

вид:

$$x = 7.711 - \frac{1.718(\tau - 125)}{36} - 0.0848 \cdot \left[ \frac{(\tau - 125)}{36} \right]^2 +$$

$$+ 0.198 \cdot \left[ \frac{(\tau - 125)}{36} \right]^3 - 0.00856 \cdot \left[ \frac{(\tau - 125)}{36} \right]^4 \quad (4)$$

Для функции  $y = f(\tau)$  при том же значении  $n$  получим:

$$y = 56.1 + \frac{8.985(\tau - 125)}{36} - 1.425 \cdot \left[ \frac{(\tau - 125)}{36} \right]^2 +$$

$$+ 0.0516 \cdot \left[ \frac{(\tau - 125)}{36} \right]^3 - 0.00856 \cdot \left[ \frac{(\tau - 125)}{36} \right]^4 \quad (5)$$

Величины тепловых смещений шпинделя в заданные промежутки времени определяются путем подстановки в выражения (4) и (5) соответствующих значений  $\tau_i$ .

Полином четвертой степени позволяет с достаточной точностью аппроксимировать тепловые смещения ШУ. Суммарная погрешность аппроксимации определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^m [x_i - f(\tau_i)]^2}, \quad (6)$$

где:  $x_i$  – экспериментальное значение параметра, характеризующего тепловое смещение, в момент времени  $\tau_i$ ;

$f(\tau_i)$  – расчетное значение параметра;  $m$  – количество точек.

Таким образом, выражениями, аналогичными (4) и (5), описываются функции  $x=f(\tau)$  и  $y=f(\tau)$  при любых значениях  $n$  и при любом характере тепловых смещений ШУ, независимо от режимов его работы. В этом, несомненно, достоинство предлагаемых математических моделей.

### Литература

1. Иванников С.Н., Шандов М.М. Метод определения параметрической надежности шпиндельных узлов. // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 1 (13). с. 160-162.
2. Пуш А.В., Иванников С.Н., Пхакадзе С.Д., Телегин Ю.А. Базы исходных данных для проектирования и исследования станков. // Станки и инструмент. 1992. № 11. с. 3-8.
3. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулдер К. Машинные методы математических вычислений. М., Мир, 1980. 279 с.

### **Анализ получения многослойного материала и перспективы использования неоднородного по толщине листового материала**

Колесов А.В.

Университет машиностроения

89055295412, [Aleksey.Kolesov@yandex.ru](mailto:Aleksey.Kolesov@yandex.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены методы получения многослойных материалов и их свойства.

**Ключевые слова:** биметаллы, производство биметаллов, металл-полимер-металл, деформация, свойства материала.

В современном мире наиболее актуальной задачей является экономия ресурсов и получение материалов с улучшенными свойствами. Одними из таких материалов являются многослойные материалы. Они позволяют получать такое сочетание свойств, которое нельзя получить в обычном материале. Например, высокую теплопроводность, прочность с коррозионной стойкостью, ударную вязкость с износостойкостью. Применение биметаллов также

дает экономию таких металлов как медь, алюминий, никель, титан, серебро и других дорогостоящих материалов. Биметаллы уже получили широкое применение в разных отраслях промышленности.

В настоящее время наиболее широко используются следующие биметаллы [1]:

- коррозионностойкие – в качестве плакирующего слоя применяют материалы, обладающие стойкостью к агрессивным средам (медь, алюминий и т.д.). Широко применяют в химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, пищевой промышленности и судостроении;
- антифрикционные – применяются для деталей машин (подшипники, втулки и т.д.). Одними из основных свойств данного биметалла являются низкий коэффициент трения, теплопроводность, высокое сопротивление износу, хорошая прирабатываемость, стабильность свойств;
- самозатачивающиеся – применяются для режущего инструмента, например для машинных ножей, кожаных и бумажных ножей. Сочетают высокие режущие свойства и высокую вязкость;
- проводниковые – применяются в электропромышленности и электронике. Обладают хорошей электропроводимостью, повышенной прочностью, имеют малый вес;
- термобиметаллы – обладают высокой температурной чувствительностью и отсутствием механического запаздывания. Применяют в приборах, таких как термометры, терморегуляторы, а также для бытовых нужд, например, биметаллические радиаторы.

