

УДК 621.791.1

И. И. Карпович, Е. В. Карпович

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОЛУЧЕНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНИКОВ ДИФфуЗИОННОЙ СВАРКОЙ

У роботі розглянуті методи визначення якості біметалевих перехідників різного призначення та якості їх виготовлення. Проведено аналіз структури показників властивостей виробів. Визначено вплив технологічних параметрів на якість перехідників.

Ключові слова: дифузійне зварювання, біметалічні перехідники, перехідники по охоплюваним поверхням, якість зварювання.

В работе рассмотрены методы определения качества биметаллических переходников различного назначения и качество их изготовления. Проведен анализ структуры показателей свойств изделия. Определено влияние технологических параметров на качество переходников.

Ключевые слова: диффузионная сварка, биметаллические переходники, переходники по охватываемым поверхностям, качество сварки.

The methods for determining the quality of bimetallic adapters for different purposes and the quality of their production are considered in work. The analysis of the structure of performance properties of the product. The influence of process parameters on the quality adapters is shown.

Keywords: diffusion welding, bimetallic transmitter, transmitter on the engulfed surfaces, welding quality.

Определение качества как отдельно изготовленной детали, узла так и всего изделия в целом имеет большое значение для авиа- и ракетостроения. Осуществляется это с помощью карт качества методами квалиметрии, которые позволяют сделать количественную оценку качества изделия и выбрать из большого множества вариантов оптимальный метод изготовления.

В литературе достаточно много трудов посвящено теории определения качества объектов и процессов. Системная наследственность качества процессов проектирования, изготовления и эксплуатации на качество результата рассмотрена в [1], где определены принципы оценивания качества и показаны различия экспертных, индексных, таксономических и вероятностно-статистических методов определения качества.

Задача выбора оптимального варианта технологического процесса изготовления деталей с помощью методов квалиметрии в виде блок-схемы сформулирована в [2]. Также рассмотрен алгоритм определения комплексной оценки качества в общем виде. В [3] проведен анализ критериев оптимизации в

задаче выбора технологического процесса и показана необходимость использования в этой роли оценки качества, приведена структура показателей свойств изделия и технологии его изготовления.

Одними из многих деталей, которые часто используются в составе систем на ракетносителях и спутниках являются биметаллические переходники различного назначения и конструкции. Для выбора типа переходника и оптимального варианта технологического процесса его изготовления необходимо определить уровень качества изделия и его получения.

Целью данной статьи является выбор методики определения качества биметаллических переходников различного назначения и их изготовления, анализ структуры показателей свойств, определение влияния технологических параметров на качество переходников.

Качество по ДСТУ характеризуется рядом характеристик, которые удовлетворяют потребителя в той или иной мере. Оценка качества изделия определяется методами, суть которых сводится к построению по возможности более полной иерархической древовидной структуры показателей свойств продукции, сравнении их с предельными минимальными или максимальными показателями. Затем используя дифференциальные и комплексные показатели, а также весовости отдельных свойств, вычисляют относительный показатель (оценку) качества.

В ГОСТ 2.116-84 установлены восемь основных групп показателей качества изделия:

- показатели назначения;
- показатели надежности;
- показатели технологичности;
- эстетические показатели;
- эргономические показатели;
- показатели стандартизации и унификации;
- патентно-правовые показатели;
- экономические показатели.

Для оценки качества биметаллических переходников необходимо выделить группу показателей свойств изделия, которые определяют его работоспособность. К ним относятся прочностные показатели изделия: временный предел прочности σ_b , предел прочности на срез $\sigma_{ср}$; показатель герметичности Γ , удельный вес γ , точность и шероховатость торцевых и внутренних поверхностей, а также себестоимости. Качество изготовления биметаллических переходников определяется соблюдением всех проектных и технологических параметров и степенью влияние их отклонения на качество получаемого изделия.

Увеличение точности и шероховатости торцевых и внутренних поверхностей не приведет к увеличению качества. Выполнение этих параметров необходимо для выполнения дальнейшей установки переходника в

узел агрегата или системы и обеспечение коэффициента гидросопротивления ζ соответственно для торцевой и внутренней поверхностей.

