

APPLICATION OF ULTRASOUND EXPOSURE IN OBTAINING OF PRODUCTS FROM FLUOROPLAST-4 WITH SOLID-PHASE MASSIVE FORMING

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФТОРОПЛАСТА-4 ТВЕРДОФАЗНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ

Ph.D. Kobzev D.E., Prof. Dr. Eng. Baronin G.S., Dr. Eng. Chervyakov V.M., Khrushchev S.P.
Tambov State Technical University - Tambov, Russia

Abstract: This paper presents the results of the application of ultrasonic influence on the process of PTFE-4 solid-phase forming. Shows the influence of ultrasound treatment on the process parameters and generated properties of the processed material. The experimental data of physical and mechanical properties proves the feasibility of using solid-phase technology with the imposition of ultrasonic treatment for products made of fluoroplast-4 with improved performance characteristics for various fields of economy.

KEYWORDS: SOLID-PHASE MASSIVE FORMING, ULTRASONIC TREATMENT, FLUOROPLAST-4, CONVECTIVE HEATING.

1. Экспериментальная часть

Твёрдофазное формование является наиболее перспективным при проектировании технологических процессов получения изделий из трудноперерабатываемых полимерных материалов, таких как фторопласт-4. Традиционно изделия из этих материалов изготавливаются из полимерного проката посредством механической обработки заготовок с последующим формованием при требуемой температуре, либо только механической обработкой с существенными трудо- и энергозатратами [1].

Твёрдофазное формование можно разделить на три стадии. Первая стадия характеризуется упругим деформированием полимерной заготовки до определенного значения давления формования, которое определяется свойствами и структурой полимера. Вторая стадия характеризуется переходом полимера в высокоэластическое состояние, пластическим деформированием и оформлением заготовки в изделие. Третья стадия – выдержка под давлением – необходима для завершения релаксационных процессов в структуре полимера, то есть перевода полимера в отверженное состояние. Для отработки технологических режимов твёрдофазного формования необходимо изучение стадий течения материала на примере твёрдофазной экструзии и выдержки под давлением в режиме осесимметричного сжатия [2].

2. Результаты и дискуссия

Изначально был исследован процесс твёрдофазной экструзии фторопласта-4. Сравнивалось необходимое давление формования P_f при твёрдофазной экструзии без нагрева (ТФЭ) с предварительным нагревом (ТФЭ+Н) до температур, определённых из ранее проведенных исследований, и без предварительного нагрева с совмещённым ультразвуковым воздействием (ТФЭ+УЗ). Далее исследовались сформированные свойства обработанных полимерных материалов по специальным и стандартным методикам: метод определения прочности на срез ГОСТ 17302 – 71, метод испытания в условиях одноосного растяжения ГОСТ 11262 – 80 (эксперименты проводились на испытательной машине «УТС 101-5»), метод определения уровня остаточных ориентационных напряжений. Экспериментальные данные были статистически обработаны при помощи критерия Стьюдента и сведены в таблицу 1.

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы: в результате замены стадий предварительного нагрева и последующего формования стадией формования, совмещённой с ультразвуковым воздействием, снижается необходимое давление твёрдофазного формования фторопласта-4 на 20 %.

Экспериментально показано увеличение физико-механических свойств по комплексу параметров: разрушающее напряжение при растяжении на 16 %, разрушающее напряжение при срезе на 25 %, снижается уровень внутренних остаточных напряжений на 33 %, одновременно происходит увеличение плотности [2].

Таблица 1

Экспериментальные данные свойств фторопласта-4

| Показатель | гост | тфэ | тфэ+н | тфэ+уз |
|------------------------------|-------|------|-------|--------|
| P_f , МПа | – | 130 | 100 | 80 |
| σ_p , МПа | 14-35 | 23 | 25 | 29 |
| $\sigma_{ср}$, МПа | – | 20,5 | 20,6 | 25,9 |
| $\sigma_{ост}$, МПа | – | 1,2 | 1,2 | 0,8 |
| γ , г/см ³ | 2 | 2,03 | 2,07 | 2,14 |

Для моделирования стадии выдержки под давлением заготовка полимера подвергается одностороннему осесимметричному сжатию при нулевой боковой деформации, что практически полностью моделирует конечную стадию процесса штамповки в твёрдой фазе при заполнении полимерным материалом полости пресс-формы. В качестве исследуемого параметра была выбрана плотность материала (в частности для высокочастотных изоляторов из фторопласта этот показатель является определяющим).

В работе исследовалась кинетика изменения плотности образцов ПТФЭ в зависимости от различных параметров P , t , T , с ультразвуковым воздействием и без него. Из анализа кинетических кривых (рисунок 1) можно выделить наилучшие технологические параметры проведения процесса формования. Не имеет смысла использовать давление более 250 МПа, а время выдержки не должно превышать 60 с, так как выше этих значений плотность не изменяется [2].

