

УДК 686.1

О. П. Старченко, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
И. В. Марченко, магистр технических наук, старший преподаватель (БГТУ)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ PUR-КЛЕЯ ПРИ БЕСШВЕЙНОМ СПОСОБЕ СКРЕПЛЕНИЯ ИЗДАНИЙ

В статье рассматриваются технологические преимущества и недостатки физико-химических свойств PUR-клея, произведен расчет расхода полиуретанового и термоклей в количественном и стоимостном выражении с учетом годовой загрузки типографии «Полифакт». Дана оценка эффективности использования PUR-клея при клеевом способе скрепления книжно-журнальной продукции.

The article discusses the technological advantages and disadvantages of physical and chemical properties of PUR-glue, calculated the flow polyurethane and hot glue the quantity and value terms, taking into account the annual load the printing house «Polifakt». Evaluate the effectiveness of the use of PUR-glue at a way of fastening of book and magazine products.

Введение. Основными особенностями полиграфической отрасли на современном этапе ее развития является не только совершенствование технологии и техники, но и создание новых расходных материалов, сырья и полуфабрикатов, обусловленное достижениями науки и техники, а также успехами в области материаловедения.

Клеевое скрепление занимает доминирующее положение в производстве книг и брошюр благодаря низким затратам при обработке, высокой производительности машин и возможности автоматизации книжного производства на поточной линии. С другой стороны, при КБС высококачественная продукция в отношении прочности и долговечности может выпускаться только с учетом всех факторов, оказывающих влияние на технологию. Разнообразие применяемых материалов, сильно мелованная и облагороженная поверхность запечатываемых материалов, а также элементы оформления, например фоновые участки, часто не позволяют выполнить обработку способом клеевого скрепления с достаточным качеством [1].

Для клеевого скрепления имеется три вида клея, которые могут комбинироваться посредством нанесения нескольких слоев. Выбор соответствующего вида клея зависит от:

- вида и долговечности продукции, – склеиваемого запечатанного материала (печатная бумага, обложка брошюры);
- производительности машины;
- способа производства (поточное);
- элементов оформления, например фоновый участок и иллюстрации на корешковом поле.

Наиболее перспективным на сегодняшний день является полиуретановый клей. Впервые полиуретановый клей для бесшвейного скрепления блоков был представлен на выставке Drupe в 1988 г., и его появление стало инновацией в области адгезионных составов. Кроме того, PUR-клеи имеют целый ряд весомых преимуществ. Сегодня PUR-технология становится серьезной

альтернативой твердому переплету. Она сочетает в себе высокое качество готовой продукции, что выражается в достаточной прочности и хорошей раскрываемости книжных блоков, и – вопреки бытующему мнению – экономичность изготовления книжно-журнальной продукции.

Основная часть. Знание мельчайших деталей технологического процесса определяет эффективность работы того или иного клея. Клей – малая составляющая общей стоимости конечного продукта, но в случае, если клей выбран неверно, то не обеспечивается необходимый уровень качества готовой продукции.

Когда говорят об эффективности деятельности, то приводят ряд оценочных соотношений, включающих как технические параметры – коэффициент полезного действия, так и организационные – эффективность производства. При оценке качества в числителе подобного отношения должно стоять качество K , а в знаменателе – затраты Z , связанные с его получением. Это отношение – коэффициент эффективности $KЭ$ [2]:

$$KЭ = K / Z. \quad (1)$$

Качество может оцениваться по потребительским свойствам (ПС). Каждое из свойств может быть оценено с помощью определенного показателя, имеющего единицы измерения. Набор таких показателей формируется из каждой группы свойств: технических, экономических и эстетических. Причем подбор каждого показателя должен быть связан с выполнением данным изделием значимой для потребителя функции. Тогда числитель и знаменатель примут следующий вид [2]:

$$K = K_{3T} \sum ПС_T + K_{3ЭС} \sum ПС_{ЭС}; \quad (2)$$
$$Z = K_{3ЭК} \sum ПС_{ЭК},$$

где K_{3T} – коэффициент значимости технических свойств; $K_{3ЭС}$ – коэффициент значимости эстетических свойств; $K_{3ЭК}$ – коэффициент значимости экономических свойств; $ПС_T$ – технические потребительские свойства; $ПС_{ЭС}$ – эстетические

потребительские свойства; $ПС_{ЭК}$ – экономические потребительские свойства.

Оценивать значимость каждого ПС удобнее индивидуально, а не всей группы свойств, поэтому КЭ будет иметь вид [2]:

$$КЭ = \sum K_{3Т} ПС_{Т} + \sum K_{3ЭС} ПС_{ЭС} / \sum K_{3ЭК} ПС_{ЭК}. \quad (3)$$

Необходимо отметить, что перед тем как сводить потребительские свойства под знаком суммы (Σ), необходимо придать показателю каждого свойства безразмерный вид.

