

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫЩИПЫВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПЕЧАТНОЙ БУМАГИ

In article the mechanism of sticking and division of ink during a press is considered. As the reasons of plucking out pressure inside of ink layer are considered. In article variants of forces distribution are considered at rolling the cylinder on a plane and at rotation of two cylinders. The design procedure of ink strings break effort is offered at passage of ink between two cylinders. One of cylinders is covered by offset blanket. In article influence of press speed on stickiness is investigated. Under characteristics of various kinds of a paper speed limits of a press without occurrence of plucking out effect are certain. By results of calculations are drawn conclusions concerning conformity of the turned out speeds of press with practical speeds. In conclusions recommendations on the further development of the offered design procedure of press speed limits are offered.

**Введение.** Процесс получения оттиска напрямую связан со свойствами материалов, которые участвуют в процессе печати. Причем результат процесса печати есть результат взаимодействия твердого тела (запечатываемого материала) и жидкости (печатной краски). К свойству бумаги, влияющему на процесс получения качественного оттиска, можно отнести стойкость поверхности бумаги к выщипыванию, для печатной краски — липкость. Причем реологические свойства краски являются более «гибкими» и могут изменяться в зависимости от условий печати, например от скорости печати и давления.

Стойкость поверхности бумаги к выщипыванию — свойство, характеризующее ее сопротивление отделению волокон целлюлозы и частиц наполнителя с поверхности, возникающее, когда силы разрыва красочного слоя превышают когезионные силы самой бумаги. Количественной характеристикой данного параметра служит минимальная скорость печати, при которой начинается повреждение поверхности бумаги.

Оттиски с поврежденной поверхностью забраковываются, но, кроме этого, отделившиеся волокна бумаги, прилипая к печатной форме и к офсетному полотну, загрязняют их и приводят в дальнейшем к браку последующей печатной продукции.

Липкость печатной краски существенно влияет на поведение красок в процессе печати и, соответственно, на качество оттиска. При этом процессу передачи краски между печатными поверхностями сопутствуют два сопровождающих друг друга процесса: прилипание краски к той поверхности, с которой она соприкасается, и сопротивление красочного слоя разделению между двумя поверхностями. Эти различные по своей сути свойства краски являются проявлением ее физических свойств в условиях печатного процесса [1].

Прилипание — это притяжение друг к другу и скрепление между собой двух разнородных материалов (краски и раскатных валиков, краски и печатной формы, офсетного полотна, краски и бумаги) в результате действия сил молекулярного

притяжения. Прилипание зависит от такого реологического свойства краски, как текучесть. Это свойство печатной краске придает связующее, молекулярная природа которого обеспечивает смачивание и прилипание краски к поверхности печатных материалов [1]. Причем в процессе раската, наката и нанесения на форму, офсетное полотно, запечатываемый материал краска одновременно должна прилипать к двум поверхностям и разделяться между ними. Таким образом, прочность прилипания (первое свойство липкости) должна быть больше сопротивления разделению красочного слоя (второе проявление липкости).

Однако, с другой стороны, сопротивление разделению слоя краски не должно быть слишком малым, так как краска не будет раскатываться. Но и слишком большое значение не допустимо, поскольку может привести к выщипыванию.

При печати на бумаге, картоне и других аналогичных материалах адгезия краски обусловлена ее высокой поверхностной активностью из-за наличия в волокнах целлюлозы большого количества полярных гидроксильных групп. Благодаря физической адсорбции к бумаге хорошо прилипают краски, изготовленные на основе обычных связующих (например, олифе). Возможно также и химическое взаимодействие между связующим и целлюлозными волокнами. Выщипывание является дефектом бумаги, но поскольку заменить тиражную бумагу часто невозможно, необходимо корректировать свойства краски, учитывая механизм и происхождение сил, вызывающих выщипывание [1].