Пользуясь полученными экспериментальными данными (рисунок 1) можно управлять скоростью процесса уплотнения, манипулируя величиной давления формования и временем технологического процесса для достижения заданного значения плотности [2].

При анализе процесса формования были выделены основные факторы, влияющие на формирование структуры полимера: давление оказываемое на образец, температура образца, время эксперимента и частота ультразвука (кодированные переменные X_1 , X_2 , X_3 , и X_4 соответственно), которые определяют плотность получаемого продукта.

С целью оптимизации числа опытов было применено математическое планирование эксперимента по методу Бокса-

Уилсона, а математическое описание процесса представлено в виде отрезка ряда Тэйлора.

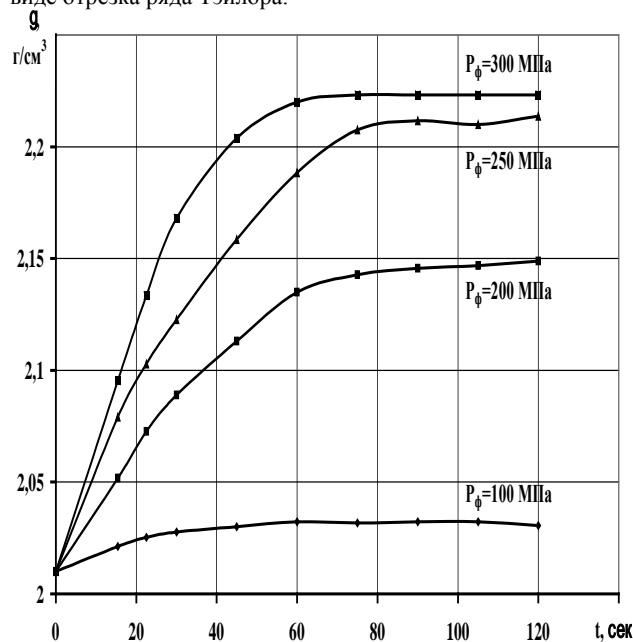


Рис. 1. Кинетические кривые изменения плотности образцов ПТФЭ при 300 °С в условиях одноосного прессования монолитной заготовки: частота ультразвука 22 Гц.

Для описания процесса мы ограничились его линейной частью, поскольку уравнение регрессии адекватно описывает процесс, а погрешность между экспериментальными и расчётными данными составляет не более 1,5 %.

Полученное уравнение регрессии для фторопласта-4:

$$y = 2,1451 + 0,0149X_1 + 0,0297X_2 + 0,0711X_3 + 0,0028 X_4 \quad (1)$$

Из анализа уравнения (1) следует, что наибольшее влияние на плотность материала оказывает время воздействия ультразвука, что подтверждает правильность выбранного метода интенсификации процесса твёрдофазного формования.

Классически изделие формируется из полимерного проката посредством механической обработки заготовок и нагревания их до требуемой температуры, вследствие чего все же имеются отходы, особенно когда требуемый диаметр заготовки не попадает в стандартный ряд промышленного проката и требуется наличие дополнительного внутреннего отверстия.

Разработанный вариант (рисунок 2) позволяет получать изделия из порошка фторопласта, который значительно дешевле проката. В предлагаемом способе заготовка изготавливается классическим способом прессования с последующим спеканием в термошкафу, что не вызовет дополнительных сложностей в производственных условиях.

При разработке технологического процесса объёмной штамповки полимеров и композитов ниже ($T_{пл}$) стоит задача сохранить стабильность размеров изделий в широком температурном диапазоне, обеспечить предельные температуры эксплуатации штампованных изделий не ниже литьевых с повышенными физико-механическими характеристиками.

Для разработанной линии по твёрдофазной штамповке полимеров с ультразвуковым воздействием подбор стандартного оборудования для стадий фасования и таблетирования порошка с дальнейшим спеканием осуществляется по методикам, изложенным в [3]. Предусмотрены стадии подбора стандартного прессового оборудования и устройств транспортировки и манипулирования при разработке технологического процесса,

опираясь на требуемую производительность технологической линии по аналогии со штамповкой металлов.



Рис. 2. Разработанная схема технологической линии твёрдофазной объёмной штамповки полимеров с ультразвуковым воздействием.

Подбор ультразвукового оборудования осуществляется, основываясь на акустических характеристиках обрабатываемых полимерных материалов основными из которых являются проникающая способность ультразвука. Подбирается стандартный ультразвуковой излучатель, который с учётом коэффициента поглощения сможет обеспечить необходимое воздействие на обрабатываемый материал.

Новизной и достоинствами разработанного способа является производство изделий с заданными свойствами (плотностью, физико-механическими показателями) и повышенными технико-экономическими показателями производственного процесса: безотходность, высокая производительность, размерная точность и качество поверхности изделий, возможность использования существующего оборудования [1, 4]. Давление прессования заготовки, температура и время последующего спекания принимаются стандартными для данных технологических операций.

