

Весьма эффективно при разработке моделей оригинальных деталей использование базовых функций построения параметрических моделей типовых геометрических форм (цилиндр, конус, шар, тор и др.). Однако, этого часто недостаточно. Набор таких примитивов можно дополнить (если в этом часто возникает необходимость) например программами построения моделей резьбы для резьбовых деталей, зубьев эвольвентного профиля или венцов зубчатых колес, различных видов подшипников и т.д.

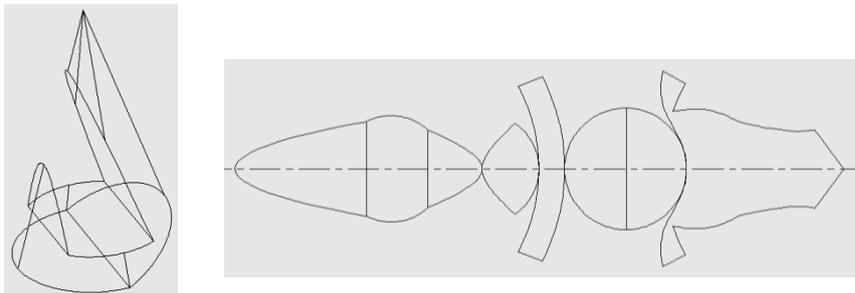


Рисунок 1 – Пример решения задачи построения развертки на основе 3D модели с использованием AutoLISP-программ

При моделировании изделий в целом, модели стандартных и унифицированных деталей и сборочных единиц необходимы, также как и чертежи при традиционном проектировании. Автоматизировать построение таких моделей также можно, разработав комплекс соответствующих программ. К разработке программ целесообразно привлекать профессиональных программистов.

Заключение. Таким образом, умелое сочетание интерактивных методов моделирования с использованием программных модулей автоматизированного решения подзадач в параметрической форме, дает, по нашему убеждению, наибольший эффект как в обучении [3 - 5], так и в практической инженерной деятельности. Кроме того, опыт разработки программ автоматического построения точных плоских параметрических моделей типовых, стандартных и унифицированных деталей машин, приводит к выводу о необходимости создания таких программ для построения 3-мерных моделей этих деталей вместо огромных библиотек таких деталей. Наконец, рассмотрение или изучение всех возможностей компьютерного геометро-графического моделирования обеспечивает необходимый современному специалисту кругозор в областях научного исследования, проектирования и инженерного обеспечения современного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка принципов и методических подходов к решению инженерных геометро-графических задач на базе трёхмерного компьютерного моделирования / Отчёт о НИР (закл.ит.) БГПА / Л.С. Шабека, А.И. Сторожилов и др. рук. темы Л.С. Шабека – № ГР 20001142. – Минск, 2000. – 143 с.
2. Сторожилов А.И. Обучение студентов решению геометрических задач с использованием трёхмерного компьютерного моделирования. Дисс. ... канд. пед. наук: 130002 / А.И. Сторожилов. Бел. гос. пед. ун-т. – Минск, 2002.
3. Сторожилов А.И. “Инженерная графика на компьютере. Лабораторный практикум. Часть I.” Электронное учебное издание/А.И. Сторожилов. Репозиторий БНТУ. Рег. №ЭИ БНТУ/ФММП 101-32.2014.
4. Сторожилов А.И. “Инженерная графика на компьютере. Лабораторный практикум. Часть II.” Электронное учебное издание / А.И. Сторожилов. Репозиторий БНТУ. Рег. № ЭИБНТУ/ФММП 101-48.2016.
5. Сторожилов А.И. Инженерная графика и компьютерное моделирование. Конспект лекций. / А. И. Сторожилов. – Минск: Бестпринт, 2019, - 188 с.

УДК 691.9.048.4

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОАДГЕЗИОННОГО СОЕДИНЕНИЯ «МЕТАЛЛ-ПОЛИМЕР»

д-р техн. наук **Н.М. Чигринова, Ю. И. Касач, ФММП, БНТУ, г. Минск**

Резюме – в статье рассмотрены условия и предпосылки формирования высокоадгезионного соединения в системе «металл-полимер» при ее получении аддитивными методами. Подчеркивается, что применение интегральной технологии электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием (ЭИЛ с УЗВ) способствует увеличению адгезионной прочности металлической основы с полимером вследствие интенсификации взаимодействия между ними и снижения уровня остаточных напряжений в контактной зоне.

Ключевые слова: высоко адгезионное соединение, система «металл-полимер», аддитивные методы, электроискровое легирование с дополнительным ультразвуковым воздействием, активизация взаимодействия.

Summary: the article considers the conditions and prerequisites for the formation of a highly adhesive compound in the "metal-polymer" system when it is obtained by additive methods. It is emphasized that the use of integrated electro-spark doping technology with additional ultrasonic action (EIL with ultrasonic) increases the adhesive strength of the metal base with the polymer due to the intensification of interaction between them and reducing the level of residual stresses in the contact zone.

