

- М.С. Головиной; под ред. В.Т. Овчарова. – М.: ИЛ, 1948. – 91 с.
3. Мирошниченко, С.П. Микроволновые печи: учебно-метод. пособие по курсу «Бытовая электроника» / С.П. Мирошниченко, В.В. Поляков // – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – 38 с.
4. Бордусов, С.В. Конструктивные особенности установки и технологические процессы СВЧ плазменной обработки материалов в условиях низкого вакуума / С.В. Бордусов // *Материалы, технологии, инструменты.* – 2001. – Т.6, № 4. – С. 62–64.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА УСАДКУ И КОРОБЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТА

Василевич Ю.В., Неумержицкая Е.Ю.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Усадка является одной из важнейших технологических и эксплуатационных характеристик материала. Точность размеров и взаимозаменяемость деталей зависят от целого комплекса причин, в котором на долю усадки и ее коробления приходится 75-80 %. Кроме того, усадка приводит к возникновению значительных внутренних напряжений, потере деталями геометрической формы, короблению, трещинам, отслаиванию футеровки и т.д. Определение усадочных характеристик имеет важное значение при конструировании и изготовлении деталей приборостроения, машиностроения, других отраслей промышленности, при конструировании формующего инструмента, оценке работоспособности и надежности конструкций, выборе марки и оценке эксплуатационных качества материала. Как правило, под усадкой понимается уменьшение объема (объемная усадка) или размеров (линейная усадка) по сравнению с размерами оформляющих деталей пресс-формы, происходящее при изготовлении изделия, а также в результате его хранения и эксплуатации. Обычно измеряют линейную усадку изделия в направлении, перпендикулярном направлению движения пуансона, так как этот размер получается наиболее точным, легко контролируется и обычно является посадочным или сопрягаемым.

Важно различать действительную и расчетную линейную усадки. Под действительной линейной усадкой понимается разность между размером одного и того же элемента детали, определенным при температуре, соответствующей началу усадки, (фактически это размер пресс-формы, нагретой до температуры прессования) и размером после полного охлаждения детали. Под расчетной линейной усадкой понимается разность между размером оформляющего элемента пресс-формы L_{p1} , измеренным при температуре 293 К, и размером соответствующего элемента детали L_{p2} , измеренным при той же температуре. Эта разность дает абсолютную величину расчетной усадки.

Выбор образцов имеет большое значение при определении влияния различных параметров на

величину усадки. Это объясняется прежде всего тем, что конфигурация образца влияет на получаемый результат, правильная оценка которого возможна лишь при наличии определенных критериев, позволяющих производить сравнение. Поэтому величины относительных расчетных усадок, определённые для одного и того же материала, но на разных образцах или деталях, колеблются в довольно широких интервалах. Правильное и точное измерение усадки деталей очень важно, достоверность получаемых результатов зависит от многих факторов. Суммарная погрешность измерения включает в себя погрешность измерительных и поверочных средств, а также погрешности из-за отклонения температуры, непостоянства измерительного усилия и деформации детали при ее извлечении из пресс-формы. ГОСТ 18616-73 предусматривает измерение усадки с помощью универсальных измерительных инструментов: штангенциркуля и микрометра. Результаты таких измерений следует рассматривать только как ориентировочные из-за неопределенности прикладываемого измерительного усилия и смещения точек измерения. Это приводит к тому, что заданный допуск размера становится одного порядка с величиной погрешности измерения.

При использовании специальных приборов и приспособлений с индикаторами часового типа точность измерения возрастает до 0,005 мм при фиксированном измерительном усилии $2 \cdot 10^{-3}$ Н. Вследствие этого, приспособления с индикаторами широко используются в лабораторной практике и в цеховых условиях.

Усадка представляет собой сложное явление и зависит от многих факторов: технологических параметров формования, способа подготовки материала, режима охлаждения изделия после извлечения из пресс-формы, конструкции изделия и структурных параметров композиции (длины и диаметра армирующих элементов, их объемного содержания C_0 , закона распределения в объеме).

