

УДК 655.3

А. А. Козлова¹, М. И. Кулак¹, Р. С. Олейник²¹Белорусский государственный технологический университет²«Издательство «Белорусский Дом печати»**ВЗАИМОСВЯЗЬ И ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА УПРОЧНЕНИЕ БУМАГИ ПРИ ЛАМИНИРОВАНИИ**

В статье рассмотрена взаимосвязь параметров технологического процесса ламинирования: температуры, скорости и усилия прижима, а также влияние данных параметров на упрочнение бумаги при ламинировании. Припрессовка пленки проводилась на полиграфическом предприятии, качество припрессовки оценивалось методом экспертного опроса. Данная методика ненадежна по причине субъективности экспертов. В процессе исследований образцов определялись прочностные характеристики адгезионного соединения отпечатка и бумаги с пленкой. Для обработки результатов экспериментальных исследований коэффициента упрочнения бумаги и отпечатков, который характеризует прочность адгезионного соединения при ламинировании, использовался метод регрессионного анализа. Приведена таблица результатов построения регрессионных моделей по экспериментальным данным ламинирования бумаги и отпечатков. Полученные регрессионные уравнения для коэффициентов упрочнения дали возможность вывести уравнения связи для технологических параметров процесса ламинирования. В статье представлены уравнения для чистой бумаги и отпечатков. По данным уравнениям были построены графики зависимостей усилия прижима от скорости ламинирования, температуры от скорости ламинирования и усилия прижима от температуры. Анализ приведенных зависимостей позволил определить критические значения параметров технологического процесса ламинирования, дать рекомендации по настройке оборудования.

Ключевые слова: ламинирование, температура, скорость, усилие прижима, коэффициент упрочнения, регрессионная модель.

A. A. Kozlova¹, M. I. Kulak¹, R. S. Oleynik²¹Belarusian State Technological University,²“Publishing house «Belorysskiy Dom pechati”**INTERRELATION AND INFLUENCE OF PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL PROCESS ON PAPER HARDENING AT LAMINATION**

In the article the interrelation of technological process lamination parameters is considered: concerning temperatures, speeds and efforts of a clip, and also influence of the given parameters on paper hardening at lamination. It was made at the polygraphic enterprise. The quality of lamination was estimated by a method of expert interrogation. The given technique is not reliable because of experts' subjectivity. In the course of sample researches durabilities of adhesive connection of a print and a paper with a film were defined. For processing of results of experimental researches of factor paper hardening and prints which characterises durability of adhesive connection at lamination, the regression method analysis was used. The table shows the results of construction regression models on experimental data of paper and print lamination. Regression equations for hardening factors were obtained. They allowed to establish equations of communication for technological parameters of the lamination process. The article presents the equations for a pure paper and prints. In accordance with diagrams of dependences of a clip effort from lamination speed as well as temperature from lamination speed and a clip effort from temperature have been constructed. The analysis of the dependences given allowed to define critical values of lamination and to give recommendations for adjusting equipment.

Key words: lamination, temperature, speed, clip effort, hardening factor, regression model.

Введение. Производство книг и брошюр в современных условиях связано с необходимостью глубоко понимать существо физико-химических процессов, происходящих на различных стадиях технологического процесса. Поэтому традиционный подход к технологии в виде перечня и последовательности операций, эмпирически подобранных применительно к производству различных видов изданий, радикально

меняется на подход, основу которого составляет формулирование требований к продукции и выявление фундаментальных физико-химических явлений, лежащих в основе всех стадий технологического процесса и определяющих условия получения продукции требуемого качества [1, 2].

Проведение эксперимента. Припрессовка пленки проводилась в условиях полиграфического предприятия на ламинаторе Akkulum

3207NT. Настройки ламинатора изменялись в следующих пределах: температура — 100, 105, 110°C; скорость — 12,00, 14,12, 18,46 м/мин; усилие прижима валов — 25, 35, 40 кН. Припрессовка выполнялась на мелованной бумаге UPM Finess Gloss плотностью 115 г/м², использовалась пленка Folien-Service-Dtl толщиной 25 мкм. При одних и тех же настройках ламинатора пленка припрессовывалась на отиски и на чистую бумагу.

В процессе исследований образцов определялись прочности адгезионного соединения отриски и бумаги с пленкой. Испытания проводились по методике [3]. В данном способе определяются разрушающие усилия при растяжении всех составляющих ламинированного материала. После обработки результатов исследований определялся коэффициент упрочнения бумаги в чистом или запечатанном виде в результате ее ламинирования K_y , который и характеризует прочность адгезионного соединения.