Преимущества введения коэффициента эффективности заключается в том, что процесс или результат производства можно оценивать не только качественно, но и количественно. От КЭ можно перейти к потребительским свойствам, нормам, системе контроля, качеству проведения технологических операций, качеству исходных материалов. Затем принимается решение, связанное с изменением либо технологического процесса, либо элементов готового продукта, после чего действует обратная связь, приводящая к КЭ с другим значением.

Для белорусской полиграфии технология PUR-клея является новой и недостаточно изученной. Если первому поколению PUR-клея были присущи такие недостатки как непостоянность вязкости и длительное время полимеризации, то современные клеи четвертого поколения характеризуются повышенной начальной прочностью клеевой пленки, стабильной рабочей вязкостью и относительно короткими сроками высыхания. Технологические преимущества современного PUR-клея делают его альтернативой твердому переплету.

Уникальность технологии объясняется физико-химическими свойствами клея [3]:

– хорошая адгезия к бумаге, картону, полимерам, краске и лакам. В состав клея входят полиуретановые форполимеры с реактивными группами, которые имеют полярную природу, и поэтому хорошо смачивают контактную поверхность и обеспечивают стабильную адгезию с большим спектром материалов: офсетной и мелованной бумагой, ламинатами, калькой, металлизированными бумагами и картоном, УФ-лакированными поверхностями, а также пластиком. Данное свойство этого клея позволяет обойти технологические ограничения твердого переплета и создавать сложные по своей конструкции изделия, основная цель которых – подчеркнуть индивидуальность каждого;

– высокая прочность клеевой пленки. Такая прочность клеевого соединения достигается благодаря высокой когезии отвержденного полиуретана, что обеспечивает усилие отрыва листа на 40–60% выше, чем при использовании обычного термокля.

Толщина блока может варьироваться от 3 до 70 мм. Сила первоначального схватывания полиуретана на порядок выше, чем у термокля, а время окончательной полимеризации составляет от 12 до 24 ч;

– высокая химическая и температурная стойкость. Характерной особенностью PUR-клея является повышенная стойкость к органическим растворителям, маслам, а также к резким колебаниям температуры и старению – клеевая пленка не теряет своих упругоэластичных свойств и прочно связывает бумажные листы при нагреве до 120°C и при охлаждении до –40°C;

– отличительные упругоэластичные свойства клеевой пленки. PUR-клей создает тонкий слой, степень растяжения которого составляет 650%, в то время как этот же показатель у термокля составляет всего 350%. Благодаря высокой способности к растяжению брошюра, скрепленная PUR-клеем, может раскрываться на 180°, как прошитая нитками книга, что невозможно при использовании термокля.

Технологические качества PUR-клея удачно дополняются показателями экономичности его использования: оптимальная толщина нанесения (0,25–0,30 мм) позволяет минимизировать расход клея, который в среднем в два раза ниже обычного термокля. Более высокая стоимость полиуретановых клеев компенсируется их меньшим расходом, что позволяет снизить затраты на 30–40% по сравнению с применением швейного скрепления и, следовательно, уменьшить цены на готовую продукцию [3].

Преимущества полиуретанового клея представлены ниже.

1. Особая прочность клеевой пленки:

– изделия, скрепленные PUR-клеем, имеют надежный корешок, и не рассыпаются;

– при повторном разогреве через 2 суток не расплавляется, как термоклей.

2. Экономичность:

– из-за эластичности полиуретановый клей расходуется экономнее, чем обычный термоклей, т. к. толщина наносимого слоя составляет порядка 0,1–0,3 мм при нанесении соплом и 0,4–0,6 мм – при вальцевом нанесении. Превышение толщины клеевой пленки не влияет на качество готовой продукции и вызывает только замедление процесса ее отверждения;

– требует менее высокой температуры для расплавления, чем термоклей – не более 140°C, что ведет к экономии электроэнергии.

3. Плоское раскрытие переплета:

– благодаря эластичности книжно-журнальное изделие, скрепленное PUR-клеем, раскрывается практически на 180°.

4. Устойчивость к перепадам температур:

– изделия на PUR-клее могут выдерживать перепады температур от –40 до +90°C.

5. Красивый квадратный корешок:

– благодаря малой толщине клеевого слоя уменьшается выдавливание клея при обжиме обложки, что способствует формированию качественного и красивого корешка.

