

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СДВИГА НА ВЯЗКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ТЕКСТИЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В статье представлены исследования по определению влияния скорости сдвига на реологические свойства полимерных композиций в лабораторных и производственных условиях. Предложены графики зависимости вязкости полимерных композиций от скорости сдвига. На основе лабораторных и производственных экспериментальных данных построена сводная таблица влияния вязкости и скорости сдвига полимерных композиций на толщину сформированного полимерного покрытия.

Ключевые слова: полимерная композиция, текстильные материалы с покрытием, вязкость, скорость сдвига.

M.V. PASICHNYK

Nykolaev National University after V.A. Sukhomlinsky

INFLUENCE OF THE SHEAR RATE ON THE VISCOSITY OF POLYMER COMPOSITION DURING THE COATING OF TEXTILE MATERIAL

Abstract – The aim of the article is to provide the reader with some material on study the rheological behavior of the polymer compositions for coating of textile. The first experiment of the article gives a detailed analysis of the behavior of four developed polymer compositions. It was determined that character of the flow is pseudoplastic which decreases viscosity with increase in shear rate, due to weak interactions between substance particles which are broken by shear force.

Fabric was coated by knife coating method. The method proposed if the viscosity decreases with time at increase of shear rate. The viscosity of the polymer compositions with the magnitude of the applied shear rate was measured. Attention is drawn to the natural consequence of the fact that the molecules are caused to rotate by the shearing action. It was pointed out that the variation of the viscosity of polymer compositions with the rate of shear may provide a convenient method for determining coating thickness.

Keywords: polymer composition, coated textile materials, viscosity, shear rate.

Введение. Одним из новых и перспективных направлений мировой текстильной промышленности является выпуск тканей с полимерным покрытием. Такие ткани используются в различных сферах: в производстве мебели; современных упаковочных материалов; изготовлении палаток, навесов, спортивного снаряжения; в декоративных целях. Исходя из назначения и условий эксплуатации им придают специфические свойства: износостойкость, газопроницаемость, гидрофобность, стойкость к деформациям и др.

Постановка проблемы. При разработке полимерных композиций, формирующих полимерные покрытия на поверхности текстильных материалов, важным является изучение их технологических свойств. В процессе нанесения полимерного покрытия скорость работы машины изменяется в широких пределах и полимерная композиция претерпевает ряд изменений. Для прогнозирования поведения отделочных композиций в производственных условиях изучают реологические свойства полимерных композиций.

Анализ последних исследований и публикаций. Практически все полимерные композиции проявляют эффект разжижения (снижения вязкости) при увеличении скорости сдвига. Изогнутые полимерные цепи деформируются и под действием приложенных напряжений ориентируются, оказывая тем самым наименьшее сопротивление. При достаточно высокой концентрации полимера в композиции, макромолекулы могут проникать друг в друга, образуя рыхлую гелеобразную структуру. Для того чтобы разрушить эту структуру и осуществить течение, требуется приложение конечной силы, такая система ведет себя как бингамовское вязко-пластичное тело. Однако, для того чтобы иметь хорошие потребительские характеристики, полимерные композиции должны быть неньютоновскими жидкостями, вязкость которых сильно зависит от скорости сдвига.

Критический анализ применения полимеров при формировании полимерных покрытий показал преимущества использования водных дисперсий [1]. При малых скоростях сдвига структура водных дисперсий полимеров разрушается и полностью восстанавливается (в таком случае система имеет наибольшую вязкость), с увеличением скорости сдвига разрушение структуры начинает преобладать над восстановлением, и вязкость уменьшается. Применение полимеров в виде дисперсий позволяет наносить тонкие покрытия на большую поверхность с минимальными энергозатратами, а также обеспечивает частичную пропитку и лучшее сцепление покрытия с материалом основы [2]. Дополнительным преимуществом использования композиций на основе водных дисперсий полимеров является исключение подготовительных работ, связанных с превращением полимера в порошок или его гранулированием, и исключение необходимости применения растворителей.

