Анализ исследуемой функции позволил сделать следующие выводы.

1) Увеличение диаметра внутренней емкости $d_в$ от 0,4 м до 0,49 м при постоянной величине диаметра наружной емкости $D_н=0,5$ м, или, другими словами при снижении разницы между наружным и внутренним диаметрами ($D_н - d_в$) от 0,1 до 0,01 м во всем диапазоне величины перемещения Δl ведет к явному снижению эксцентриситета массы уравнивающей жидкости $e_{ж}$. В связи с тем, что при этом снижается объем уравнивающей жидкости, вопрос, как это будет влиять на величину силового отклика уравнивающей жидкости F_y , остается открытым и требует дополнительного исследования.

2) Увеличение смещения от $\Delta l_1=0,05(D_н - d_в)$ до $\Delta l_5=0,45(D_н - d_в)$ во всем диапазоне значений диаметра внутренней емкости $d_в$ ведет к росту эксцентриситета массы уравнивающей жидкости $e_{ж}$, что, по сути, подтверждает саму концепцию рассматриваемого АБУ. Вместе с тем, исследуемая функция $e_{ж} = f(D_н^2, d_в^2, \Delta l)$ позволяет определить качественное влияние входящих параметров на величину эксцентриситета $e_{ж}$.

Полученные в данной работе результаты анализа поведения эксцентриситета уравнивающей жидкости автобалансирующего устройства стиральных машин позволяют получить наиболее рациональные значения конструктивных параметров рассматриваемого АБУ, позволяющие обеспечить наиболее адекватный отклик системы на внешнее силовое воздействие и снизить, тем самым, динамические нагрузки, возникающие при центробежном отжиме текстильных изделий в стиральных машинах барабанного типа.

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./Ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 6. Защита от вибрации и ударов /Под ред. К. В. Фролова. 1981, – 456 с.
2. Машина для стирки и отжима белья: а.с. 1581795. СССР МПК5. №4442163; заявл. 15.06.1988; опубл. 30.07.1990, бюл. №28. – 12 с.
3. Стиральная машина барабанного типа: пат. 2469138. Рос. Федерация. № 2011128109/12; опубл. 10.12.2012. бюл. №34. – 3 с.
4. Стиральная машина барабанного типа: пат. 2516147. Рос. Федерация. № 2012141624/12; опубл. 20.05.2014. бюл. №14. – 3 с.
5. Автобалансирующее устройство стиральных машин барабанного типа: пат. 2555634. Рос. Федерация. № 2014106503/12; опубл. 20.02.2014, бюл. №19. – 3 с.
6. Алехин, С.Н. Исследование условий процесса уравнивания в жидкостном автобалансирующем устройстве стиральных машин / С.Н. Алехин, А.С. Алехин, С.П. Петросов, В.В. Никишин. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – №2 (46). – С. 121–134.

Багайсков Ю.С.

**Абразивные инструменты на модифицированной капролактамом эпоксидной
связке**

*Волжский политехнический институт Волгоградского государственного
технического университета
(Россия, Волжский)*

doi: 10.18411/lj-05-2020-40

idsp: ljjournal-05-2020-40

Аннотация

Эффективность применения абразивных инструментов зависит в основном от физико-механических свойств их материала. Модификация абразивно–эпоксидной композиции капролактамом при наличии пластификатора ПЭС-5 и повышении

температуры термообработки до 170⁰С привела к снижению времени полимеризации и к повышению прочности при изгибе и удельной ударной вязкости в 1,4 – 1,7 раз, увеличению твердости, снижению почти до нуля усадочных деформаций. За счет этого достигается повышение долговечности работы инструментов.

Ключевые слова: абразивный инструмент, модификатор, капролактан, прочность, твердость, ударная вязкость, усадка, долговечность.

Abstract

Efficiency of using abrasive tools depends mainly on the physical and mechanical properties of their material. Modifying the abrasive and epoxy composition with caprolactam subject to the existence of the PES-5 plasticizing agent and heat-treatment temperature increase up to 170 ⁰C resulted in shorter curing time, increase of bending strength and specific impact viscosity by a factor of 1.4 – 1.7, higher hardness, and decrease of shrinkage strain nearly to null. Thus, the service life of tools is extended.

Key words: abrasive tool, modifying agent, caprolactam, strength, hardness, impact viscosity, shrinkage, service life.

Известно применение абразивных инструментов на эпоксидных связках, как разновидности органических связок. К ним относятся, прежде всего, абразивные шеверы, червяки, бруски, головки, галтовочные тела [1,2].

Эффективность применения таких инструментов зависит в основном от физико-механических свойств их материала [3].