В соответствии с методикой [3] образцы пленки, бумаги и ламината шириной 10 мм и длиной рабочего участка 50 мм растягивались со скоростью 100 мм/мин. Ламинированный материал подвергали растяжению, записывая при этом диаграмму растяжения, по которой определяли разрушающее усилие P_n . По диаграмме растяжения пленки определяли усилие в неразравняющейся составляющей (пленке), соответствующее моменту разрушения бумаги в ламинированном материале, P_n . Коэффициент упрочнения ламинированного материала получают как отношение разрушающих усилий, соответствующих приложенным нагрузкам при разрыве

бумаги в ламинированном материале, и чистой бумагой P_6 . Расчет производится по формуле

$$K_y = \left(\frac{P_n - P_6}{P_6} - 1 \right) \cdot 100\% . \quad (1)$$

Качество ламинирования оценивалось также методом экспертного опроса. В опросе участвовали 6 экспертов.

Для обработки результатов экспериментальных исследований коэффициента упрочнения бумаги и отрисок использовался метод регрессионного анализа. Результаты построения регрессионных моделей по экспериментальным данным ламинирования бумаги и отрисок представлены в таблице [4].

Анализ данных в таблице показывает, что наиболее простой вид имеют зависимости коэффициента упрочнения бумаги K_y от технологических параметров припрессовки для незапечатанной бумаги. При повышении скорости ламинирования, усилия прижима валов и температуры коэффициент упрочнения возрастает. Несмотря на то, что бумага мелованная, ее поровое пространство частично открыто, поэтому повышение скорости, усилия и температуры способствует проникновению расплавленного полимера, который играет роль клея, в приповерхностные слои бумаги.

Первые значения настроек ламинатора соответствуют рабочим значениям технологических параметров, при которых производится ламинирование тиражной продукции. Возникает вопрос о том, в какой степени эти значения являются оптимальными.

Результаты построения регрессионных моделей по экспериментальным данным ламинирования бумаги и отрисок

Зависимость	Уравнение	Параметр, a_1	Параметр, a_2	Параметр, a_3	Критерий Фишера F_p	Критерий Фишера F_T
Ламинирование бумаги						
Коэффициент упрочнения – усилие прижима	$K_y(F) = a_1 + a_2F$	-15,599	1,691	–	1,426	19,000
Коэффициент упрочнения – скорость	$K_y(v) = a_1 + a_2v + a_3v^2$	-73,701	11,940	-0,258	1,012	19,000
Коэффициент упрочнения – температура	$K_y(T) = a_1 + a_2\ln T$	-999,387	224,160	–	1,007	19,000
Ламинирование отрисок						
Коэффициент упрочнения – усилие прижима	$K_y(F) = a_1 + a_2F$	-30,570	1,903	–	1,133	19,000
Коэффициент упрочнения – скорость	$K_y(v) = a_1 + a_2v + a_3v^2$	-334,020	45,001	-1,306	1,009	19,000
Коэффициент упрочнения – температура	$K_y(T) = a_1 + a_2T + a_3T^2$	-14269,000	270,660	-1,278	1,006	19,000

Анализ зависимостей, приведенных в таблице, показывает, что скорость ламинирования может быть увеличена до 18 м/мин. Это позволит поднять K_y с 20 до 50%. Качество ламинирования по экспертной оценке при этом существенно не изменится.

Для повышения коэффициента упрочнения бумаги желательно увеличить усилие прижима до 35 кН. Данные экспертного опроса показывают, что качество фальца при этом также повысится. Вместе с тем может снизиться качество ламинирования всего оттиска в результате повышения вероятности местного сминания бумаги или пленки.

Данные в таблице свидетельствуют о возможности повышения температуры до 105°C, коэффициент упрочнения бумаги при этом возрастет с 18 до 60%. По данным экспертного опроса качество ламинирования при этом может несколько снизиться, но качество фальцев возрастет.

