

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗБУХАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ВАЛЬЦЕВАНИЯ

RESEARCH OF SWELLING OF POLYMERIC MATERIALS IN THE CONDITIONS OF INFLUENCE OF THE ULTRASONIC FLUCTUATIONS IN THE COURSE OF ROLLING

В представленной работе рассмотрены вопросы вальцевания сложных профилей, неоднородность разбухания различных элементов их сечения (обусловленная тем, что в различных формующих каналах действуют различные напряжения, которые являются причиной возникновения высокоэластических деформаций разной величины) может приводить к искажению профиля вплоть до полной невозможности получения изделий заданной конфигурации.

In the presented work questions of rolling of difficult profiles, heterogeneity of swelling of various elements of their section are considered (caused by that in various forming channels various pressure which are at the bottom of occurrence высокоэластических deformations of different size operate) can lead to distortion of a profile up to a blank impossibility of reception of products of the set configuration.

Абакачева Е.М., Шулаев Н.С.,  
Фахразов А.Р.

ФГБОУ Уфимский государственный  
нефтяной технический университет,  
филиал, г. Стерлитамак

E.M. Abakacheva, N.S. Shulaev,  
A.R. Fakhrzov

FSBEI Ufa state petroleum technical  
university, brunch of Sterlitamak

**Ключевые слова:** вальцевание, разбухание, полимер, профиль.

**Keywords:** rolling, swelling, polymer, a profile.

Явление высокоэластичного восстановления перерабатываемых через формующий инструмент расплавов хорошо известно в практике переработки пластических масс. Описанию этого явления посвящен ряд работ [1-4], в которых обсуждаются модели различной степени сложности, позволяющие количественно оценивать это явление. Однако следует отметить, что использование упрощенных моделей дает приблизительную оценку и недостаточно адекватно соответствует экспериментальным данным. Более сложные модели достаточно громоздки при практическом применении [3], и, как правило, недостаточно эффективны. Более того, ни одна из моделей не рассматривает одну из важнейших эксплуатационных и технологических характеристик - «разбухание» полимерных изделий сложного профиля, получаемых в условиях воздействия ультразвуковых колебаний. Обычно, описание явления «разбухания» ограничивается, как правило, полимерными образцами в виде прутка круглого поперечного сечения или плоского листа [4].

В связи с этим, практический интерес представляет математическая зависимость, позволяющая количественно определить эффект «разбухания» при продавливании расплавов полимеров через каналы любого сложного сечения при использовании интенсивных ультразвуковых вибраций.

На величину «разбухания» полимеров оказывают влияние, в первую очередь, молекулярные характеристики и физические свойства материала, технологические условия переработки (температура,

скорость, напряжение сдвига), а также геометрические размеры формующего канала.

Моделируя эффект «разбухания» полимера, будем считать, что при течении полимера через канал его частицы, подвергаясь сдвиговой деформации, удлиняются, а после выхода из канала за счет релаксации сокращаются, при этом растяжение и сокращение частиц носит упругий характер.

Таким образом, в выражении, описывающим математически коэффициент «разбухания» обязательно следует учитывать длину канала  $L$  и его площадь  $S_k$ . Помимо этих величин обязательно следует учитывать давление  $P$  при вальцевании полимерной композиции, эффективную вязкость  $\eta_{эф}$ , градиент скорости сдвига  $\bar{\gamma}$  и некий параметр  $\Theta$ , учитывающий высокоэластичные свойства среды:

$$K = A \cdot \bar{\gamma}^{n_1} \cdot \Theta^{n_2} \cdot P^{n_3} \cdot \eta_{эф}^{n_4} \cdot L^{n_5} \cdot S_k^{n_6} \quad (1)$$

где  $A$  - безразмерный коэффициент, учитывающий природу материала,  $n_1 - n_6$  - показатели степеней.

При использовании  $\pi$  - теоремы и теории групп [3] получена зависимость для определения коэффициента «разбухания» полимерного материала в цилиндрическом канале:

$$K = A \cdot (\bar{\gamma} \cdot \Theta)^{n_1} \cdot \left( \frac{\eta_{эф}}{P \cdot \Theta} \right)^{n_2} \cdot \left( \frac{L}{S_k} \right)^{n_3} \quad (2)$$

Постоянная  $A$  и показатели степеней  $n_1 - n_6$  определяются экспериментально (таблица 1).