Минимальные или максимальные величины показателей определяются на стадии проектирования изделия. Предельные значения показателей свойств зависят от условий работы биметаллических переходников, которые используются в составе узлов или систем. Для переходников газобаллонной системы наддува, соединяющих баллон из титанового сплава ВТ6С с трубопроводом из нержавеющей стали 12Х18Н10Т предъявляются высокие требования по герметичности, прочностные характеристики должны выдерживать высокое внутреннее давление до 28 МПа при рабочей температуре среды $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Для реактивной системы управления также важна прочность при циклических нагрузках. Для переходников ВТ6С-12Х18Н10Т, которые используются в микродвигателях спутниковых системах коррекции, прочностные требования повышаются при повышении рабочей температуры в отличие от показателей герметичности.

Таким образом, для биметаллических переходников ВТ6С-12Х18Н10Т временный предел прочности σ_{ϵ} должен быть не ниже 0,7–0,95 предела прочности наименее прочного металла; предел прочности на срез $\sigma_{ср}$ – не ниже 0,95 наименьшего значения из двух материалов.

Количественно уровень качества изделия в настоящее время оценивается дифференциальными, комплексными и смешанными методами. В виде баллов можно получить значение качества экспертным путем, но оно носит субъективный характер. Смешанный метод заключается в том, что для получения комплексной оценки качества необходимо воспользоваться дифференциальными параметрами.

В статье [2] предлагается воспользоваться формулой (1) для определения i -го дифференциального параметра:

$$K_i = \frac{p_i - p_i^{\text{бп}}}{p_i^{\text{баз}} - p_i^{\text{бп}}}, \quad (1)$$

где p_i – единичный показатель качества; $p_i^{\text{баз}}$ – единичный базовый показатель качества; $p_i^{\text{бп}}$ – показатель брака, он равен минимально допустимому значению показателя $p_i^{\text{бп}} = p_i^{\text{мин}}$.

В качестве базовых показателей принимаются соответствующие показатели из нормативных документов: стандартов, технической и конструкторской документации для лучших образцов изделия.

Формула (1) хорошо работает только, если при больших значениях единичных показателей их разница в базовом и изготовленном изделии небольшая, тогда при сравнении дифференциальных показателей разница видна в большей степени. При использовании безразмерных величин одного порядка, преимущества которых приводятся в [4], дифференциальные показатели определяются простыми соотношениями (2) и (3):

$$K_i = \frac{P_i}{P_i^{bas}}, \quad (2)$$

$$K_i = \frac{P_i^{bas}}{P_i}, \quad (3)$$

Для каждого конкретного показателя выбирается та формула, в которой увеличение K_i соответствует улучшению качества продукции. Например, формулу (2) применяют для прочностных характеристик, удельного веса, а формулу (3) – показателей себестоимости, энергоемкости, материалоемкости.

Для нахождения комплексной оценки качества используется понятие весомости свойств, с помощью которого определяют вклад разнообразных показателей качества продукции в ее потребительскую ценность. Главное свойство весомости – сумма весомостей на каждом уровне иерархического дерева качеств есть постоянной величиной:

$$\sum_i M_i = 1, \quad (4)$$

где M_i – весомость i -го свойства.

Определение весомостей – наиболее тяжелое задание, так как для разных потребителей значимость свойств изменяется. Поэтому весомость свойств нужно назначать объективно для каждого конкретного случая отдельно. Для определения весомостей используют четыре способа: стоимостной, экспертный, вероятностный и смешанный. При наличии большого количества модификаций продукции и разнообразных потребителей можно пользоваться вероятностным методом. Стоимостной заключается в определении влияния различных свойств на экономическую эффективность на стадиях проектирования, производства и эксплуатации. При использовании средств квалиметрии в технологии ракетостроения лучше всего применять экспертный метод, который основывается на усреднении значений, определяемых группой экспертов.

Комплексную оценку качества находят целым рядом методов, которые можно условно разделить на три группы: средневзвешенные, среднегеометрические и среднегармонические. В нашем случае единичные показатели мало отличаются и имеют один порядок, поэтому используем формулу (5) средневзвешенного метода [1]:

$$K_0 = \sum_i M_i K_i, \quad (5)$$

где K_0 – комплексная оценка качества; M_i – весомость i -го свойства; K_i – дифференциальный показатель i -го свойства.