В качестве полимера-матрицы в исследовании использовалась стирол-акриловая дисперсия Лакритекс 430. В работе [3] было установлено, что большое количество метакриловой кислоты в составе полимера, непосредственно влияет на его реологические свойства. В результате отрицательной заряженности ионов -COOH, которые отталкиваются друг от друга, происходит разворачивание

молекулярных клубков макромолекулы и возрастает межмолекулярное взаимодействие, что сопровождается повышением вязкости. Таким образом, гидрофобные сегменты макромолекулы обеспечивают ассоциативное взаимодействие друг с другом, что придает высокую стабильность вязкости системы и отличные реологические свойства [4].

В качестве исследуемых полимеров были выбраны водные дисперсии акриловых сополимеров (Лакритекс 273, Лакритекс 430) и уретанов (Аквапол 11). Наиболее эффективным сшивающим агентом из исследуемых был выбран бесформальдегидный сшивающий агент эпоксидной природы – триглицидиловый эфир полиоксипропилен триола (ТГЭ), в качестве мягчителя использовался силиконовый мягчитель. Состав разработанных полимерных композиций представлен в таблице 1.

Таблица 1

Состав разработанных полимерных композиций

Полимерная композиция (ПК) № 1	Полимерная композиция (ПК) № 2	Полимерная композиция (ПК) № 3	Полимерная композиция (ПК) № 4
Лакритекс 430	Лакритекс 430	Лакритекс 430	Лакритекс 430
Лакритекс 273	Аквапол 11	Лакритекс 273	Аквапол 11
ТГЭ	ТГЭ	ТГЭ	ТГЭ
-----	-----	Мягчитель	Мягчитель

В результате предыдущих исследований [5] было установлено, что все полимерные композиции характеризуются тиксотропными свойствами, что предопределяет их использование в техническом процессе. Самой высокой степенью тиксотропного восстановления – 100% характеризуется полимерная композиция №2, а самая низкая степень тиксотропного восстановления у полимерной композиции №4.

Целью данной работы было изучение реологических характеристик течения полимерных композиций в координатах вязкость – скорость сдвига и подсчет толщины сформированного полимерного покрытия на поверхности текстильного материала с учетом технологических скоростей сдвига.

Изложение основного материала. Реологические характеристики определялись методами инженерной механики с использованием ротационного вискозиметра с коаксиальными цилиндрами «Реотест-2». Показания регистрировали при увеличении и последующем уменьшении градиента скорости сдвига в зависимости от используемого рабочего цилиндра.

Следует учитывать, что при построении кривых течения в логарифмических координатах сглаживаются различия между отдельными полимерами. Более удобно использовать кривые течения, построенные в координатах вязкость — скорость сдвига.

Известно, что при повышении температуры уменьшается вязкость полимеров. У различных полимеров степень изменения вязкости отличается, и повышение температуры вызывает сравнительно небольшое снижение вязкости. Виноградовым Г.В. с сотрудниками найдена функция течения полимеров, не зависящая по отношению к температуре. Эта функция названа температурно-инвариантной характеристикой вязкости и имеет следующий вид:

$$\eta/\eta_n = f(\gamma\eta_n), \quad (1)$$

где η_n – наибольшая вязкость

Величина $\eta/\eta_n = \eta_{пр}$, являющаяся отношением вязкости (при данном напряжении и скорости сдвига) к ньютоновской вязкости, называется приведенной вязкостью. Приведенная вязкость показывает степень влияния изменения структуры полимера при течении на вязкость.

Величина $\gamma\eta_n = \gamma_{пр}$ называется приведенной скоростью сдвига и характеризует интенсивность деформационного воздействия при установившемся течении полимерной композиции.

Метод универсальной температурно-инвариантной характеристики вязкости полимеров позволяет единообразно оценивать их состояние при установившихся режимах течения. По обобщенной характеристике вязкости можно находить приближенное значение эффективной вязкости в широком диапазоне изменения температуры и напряжений сдвига [6].

