

Критерии оценки эффективности процессов интенсифицированной гигротермической обработки (ИГО) на этапах формирования требуемого качества изделий

Л.В. Ларина, В.А. Першин, В.В. Смирнов

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса», г.Шахты

Одним из основных этапов жизненного цикла обувных изделий, с точки зрения их эксплуатационной эффективности, является этап технологического формирования заданных показателей качества.

Эффективность же любого технологического процесса зависит не только от характеризующих его факторов, но и от предсказуемости реакций поведения обрабатываемого объекта (сырья, полуфабриката, детали и др.) при выполнении над ним технологических операций, то есть возможности максимально точного прогнозирования результатов обработки объекта и, в случае необходимости, внесения в технологические режимы процесса соответствующих корректив, обеспечивающих требуемое качество и максимальную производительность обработки.

Как известно, точность прогнозирования определяется тщательным анализом текущей наиболее значимой априорной информации об изучаемом объекте и сравнения ее с закономерностями его традиционного поведения в той или иной аналогичной ситуации [1]. В нашем случае таким объектом является условный модуль упругости деталей верха обуви, изготовленных из натуральной кожи хромового метода дубления. Его значение зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала и режимов обработки [1].

К сожалению, методология прогнозирования результатов ИГО, как обобщенная научно обоснованная совокупность (система) познавательных средств, методов и приемов, обеспечивающая эффективность гигротермических процессов, до настоящего времени не разработана ни для одной группы кожевенно-обувных материалов. Имеются лишь отдельные рекомендации по выбору оптимальных режимов для ограниченного числа материалов [1]. Поскольку ИГО подвергаются детали обуви, изготовленные из различных материалов (обладающих вполне конкретными физико-механическими свойствами), для успешного прогнозирования процессов ИГО важно знать, на наш взгляд, общие закономерности поведения таких материалов и изменения их свойств. Такую информацию можно получить, например, из уравнений, полученных в работах Луцыка Р.В. [2], в которых на основе применения наследственной теории вязкоупругости Больцмана-Вольтерры, первого и второго законов термодинамики для открытых систем установлена взаимосвязь релаксационно-деформационных и теплообменных процессов, протекающих в коже при её гигротермической обработке. Однако в них не рассматриваются условия, обеспечивающие интенсификацию гигротермических процессов - пониженное давление (вакуум), импульсное его приложение, способы подачи пара и др.

Но как показывает опыт экспериментального исследования процессов гигротермической обработки в условиях вакуума представляет собой весьма трудновоспроизводимое физическое явление. Например, результаты испытаний номинально идентичных образцов, изготовленных из одного и того же вида кожи, при номинально идентичных условиях обработки могут колебаться от половины до удвоенной величины среднего значения. Очевидно, значимость этого среднего значения для оценки механизма переноса влаги в обрабатываемом материале и возможности достижения одинаково стабильных результатов для конкретного вида материала при идентичных условиях обработки весьма сомнительна. В связи с этим возникает необходимость рассматривать разброс результатов испытаний как неотъемлемую часть явления и изучить его природу более детально. Природа наблюдаемого разброса должна анализироваться статистическими методами с целью последующего использования результатов для основанного на статистических выводах о тренде и рассеянии предсказания результатов предстоящих испытаний [3].

Как одному из самых важных вопросов при разработке методологии прогнозирования ИГО, особое внимание, по нашему мнению, должно быть уделено поиску такого критерия качества обработки, функционально зависящего от физико-механических свойств обрабатываемых материалов и основных параметров процесса ИГО (давления, температуры, плотности пара в условиях вакуума, способов подачи пара и др.).

Одним из способов оценки эффективности процессов ИГО, на наш взгляд, является способ, основанный на применении для этих целей критериев подобия функционирования технических систем [4].

Формирование критериев подобия функционирования процессов ИГО выполняется в несколько этапов.

Из условия независимости размерностей (в единой системе измерений) формируется комплекс независимых параметров. Причём количество независимых параметров должно быть равно числу основных единиц измерения СИ. При рассмотрении одного из процессов ИГО – увлажнения, в качестве независимых параметров могут быть приняты (табл. 1) начальная температура T_H , начальное давление в камере P_H , время обработки τ , плотность среды ρ .