Причиной выщипывания могут служить напряжения, образующиеся в слое краски, находящейся между валиками, и направленные внутрь красочного слоя. Эти отрицательные напряжения могут возникать при выходе оттиска из зоны контакта, а также при его отделении от печатной формы, когда растяжение краски сопровождается нарушением сплошности слоя. В нем возникают вакуумные полости, что приводит затем к образованию изолированных участков, в пределах которых краска растягивается в тяжи разной длины перед тем, как окончательно разорваться.

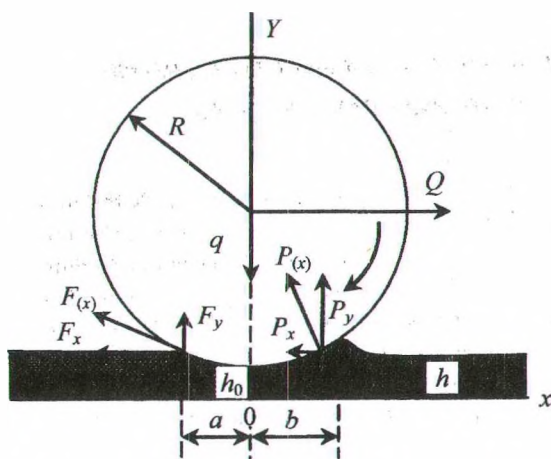


Рис. 1. Распределение сил при качении валика по плоскости со слоем краски между ними

Деформация тяжей и образование вакуумных полостей создают дополнительное сопротивление, которое невозможно учесть в гидродинамическом расчете. Но именно они являются причиной выщипывания, поскольку возникающие при этом напряжения направлены внутрь слоя краски [1].

В [1] показано, что сопротивление разделению слоя возрастает с увеличением его вязкости и скорости разделения. Анализ гидродинамических процессов (рис. 1), происходящих в слое краски, раскатываемой валиком, показывает, что в каждой точке контакта валика с поверхностью краски возникают нормальные  $P(x)$  и касательные  $F(x)$  напряжения. Суммируя все вертикальные составляющие  $P_y$  и  $F_y$ , можно получить равнодействующую вертикальных сил, которая противодействует прижиму валика  $q$  и обеспечивает зазор, необходимый для переноса краски. Равнодействующая горизонтальных составляющих  $P_x$  и  $F_x$  характеризует липкое сопротивление, противодействующее тяговой силе  $Q$ , в паре с которой оно вызывает вращение валика.

Приближенное решение гидродинамической задачи дает следующее выражение [1] для тяговой силы, отнесенной к единице длины цилиндра:

$$Q = 1,5(\eta\omega R)^{0,75} \left(\frac{h}{R}\right)^{0,25} q^{0,25}, \quad (1)$$

где  $\eta$  — вязкость краски;  $\omega$  — угловая скорость;  $R$  — радиус валика;  $h$  — толщина слоя краски;  $q$  — сила прижатия валика, отнесенная к единице длины цилиндра.

Выведенная функциональная зависимость липкости от вязкости краски и скорости вращения валика согласуется с опытными данными, что подтверждает вязкостный механизм липкости как сопротивление разделению краски [1].

С липкостью связано и такое понятие, как пылимость печатной краски, т. е. образование при