На рисунках 1 и 2 представлена зависимость приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига. На кривых течения (ПК №1 и ПК №4) наблюдается рост величины начальной вязкости, а потом кривые выходят на ньютоновскую прямую [7]. Это объясняется процессом формирования флуктуационной сетки сцеплений, которая отображает динамические свойства композиций: сначала вязкость возрастает, в связи с молекулярными сцеплениями, а потом выходит на режим установленного течения [8].

На рисунке 1. кривые ПК №2 и ПК №3 характеризуются значительными пиками вязкости при скорости сдвига 27 с^{-1} . С повышением скорости сдвига вследствие торможения релаксационных процессов наблюдается резкое нарастание внутренних напряжений, через определенный период времени наблюдается не только нарастание вязкости, но и изменение характера реологических кривых, связанное с переходом системы в структурированное состояние за счет возникновения связей между структурными элементами. Применение полимерных композиций №2 и №3 не сможет обеспечить оптимальную работу технологической линии, так как для оборудования важно, чтобы вязкость композиции при повышении напряжения была минимальной.

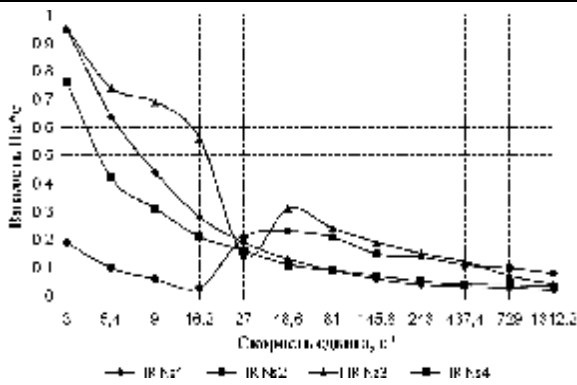


Рис. 1. Кривые зависимости приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига (прямой ход)

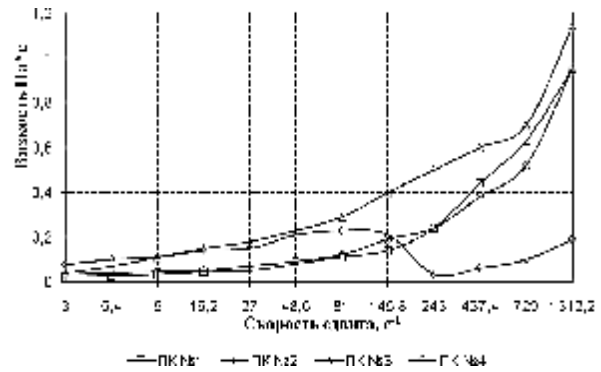


Рис. 2. Кривые зависимости приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига (обратный ход)

Вязкость полимерных композиций №1 и №4 уменьшается с увеличением напряжения. Кривые прямого и обратного хода для данных полимерных композиций практически идентичны вследствие процесса обратимого изотермического разрушения и восстановления связей между частичками, что дает предпосылки к использованию ПК №1 и ПК №4 в технологическом режиме (рис. 2).

При работе технологической линии полимерная композиция подвергается воздействию как очень высоких, так и очень низких скоростей сдвига. При оценке скоростей сдвига почти всегда разные стадии одного и того же технологического процесса характеризуются совершенно разными скоростями сдвига. Таким образом, оценка технологичности полимерных композиций, выводимая по результатам обычных измерений вязкости при низких скоростях сдвига, может оказаться ошибочной. Для правильной оценки поведения полимерных композиций при высоких скоростях сдвига проводились дополнительные производственные испытания ПК №1 и ПК №4.

В технологических условиях процесс нанесения покрытий состоит из собственно нанесения покрытия, образования пленки (образования геля полимера и удаления растворителя) и связанных с этим процессов нагрева, сушки и охлаждения.

Наиболее экономически выгодным и простым в аппаратном оформлении является способ непосредственного нанесения полимерной композиции с помощью ножевой ракля на текстильный материал с последующим формованием полимерной пленки в процессе сушки [9]. Схема технологической линии по нанесению полимерной композиции на текстильный материал представлена на рисунке 3.