В соответствии с методом ПФТС [5] составляется функциональная зависимость выходного параметра, например, E_K - конечного модуля упругости после увлажнения в вакууме от ряда определяющих его состояние параметров (табл. 1).

Таблица 1 – Наименование и размерность параметров для определения качества увлажнения

№	Параметр	Обозначение	Размерность	Показатели степени размерностей в единицах СИ				Заданное значение	Независимые параметры по размерностям
				M	T	L	Q		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Влажность паровоздушной среды	$\phi_{п.с}$	кг/кг	0	0	0	0	0,97	
2	Время увлажнения	τ	с	0	1	0	0	360	да
3	Температура начальная	T_H	К	0	0	0	1	323	да
4	Температура конечная	T_K	К	0	0	0	1	332	
5	Масса заготовок	m_3	кг	1	0	0	0	$6,5 \cdot 10^{-3}$	
6	Толщина кожи хромового дубления	d	м	0	0	1	0	$1,0 \cdot 10^{-3}$	
7	Объём микрокапилляров	$V_{м.к.}$	м ³	0	0	3	0	$0,257 \cdot 10^{-3}$	
8	Паропроницаемость	$Q_{п}$	кг/(м ² с)	1	-1	-2	0	$107,73 \cdot 10^3$	
9	Удельная теплоемкость кожи	C_K	м ² /(с ² К)	0	-2	2	-1	$1,61 \cdot 10^3$	
10	Конечный модуль упругости	E_K	кг/(с ² м)	1	-2	-1	0	$22 \cdot 10^6$	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	Начальное давление в камере	P_H	кг/(с ² м)	1	-2	-1	0	$20 \cdot 10^3$	да
12	Плотность среды	ρ	кг/м ³	1	0	-3	0	$26 \cdot 10^{-2}$	да
13	Удельная теплота парообразования	$R_{ПО}$	м ² /с ²	0	-2	2	0	$480 \cdot 10^3$	
14	Количество теплоты	Q_T	кг м ² /с ²	1	-2	2	0	2050	
15	Конечное давление в камере	P_K	кг/(с ² м)	1	-2	-1	0	$50 \cdot 10^3$	
16	Коэффициент диффузионного сопротивления	μ	-	0	0	0	0	3,2	
17	Коэффициент диффузии пара	D	м ² /с	0	-1	2	0	$0,58 \cdot 10^{-4}$	
18	Объём камеры	V_K	м ³	0	0	3	0	$9 \cdot 10^{-2}$	да
19	Удельная теплоёмкость воды	C_B	м ² /(с ² К)	0	-2	2	-1	$1,915 \cdot 10^3$	
20	Удельная теплоёмкость парообразования	$C_{ПО}$	м ² /(с ² К)	0	-2	2	-1	$2,018 \cdot 10^3$	

Функциональная зависимость, полученная для выходного параметра -конечного модуля упругости - E_K при увлажнении, имеет вид (1) [5]:

$$E_K = f(d, m_3, V_{MK}, Q_T, C_K, \mu, \varphi_{ПС}, T_H, T_K, P_H, P_K, \tau, Q_T, V_K, D, \rho, C_{ПО}, R_{ПО}, C_B) \quad (1)$$

Были получены частные π_i - критерии подобия процесса «увлажнение» (2), сформированные методом анализа размерностей и представляющие собой отношения исследуемого выходного параметра процесса увлажнения к определённой комбинации независимых параметров этого процесса. Численные значения параметров соответствуют рекомендуемым в работах Луцька Р.В. [2], Лариной Л.В. [1], посвященным вопросам интенсифицированной гигротермической обработки кожевенно-обувных материалов.