Рабочая часть таких абразивных инструментов состоит из композиционного материала, который представляет собой наполненную абразивными зёрнами (шлифовальным материалом) отвержденную полимерную систему, полученную методом литья с определенным комплексом свойств, отличных от таковых для исходных компонентов [4].

Наиболее важным показателем применения инструментов является срок их службы, долговечность [5,6]. Изготавливаемые промышленностью абразивные инструменты на жесткой эпоксидной связке с модулем упругости $E_0 = 3000 - 6000$ МПа имеют невысокую долговечность. Так шеверы и червяки выходят из строя чаще из-за поломок зубьев, в целом все инструменты имеют недостаточную износостойкость.

Физико-механические свойства композиционного материала инструментов оцениваются в практике прежде всего прочностью при изгибе, износостойкость - твердостью. Для более полной и объективной оценки свойств материала необходимо ввести дополнительно показатели, связанные с характером его напряженного состояния при эксплуатации инструментов, а именно: удельная ударная вязкость a_n и величина линейной деформации после термообработки δ [4].

Для стандартных абразивно-эпоксидных композитов характерны значения прочности на изгиб ($\sigma_u = 42 - 47$ МПа) и удельной ударной вязкости ($a_n = 4,5 - 6,0$ кДж/м²).

Из-за усадки композиционного материала венца шеверов и червяков при полимеризации ($\delta = -0,1 - -0,3$ %) и обжата им ступицы, повышаются остаточные напряжения растяжения. При превышении под нагрузкой их величины предела прочности этого материала на разрыв ($\sigma_p = 13 - 15$ МПа) происходит разрушение зубчатого венца и выход из строя инструментов.

Общим фактором, влияющим на износ материала и долговечность работы инструментов, является их недостаточно высокая твердость (твердость по глубине

лунки на пескоструйном приборе $h = 1,2 - 1,4$ мм). Интенсивность износа уменьшается при увеличении твердости материала, которая характеризует прочность адгезионного сцепления абразивного зерна со связкой. Чем выше твердость материала, тем меньше глубина лунки в нем при испытании на пескоструйном приборе.

Добиться повышения долговечности эксплуатации инструментов за счет улучшения физико-механических свойств их материала можно без изменения модуля упругости материала путем увеличения прочностных показателей и твердости, по сравнению с известными данными, не менее, чем в 1,25 – 1,5 раза и исключением усадки.

Одним из наиболее рациональных направлений повышения прочностных свойств материалов на жесткой эпоксидной основе, его стойкости к ударным нагрузкам или воздействию жидкостей, является модифицирование его высокоэффективными полимерами [4]. Применительно к задачам настоящей работы такие полимеры должны обладать совместимостью с эпоксидной смолой, технологичностью в применении и экономичностью.

Этим требованиям удовлетворяет ряд изготавливаемых промышленностью полимеров, в том числе, как показали предварительные исследования, капролактамы [7], представляющий собой кристаллический порошок белого цвета. В качестве абразива в состав литевых масс в исследованиях взяли белый электрокорунд марки 24А смесью зернистостей F60 и F180 в соотношении 4:1, содержание 65 % от общей массы материала.

Полимерный материал капролактамы вводился в состав абразивно-эпоксидной композиции в жидком состоянии, после разогрева (расплавления) его при 80 – 1100С.

Введение капролактамы приводит к увеличению прочностных показателей композиционного материала после окончательного отверждения, однако наблюдается некоторое снижение прочности на первой стадии отверждения, до термообработки. Это уменьшает степень надежности излечения заготовок инструментов из литевых форм. В связи с этим на предварительной стадии исследований опробовалось введение дополнительно различных пластификаторов различной химической природы, в том числе ДБФ, ДЭГ-1, ПМС-400, полиэтилсилоксан, ПЭФ-ЗАК и других. Лучшие результаты получены с кремнийорганической жидкостью полиэтилсилоксан (ПЭС-5), представляющим из себя маслянистую жидкость желтоватого цвета.

Предварительные исследования показали, что наибольшее влияние на повышение физико-механических свойств абразивно-эпоксидной композиции введение капролактамы оказывает при повышении температуры термообработки от исходной 80-100⁰С. Так, из рис.1 видно, что оптимальной максимальной температурой при этом является 170⁰С (по изменению прочности на изгиб и удельной ударной вязкости). Общее время термообработки остается примерно постоянным – 8 часов. Далее определялось оптимальное содержание капролактамы и ПЭС-5 в композиции. Из рис. 2 видно, что достигнутые показатели, прочность при изгибе $\sigma_{\text{из}} = 68$ МПа и удельная ударная вязкость $a_n = 9,3 \text{ кДж/м}^2$, в 1,4 – 1,7 раз выше, чем у немодифицированной композиции. Эти результаты получены при содержании капролактамы 8,0 – 13,5 % от эпоксидной смолы, минимальные деформации после термообработки наблюдались при его содержании 8,0 – 10,75 %, а при меньшем количестве отмечено даже некоторое расширение материала.