Взаимосвязь параметров технологического процесса. Приведенные в таблице регрессионные уравнения для коэффициентов упрочнения позволяют вывести уравнения связи для технологических параметров процесса ламинирования. Для чистой бумаги уравнение, связывающее усилие прижима и скорость припрессовки, имеет вид [5]:

$$F(v) = \frac{a_{1v} + a_{2v} \cdot v + a_{3v} \cdot v^2 - a_{1F}}{a_{2F}}. \quad (2)$$

Уравнение, связывающее температуру и скорость припрессовки, получается следующим:

$$T(v) = \exp \left[\frac{a_{1v} + a_{2v} \cdot v + a_{3v} \cdot v^2 - a_{1T}}{a_{2T}} \right]. \quad (3)$$

Используя (2) и (3), можно получить уравнение для усилия прижима как функции температуры:

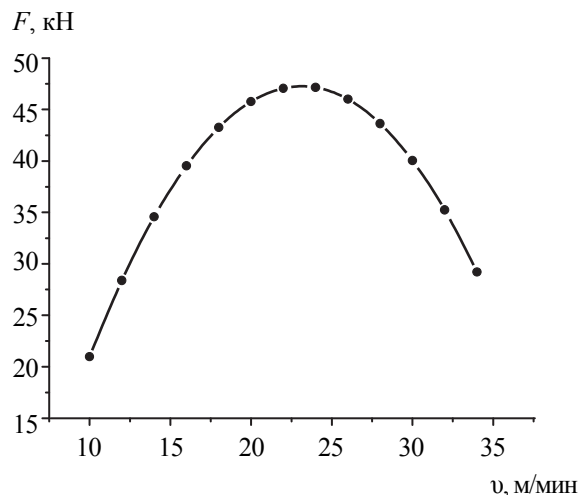
$$F(T) = \frac{a_{1T} + a_{2T} \cdot \ln(T) - a_{1F}}{a_{2F}}. \quad (4)$$

Графики, полученные по данным зависимостям, представлены на рис. 1.

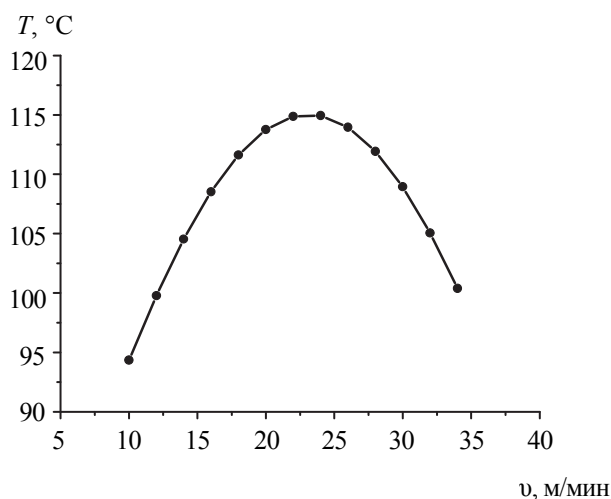
$$F(v) = \frac{a_{1v} + a_{2v} \cdot v + a_{3v} \cdot v^2 - a_{1F}}{a_{2F}}. \quad (5)$$

Уравнение, связывающее температуру и скорость припрессовки, функционально отличается от (3):

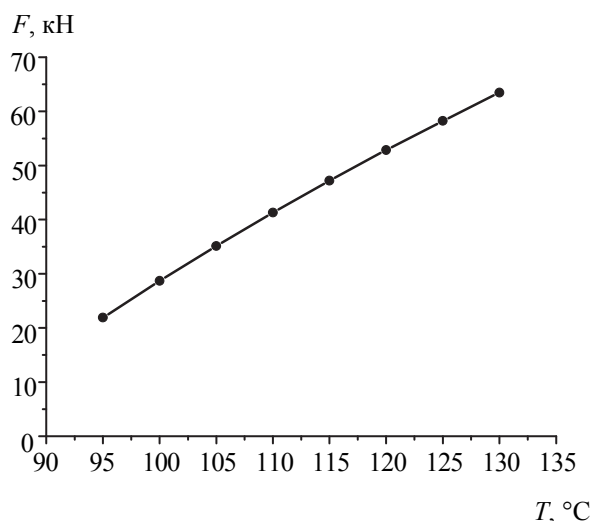
$$T(v) = \frac{1}{2 \cdot a_{3T}} \cdot \left\{ -a_{2T} + \sqrt{a_{2T}^2 - 4 \cdot a_{3T} \cdot \left[a_{1T} - (a_{1v} + a_{2v} \cdot v + a_{3v} \cdot v^2) \right]} \right\}. \quad (6)$$