Keywords: highly adhesive compound, "metal-polymer" system, additive methods, electroscopic alloying with additional ultrasonic influence, activation of interaction.

Введение. Современный уровень изготавливаемых деталей в машиностроении требует применения материалов, обладающих повышенной износостойкостью в сочетании с высокими антифрикционными свойствами. Большой интерес вызывает использование композиционных материалов, полученных с применением аддитивных технологий. В данной работе авторы рассматривают условия получения работоспособной композиции металл-полимер, полученной методами ЭИЛ с УЗВ и 3D-принтинга.

Основная часть. Применение полимеров в качестве поверхностного слоя в композиции металл-полимер, вызывает определенные трудности в обеспечении сцепляемости между этими разнородными материалами. Исходя из молекулярного взаимодействия металла и полимера выделяют ряд условий, влияющие на адгезионную прочность их соединения. Одним из факторов, повышающих склеивание между металлом и полимером является применение адгезионных композиций, обладающих бифильностью, т.е. содержать функциональные группы, взаимодействующие как с металлом, так и к полимером [1–3]. При этом выбор адгезива определяется условиями дальнейшей эксплуатации системы «металл-полимер».

Подбирая оптимальный состав полимера, следует учесть интенсивность и характер реологических процессов на границе раздела адгезив – субстрат (в данном случае – металл). Они обусловлены степенью заполнения полимером микродефектов на осаждаемой поверхности. Чем плотнее заполнены макродефекты, тем выше степень упрочнения металлической основы. Однако, вследствие существенного различия размеров молекул адгезива и субстрата трудно ожидать абсолютного контакта между ними. Наличие пор и пустот в контактной области вызвано высокой вязкостью адгезива. На данный процесс оказывает серьезное влияние и топография поверхности субстрата. В результате ограниченности реальной площади контакта и образования около воздушных полостей потенциальных очагов разрушения на границе раздела в системе металл-пластик происходит концентрация напряжений, препятствующих сохранению высокой адгезии [1].

Адгезионная прочность в системе металл-полимер определяется размерами формой микронеровностей на металлическом субстрате при формировании износостойкого подслоя [2]. Помимо полигармонической части в рельефе созданного подслоя всегда присутствует случайная составляющая, что осложняет изучение природы адгезионного взаимодействия металла и адгезива и существенно затрудняет получение прочного соединения [2]. Кроме того, на увеличение возникающих контактных напряжений в металле влияет рост внутренних напряжений, а также высота выступов шероховатой поверхности и ее твердость [3]. Следовательно, адгезионная прочность наносимых слоев на шероховатой металлической поверхности прямо пропорциональна контактным напряжениям.

Теоретические исследования внутренних напряжений и их распределение в пограничных слоях адгезива, влияющих на активность процессов разрушения соединения полимер-субстрат [3], вызывают определенные сложности. Мы предполагаем, что более однородный рельеф поверхности контактирующих материалов с меньшим уровнем остаточных напряжений в них будет способствовать формированию высокоадгезионной работоспособной композиции металл-полимер.

Добиться этой цели при создании композиции металл-адгезив-полимер можно при использовании интегрального метода процесса электроискрового легирования (ЭИЛ) с ультразвуковым воздействием (УЗВ) [4]. Автором предложено двух- и трехступенчатое плазменно-механическое воздействие на обрабатываемую поверхность за счет ее дополнительной высокочастотной пластической деформации. После ультразвукового удара, приходящегося на поверхность металла после типового метода ЭИЛ, релаксационные процессы проходят быстрее и состояние поверхности приходит в состояние равновесия. По данным автора [5] применение ультразвуковой модификации обуславливает снижение остаточных (растягивающих) напряжений в 2...2.5 раза, выглаживает и доупрочняет поверхность металлической основы, обуславливая снижение ее шероховатости. Металлическая поверхность, на которую далее методом 3-D печати будет наноситься полимер, в результате стабилизации массопереноса металла при УЗВ, становится более однородной и равнотолщинной. Из вышесказанного можно предположить, что при снижении остаточных напряжений металла увеличивается его способность к улучшению адгезии с материалом, имеющим другие физико-механические характеристики.

Немаловажную роль играет температурный режим субстрата в процессе осаждения расплавленного полимера. В процессе формирования адгезионного контакта необходимо повышение температуры, что будет способствовать снижению вязкости расплава и достижению более высокой адгезионной прочности. Из чего можно сделать вывод, что 3D-принтинг целесообразно проводить при нагреве соединяемых материалов.