При этом отмечено существенное увеличение твердости композита, с 1,2-1,4 мм по глубине лунок до 0,7-0,8 мм.

Рис. 1. Зависимость прочности при изгибе (1,2) и удельной ударной вязкости (3,4) модифицированной капролактамом (1,3) и немодифицированной (2,4) абразивно-эпоксидной композиции от температуры термообработки T

Введение дополнительно в композицию жидкости ПЭС-5, кроме улучшения всех показателей на исходной стадии изготовления до термообработки, после термообработки наибольшее влияние оказало на изменение ударной вязкости материала инструмента. Оптимальным содержанием ПЭС-5 в композиции, с точки зрения прочностных свойств, является 6 – 7 %, минимальная усадочная деформация достигается при 10 – 12 % от количества эпоксидной смолы

Кроме того определено оптимальное количество отвердителя полиэтиленполиамин (ПЭПА) для абразивно-эпоксидной композиции, модифицированной капролактамом с ПЭС-5 – примерно 11 % от содержания эпоксидной смолы, почти в 1,25 раза меньше, чем для известной смеси. При этом время отверждения при нормальных условиях снижено в 2 раза.

Рис. 2. Зависимость прочности при изгибе (1), удельной ударной вязкости (2) и величины деформации (3) абразивно-эпоксидной композиции от содержания в ней капролактама

Таким образом показано, что введение в абразивно–эпоксидную композицию капролактама в количестве 8,0-13,5% при наличии пластификатора ПЭС-5 примерно 6 – 7 % от содержания эпоксидной смолы и при повышении температуры термообработки до 170⁰С оказало модифицирующее действие на смолу, что привело к снижению времени полимеризации и к существенному улучшению физико-механических свойств, в том числе к повышению прочности при изгибе и удельной ударной вязкости в 1,4 – 1,7 раз, увеличению твердости, снижению почти до нуля усадочных деформаций. За счет этого достигается, в свою очередь, повышение эксплуатационной стойкости и долговечности работы абразивных инструментов.

1. Гаршин, А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: Учеб. пособие / А.П. Гаршин, С.М. Федотова / Под общ. ред. проф. А.П. Гаршина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.
2. Ковальчук, Ю.М. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Ю.М. Ковальчук. - М.: Машиностроение, 1984. – 206с.
3. Лавров, И.В. Физико-химические исследования абразивных материалов и инструмента / И.В. Лавров, И.Я. Ривлин, Т.П. Никитина // Сб. тр. ВНИИАШ. – Л., 1981. – С. 69 – 75.
4. Багайсков, Ю.С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов: (монография) / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер ; Федеральное агентство по образованию, ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ. - Волгоград :ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ, 2005. - 200с.
5. Браутман, Л. Композиционные материалы. Разрушение и усталость / Л. Браутман, Р. Крок . - М.: Мир, 1978. – 167с.
6. Островский, В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский . - Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 234с.
7. Багайсков, Ю.С. Физико-химические свойства наполненных эпоксидных композиций, модифицированных капролактамом и кремнийорганической жидкостью / Ю.С. Багайсков, Г.С. Генина, В.Ф. Заев // Производство и переработка пластмасс и синтетических смол. Науч.-техн. реф. сб. – М.: НИИТЭХИМ, – 1980. – №1. – С. 20 – 22.

Воячек И.И., Симутин С.В.

Исследование точности измерения линейных размеров деталей на координатно-измерительной машине

*Пензенский государственный университет
(Россия, Пенза)*

doi: 10.18411/lj-05-2020-41

idsp: ljjournal-05-2020-41

Аннотация

В статье рассматривается влияние удаленности места измерений от точки калибровки и угла наклона измерительной головки на точность и повторяемость измерений линейных размеров деталей при помощи координатно-измерительной машины Nikon metrology серии Altera. Приведены методика эксперимента и результаты исследования.

Ключевые слова: координатно-измерительная машина, КИМ, линейный размер измерение, точность, повторяемость.

Abstract

The article discusses the influence of the distance of the measurement site from the calibration point and the angle of the measuring head on the accuracy and repeatability of measurements of the linear dimensions of the parts using the Nikon metrology coordinate measuring machine Altera series. The experimental technique and research results are presented.

Keywords: coordinate measuring machine, CMM, linear dimension measurement, accuracy, repeatability.