Требованиям, предъявляемым к переходникам по прочности и герметичности, в значительной степени отвечают неразъемные сварные соединения по охватываемым поверхностям контакта, полученные методом диффузионной сварки. В таких соединениях остаточные напряжения сжимающие, что повышает надежность, в отличие от сварки в стык, где остаточные напряжения являются касательными и разрушают соединение [5].

Анализ существующих схем диффузионной сварки трубных заготовок и способов их технологической реализации [5] показал, что принудительное сдавливание заготовок в процессе сварки позволяет получить стабильное и хорошо воспроизводимое сварочное давление. С технологической точки зрения этот способ получения давления на контактных поверхностях является достаточно сложным, так как требует применения специальных приспособлений и установок для диффузионной сварки. Обычно технологическая себестоимость имеет малую весомость, однако увеличение расходов на специальные приспособления и установку для диффузионной сварки на несколько порядков будет значительно уменьшать комплексный показатель качества.

Наиболее технологически простой является сварка трубных заготовок по охватываемым поверхностям с получением требуемого давления в контакте за счет предварительного натяга и различия в коэффициентах температурного расширения материалов при нагреве до температуры сварки. Контроль величины натяга при этом будет производиться по величине запрессовки, которая определяется расчетным методом, а также с использованием наружной обоймы. Технологическая реализация предложенной схемы сварки связана с обеспечением минимального зазора между наружной поверхностью охватывающей детали и внутренней поверхностью обоймы. Принудительная механическая раздача охватывающей детали охватываемой позволит компенсировать технологический зазор при нормальной температуре, а при температуре сварки получить требуемое контактное давление. Изменение технологического зазора при изготовлении в заданных пределах на качество сварки практически не повлияет, так как соединение выполняется с небольшим конусом и погрешности изготовления обоймы компенсируется давлением предварительной сборки. Это смягчает требования к геометрическим отклонениям размеров и формы обоймы и тем самым уменьшая себестоимость изготовления.

Процесс диффузионной сварки соединений по развитым охватываемым поверхностям заключается в сборке деталей с натягом, обеспечивающим при температуре сварки требуемое давление, нагреве, выдержке собранной конструкции и охлаждении. Необходимо рассмотреть влияние технологических факторов на качество биметаллических переходников.

Обязательным условием получения диффузионного сварного соединения является создание физического контакта соединяемых материалов, которое осуществляется путем пластического деформирования микронеровностей на контактных поверхностях. Степень контактной микропластической

деформации зависят от сборочных напряжений и деформаций, а также напряжений и деформаций, возникающих вследствие различия в коэффициентах термического расширения соединяемых материалов, которые действуют в макрообъемах.

Технологически для обеспечения условий сварки контактные поверхности должны быть выполнены коническими с конусом Морзе 3 не ниже шестой степени точности; все остальные поверхности деталей – по 14 качеству точности; отклонения контактных поверхностей конусов от прямолинейности и круглости – в пределах 0,001-0,008 мм; шероховатость конических контактных поверхностей – $Ra=0,45-0,8$ мкм, что соответствует чистовому точению. Зазор между наружной поверхностью охватывающей детали и внутренним диаметром обоймы для малогабаритных переходников рекомендуется принимать не более 0,1 мм. Отклонения определены таким образом, чтобы обеспечить максимальную площадь физического контакта и, с другой стороны, уменьшить себестоимость изготовления. Не выполнение рекомендаций показали малую зону контакта и низкую прочность.

Качество диффузионного биметаллического соединения во многом зависит от ширины диффузионной зоны, толщины интерметаллидной прослойки, что приводит к необходимости использования промежуточных материалов между ВТ6 и 12Х18Н10Т.

Результаты исследований, проведенных в ИЭС им. Е.О. Патона, показали, что применение слоев V и Cu оптимальных размеров позволяет получить сварные соединения сплавов титана с нержавеющей сталью, обладающие достаточной прочностью при удовлетворительной вязкости и пластичности как при комнатной, так и при повышенных температурах. Временное сопротивление сварных торцевых соединений титановых сплавов ВТ6 и ВТ5-1 со сталью 12Х18Н10Т, выполненных диффузионной сваркой с применением прослоек V и Cu, равно соответственно 0,75-0,8 и 0,95-0,97 от наименее прочного из свариваемых металлов – нержавеющей стали. Сварка проводилась на режимах $T=1273$ К (1000 °С), $p=3...6$ МПа, $\tau=5...15$ мин [6, 7].