Анализ влияния структурных параметров на усадку может быть осуществлен путем решения

задачи об определении перемещений и напряжений вязкоупругой среды, содержащей коротковолокнистые упругие включения. Эта задача является чрезвычайно сложной для решения даже численными методами. Поэтому в настоящее время представляется наиболее целесообразным качественный анализ на основе упрощенной модели, позволяющей приближенно выявить основные закономерности влияния структурных параметров на усадку рассматриваемых композиций. Такой анализ естественно начать с однонаправленной композиции, которую можно представить в виде элементарных моделей – звеньев, последовательно соединенных таким образом, что вероятность несовпадения торцов армирующих элементов в двух смежных звеньях будет равна объемному содержанию полимерной матрицы $1 - c_0$.

Влияние технологических параметров изготовления деталей на величину усадки определяется, во-первых, случайными отклонениями от заданных режимов и, во-вторых, возможностью изменять технологические параметры в определенных пределах с целью обеспечения заданных размеров деталей. Этому вопросу посвящено значительное количество работ, в которых изучалось раздельное влияние основных технологических параметров – давления прессования P , температуры T и времени выдержки τ – на усадку композиционных материалов с порошкообразным наполнителем, но без учета совместного действия этих факторов.

Опыт переработки стекловолоконистых пресс-материалов показывает, что во многих случаях даже для сравнительно простых изделий наблюдается отклонение от заданной чертежом геометрической формы, связанное с короблением изделий. Коробление является одним из наиболее распространенных видов брака и происходит, если имеются различия в величине усадки по объёму изделия. В этом случае свободная деформация отдельных частей изделия при его охлаждении оказывается затрудненной, что приводит к появлению внутренних напряжений и изгибающих моментов, вызывающих коробление.

Различия в усадке являются следствием неодинаковых условий протекания сложных физико-химических процессов во время формования изделия (отверждение, возникновение и релаксация напряжений) и после его извлечения из пресс-формы (охлаждение, релаксация напряжений) и зависят от большого числа факторов, точный учет влияния которых в настоящее время произвести не представляется возможным. К таким факторам относятся разнотолщинность элементов изделия, различия в температуре нагрева матрицы и пуансона,

нестационарность и неоднородность температурного поля пресс-формы, анизотропия усадки. Для хаотически армированных стеклопластиков различия в усадке определяются главным образом разной степенью ориентации армирующих волокон по зонам изделия, т.е. технологической анизотропией усадки.

Рассмотрим некоторые типичные случаи коробления хаотически армированных стеклопластиков. При изготовлении плоской детали типа пластины методом компрессионного формования отсутствует течение, а, следовательно, механические свойства изотропны. Однако по периметру изделия, у его кромок, наблюдается ориентация армирующих элементов вдоль кромок из-за ограничения возможных углов расположения армирующих элементов. Вследствие этого усадка в зоне кромок меньше усадки средней части изделия, а возникающие напряжения сжатия по контуру изделия приводят к короблению в результате потери устойчивости.

В случае осесимметричного изделия в форме усеченного конуса с днищем в средней зоне стенок изделия армирующие элементы ориентируются в вертикальном направлении. Ближе к кромке изделия происходит дезориентация первоначального потока или его ориентация вдоль кромки. В результате усадка в окружном направлении у кромки изделия будет ниже, чем в средней зоне стенок, и кромки изделия будут испытывать сжимающие напряжения. Под действием указанных напряжений возможна локальная потеря устойчивости, и первоначально круглое поперечное сечение вблизи кромки искажается.

Увеличению анизотропии прочности соответствует увеличение коэффициентов анизотропии усадки, при этом в направлении ориентации прочностные показатели возрастают, а усадка уменьшается, в перпендикулярном направлении – наоборот. Повышенная усадка днища заставляет изделие коробиться. При этом в кромке возникают сжимающие напряжения, а в нижних зонах – растягивающие напряжения, о чем свидетельствуют и результаты измерения тензометрическим методом деформаций образцов после вырезания их из изделия.

Неоднородность механических свойств и усадки может быть в значительной степени нивелирована дополнительным армированием отдельных частей детали стекловолоконистыми материалами стабильной структуры в виде тканей, сетки, жгутов и др. Это существенно уменьшает коробление. В общем случае при решении задачи о короблении хаотически армированных изделий необходимо учитывать неоднородность и нестационарность температурного поля, вязкоупругие свойства материала.