Важной технологической операцией является то, что спечённую заготовку из термошкафа на воздухе охлаждают с 380 до требуемой температуры для последующего формования в пресс-форме. Остальные технологические параметры процесса задаются следующим образом: принимается значение частоты и мощности ультразвука в зависимости от объёма изделия и сложности его формы по установленным закономерностям, давление и время процесса формования при ультразвуковом воздействии рассчитываются из уравнения регрессии под заданное значение плотности изделия.

Таблица 2

Сравнительные технико-экономические характеристики процессов твёрдофазного формования изделий фторопласта-4 с предварительным конвективным нагревом и совмещённого с ультразвуковым воздействием

| Наименование стадии | показатель | Технологический процесс | |
|-----------------------------------|--|-------------------------|----------------|
| | | с нагревом | с ультразвуком |
| 1. Получение заготовок | количество изделий, шт | 200 | 200 |
| 2. Транспортировка заготовок | время, с | 60 | 60 |
| | мощность, кВт | 3 | 3 |
| 3. Нагрев заготовок в термошкафу* | время, с | – | – |
| | мощность, кВт | 6 | – |
| 4. Объёмная штамповка | время, с | 280 | 60 |
| | мощность, кВт | 10 | 12 |
| 5. Извлечение изделий | время, с | 60 | 60 |
| | мощность, кВт | 10 | 10 |
| | масса партии, кг | 50 | 50 |
| | масса изделия, кг | 0,25 | 0,25 |
| | длительность технологического цикла, с | 400 | 180 |
| | общее время переработки, ч | 23,3 | 10 |
| | общая производительность, кг/ч | 2,1 | 5 |

Примечания: * – заготовки загружаются в термошкаф, термостатируются в течение одного часа, далее периодически извлекаются и поступают на штамповку. Время термостатирования прибавляется к общему времени переработки заданной массы материала.

Проведённый сравнительный расчет энергозатрат процесса твёрдофазного формования с предварительным конвективным нагревом и процесса формования, совмещённого с ультразвуковым воздействием (табл. 2 - 3), показывает снижение удельных энергозатрат процесса на 18 % и сокращение времени технологического цикла в 2,2 раза.

Таблица 3

Технико-экономические показатели энергозатрат техпроцесса

| Наименование стадии | Размерность | Удельные (часовые) энергозатраты процессов | |
|-------------------------------------|-------------|--|----------------|
| | | с нагревом | с ультразвуком |
| 1. Транспортировка заготовок | кВт/кг | 0,12 | 0,12 |
| 2. Нагрев заготовок | кВт/кг | 0,12 | - |
| 3. Ультразвуковое воздействие | кВт/кг | - | 0,04 |
| 4. Объёмная штамповка и извлечение* | кВт/кг | 0,2 | 0,2 |
| Общие | кВт/кг | 0,44 | 0,36 |
| | | Общие удельные энергозатраты | |
| | кВт·ч/кг | 10,25 | 3,6 |

Примечания: * – операции штамповки и извлечения изделий производятся на одном прессовом оборудовании и

являются последовательными, вследствие чего представлены одним столбцом.

После разработки и монтажа технологической линии рекомендуется провести анализ плотности первой партии изделий и, если необходимо, произвести корректировку технологических параметров и массы порошка до достижения требуемого значения плотности с контролем геометрических параметров изделия. Следует отметить, что при разработке технологической схемы учтены рекомендации по интенсификации тепловых процессов, подробно изложенные в работе [3].

3. Заключение

Используя полученные экспериментальные зависимости можно получать конечный продукт с заданной плотностью и минимальными энергозатратами, выбирая конкретные технологические параметры процесса обработки.

Разработанная схема получения изделий из порошка фторопласта является безотходной, следовательно, не загрязняет окружающую среду перерабатываемыми отходами. В самом технологическом цикле практически отсутствуют вредные выбросы в окружающую среду, улучшены условия труда с точки зрения экологической безопасности.

4. Литература

- Кобзев, Д.Е. Повышение эффективности твёрдофазной объёмной штамповки полимеров ультразвуковым воздействием.-Вестник Тамбовского государственного технического университета., Т.17.№4, 2011, С.963-968.
- Кобзев, Д.Е. Интенсификация процесса твёрдофазного формования полимеров и композитов ультразвуковым воздействием: дис. ... канд. техн. наук.Тамбов., 2012. 173 с.
- Головкин, Г. С.Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов.Москва, Колос, 2007, 399 с.
- Баронин, Г.С. Твёрдофазная технология переработки полимерных нанокомпозитов.- Вестник Тамбовского государственного технического университета, Вып.№2А,2005, С.432-438с.

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ, код проекта НШ-3550.2012.3 и Госзадания (код проекта 3.4037.2011).