Диффузионная сварка по торцам трубчатых переходников малой толщины с применением специальной многослойной ленты V-Cu-сталь, V-Cu-Ni также позволяет получать качественные соединения титановых сплавов со сталями [7].

Установка двух прослоек между деталями, при сварке по охватываемым поверхностям, является нежелательным, так как в процессе запрессовки может происходить смещение прослоек, образование гофр и, как следствие, неравномерное распределение промежуточных материалов по поверхности контакта и ухудшение качества сварного соединения. Использование многослойной прослойки позволяет получить наилучшие прочностные свойства соединений, но ее использование требует дополнительных экономических затрат. Обычно коэффициент весомости прочностных характеристик выше чем технологической себестоимости, однако затраты на увеличение точности изготовления, нанесения покрытий увеличиваются на

порядок, что понижает комплексный показатель качества соединения. Поэтому для получения переходников предлагается способ диффузионной сварки соединений по охватываемым поверхностям из нержавеющей стали 12X18H10T и титанового сплава ВТ6 через промежуточную прослойку из меди М1, удовлетворительно свариваемой с титаном и сталью.

Влияние параметров диффузионной сварки на кинетику формирования различных соединений происходит следующим образом. Небольшие изменения температуры вызывают значительные изменения кинетики образования соединения (температура – наиболее сильно влияющий параметр, так как она определяет пластическое течение материалов и скорость диффузионного обмена между увеличивающимися контактирующими поверхностями); возрастание времени выдержки t при заданных значениях температуры T и сварочного давления P повышает прочность соединения до некоторого предела, по достижении которого ее увеличение прекращается; возрастание давления P приводит к повышению качества соединения при любых заданных значениях T и t , однако чрезмерно большое давление может вызвать пластическую деформацию деталей, изменение их формы и даже разрушение; для получения высококачественных соединений требуется оптимальная шероховатость свариваемых поверхностей, обеспечивающая деформацию микронеровностей и протекание массообмена; из-за различия в значениях скорости диффузии двух разнородных материалов возможно образование пор, хрупких интерметаллических соединений и легкоплавких фаз.

Наиболее простым способом интенсификации процесса образования физического контакта является циклическое изменение сварочного давления по следующей схеме: сжатие с определенным усилием P_1 и выдержка продолжительностью t_1 ; снятие давления P_1 на время t_2 ; сжатие ($P_2 = P_1, t_3 = t_1$); снятие давления P_2 на время $t_4 = t_2$ и т. д. Такая схема приложения давления существенно увеличивает степень пластической деформации металла в зоне контакта по сравнению со статическим воздействием нагрузки. При каждом новом нагружении, направленном перпендикулярно плоскости контакта, наблюдается период активной деформации микровыступов и неустановившейся ползучести, что связано с развитием процессов возврата на этапах снятия нагрузки. Данный режим сварки позволяет повысить прочность соединений и уменьшить температуру процесса [5].

Другой метод интенсификации диффузионных процессов в зоне контакта металлов основан на приложении к свариваемым деталям (перпендикулярно действию сварочного давления) растягивающих усилий, вызывающих упругую деформацию. Возникающие при этом искажения кристаллической решетки не только ускоряют диффузию, но и облегчают образование областей, содержащих вакансии, что интенсифицирует взаимодействие соединяемых материалов. Использование при диффузионной сварке вибрационных колебаний ультразвуковой частоты для ускорения развития физического контакта за счет увеличения скорости ползучести материала предложено Н.Ф. Казаковым [5].

Параметры диффузионной сварке по охватывающим поверхностям: температура, давление и время сварки аналогичные стыковой. Наибольшее влияние среди технологических параметров проявляют время и температура сварки. Применение медной прослойки позволило уменьшить температуру сварки с 1000°C до 900°C , что уменьшило энергоемкость процесса. Уменьшение времени ниже 15 мин ведет к значительному снижению прочности из-за небольшой диффузионной зоны. Увеличение времени в 2 раза приводит к увеличению прочности только на 6%.