Чтобы получить необходимую модель расчета коэффициента  $K$  для каналов сложной формы, необходимо в выражение (2) ввести коэффициенты формы канала  $a$  и  $b$ , также определяемые экспериментально по методу мембранной аналогии [3]:

$$K = A \cdot a^{m_1} \cdot b^{m_2} \cdot (\bar{\gamma} \cdot \Theta)^{n_1} \cdot \left( \frac{\eta_{\text{эф}}}{P \cdot \Theta} \right)^{n_2} \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{S_k}} \right)^{n_3} \quad (3)$$

где:  $m_1, m_2$  – показатели степеней (таблице 1).

При наложении на поток расплава ультразвуковых колебаний наблюдается заметное снижение коэффициента «разбухания». В первую очередь за счет снижения эффективной вязкости расплава  $\eta_{\text{эф}}$  до некоторого значения  $\eta_{\omega}$ , определяемого из уравнения [5].

$$\eta_{\omega} = \frac{\eta_{\text{эф}}}{1 + \omega^2 \cdot r^2}, \quad (4)$$

где:  $\omega$  – угловая частота ультразвуковых колебаний,  $\text{с}^{-1}$ ;

$r$  – время релаксации, характеризующее скорость спада напряжения,  $\text{с}$ .

$$r = \frac{\eta_{\text{эф}}}{E}, \quad (5)$$

где:  $E$  – модуль упругости среды, Па.

Поэтому целесообразно ввести в уравнение (3) вместо  $h_{\text{эф}}$  параметр  $\eta_{\omega}$ , характеризующий влияние ультразвука на степень «разбухания» полимерного материала.

$$K = A \cdot a^{m_1} \cdot b^{m_2} \cdot (\bar{\gamma} \cdot \Theta)^{n_1} \cdot \left( \frac{\eta_{\omega}}{P \cdot \Theta} \right)^{n_2} \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{S_k}} \right)^{n_3} \quad (6)$$

Полученное выражение представляет математическую модель, описывающую влияние наложения ультразвуковых колебаний на «разбухание» при вальцевании полимерного материала при ультразвуковом воздействии.

Для подтверждения адекватности предложенного соотношения явлению, наблюдаемому на практике, были проведены экспериментальные исследования

по оценке коэффициента «разбухания» в зависимости от геометрии канала, параметров процесса вальцевания, физических и некоторых других свойств используемого полимера, а также от частоты ультразвуковых колебаний.

Для проведения экспериментов использовалась лабораторная валковая машина, включающая в себя специальный загрузочный бункер, состоящий из цилиндрической обечайки снаружи и воронки, сходящейся вниз в виде прямоугольника, снизу, причем продолжением воронки является канал, выполненный из листа оцинкованного металла, служит своего рода волноводом для ультразвукового преобразователя. Цилиндрическая обечайка и воронка образуют бункер с внутренней полостью. По бокам, поперек стенкам воронки под некоторым углом, установлены сообщающиеся рукава круглого сечения. Рукава служат для установки в них теплового фена для обогрева бункера до температуры выше 130 – 1400 С. Для создания ультразвуковых колебаний на волновод бункера был смонтирован пьезоэлектрический преобразователь типа ПЦ-6-0,2, связанный с генератором ультразвуковых колебаний УЗГ 1 - 4. Изменение подводимой ультразвуковой частоты производилось на самом генераторе. Экспериментальные данные снимались для листов полученных на 12 каналах и трёх видов полимеров (полиэтилен, полистирол и поливинилхлоридный пластикат) в интервале температур 403 – 453 К, давлении экструзии до 6 МПа и частотах ультразвука – 18,5; 20,5; 21,6; 22,1; 23,5 кГц.

Сравнение результатов эксперимента и расчетных значений коэффициента «разбухания»  $K$  позволило выявить следующие особенности.