а

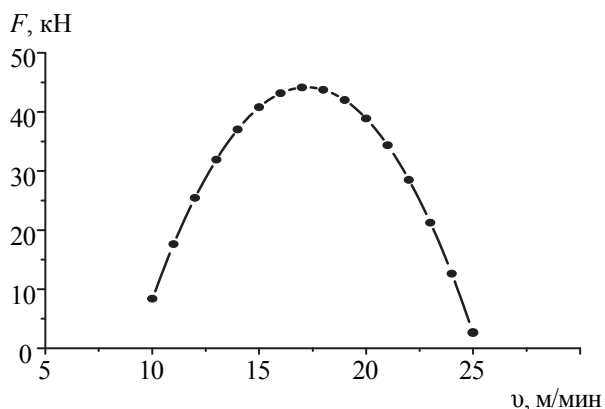


б

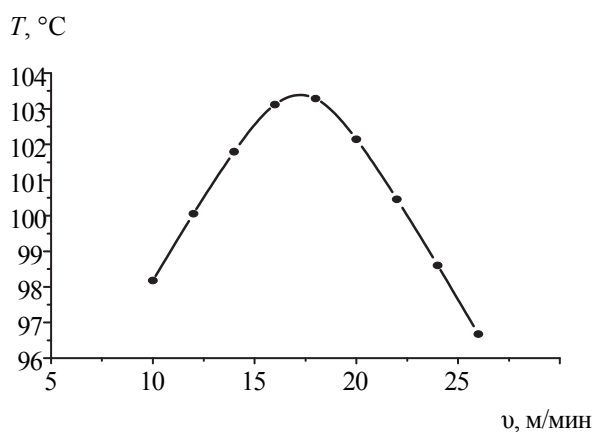


в

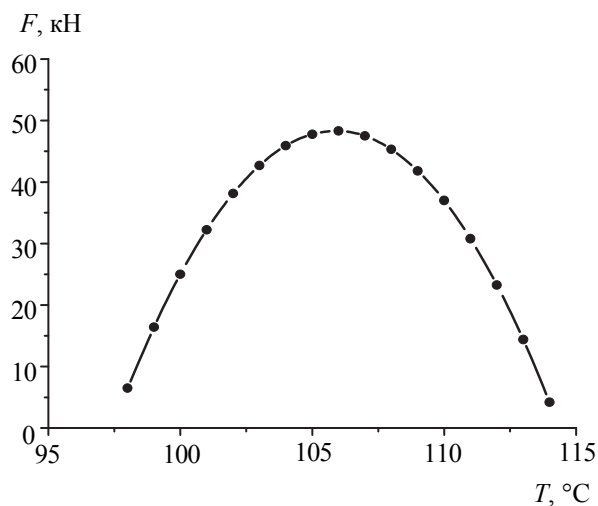
Рис. 1. Зависимости параметров при ламинировании бумаги:
а — усилия прижима от скорости;
б — температуры от скорости;
в — усилия прижима от температуры



а



б



в

Рис. 2. Зависимости параметров при ламинировании оттисков:

- а — усилия прижима от скорости;
- б — температуры от скорости;
- в — усилия прижима от температуры

Уравнение, связывающее усилие прижима и температуру припрессовки:

$$F(T) = \frac{a_{1T} + a_{2T} \cdot T + a_{3T} \cdot T^2 - a_{1F}}{a_{2F}} \quad (7)$$

В случае ламинирования оттисков (рис. 2) получаются уравнения, подобные (2)–(4). Уравнение, связывающее усилие прижима и скорость припрессовки, имеет функциональный вид, аналогичный (2).

Графики, полученные по данным зависимостям, представлены на рис. 2.

Заключение. Все технологические параметры процесса ламинирования взаимосвязаны. При увеличении скорости ламинирования до критического значения усилие прижима также необходимо увеличивать. При увеличении скорости время пребывания пленки и бумаги в зоне силового контакта прессовой пары сокращается, поэтому уменьшение времени контакта необходимо компенсировать повышением усилия прижима. Уравнение (2) позволяет рассчитать усилие прижима, соответствующее выбранной скорости ламинирования. После превышения критического значения скорости усилие прижима необходимо снижать, поскольку возрастает вероятность появления дефектов в результате увеличения деформации растяжения пленки в машинном направлении.