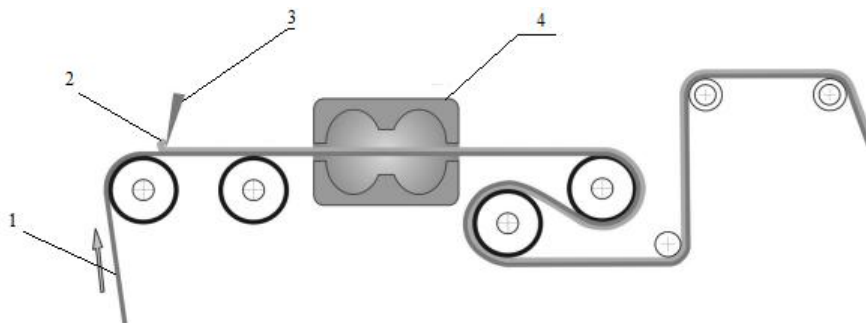


Рис. 3 – Линия по нанесению полимерной композиции на текстильный материал
1 – ткань; 2 – полимерная композиция; 3 – ножевая ракля; 4 - термокамера

Полимерная масса из емкостей, расположенных над лентой, вручную или с помощью насосов подается на ленту непосредственно перед раклей. При нанесении покрытия полимерная масса перед раклей совершает циркуляционное движение, следовательно, можно утверждать, что чем ниже вязкость, тем меньшее количество пленкообразующей композиции наносится на текстильный материал. Для некоторых композиций при ракельном методе нанесения обнаруживается возрастание вязкости, что следует учитывать и следить, чтобы скорость нанесения не была слишком высокой для обеспечения равномерной толщины покрытия. Существенна также и длительность приложения нагрузки.

Большое влияние на процесс нанесения покрытия оказывает скорость сдвига в зазоре между раклей и лентой. Для определения скорости сдвига полимерной композиции при работе технологической линии использовалась соответствующая формула [10]:

$$g = \frac{v}{y}, \tag{2}$$

где γ – скорость сдвига; v – максимальная скорость; y – размер зазора.

Для оценки влияния скорости сдвига в технологических условиях на вязкость разработанных полимерных композиций и подсчет прогнозируемой при этом толщины полимерного покрытия, была

построена сводная таблица, которая включала в себя все основные скорости сдвига характерные для технологического процесса (табл. 2).

Таблица 2

Параметры работы линии по нанесению полимерной композиции на текстильный материал		
Скорость нанесения покрытия, м/мин	Скорость сдвига, с ⁻¹	
1	167	83
5	833	417
10	1666	833
20	3333	1666
Толщина, мм	0,1	0,2

Из таблицы 2 видно, что регулируя скорость сдвига и скорость работы машины можно получить предварительно заданную толщину формируемого покрытия на поверхности текстильного материала.

На рисунке 4 представлена зависимость приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига для полимерных композиций №1 и №4 в условиях работы технологической линии.

Рис. 4. Кривые зависимости приведенной вязкости от приведенной скорости сдвига для технологического режима

Характер течения полимерных композиций №1 и №4 близок к псевдопластичному, что характерно для полимерных составов, применяемых для нанесения покрытий в технологических условиях. С возрастанием напряжения сдвига (рис. 4) асимметричные частицы постепенно ориентируются вдоль направления потока, при этом вязкость убывает с ростом скорости сдвига до тех пор, пока сохраняется возможность дальнейшей ориентации частиц, а затем кривая становится линейной. Предел текучести для исследуемых полимерных композиций равен нулю, реологические свойства течения не зависят от времени, что означает, что процесс ориентации частиц, проходит почти мгновенно.

Выводы. Проанализировав данные, полученные по реологическим кривым полимерных композиций можно сделать вывод, что построение и изучение реограмм позволяет научно и обоснованно решать вопросы технологии полимерных композиций, начиная с момента их приготовления и до нанесения на поверхность текстильного материала. Исследовав реологические кривые течения полимерных композиций, был подобран наиболее эффективный метод нанесения монолитной пленки, при котором течение будет проходить с минимальной вязкостью, что обеспечит бесперебойную работу оборудования.