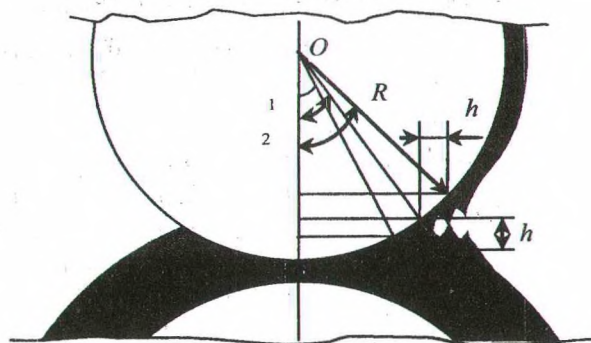


Рис. 2. Образование и разрыв красочных нитей между двумя цилиндрами

печати устойчивого красочного тумана из мельчайших частиц краски. Одна из причин возникновения красочной пыли — образование длинных и тонких красочных тяжей, разрывающихся в нескольких местах. Способность к растяжению связана с реологическими свойствами краски и уменьшается с увеличением вязкости краски. Поэтому печатные краски для офсетной и высокой печати имеют многокомпонентные связующие, обладающие большой стабилизирующей способностью. Тогда процесс разделения красочного слоя с образованием коротких красочных нитей (тяжей) можно представить в виде рис. 2. Изображение на рис. 2 соответствует процессу передачи краски в офсетной технологии печати, в которой краска разделяется между двумя цилиндрами, один из которых покрыт офсетным резиноканевым полотном. Обоснование данного представления о создании давления в печатной паре в печати приведено в [2].

**Исследовательская часть.** Логично предположить, что сила  $Q$  расходуется в данном случае на разрыв красочных нитей, т. е. направлена на преодоление липкости краски. Кроме того, действие силы начинает проявляться в тот момент, когда толщина слоя краски между поверхностями цилиндров станет больше начальной толщины  $h$ . Чтобы вычислить напряжение разрыва красочных нитей, необходимо отнести силу  $Q$  к площадке действия этой силы, т. е. участку поверхности, на котором происходит разрыв, его ширина может быть определена как ширина участка  $\delta h$ . Используя геометрические преобразования и определив углы  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  с помощью выражений

$$\Theta_1 = \arccos\left(\cos\phi - \frac{h}{2R}\right), \quad (2)$$

$$\Theta_2 = \arccos\left(\cos\phi - \frac{h'}{2R}\right), \quad (3)$$

где  $\phi$  — угол между осью цилиндров и радиусом, проведенным к крайней точке соприкосновения цилиндров;  $h'$  — толщина слоя краски с учетом кратности удлинения красочных нитей, получим формулу для расчета  $\delta h$ :

$$\delta h = R(\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1). \quad (4)$$

Поскольку в выражение (1) входит сила прижатия валика  $q$ , при настройке печатной машины устанавливается давление между цилиндрами  $\sigma_q$ , то силу прижима можно выразить, зная ширину участка соприкосновения  $L_{\text{конт}}$ :

$$L_{\text{конт}} = \frac{2\pi R\phi}{180}. \quad (5)$$

Угловая скорость вращения цилиндра, отнесенная к его радиусу, вычисляется исходя из скорости работы печатной машины:

$$\omega = \frac{2\pi n}{3600}, \quad (6)$$

где  $n$  — скорость печати, отг./ч.

С учетом формул (2)–(6) выражение для расчета напряжения разрыва красочных нитей будет иметь следующий вид:

$$\sigma_V = \frac{1,5}{\delta h} \sqrt{(\eta\omega h)^3 \sigma_q L_{\text{конт}}}. \quad (7)$$

Как указывалось выше, для нормального процесса печати и для получения качественных оттисков необходимо, чтобы напряжение разрыва красочных тяжей было меньше, чем предельное напряжение выщипывания поверхностного слоя бумаги  $\sigma_S$ . Данную величину можно определить, зная предельное напряжение разрушения образца:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{разр}}}{a \cdot h_{\text{бум}}}, \quad (8)$$

где  $F_{\text{разр}}$  — разрывное усилие;  $a$  — ширина образца бумаги;  $h_{\text{бум}}$  — толщина бумаги. А также