В настоящее время существует большое разнообразие способов получения биметаллов, но наиболее широкое применение получили следующие 3 группы [1]:

1. *Получаемые заливкой.* Метод заключается в том, что на твердый слой одного состава заливают слой другого металла. Данным способом можно получать слитки или толстолистовые материалы с двумя или более слоями. Затем они в последующем могут быть обработаны горячей прокаткой или любой другой горячей обработкой давлением. Таким образом, можно получать листы нужной толщины. Для листов большой толщины, состоящих из нескольких слоев и получения слитков применяют изложницы. Для стальных лент применяют заливку без изложницы на твердый материал.
2. *Получаемые совместной пластической деформацией.* Этот метод основан на совместной пластической деформации. Широкое применение получил для производства полос, лент, фасонных профилей, прутков. Одним из видов получения деформацией является совместная горячая прокатка составного пакета или заготовки. При этом способе составляется пакет из набора разных материалов и после подвергается горячей прокатке на нужный профиль. Предварительно поверхности очищают травлением или механически от окисной пленки и выравнивают. Чтобы не происходило окисления слоев при нагреве, перед горячей прокаткой пакет герметизируют электросваркой и наносят специальную пасту. Горячую прокатку пакетов применяют и для получения биметаллического проката с местной плакировкой.

Для получения листов или полос небольших размеров применяют горячую осадку пакетов под бойками мощного гидравлического пресса.

Круглые и фасонные профили, а также трубы получают совместным горячим прессованием. Существуют три способа совместного прессования [1]. Первый способ заключается в горячем выдавливании через отверстие матрицы составной заготовки, имеющей круглое или трубчатое сечение. Второй способ заключается в одновременном выдавливании двух различных материалов или сплавов из двух контейнеров через одну общую матрицу. Третий способ заключается в подаче в отверстие матрицы сердечника и одновременном выдавливании из двух контейнеров другого материала в матрицу. Из-за того, что некоторые материалы невозможно получить иными способами в связи с особыми свойствами, появился такой метод, как совместная прокатка полосы, ленты или проволоки с нанесенным на нее слоя металлического порошка и двух или более материалов и сплавов в виде порошка. Таким образом, появилась возможность соединения между собой металлов с сильно отличающейся температурой плав-

ления или плотностью. Например, свинца и железа, металла и пластика.