Значения частных π - критериев процесса «увлажнение»

$$\begin{aligned}
\pi(d) &= d / (t_H^0 \cdot P_H^{0,5} \cdot \tau^1 \cdot \rho^{-0,5}) = 1,0 \cdot 10^{-8} \\
\pi(m_3) &= m_3 / (t_H^0 \cdot P_H^{1,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-0,5}) = 2,51 \cdot 10^{-17} \\
\pi(V_{MK}) &= V_{MK} / (t_H^0 \cdot P_H^{1,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-1,5}) = 2,58 \cdot 10^{-19} \\
\pi(E_K) &= E_K / (t_H^0 \cdot P_H^1 \cdot \tau^0 \cdot \rho^0) = 1100 \\
\pi(Q_{II}) &= Q_{II} / (t_H^0 \cdot P_H^{0,5} \cdot \tau^0 \cdot \rho^{0,5}) = 1493,94 \\
\pi(C_K) &= C_K / (t_H^{-1} \cdot P_H^1 \cdot \tau^0 \cdot \rho^{-1}) = 6,76 \\
\pi(\mu) &= \mu / (t_H^0 \cdot P_H^0 \cdot \tau^0 \cdot \rho^0) = 3,2 \\
\pi(\varphi_{ПС}) &= \varphi_{ПС} / (t_H^0 \cdot P_H^0 \cdot \tau^0 \cdot \rho^0) = 0,97 \\
\pi(t_K) &= t_K / (t_H^1 \cdot P_H^0 \cdot \tau^0 \cdot \rho^0) = 1,02 \\
\pi(P_K) &= P_K / (t_H^0 \cdot P_H^1 \cdot \tau^0 \cdot \rho^0) = 2 \\
\pi(D) &= D / (t_H^0 \cdot P_H^{0,5} \cdot \tau^{-1} \cdot \rho^{-0,5}) = 7,26 \cdot 10^{-5} \\
\pi(C_B) &= C_B / (t_H^{-1} \cdot P_H^1 \cdot \tau^0 \cdot \rho^{-1}) = 8,04 \\
\pi(R_{ПО}) &= R_{ПО} / (t_H^{-1} \cdot P_H^1 \cdot \tau^0 \cdot \rho^{-1}) = 2015,52 \\
\pi(C_{ПО}) &= C_{ПО} / (t_H^0 \cdot P_H^1 \cdot \tau^0 \cdot \rho^{-1}) = 0,02 \\
\pi(V_K) &= V_K / (t_H^0 \cdot P_H^{1,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-1,5}) = 9,04 \cdot 10^{-17} \\
\pi(Q_T) &= Q_T / (t_H^0 \cdot P_H^{2,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-1,5}) = 1,02 \cdot 10^{-16}
\end{aligned} \tag{2}$$

Полученные таким образом частные критерии подобия разнесем по разным подсистемам процесса увлажнения и объединим их по физической значимости для этих подсистем.

В результате объединения критериев, получим:

$\pi_{Эу}$ – критерий подобия, который характеризует изменение физико-механических свойств объекта технологии (обрабатываемой кожи) – критерий эффективности;

$\pi_{Иу}$ – критерий подобия, который характеризует основные физические параметры процесса технологии (увлажнения) – критерий интенсивности;

$\pi_{Лу}$ – критерий подобия, который характеризует параметры средства технологии – критерий пригодности;

Для получения $\pi_{Ку}$ при увлажнении объединим критерии $\pi_{Qн}$, π_{μ} , π_d , $\pi_{mз}$, $\pi_{Eк}$, $\pi_{Cк}$ последовательно проводя операции деления одного π – критерия на последующий. В результате произведенных действий получаем:

$$\begin{aligned}
\pi_{Эу} &= \frac{d}{m_3 \cdot E_K \cdot C_K \cdot Q_{II} \cdot \mu} \cdot \frac{P_H^{3,5} \cdot \tau^2}{T_H \cdot \rho^{0,5}} = \\
&= \frac{2,35 \cdot 10^{-3} \cdot (20 \cdot 10^3)^{3,5} 360^2}{6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 22 \cdot 10^6 \cdot 108 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^3 \cdot 3,2 \cdot 323 \cdot 26 \cdot 10^{-2}} = \\
&= \frac{10492720}{205590} = 50,7
\end{aligned}$$