6. Универсальность:

– клеевая пленка имеет отличную адгезию с бумагой, в том числе с плотной мелованной, а также бумагой, содержащей большое количество минеральных наполнителей. PUR-клеем можно качественно скреплять любые виды бумаги и картона. Специалисты полиграфической отрасли рекомендуют использовать полиуретановый клей для скрепления различных видов бумаги с УФ-лакированием, сложных изданий, состоящих из разных сортов бумаги [1].

Несомненным преимуществом является экологичность PUR-технологии, что имеет огромное значение при производстве детской литературы, школьных учебников. Кроме того, отвердевшие остатки полиуретанового клея не опасны для окружающей среды, они утилизируются как обычные промышленные отходы. При регенерации макулатуры, благодаря высокой твердости пленки клея, он может быть механически отделен от волокнистых компонентов бумаги.

Кроме того, необходимо отметить конструктивные особенности и преимущества машин, используемых для нанесения PUR-клея. Устройство разогрева клея находится непосредственно в самой машине, что снижает расход клея и помогает сохранить его вязкость и стабильность. Данное устройство, а также устройство для нанесения клея герметично закрыты, что разрешает отказаться от необходимости промывки клеевой системы после его использования. Практически вся клеевая система не требует очистки: оператор может выключить машину после короткого пробега и запустить ее на следующий день всего за несколько минут.

Герметичность устройства разогрева клея и точность его нанесения в клеевой станции снижают образование вредных испарений, сохраняя комфортные условия на рабочем месте оператора. Клей подается при помощи регулятора сжатого воздуха, благодаря чему он может наноситься очень тонким слоем. Кроме того, на машинах осуществляется регулировка как начала, так и окончания точного нанесения клея на корешок блока.

Наконец, клеевая система требует минимального обслуживания. Оператор должен просто накрыть экструзионные и клеевые головки для предотвращения проникновения воздуха. Нагрев отключается на панели управления с сенсорным монитором или при выключении самой машины. Эти два простых шага – все, что необходимо для выключения системы, операция занимает менее 5 мин. Таким образом,

происходит экономия не только самого клея, но и времени на подготовку машины к работе и после ее окончания, а также экономия электроэнергии, так как PUR-клей не требует длительного предварительного разогрева [4].

PUR-клей обладает такой же эластичностью, как и клей ПВА. Это позволяет получать гибкий корешок в объемных изданиях. Полиуретановый клей более жидкий по сравнению с термоклеем, хорошо проникает в микропоры бумаги. В результате даже тонкий слой PUR-клея обеспечивает высокую прочность изделия.

Известно, что средняя цена PUR-клея почти в два раза выше цены термокля. Но так как его расход в среднем в 2–3 раза меньше, себестоимость изданий, скрепленных полиуретановым клеем, в зависимости от объема производства значительно сокращается.

Так, стоимость PUR-клея (по данным белорусских поставщиков) составляет 128 000 руб. за 1 кг. Потребление PUR-клея на $1\text{ см}^2 - 0,055\text{ г}$ (7,04 руб.) (по данным отдела послепечатного оборудования ГК «Терра Принт», Россия).

Возьмем для расчета издание, формата $70 \times 100/16$ с толщиной блока $T_6 = 13\text{ мм}$ и длиной корешка $L = 24\text{ см}$. Блок изготовлен из офсетной бумаги, плотностью 65 г/м^2 .

Тогда площадь проклейки корешка с учетом длины корешка блока 24 см и толщины корешка 1,3 см равна $31,2\text{ см}^2$. Расход полиуретанового клея с учетом годовой загрузки типографии «Полифакт», которая составляет порядка 1 млн. блоков: $31,2\text{ см}^2 \cdot 0,055\text{ г/см}^2 \cdot 1\text{ млн. блоков} = 1\,716\,000\text{ г} = 1716\text{ кг}$.

Стоимость клея при расходе за год: $1716\text{ кг} \times 128\,000\text{ руб.} = 219,7\text{ млн. руб.}$

Стоимость термокля (по данным белорусских поставщиков) – 70 000 руб. за 1 кг. Потребление термокля на $1\text{ см}^2 - 0,25\text{ г}$ (17,5 руб.). Тогда расход термокля при той же загрузке типографии: $31,2\text{ см}^2 \cdot 0,25\text{ г/см}^2 \cdot 1\text{ млн. блоков} = 7\,800\,000\text{ г} = 7800\text{ кг}$. Стоимость клея при расходе за год: $7800\text{ кг} \cdot 70\,000\text{ руб.} = 546,0\text{ млн. руб.}$

Таким образом, при использовании PUR-клея годовой расход клея сокращается в 4,5 раза, а в стоимостном эквиваленте – в 2,3 раза. При использовании PUR-клея, произведенного в Украине, стоимость которого на 30% ниже, чем на рынке Беларуси, затраты еще больше сократятся.