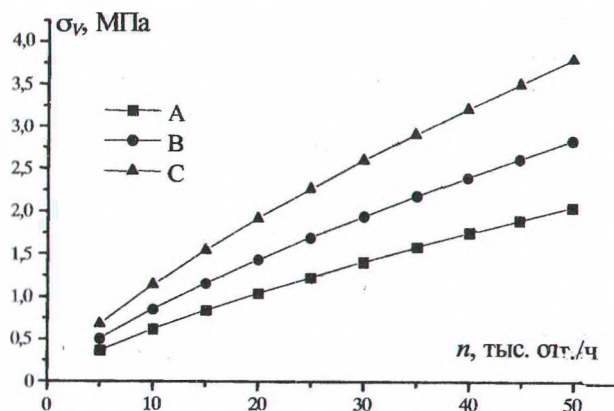


Рис. 3. Влияние скорости печати на липкость краски при вязкости краски: А — 9,4 Па·с; В — 14,4 Па·с; С — 21,2 Па·с

зная уменьшение прочности бумаги за счет структурных особенностей строения листа бумаги при переходе от массы листа к его поверхности  $k_S$ , определяем

$$\sigma_S = \sigma_{\text{пр}} \cdot k_S. \quad (9)$$

Для надежности качественной печати следует закладывать 1,5–2,0-кратный запас по напряжению выщипывания.

На основании значений параметров, используемых на практике и полученных ранее в результате расчетов, были проведены исследования влияния изменения скорости, давления печати, вязкости краски на липкость печатной краски. Дополнительные исследования образцов бумаги на разрыв позволили определить для каждого образца предельную скорость печати и липкость краски, при которых не происходит разрушение его поверхности. Результаты расчетов приведены в виде рис. 3 и рис. 4.

Анализируя рис. 3, можно отметить, что с увеличением вязкости краски, ее липкость увеличивается. Поскольку это очевидное свойство краски, следовательно, проведенные расчеты верны и адекватно описывают происходящие в действительности процессы. Причем, исходя из полученных зависимостей, следует, что чем выше вязкость краски, тем быстрее возрастает ее липкость с увеличением скорости печати. Так, при вязкости 9,4 Па·с с ростом скорости от 5 до 50 тыс. отг./ч значение липкости увеличивается на 1,8 МПа, а при вязкости 21,2 Па·с — на 3,1 МПа.

Исходя из результатов, представленных на рис. 4, увеличение давления также приводит к росту липкости, и чем выше давление, тем интенсивнее оно влияет на липкость краски. При давлении 0,047 МПа с ростом скорости печати липкость возрастает на 1,4 МПа, а при давлении 0,258 МПа — на 2,25 МПа. Полученные результаты согласуются с практикой печати и ранее полученными результатами [1].

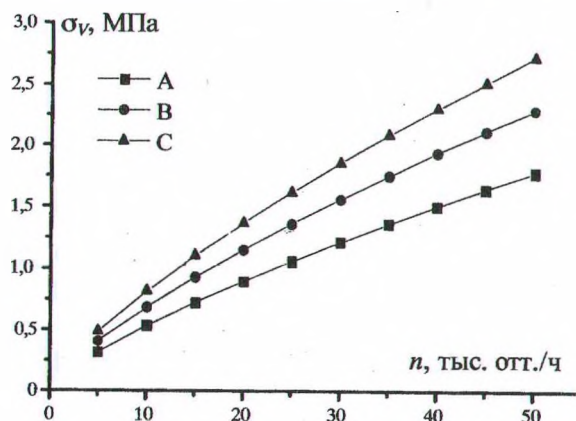


Рис. 4. Влияние скорости печати на липкость печатной краски при давлении: А — 0,047 МПа; В — 0,129 МПа; С — 0,258 МПа

Предельные скорости печати для различных видов бумаги

Вид бумаги	Предельная скорость печати $v$ , тыс. отт./ч					
	при вязкости краски, Па·с			при давлении печати, МПа		
	$\eta_1 = 9,4$	$\eta_2 = 14,4$	$\eta_3 = 21,2$	$\sigma_{q1} = 0,047$	$\sigma_{q2} = 0,129$	$\sigma_{q3} = 0,258$
Газетная	18,08	11,8	8,02	32,7	23,35	18,53
Офсетная	21,91	14,3	9,71	39,63	28,3	22,47
Мелованная	65,07	42,48	28,85	117,7	84,06	66,72
Kym Ex Cote	69,1	45,11	30,64	125,0	89,27	70,86
Bereg Top Gloss	17,61	11,49	7,81	31,85	22,75	18,05
Magnomatt Satin	16,89	11,03	7,49	30,55	21,82	17,32
Magnostar	25,37	16,56	11,25	45,88	32,77	26,01

