измерения ударной вязкости по Шарпи с надрезом для неотформованного и отформованного АБС-пластика и АБС-пластика с ПММА покрытием

Из приведенных выше результатов можно сделать вывод, что показатель ударной вязкости отформованных образцов снижается в среднем в 1,2–1,3 раза. Данный факт может быть объяснен процессами термоокислительной деструкции, протекающей во время формования деталей, а также ориентационной однонаправленностью сформированной структуры.

При этом не происходит снижения упруго-релаксационных и деформационных свойств изделия. Поэтому поскольку исследуемые материалы будут использоваться в качестве облицовочных деталей кабин, которые не подвергаются постоянным механическим нагрузкам, показатели ударной вязкости по Шарпи с надрезом можно считать вполне удовлетворительными.

Были сделаны микрофотографии структуры материала до и после термоформования, которые позволили оценить изменения в структуре материала и рассмотреть влияние технологических параметров термоформования на конечную структуру.

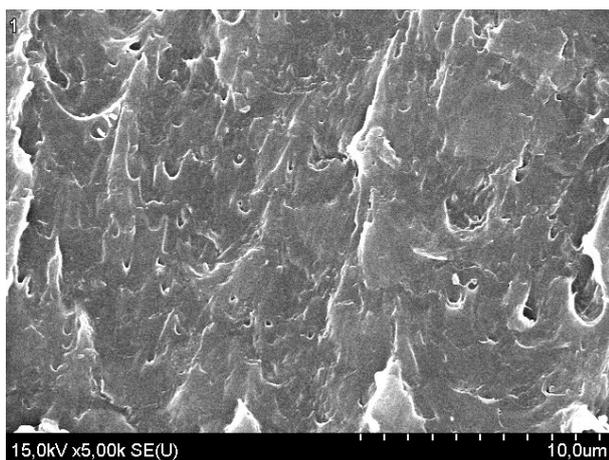


Рис. 5. Образец АБС-пластика с ПММА покрытием не отформованный

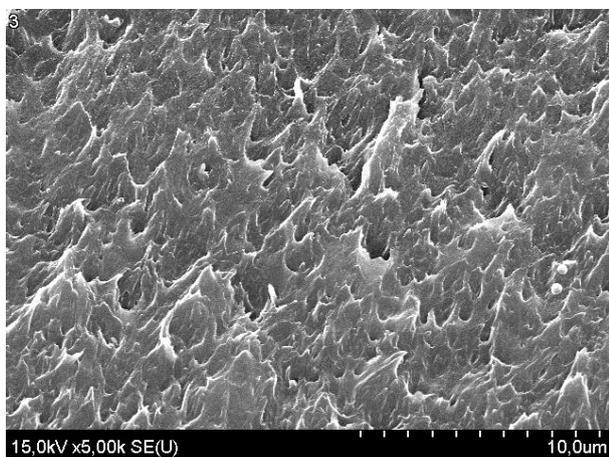


Рис. 6. Образец АБС-пластика с ПММА покрытием отформованный

Как видно из рис. 5 и 6, поверхность многослойного соэкструдированного АБС-пластика с ПММА покрытием после термоформования становится более регулярной, упорядоченной и однонаправленной.

**Заключение.** Использование композиционных листовых пластиков при переработке методами термоформования в настоящее время является одним из важнейших направлений для развития деталей экстерьера и интерьера дорожно-строительной техники как альтернативы вредному стеклопластиковому производству и низкоэффективному с экономической точки зрения использованию металлических конструкций.

Были получены в промышленных условиях образцы деталей экстерьера и интерьера дорожно-строительной техники из композитных листов АБС-пластика с ПММА покрытием марки «Senosan SOLAR», устойчивого к действию ультрафиолетового излучения, и композитных листов АБС-пластика марки «Senosan TW».

Физико-механические характеристики полученных изделий были определены по действующим стандартам.

Анализ результатов исследования композиционных листовых пластиков свидетельствует об изменении физико-механических характеристик деталей, подвергшихся термоформованию, по сравнению с первоначальным материалом.

В процессе переработки листовые полимеры подвергаются воздействию сдвиговых напряжений, высоких температур, ориентации полимерных материалов, перестройки надмолекулярной структуры, что приводит к протеканию деформационных и механохимических процессов, влияющих на эксплуатационные, физико-механические и технологические свойства деталей. Также в процессе переработки материал частично подвергается процессам деструкции. Следствием этого процесса могут быть ориентационные и морфологические изменения, вызванные образованием других химических групп, уменьшением молекулярной массы, образованием ветвей.

Анализ полученных зависимостей показывает, что предложенные к исследованию композиционные листовые пластики и отформованные изделия позволяют сохранить физико-механические свойства деталей, высокий блеск и глянец поверхности изделий, защитить их от свето-, термоокислительной деструкции в течение длительного периода эксплуатации.

Из анализа полученных результатов испытаний следует, что:

– влияние технологических параметров температуры и времени нагревания во время

переработки имеет решающее значение при сохранении основных эксплуатационных параметров полученных деталей;

– наблюдается увеличение прочности при разрыве в 1,2–1,7 раза материалов после термоформования как в случае для АБС-пластика с ПММА покрытием марки «Senosan SOLAR», так и для АБС-пластика марки «Senosan TW»;

– незначительное снижение ударной вязкости после термоформования не носит резкого убывающего характера и не снижает упруго-релаксационные свойства изделий;

– поверхность пластика после термоформования становится более однонаправленной и упорядоченной, что подтверждают сделанные микрофотографии.

Таким образом, установлено, что решающее значение на сохранение эксплуатационных свойств позитивно термоформованных изделий из композитных АБС-пластиков имеют технологические параметры температуры и времени разогрева листовой заготовки.

В качестве материала наружного применения рекомендуется композиционный пластик АБС с ПММА покрытием марки «Senosan SOLAR», который устойчив к действию ультрафиолетового излучения и термоокислительной деструкции. Материал АБС марки «Senosan TW» рекомендуется применять для деталей интерьера техники.

При оценке физико-механических свойств готовых деталей установлено, что изделия пригодны для применения в качестве деталей экстерьера и интерьера дорожно-строительной техники.

### Литература

1. Шварцманн, П. Термоформование. Практическое руководство / П. Шварцманн; под ред. А. Иллига. – СПб.: Профессия, 2007. – 288 с.

2. Макаров, В. Г. Промышленные термопласты: справочник / В. Г. Макаров, В. Б. Коптенармусов. – М.: Химия, 2003. – С. 120–133.

*Поступила 20.03.2012*