Объединив критерии $\pi_{Тк}$, $\pi_{Pк}$, π_D получим:

$$\begin{aligned} \pi_{\text{Иу}} &= \frac{T_K}{T_H} \cdot \frac{P_K}{P_H} = \frac{T_K \cdot P_H}{T_H \cdot P_K} \cdot \frac{D}{P_H^{0,5} \cdot \tau^{-1} \cdot \rho^{-0,5}} = \\ &= \frac{T_K \cdot P_H \cdot P_H^{0,5} \cdot \tau^{-1} \cdot \rho^{-0,5}}{T_K \cdot P_K \cdot D} = \frac{T_K \cdot P_H^{1,5}}{T_H \cdot P_K \cdot D \cdot \tau \cdot \sqrt{\rho}} = \\ &= \frac{332 \cdot (20 \cdot 10^3)^{\frac{3}{2}}}{323 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0,58 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot \sqrt{26 \cdot 10^{-2}}} = \\ &= \frac{332 \cdot 20 \sqrt{20} \cdot \sqrt{10}}{332 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 0,58 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 0,5} = \frac{92628}{16,86} = 5493,95 \end{aligned}$$

Проведя объединения π_{V_k} , π_{Q_m} , $\pi_{C_{\text{по}}}$ получим:

$$\begin{aligned} \pi_{\text{Пу}} &= \frac{V_K}{P_H^{1,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-1,5}} \cdot \frac{C_{\text{по}}}{P_H \cdot \rho^{-1}} = \frac{V_K \cdot P_H \cdot \rho^{-1}}{C_{\text{по}} \cdot P_H^{1,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-1,5}} = \\ &= \frac{V_K}{C_{\text{по}} \cdot P_H^{0,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-0,5}} \cdot \frac{Q_m}{P_H^{2,5} \cdot \tau^3 \cdot \rho^{-1,5}} = \frac{V_K \cdot P_H^2}{Q_T \cdot C_{\text{по}} \cdot \rho} = \\ &= \frac{9 \cdot 10^{-2} \cdot (20^2 \cdot 10^3)^2}{2 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 26 \cdot 10^{-2}} = \frac{36,00}{1,04} = 34,6 \end{aligned}$$

Номинальные численные значения полученных критериев, соответствующие требуемому качеству обработки, позволят задавать режимы ИГО, обеспечивающие требуемое качество обработки. И наоборот, обладая априорной информацией о свойствах обрабатываемых материалов и значениях режимов ИГО, можно прогнозировать ожидаемую величину критерия, сравнивать её с эталонным значением (соответствующим требуемому качеству обработки) и по результатам сравнительного анализа корректировать процесс ИГО с целью достижения его эффективности [6].

Литература:

- 1 Ларина, Л.В. Исследование процесса и разработка установки для вакуумно-сорбционного увлажнения деталей верха обуви: дис. ... канд. техн. наук / Ларина, Л.В. – М., 1991. – 135 с.
- 2 Луцык, Р.В. Разработка методов изучения, анализ взаимосвязи и прогнозирование тепло-массообменных и физико-механических свойств текстильных и кожевенно-обувных материалов: дис. ... докт. техн. наук / Луцык, Р.В. – Киев, 1987.- 449 с.
- 3 Статистические методы в инженерных исследованиях / Под ред. Г.К. Круга. –М.: Высш. Школа, 1983.- 384с.
- 4 Першин, В.А., Сапронов А.Г., Адигамов К.А. Интенсивность тепловых потоков, как критерий оценки эффективности холодильного цикла//Инженерный Вестник Дона/ URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/658> (Номер 1, 2012г.)
- 5 Першин, В.А. Основы подобия функционирования системы: «техника-технология-продукция» / Новочерк. гос. техн. ун-т. / Новочеркасск: НГТУ, 1996.-120 с.
- 6 Смирнов, В.В. Разработка универсальной вакуумной установки для интенсифицированной гигротермической обработки заготовок верха обуви: дис. ... канд. техн. наук / Смирнов, В.В. – Шахты, 2011. – 137 с.