Основным фактором, влияющим на температуру и скорость ламинирования, является снижение вязкости клея при повышении температуры для обеспечения его проникновения в углубления и поры поверхности бумаги при сокращении времени ее пребывания в зоне контакта прессовой пары. После превышения значения скорости выше критического температуру необходимо снижать, поскольку возрастает роль динамических факторов, слишком текучий клей может выдавливаться из зоны контакта прессовой пары и не будет проникать в поры бумаги. Кроме этого, легколетучие компоненты клея будут испаряться, что приведет к образованию пузырей в адгезионном соединении.

Зависимость усилия от температуры в соответствии с (4) имеет логарифмический вид. При повышении температуры усилие необходимо увеличивать вне зависимости от скорости.

При ламинировании оттисков функциональный вид зависимости температуры от скорости и усилия от температуры меняется. Все функции имеют экстремум и, соответственно, критические значения технологических параметров.

Литература

1. Оздоблення друкованої продукції: технологія, устаткування, матеріали / С. Гавенко, Е. [та ін.] Київ; Львів: Ін-т «Україна», УАД, 2003. 180 с.

2. Бобров В. И., Дубасов А. И., Лебедев Ю. М. Технология брошюровочно-переплетных процессов. М.: Книга, 1989. 392 с.

3. Способ исследования прочности адгезионного соединения ламинированного материала: а. с. 662847 СССР, МПК² G 01 N 19/04 / Р. П. Гаврилюк, Е. М. Курев. № 2440440/25–28; заявл. 04.01.1977; опубл. 15.05.1979, бюл. № 18 // Бюллетень Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки, 1979. № 18. С. 37.

4. Кулак М. И., Козлова А. А. Влияние параметров технологического процесса на упрочнение бумаги при ламинировании // Квалилогия книги: материалы VIII Междунар. науч.-практ. интернет-конф., Львов, 15 июня 2015 г. / Украинская академия печати. Львов, 2015. С. 88–92.

5. Кулак М. И., Козлова А. А., Олейник Р. С. Взаимосвязь параметров технологического процесса ламинирования // Скориновские чтения 2015: книгоиздание и книгораспространение в контексте кросскультурных коммуникаций XXI века: материалы Международного форума, Минск, 3–6 сентября 2015 г. Минск: БГТУ, 2015. С. 194–200.

References

1. Gavenko, S., Mamut B. [i dr.] *Ozdoblennyya drukovanoi produktsiyi: tehnologiya, ustatkuvannya, materialy* [Finishing printed products: technology, equipment, materials]. Kiev; Lvov: In-t «Ukraina», UAD Publ., 2003. 180 p.

2. Bobrov, V. I. Dubasov A. I., Lebedev U. M. *Tehnologiya broshyurovochno-perepletnykh protsessov* [Technology for stitching and binding processes]. М.: Kniga Publ., 1989. 392 p.

3. Gavrilyuk R. P., Kurev E. M. *Sposob issledovaniya prochnosti adgezionnogo soedineniya lamirovannogo materiala* [Way to study the strength of adhesive bonding laminate]: Patent USSR, no. 2440440/25–28, 1979.

4. Kulak, M. I., Kozlova A. A. The effect of process parameters on the strengthening of the paper lamination. *Kvalilogiya knigi: materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf* [Kvalilogy of a book: materials of the VIII Intern. Scientific Internet-Conf.]. Lvov, 2015, pp. 88–92 (In Russian).

5. Kulak M. I. Kozlova A. A., Oleynik R. S. The relationship of process parameters laminating. *Skorinovskie chteniya 2015: knigoizdanie i knigorasprostranenie v kontekste krosskul'turnykh kommunikatsiy XXI veka: materialy Mezhdunarodnogo foruma* [Reading of Skorina 2015: book publishing and distribution in the context of cross-cultural communication XXI cen.: materials of the Intern. forum]. Minsk, 2015, pp. 194–200 (In Russian).

Информация об авторах

Козлова Анна Александровна — магистрант кафедры полиграфических производств, Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: koslova@belstu.by

Кулак Михаил Иосифович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой полиграфических производств, Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kulak@belstu.by

Олейник Роман Степанович — генеральный директор РУП «Издательство «Белорусский Дом печати». E-mail: kulak@belstu.by

Information about the authors

Kozlova Anna Aleksandrovna — undergraduate of the Department of Printing Technologies, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: koslova@belstu.by

Kulak Mikhail Iosifovich — Sc. Physics and Mathematics, professor, head of the Department of Printing Technologies, Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kulak@belstu.by

Oleynik Roman Stepanovich — Director General of the RUE «Publishing house «Belorusskiy Dom pechati». E-mail: kulak@belstu.by

Поступила 10.03.2015