Интенсификации диффузионных процессов в зоне контакта осуществляется с помощью циклических изменений давления, которые имеют место при автоматическом регулировании температуры сварки. В этом процессе значительную роль играет среда сварки, так как в воздушной среде колебания температуры в зоне соединения происходят чаще, чем при сварке в соляной ванне. Выбор воздушной среды по сравнению с вакуумной или соляной, также позволил уменьшить затраты на диффузионную установку с вакуумными насосами или на соляную ванну.

Необходимо рассмотреть влияние геометрических и физико-механических параметров на прочностные и физические показатели качества биметаллических переходников изготовленных диффузионной сваркой по охватывающим поверхностям. Для этого воспользуемся ранее разработанной математической моделью сварки [8]. В диффузионной сварке по охватывающим поверхностям давление в контакте должно быть обеспечено геометрическими параметрами деталей и обоймы, а также необходимо учесть невозможность регулирования сварочного давления в явном виде. Величина давления оказывает существенное влияние на прочность соединения на стадии формирования физического контакта, микропластические деформации и на начальном этапе выдержки, и является определяющей. Поэтому необходимо исследовать влияние выше указанных факторов на величину давления в контакте.

При расчете напряженно-деформированного состояния деталей рассматриваются величины различных порядков. Величины перемещений и деформаций отличаются от значений напряжений на более двенадцати порядков. Арифметические операции с такими величинами из-за ограниченности разрядной сетки ЭВМ зачастую приводят к значительным погрешностям. Для минимизации влияния этих негативных факторов, в задачах определения напряженно-деформированного состояния многослойной конструкции (рис. 1) производят обезразмеривание.

В общем виде соединение можно представить как составной двухслойный цилиндр. Внешняя боковая поверхность первого слоя представляет собой прямой конус с углом конуса γ , внутренняя боковая поверхность второго слоя – обратный конус с таким же углом конуса, d_1 , d , d_4 – размеры соединения (рис. 1). Все детали являются толстостенными.

Слой 1 и слой 2 сцеплены при нормальной температуре посредством натяга и подвергаются температурному воздействию (нагреву, выдержке и

охладженню). Величина натяга Δ определяется как геометрическая разность между наружным диаметром первого слоя d_2 и внутренним диаметром второго слоя d_3 .

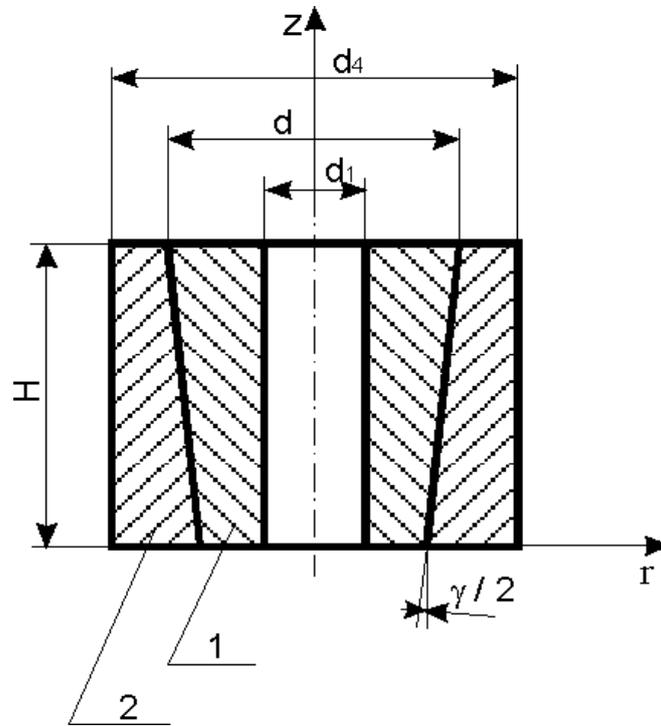


Рис. 1. Схема сварного соединения с внешней обоймой

В качестве факторов, влияющих на величину напряжений в контакте при нагревании и охлаждении, были приняты следующие

$$K_1 = \frac{d_2}{d_1}, K_2 = \frac{d_4}{d_3}, K_3 = \frac{K_2}{K_1}, K_4 = \frac{E_2}{E_1}, K_5 = \frac{T_{пл2}}{T_{пл1}}, K_6 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1},$$

где E_1, E_2 – модули Юнга; $T_{пл1}, T_{пл2}$ – температуры плавления; α_1, α_2 – коэффициенты температурного расширения материалов свариваемых деталей; d_1, d_2, d_3, d_4 – геометрические параметры соединения (рис. 1).