Для оценки эффективности использования PUR-клея по отношению к термоклею рассчитываются соответствующие коэффициенты эффективности. Ниже приведена таблица с основными характеристиками клеев в отношении их эффективности и важнейших свойств [1]. Также в таблице представлены приведенные к безразмерному виду показатели ПС, а также коэффициенты значимости.

Сравнительное рассмотрение полиуретанового и термоклей

Эффективность, технологические особенности, свойства прочности	PUR-клей	Термо-клей	Показатель ПС	Коэффициент значимости
1. Прилипание (адгезия)	3	6	0,60	0,05
2. Эластичность в холодном состоянии	3	5	0,60	0,05
3. Теплостойкость	2	4	0,50	0,05
4. Скорость схватывания	5	3	1,67	0,05
5. Устойчивость к старению	3	5	0,60	0,05
6. Устойчивость к маслам	3	5	0,60	0,04
7. Пригодность к круглению корешка блока	3	4	0,75	0,04
8. Стабильность краски	3	3	1,00	0,05
9. Стабильность формы	3	5	0,60	0,05
10. Раскрываемость	2	4	0,50	0,05
11. Толщина сухого клея, мм	0,7	0,4	0,57	0,08
12. Температура при обработке, °С	180	130	0,72	0,07
13. Разрывное растяжение, %	350	650	0,54	0,10
14. Напряжение при растяжении, Н/мм ²	3,4	9,6	0,35	0,07
15. Прочность на разрыв, Н/мм ²	4,9	27	0,18	0,10
16. Стоимость клея при расходе на 1000 книг, млн. руб.	0,55	0,22	2,5	0,10
Расчетные показатели	PUR-клей	Термо-клей	Увеличение, раз	Примечание
17. Усредненное значение показателя ПС	0,65	1	3,8	–
18. Соотношение цена/качество, млн. руб.	0,85	0,22	3,8	–
19. Коэффициент эффективности	41	10	4,1	–

Введенные коэффициенты значимости – относительные величины. Главное условие при нормировании коэффициентов является правило: их сумма должна быть равна единице.

Следует также сказать, что представленный в таблице перечень ПС не является догматичным списком и может значительно варьироваться для различных типов изданий. Введенные в данной работе ПС актуальны только для книжно-журнальной продукции с КБС-скреплением.

В таблице КЭ рассчитывались по приведенной ранее формуле (3). Из анализа расчетных данных видно, что КЭ при применении полиуретанового клея в 4,1 раза превосходит этот же показатель для термоклей. Этот факт говорит о более высоком уровне качества готовой продукции в отношении технических, экономических и эстетических свойств при использовании PUR-клея.

В итоге необходимо еще раз отметить, что при использовании PUR-клея стоимость одного экземпляра продукции ниже, чем при использовании термоклей, и при этом повышается качество книг, растет производительность, улучшается раскрываемость блока и расширяется диапазон скрепляемых материалов.

Вывод. В настоящее время PUR-клей получил распространение среди типографий, имеющих большой процент заказов на журналы и книги в мягкой обложке. С тех пор, как такое производство начало скреплять высококомелованную и бумагу с поперечным расположением волокон,

этот рынок остается самым крупным пользователем PUR-клея. Преимущества технологии предпочтительны для продукции высокого качества (автомобильных атласов, каталогов и дорогих фотоальбомов). Внедрение PUR-клея является актуальным для типографий Беларуси.

Следующий крупный рынок, в который он будет внедряться, – производство книг в твердом переплете: для заклейки корешков при выпуске скрепленной нитками продукции; для приклейки форзацев, запечатанных заливным тоном. Главное здесь – ценовое преимущество перед способом скрепления «шитье нитками» и способность последнего поколения клея проходить операцию кругления корешка «в линию». Завоевание рынка растет по мере того, как типографии убеждаются в несомненных достоинствах PUR-технологии.

Литература

1. Либау, Д. Промышленное брошюровочно-переплетное производство / Д. Либау, И. Хайнце; пер. с нем. – М.: МГУП, 2007. – Ч. 1. – 422 с.
2. Корнилов, И. К. Проектирование книжных конструкций / И. К. Корнилов. – М.: МГУП, 2001. – 212 с.
3. PUR-технологии в типографии [Электронный ресурс] / RuPrint.Ru. Мир полиграфии, упаковки, дизайна. – 2002–2013. – Режим доступа: <http://www.ruprint.ru/2008/03/24/4433.html>. – Дата доступа 15.04.2013.

Поступила 30.05.2013