Однако скорость печати ограничивается возможностью выщипывания волокон с поверхности бумаги. Для каждого вида бумаги можно определить предельную скорость печати, используя выражения (8) и (9) и учитывая заданную вязкость краски и давление печати. Для этого были исследованы образцы газетной, офсетной и нескольких видов мелованной бумаги, полученные результаты сведены в таблицу.

Анализ полученной таблицы показывает, что чем выше показатель липкости краски, тем ниже предельная скорость печати на данной бумаге. Самые низкие значения предельных скоростей получены для образцов газетной, офсетной и двух видов мелованной бумаги. Аналогичные выводы можно сделать и по второй части таблицы, где приведены данные для различных давлений печати.

Следует отметить, что скорость листовых офсетных печатных машин обычно не превышает 8–15 тыс. отт./ч [3], таким образом, на ряде исследованных видов бумаги при определенных условиях не возможно получить качественную продукцию при максимальных скоростях печати. Данный факт означает, что возможности оборудования не будут использоваться полностью, кроме того, возрастут временные затраты на печать тиража.

Максимальная скорость рулонных офсетных печатных машин значительно выше, порядка 50–100 тыс. отт./ч [3], очевидно, что для максимального использования возможностей таких печатных машин подходит еще более узкий круг материалов, но использование печатной краски с низкой вязкостью позволит расширить ассортимент запечатываемых материалов.

Снижение давления также позволяет печатать на более высокой скорости, однако в то же время создаваемое давление должно обеспечивать полную передачу краски на запечатываемый материал, поэтому не может быть ниже некоторого значения, определяемого толщиной запечатываемого материала, толщиной и составом декеля, офсетного полотна.

В лабораторных условиях для испытания образцов на выщипывание используется пробопечатное устройство. Стандарт на выщипывание введен для офсетной и мелованной бумаги. Полученное на пробопечатном устройстве значение скорости должно быть не менее 1,6–2,2 м/с, т. е. 0,9–1,3 тыс. отт./ч, как показывают расчеты, эти значения сильно занижены. Кроме того, при проведении испытания устанавливается давление, определенное методикой проведения испытания, тогда как в реальном печатном процессе давление настраивается в соответствии с материалами выполняемого заказа и может изменяться и корректироваться в процессе печати.

**Заключение.** Предложенная методика расчета напряжения разрыва красочного слоя более полно отражает процессы, которые протекают на практике, и может быть использована для определения оптимальной скорости печати на соответствующем виде бумаги.

Дальнейшее развитие данная теория может получить при рассмотрении процесса разрыва красочного слоя с учетом поведения оттиска в зоне печатного контакта [3]. Исследования силовых явлений показывают, что окончательный отрыв бумаги от офсетного полотна происходит с некоторым запаздыванием. Поэтому в расчет можно ввести учет растягивающего усилия, необходимого для окончательного отрыва бумажного листа и вывода его из зоны печатного контакта.

#### Литература

1. Шахкельдян, Б. Н. Полиграфические материалы / Б. Н. Шахкельдян, Л. А. Загаринская. — М.: Книга, 1988. — 328 с.
2. Старченко, О. П. Влияние неоднородности структуры поверхностей печатного контакта на распределение давления и расход краски / О. П. Старченко // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. — 2004. — Вып. XII. — С. 51–54.
3. Печатные системы фирмы Heidelberg. Офсетные печатные машины / В. И. Штоляков [и др.]. — М.: Изд-во МГУП, 1999. — 216 с.