В результате проведенных исследований было установлено, что изучение реологических характеристик течения полимерных композиций с учетом технологических скоростей сдвига, позволяет получить контролируемую толщину сформированного полимерного покрытия на поверхности движущегося текстильного материала.

Литература

1. Пасечник М.В. Текстильные материалы с полимерным покрытием: разработка композиционных составов и технологии нанесения / М.В. Пасечник. – Херсон: Айлант, 2013. – 216 с.
2. Басов Н.И. Техника переработки пластмасс / Н.И. Басов, В. Броя. – М.: Химия, 1985. – 528 с.
3. Пасічник М.В. Застосування полімерної композиції для водотривкої обробки тентових текстильних матеріалів / М.В. Пасічник, І.М. Куліш, Г.С. Сарібеков // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 98 – 101.
4. Староверова О.С. Модификация эпоксиэфиром полимерных материалов для лакокрасочных покрытий: автореф. дис. на соискания степени канд. хим. наук: спец.: 02.00.06 – «Высокомолекулярные соединения» / О.С. Староверова. – Ярославль, 2014. – 28 с.
5. Пасічник М.В. Модифікування в'язкості полімерної композиції для нанесення покриття на поверхню текстильного матеріалу/ М.В. Пасічник, І.М. Куліш, Г.С. Сарібеков // Вісник Хмельницького

національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 145 – 149.

6. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьем под давлением / В.В. Лапшин. – М.: «Химия», 1974. – 270 с.

7. Цветков В.Н. Структура макромолекул в растворах / В.Н. Цветков, В.Е. Эскин, С.Я. Френкель. – М.: Наука, 1964. – 720 с.

8. П де Жен. Идеи скейлинга в физике полимеров / П де Жен.; пер. с англ. И.М. Лифшиц. – М.: Мир, 1982. – 368 с

9. Polona Dobnik Dubrovsk. Woven Fabric Engineering / Polona Dobnik Dubrovsk. – Sciyo, 2010. – 436 p.

10. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии / Г. Шрамм; пер. с англ. И.А. Лавыгина. – М.: Колос, 2003. – 312 с.

References

1. Pasichnyk M.V. Tekstil'nyye materialy s polimernym pokrytiyem: razrabotka kompozitsionnykh sostavov i tekhnologii naneseniya: monografiya. Kherson, Aylant, 2013, 216 p.

2. Basov N.I., Broya V. Tekhnika pererabotki plastmass. Moscow, Khimiya, 1985, 528 p.

3. Pas'chnyk M.V., Kul'sh ?.M., Sar'bekov G.S. Zastosuvannya polimernoї kompozytsii dlia vodotryvkoi obrobky tentovykh tekstylnykh materialiv, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky.* 2009. Volume 128. Issue 2. pp. 98 – 101.

4. Staroverova O.S. Modifikatsiya epoksiefrom polimernykh materialov dlia lakokrasochnykh pokrytyi: avtoref. dis. na soiskaniya stepeni kand. khim. nauk. Yaroslavl', 2014, 28 p.

5. Pas'chnyk M.V., Kul'sh ?.M., Sar'bekov G.S. Modyfikuvannya viazkosti polimernoї kompozytsii dlia nanesennia pokryttia na poverkhniiu tekstylnoho materialu, *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical science. Khmelnytsky.* 2010. Volume 155. Issue 3. pp. 145 – 149.

6. Lapshin V.V. Osnovy pererabotki termoplastov lit'yem pod davleniyem. Moscow, Khimiya, 1974, 270 p.

7. Tsvetkov V.N., Eskin V.Ye., Frenkel' S.YA. Struktura makromolekul v rastvorakh. Moscow, Nauka, 1964, 720 p.

8. P de Gennes. Idei skejlinga v fizike polimerov. Moscow, Mir, 1982. 368 p.

9. Polona Dobnik Dubrovsk. Woven Fabric Engineering. Sciyo, 2010. 436 p.

10. Schramm G. Osnovy' prakticheskoy reologii i reometrii. Moscow, ColosS, 2003. 312 p.

Рецензія/Peer review : 20.5.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.5.2015 р.

Рецензент: д.х.н. проф., Романкевич О.В.