Для расчетов была выбрана реальная конструкция со следующими геометрическими характеристиками

$$d_1 = 8 \text{ мм}, K_1 = \frac{d_2}{d_1} = 2, K_2 = \frac{d_4}{d_3} = 1,5, L = 25 \text{ мм}, \gamma = 1,438^\circ, \Delta = 0,02 \text{ мм}.$$

Материал внутреннего слоя цилиндра – сталь 12X18H10T.

Параметры диффузионной сварки принимаются по [5]:

$$P_{св} = \sigma^* = 12 \text{ МПа}; T_{св} \approx 0,7 \cdot T_{пл} = 1266 \text{ К}.$$

Влияние коэффициентов определялось интервалами, в которых видны зоны с наиболее благоприятными характеристиками, а также степень влияния небольших отклонений от технологии в силу различных обстоятельств. Для определения весомости каждого коэффициентов необходимо использовать отношение (6):

$$M_i = \frac{\Delta\sigma_v / \sigma^*}{\Delta K_i}, \quad (6)$$

где M_i – весомость i -го коэффициента; ΔK_i – изменение i -ого коэффициента; $\Delta\sigma_v / \sigma^*$ – изменение давления от i -ого коэффициента.

Жесткость деталей, определяющаяся коэффициентами K_1 и K_2 , влияет на величину контактного давления в виде экспоненциальной зависимости (рис. 2). Объясняется это тем, что напряжения в сборке вначале сильно зависят от исследуемого параметра, затем при некотором значении K_1 или K_2 детали становятся равнопрочными, напряжения достигают своей предельной величины и, далее, практически не увеличиваются. Коэффициент K_3 позволяет определить зависимость контактных напряжений от геометрических параметров обеих деталей. Увеличение толщины слоев приводит к увеличению напряжений в контакте, характер зависимостей аналогичен ранее рассмотренным.

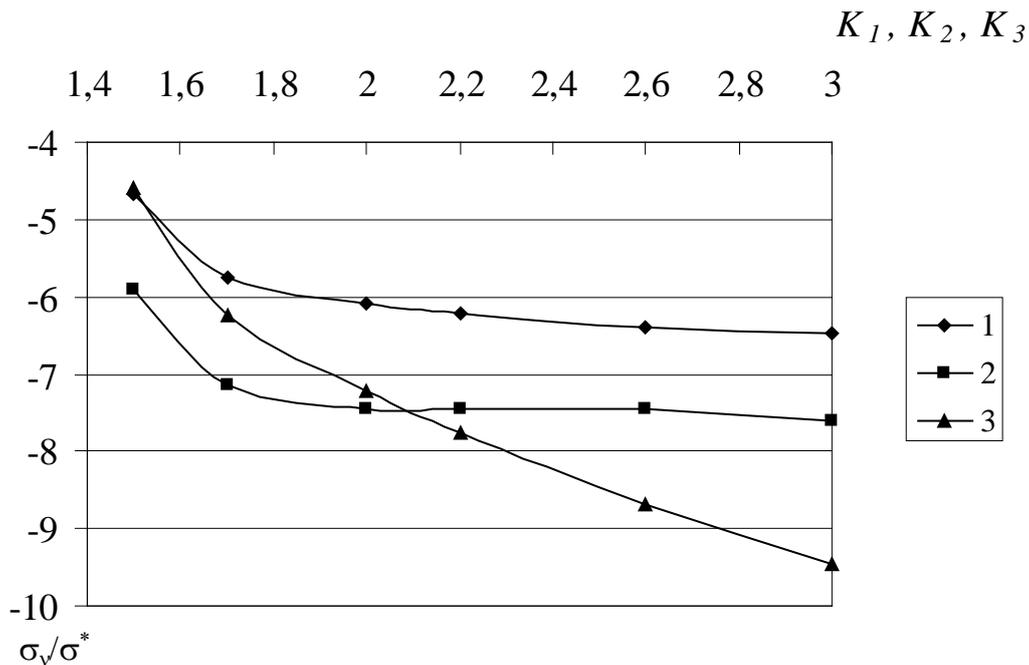


Рис. 2. Влияние геометрических коэффициентов на величину напряжений в контакте в среднем сечении соединения:
1 – коэффициент K_1 ; 2 – коэффициент K_2 , 3 – коэффициент K_3