3. *Получаемые электросваркой, наплавкой и другими методами соединения слоев:*

- Метод электрошлаковой сварки. К одной или двум поверхностям слитка углеродистой или низкоуглеродистой стали массой 7-15т прикладывают с зазором 30-40 мм одну или две плиты нержавеющей либо другой специальной стали толщиной 40 -100мм. Эти плиты по всей поверхности приваривают электрошлаковым способом. Полученный слиток сначала прокатывают на блюминге на слябы, а затем на толстолистовом стане раскатывают на листы[1].
- Метод наплавки. С помощью электрической дуговой сварки можно получить листовой материал путем последовательной наплавки металла лакирующего слоя на металлическую плитку основного слоя.
- Метод пайки. Такой метод применяют в химическом машиностроении, которое нуждается в изготовлении емкостей из стали с серебром. Ни один из перечисленных выше способов не позволяет получать такой биметалл из-за малого сродства железа с серебром: они не образуют между собой твердых растворов. Предварительно листы стали и серебра тщательно зачищали. Для пайки применяли сплав серебро-медь-никель в виде фольги толщиной 0.1мм. Слой серебра накладывался на несимметричный пакет, в котором на стальную основу по всей верхней плоскости положена фольга. Такой пакет помещают в электрическую нагревательную камерную печь, причем пакет в печи устанавливают в строго горизонтальном положении (по уровню). Затем пакет нагревают до температуры, при которой фольга из сплава расплавляется (800-820°C) и при охлаждении происходит схватывание серебра со сталью [1].
- Метод диффузионной сварки в вакууме. Свариваемые детали помещают в вакуумную камеру и нагревают до температуры не менее  $0.3 \cdot T_{пл}$ , при которой диффузионные процессы протекают достаточно интенсивно. Затем два различных материала сжимают с определенными, относительно небольшими, удельными давлениями 9.8-19.6 МПа (1-2 кгс/мм<sup>2</sup>) и выдерживают некоторое время (2-15мин) [1]. Вакуум не позволяет образовываться окисной пленке на поверхности металла. Пластическая деформация слоев практически отсутствует из-за небольших удельных давлений. Главное преимущество способа состоит в том, что он позволяет сваривать материалы, которые невозможно соединить другими методами. Например, сварка стали с чугуном, меди с алюминием и титаном; титан с платиной; серебро с нержавеющей и других пар металлов.
- Метод сварки взрывом. На основание устанавливают одну из свариваемых пластин; вторую пластину с расположенным на ней зарядом помещают над первой на определенном расстоянии от ее поверхности и под углом к ее продольной оси. Затем детонатором подрывают заряд. Этот метод имеет преимущество. Он не требует сложного оборудования и обеспечивает весьма высокую прочность соединения слоев независимо от характера последующей пластической деформации.

Также существуют многослойные материалы с полимерным слоем. Данный тип материала позволяет сократить уровень шума, практически не увеличивая массу конструкции. Такие многослойные конструкции можно разделить на два типа [2]: которые могут быть подвергнуты формоизменению и которые нельзя деформировать.

Многослойные конструкции, которые нельзя подвергать формоизменению, применяют в строительстве (строительные панели, перекрытия).

Материалы, которые можно подвергать формоизменению, применяют в различных отраслях промышленности. Прокат с полимерным покрытием применяют для металочерепицы, бытовых приборов, стен лифтов, дверей, полок. Алюминиевые композитные материалы применяют в строительстве для облицовки фасадов зданий и изготовления перегородок. Данные материалы состоят из листов алюминия, соединенных между собой клеевым слоем.

В материалах с полимерным слоем, которые подвергаются деформированию, важное значение имеет клеевая основа. Клей для многослойного материала должен обладать

следующими свойствами [3, 8]:

- 1) определенной вязкостью и пластичностью, причем структура клея не должна разрушаться в процессе деформирования;
- 2) высокими адгезионными свойствами, при этом необходимо, чтобы максимальная адгезия сохранялась после завершения процесса деформирования;
- 3) требуемой звуковой изоляцией;
- 4) равномерностью нанесения.

Таким образом удобнее всего наносить пленочный клей.

Также важно учитывать, в каких условиях будет использоваться готовое изделие.

Чтобы определить возможность к деформированию многослойных материалов с полимерным слоем, часто применяются дополнительные технологические испытания. Например, влияние скорости деформации на силовые параметры изгиба [4], влияние анизотропии и скорости деформирования на силовые параметры при растяжении листа [5], исследования свойств при сдвиговой деформации [6], исследования механических свойств [7].

Исследование на изгиб, формовку и вытяжку показали, что клеевая прослойка имеет значительное влияние на процесс формоизменения.

Для производства многослойных панелей могут применяться следующие виды клеев:

- 1) модифицированные акриловые клеи предназначены для склеивания металлов, стекла, керамики, стеклотекстолита, некоторых пластмасс и различных сочетаний этих материалов. Эти клеи являются двухкомпонентными и отверждаются только с помощью специальных активаторов;
- 2) полиуретановые клеи предназначены для склеивания в любых сочетаниях большинства видов пластмасс, бумаги, тканей, резины, искусственной и натуральной кожи, волокнистых материалов и т.д. Обладают очень высокой адгезией, эластичностью и водостойкостью и выпускаются:
  - однокомпонентными – при этом в своем составе содержат инициаторы отверждения;
  - двухкомпонентными – компоненты смешивают непосредственно перед применением (жизнеспособность образующихся при этом составов в основном от 30 минут до 3 часов).