Температууроустойчивость полимерного покрытия также является важным фактором, т.к. при увеличении температуры разрушаются надмолекулярные образования, что препятствует установлению более полного контакта между металлом и полимером. Анализ ряда исследований патентов, описывающих способы нанесения полимеров на металлическую подложку, указывают на диапазон температур от 120-250⁰ С, в котором должен находиться субстрат.

Установлению молекулярного контакта соединения «металл-полимер» будут способствовать нанесение адгезионной композиции, включающие модифицирующие добавки: минеральные наполнители, имеющие развитую удельную поверхность, органические вещества или полимеры, например тальк, карбоновые кислоты и их соли, каучуки, синтетические воски. Химическая природа адгезива определяет прочность соединения полимера к металлу. Причем важно, чтобы адгезив не просто содержал определенное число полярных групп, а

чтобы эти группы обладали способностью вступать в интенсивное взаимодействие с поверхностными группами субстрата, например, выполняли роль доноров электронов [1].

В более ранних исследованиях [6] проанализированы адгезионные композиции на основе сополимеров этилена с винилацетатом (СЭВА), предлагаемые в качестве клевого подслоя (праймера) при нанесении полиолефиновых защитных покрытий на металлические поверхности (рис. 1).

Ингредиенты, масс.ч.	Номер композиции					
	1	2	3	4	5	6
СЭВА	100	100	100	100	100	100
Полиизоцианат, блокированный ϵ -капролактамом	1,5	2,0	2,5	3,0	1,0	3,5
Стабилизатор	0,1	0,2	0,25	0,3	0,5	1,0
Наполнитель	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Рисунок 1– Некоторые составы адгезивов

Заключение.

Таким образом, можно заключить следующее:

1. Для повышения адгезионной прочности металлического покрытия с токопроводящим полимером можно условно выделить следующие приемы: подготовка поверхности металла для последующего нанесения пластика с помощью 3D принтинга; подбор оптимальных температур нагрева металла для нанесения адгезива и последующего 3D принтинга полимерного покрытия; введение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в состав адгезива с целью снижения поверхностного натяжения адгезива за счет его положительной адсорбции на поверхности субстрата.

2. Для получения металлического подслоя в системе металл-полимер с повышенной износостойкостью и сниженным уровнем остаточных напряжений рекомендуется использовать интегральную технологию ЭИЛ с УЗВ.

3. При оценке адгезионных свойств полученной системы металл-полимер необходимо учитывать: тип адгезионных связей полимерного материала с металлической поверхностью, а именно – продолжительность контакта, радиус кривизны поверхности, шероховатость поверхности и т.д.; требуемые условия эксплуатации композиционного материала (температура, воздействие агрессивных сред, вид и продолжительность действий нагрузки и др.), способные разрушить адгезионную связь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. – М.: Химия, 1974. – 321 с., ил.
2. Шандров Б.В., Варганов М.В., Зинина И.Н. Экспериментальные исследования влияния технологических факторов на прочность адгезионных соединений / Сборка в машиностроении и приборостроении. –Брянск. 2001.– С. 77 - 80.
3. Макушин А.П. Влияние шероховатости металлической поверхности на сцепляемость пластиковых покрытий // Вестник машиностроения.– 1966. №7.– С.32-34.
4. Н.М. Чигринова. Перспективы интенсификации микроплазменного упрочнения и восстановления металлических изделий повышенной точности энергомеханическим воздействием / 50 лет порошковой металлургии Беларуси. История, достижения, перспективы./ред. кол.: А.Ф. Ильющенко [и др.].- Минск, 2010.- 632 с.
5. Патент № 8228 от 30.06.2012. Способ электроискровой обработки с виброударным упрочнением металлической поверхности с задаваемыми амплитудой и частотой. Авт. Чигринова Н.М.
6. Касач Ю.И. Разработка приемов формирования требуемого рельефа поверхности электроискровых покрытий для обеспечения адгезионной связи с токопроводящим полимером / Магистерская дис-я. 2017г.

УДК 691.9.048.4

СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ И ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИЕ ПРИЕМЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

д-р техн. наук Чигринова Н.М., ФММП, БНТУ, г. Минск

Резюме – в статье приводятся данные по влиянию составов легирующих анодов и схем обработки на основные качественные характеристики электроискровых покрытий. Указана роль предварительной цементации стальной основы в протекании диффузионных процессов в анодно-катодной области при легировании, формировании рельефа поверхности покрытия и изменения его толщины. Отмечены преимущества интегральной технологии электроискрового легирования с дополнительным ультразвуковым воздействием перед типовым методом ЭИЛ при получении покрытий увеличенных толщин с более однородной топографией поверхности и увеличенной микротвердостью.

Ключевые слова: технология, электроискровое легирование, ультразвуковое воздействие, легирующие аноды, металлическая основа, покрытие, вибрация, импульсный ток, эрозия материала, композиционный слой