Полученные результаты показывают, что при изменении геометрических параметров соединения – коэффициентов K_1 , K_2 и K_3 величина напряжений в контакте варьируется в широких пределах, что позволяет уменьшить массу переходника за счет уменьшения толщины деталей. Весомости M_1 , M_2 и M_3 соответственно равны 1,2; 1,14 и 3,24, что указывает на максимальное влияние

коэффициента относительной жесткости слоев соединения. Однако необходимо не допустить превышение предела прочности соединения $\sigma_v/\sigma^*=19$.

Удельный вес γ биметаллического переходника определяется средневзвешенным значением плотностей материалов слоев γ_2/γ_1 по отношению к коэффициентам K_1 и K_2 соотношением (7):

$$\gamma = \frac{\left(1 - \frac{1}{K_1^2}\right) + (K_2^2 - 1) \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_1}}{K_2^2 - \frac{1}{K_1^2}}, \quad (7)$$

Для переходника ВТ6-12Х18Н10Т отношение $\gamma_2/\gamma_1=0,56$, тогда удельный вес γ изменяется в пределах от 0,58 при $K_1=1,5$ и $K_2=3$ до 0,74 при $K_1=3$ и $K_2=1,5$. Так как в дальнейшем переходник подвергается механической обработке, поэтому γ влияет на коэффициент использования материала и технологическую себестоимость.

Увеличение коэффициента K_4 приводит к значительному повышению величины напряжений в контакте по экспоненциальной зависимости (рис. 3), что показывает на значительное влияние упругости охватывающей детали по сравнению с охватываемой на качество сварки. Весомость $M_4 = 5,7$ показывает большее влияние упругих свойств на давление сварки.

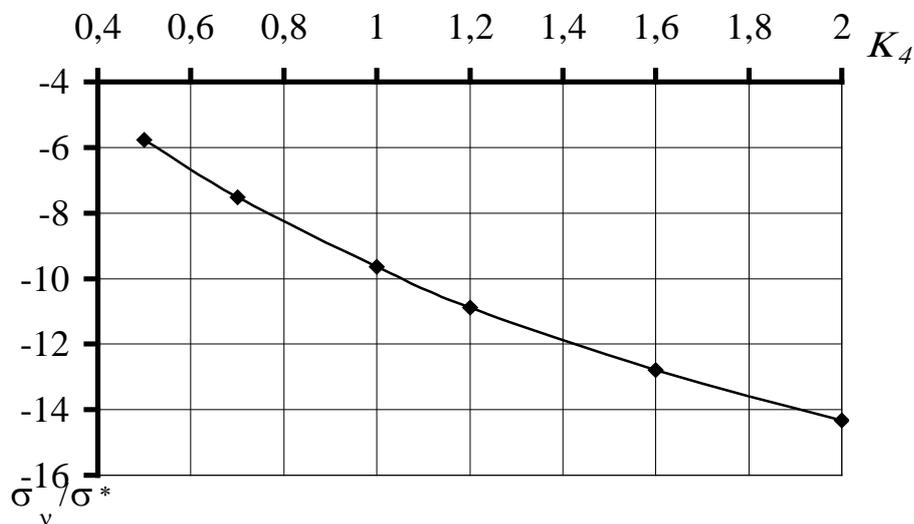


Рис. 3. Влияние коэффициента K_4 на величину напряжений в контакте в среднем сечении соединения

Зависимости $\sigma_v/\sigma^*(K_5)$ и $\sigma_v/\sigma^*(K_6)$ показывают, что при $K_5 < 0,7$ и $K_6 > 1$ напряжения в контакте уменьшаются, а при $K_5 > 0,7$ и $K_6 < 1$ – увеличиваются (рис. 4, рис. 5). Кроме того, при значении $K_6 \approx 1,1$ наблюдается отставание и $\sigma_v=0$, а при $K_6 < 0,75$ достигают предела прочности соединения равного

$\sigma_T/\sigma^*=19$ и могут привести к разрушению сварного шва. Таким образом, расчетами показано о необходимости расположения детали с меньшим коэффициентом температурного расширения снаружи, а большим – внутри.