Продолжительность отверждения клеевого слоя от нескольких часов до двух суток при комнатной температуре или от 2 до 6 часов при температуре от 60 до 120°C. Полиуретановые клеи стойки к действию масел, топлив, плесневых грибов, имеют хорошую адгезию к большинству используемых в автомобилях материалов. Особенно высокими механическими свойствами характеризуются клеевые соединения «горячего» отверждения.

Эпоксидные клеи с различными наполнителями и без них применяются для склеивания металлов, пластмасс, дерева, стекла, керамики, а также металлов с пластмассами и деревом.

Это одна из самых распространенных групп клеев, включающих в себя различные составы и композиции – от универсального клея ЭДП до специальных ремонтных эпоксидных компаундов с наполнителями (так называемые «жидкая сталь», «жидкий алюминий» и т.д.). Клеи этого типа обладают хорошей адгезией и могут использоваться для соединения нагруженных деталей, но не подвергаемых вибрационным нагрузкам.

Большинство эпоксидных материалов двухкомпонентные, они отверждаются после смешивания за время от нескольких минут до одного часа, в зависимости от их состава, свойства применяемых отвердителей и температуры.

Эпоксидные составы могут быть и одноупаковочными. В этом случае отверждение происходит под воздействием содержащихся в них специальных активаторов. В частности, это твердые «холодные сварки», требующие промешивания перед использованием.

Анаэробные клеи способны длительное время не изменять свои свойства на открытом воздухе, но быстро отверждаются при контакте с активной металлической поверхностью в отсутствии доступа воздуха. Благодаря хорошей проникающей способности, наиболее

жидкие анаэробные составы хорошо заполняют даже очень узкие трещины (с шириной до 0,05–0,07 мм). Время отверждения составляет от 15 до 30 минут при температуре от 15 до 35°C. Полное отверждение, как правило, наступает через 24 часа. Прочность клеевого слоя (в зависимости от назначения) может быть высокой, средней и низкой.

Резиновые клеи (эластомеры) применяются для склеивания резины с металлом, стеклом, кожей, деревом, тканью, пластмассой и другими материалами. Они отверждаются вследствие испарения растворителя, а также в результате «горячей» (при температуре выше 100°C) или «холодной» (при комнатной температуре) вулканизации. Клеи получают растворением различных каучуков, в том числе полиуретановых в органических растворителях: бензине, ацетоне, этилацетате и т.д.

Термопластичные клеи, изготавливаемые на основе термопластов, используются в основном для склеивания пластмасс и других неметаллических материалов в ненагруженных соединениях. Могут использоваться для соединения металлов между собой, с пластмассами, резиной и т.д., но отличаются невысокой термостойкостью. Их выпускают в твердом состоянии или в виде растворов различных полимеров в органических растворителях. Отверждение происходит в результате испарения растворителей или при охлаждении после расплавления.

Проведя анализ клеев можно сказать, что для материалов металл-полимер-металл, которые в последующем формоизменяют, можно использовать резиновые клеи (эластомеры), полиуретановые клеи. Эпоксидные клеи, анаэробные клеи, акриловые клеи, термопластические клеи можно использовать со специальными добавками и в определенных условиях.

### **Выводы**

Многослойные материалы заняли свою нишу в различных отраслях промышленности. При совершенствовании машин и сооружений возникает необходимость в более современных материалах. Современными и актуальными материалами являются многослойные, обладающие иными свойствами по сравнению с обычными однослойными. Коррозионностойкие, антифрикционные, проводниковые, термобиметаллы в зависимости от плакирующего слоя можно нагревать. Они подходят для листовой и объемной штамповки. Материалы метал-полимер-металл обладают хорошей шумопоглощаемостью и небольшим удельным весом. В связи с этим возникает вопрос об особенностях пластической деформации многослойных листовых материалов по сравнению с однородными.