Таблица 1. Значения физических величин и постоянных коэффициентов

Материал	Температура, К	$\bar{\gamma}$ , 1/с	$\Theta$ , с	$\eta_{\omega}$ , Па·с	$n_1$	$n_2$	$n_3$	A	$m_1$	$m_2$
Полиэтилен	338	3,546	0,1	4550	0,077	-0,015	-0,118	2,625	-0,021	-0,017
	403	3,548	0,1	3020	0,077	-0,015	-0,118	2,625	-0,021	-0,017
	418	3,548	0,1	1897	0,077	-0,015	-0,118	2,625	-0,021	-0,017
	433	3,548	0,1	1479	0,077	-0,015	-0,118	2,625	-0,021	-0,017
	488	3,548	0,1	1324	0,077	-0,015	-0,118	2,625	-0,021	-0,017
Полистирол	438	3,548	0,1	4514	0,089	-0,088	-0,127	6,150	-0,016	-0,014
	448	3,548	0,1	3388	0,089	-0,088	-0,127	6,150	-0,016	-0,014
	458	3,548	0,1	2729	0,089	-0,088	-0,127	6,150	-0,016	-0,014
	468	3,548	0,1	2483	0,089	-0,088	-0,127	6,150	-0,016	-0,014
ПВХ-пластикат	478	3,548	0,1	2300	0,089	-0,088	-0,127	6,150	-0,016	-0,014
	403	3,548	0,1	5889	0,065	-0,020	-0,107	2,147	-0,005	-0,004
	413	3,548	0,1	3981	0,065	-0,020	-0,107	2,147	-0,005	-0,004
	423	3,548	0,1	3715	0,065	-0,020	-0,107	2,147	-0,005	-0,004
	433	3,548	0,1	3506	0,065	-0,020	-0,107	2,147	-0,005	-0,004
443	3,548	0,1	1514	0,065	-0,020	-0,107	2,147	-0,005	-0,004	



Для всех форм изученных каналов в вальцах наблюдается снижение коэффициента «разбухания» полимерных материалов при воздействии ультразвука. Расхождение между расчётными и экспериментальными данными составляет порядка 15%;

Частота ультразвуковых колебаний влияет и на производительность вальцов, массовый расход полимерных продуктов, при этом наилучшие результаты получены при частоте ультразвука 21,6 кГц;

При сравнении влияния формы сечения каналов между валками, наибольшее положительное воздействие ультразвука отмечено для каналов треугольной формы, что объясняется, очевидно тем, что в этих каналах имеются застойные зоны и острые углы, но при воздействии ультразвука их роль уменьшается;

По мере увеличения давления при вальцевании полимера темп роста коэффициента «разбухания» снижается и при давлении свыше 5,0 МПа его значение практически мало изменяется. Резкое увеличение коэффициента «разбухания» при малых давлениях является характерной особенностью для исследуемых полимеров. Это подтверждается и в работах [3,4].

Для полимеров, изученных в работе (полиэтилен, полистирол, поливинилхлоридный пластикат), характерно уменьшение коэффициента «разбухания» с ростом длины канала, при этом имеется критическое значение длины, выше которого (110 мм) «разбухание», остается практически постоянным. Это является существенным фактором при конструировании формирующего канала;

При увеличении температуры вальцевания наблюдается и увеличение коэффициента «разбухания», причем для полистирола увеличение К более заметно, чем для других видов изученных полимеров.

#### Вывод

Таким образом, полученные результаты по оценке коэффициента «разбухания» К, могут быть использованы при расчете формирующего инструмента, как без, так и под влиянием ультразвуковых воздействий, при этом представленные результаты могут быть использованы при проведении процессов вальцевания, при которой изделие, вышедшее из формирующей головки, не соприкасается с калибрующим инструментом и не подвергается вытяжке и механической обработке.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н., Структура и механические свойства полимеров. М.: Высшая школа, 1972. 320 с.

2. Басов Н.И., Брой В. Технология переработки пластмасс. М.: Химия, 1985. 530 с.

3. Панов А.К., Анасов А.Р. Гидродинамика потоков аномально-вязких полимерных систем в формирующих каналах. Уфа: УНИ, 1994. 260 с.

4. Киселева О.Ф., Панов А.К. Особенности проектирования формирующего инструмента для изготовления полимерных изделий сложного профиля с

использованием ультразвука. // Сборник трудов республиканской научно-технической конференции. Уфа: «Гилем», 2001. С. 172-175

*Абакачева Е.М., канд. техн. наук, доцент кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», филиал ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Стерлитамак*

*Е.М. Abakacheva, cand. tech. sci., associate professor of chair «Petrochemical Equipment», branch of FSBEI USPTU in Sterlitamak*

*Шулаев Н.С., д-р. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Информатика, матема-*

*тика, физика», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак*

*N.S. Shulaev, dr. tech. sci., professor, head of chair «Computer Science, Mathematics, Physics», branch of FSBEI USPTU in Sterlitamak*

*Фахразов А.Р., аспирант кафедры «Оборудование нефтехимических заводов», ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак*

*A.R. Fakhrzov, postgraduate student of chair «Petrochemical Equipment», branch of FSBEI USPTU in Sterlitamak*

*e-mail: elena-abakacheva@rambler.ru*