### **Литература**

1. Голованенко С.А., Меандров А.В. Производство биметаллов. М., Металлургия, 1966. 303 с.
2. Типалин С.А., Сапрыкин Б.Ю. Использование многослойных листовых конструкций для защиты от шума. / Сборник трудов международной научно-технической конференции. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященная 145-летию МГТУ «МАМИ», 2010. с. 146 – 147.
3. Типалин С.А., Плотников А.А. Влияние клеевого соединительного слоя на пластическую деформацию многослойного листового материала. / Сборник трудов международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященная 145-летию МГТУ «МАМИ», 2010. с. 141 – 146.
4. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Сапрыкин Б.Ю. Исследование влияния скорости деформирования на силовые параметры изгиба. / Материалы 65-ой Международной научно-технической конференции ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». М., 2009. с. 83 – 90.
5. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальные исследования влияние анизотропии и скорости деформирования на силовые параметры при растяжении листа. / Материалы 65-ой Международной научно-технической

- конференции ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». М., 2009. с. 99 – 105.
6. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю. Листовой демпфирующий материал для кузовных деталей. Свойства при сдвиговой деформации. / Автомобильная промышленность, 2010, № 10. с. 39 – 40.
  7. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала. / Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 1 (9), 2010. с. 166 – 170.
  8. Типалин С.А., Плотников А.А. Влияние клеевого соединительного слоя на процесс вытяжки листового многослойного материала. / Автомобильная промышленность, 2012, № 6. с. 33 – 35.

### **Применение технологии лазерной сварки при изготовлении сосудов высокого давления из титанового сплава**

Кочергин С.А., д.т.н. проф. Саушкин Б.П.  
ФГУП НПО «Техномаш», Университет машиностроения  
(495)689-95-71, serezhka-kochergin@yandex.ru

*Аннотация.* В работе рассмотрены вопросы снижения массогабаритных характеристик сосудов высокого давления (СВД) за счет применения тонкостенной металлической оболочки-лейнера из титанового сплава ВТ-1,0. Выявлены основные трудности, возникающие при изготовлении сварных лейнеров из титанового сплава ВТ-1,0. Представлены результаты подбора режимов сварки титанового сплава ВТ-1,0, показано влияние технологии подготовки кромок на качество сварных соединений, а также возможность применения лазерной технологии при сварке лейнера из ВТ-1,0.

*Ключевые слова:* лазер, лейнер, лазерная сварка, титановый сплав, испытания, качество, мощность излучения, сосуд высокого давления, образец.

Одной из актуальных проблем ракетостроения является снижение массогабаритных характеристик большой номенклатуры сосудов высокого давления (СВД), используемых в изделиях ракетно-космической техники (РКТ) для хранения жидких и газообразных продуктов – компонентов топлива, азота, гелия, аргона и др.

Эффективным способом решения этой проблемы считается использование металлокомпозитных конструкций таких емкостей с неметаллической или тонкостенной металлической оболочкой-лейнером и внешней армирующей стеклопластиковой или углепластиковой намоткой [1].

Наиболее важными требованиями, предъявляемыми к конструкциям СВД, являются: минимальное соотношение веса к объему, максимальная жесткость и прочность, максимальный ресурс работы, высокая надёжность. Эти условия выполняются при применении титановых сплавов в качестве конструкционных материалов для внутренней оболочки.

Вместе с тем при изготовлении тонкостенных сварных металлических лейнеров, прежде всего лейнеров из титановых сплавов, возникает ряд технологических трудностей, многие из которых до настоящего времени не преодолены и до конца не изучены. Прежде всего это связано с химической активностью титановых сплавов к газам, что приводит к образованию пористости и холодных трещин при сварке [2, 3]. Поэтому качество сварных соединений при сварке титана различными методами во многом зависит от технологии подготовки кромок деталей под сварку.

Важным фактором при сварке лейнера является точность сборки и строгое соблюдение допустимых зазоров между кромками деталей.

При создании сварных конструкций СВД из титановых сплавов возможно эффективно