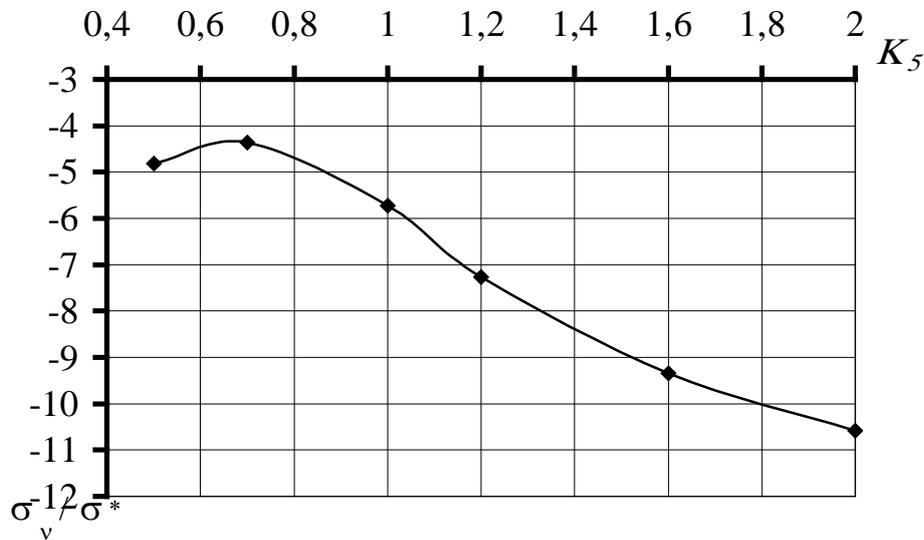


Рис. 4. Влияние коэффициента K_5 на величину напряжений в контакте в среднем сечении соединения

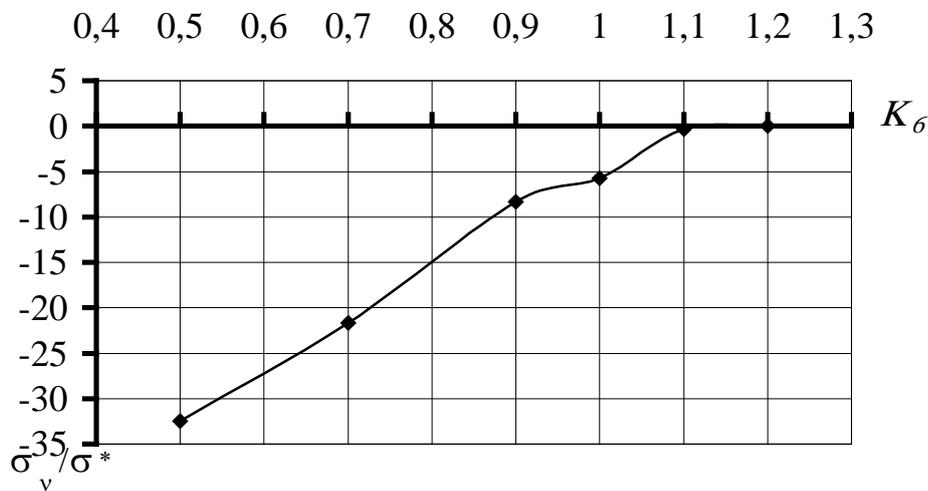


Рис. 5. Влияние коэффициента K_6 на величину напряжений в контакте в среднем сечении соединения

Весомости M_5 и M_6 соответственно равны 3,87 и 46,11, что указывает на преобладающее влияние коэффициента K_6 на давление в соединении. Необходимо определить диапазон значений при которых остаточные напряжения не разрушат соединение (рис. 6, 7). Из графических зависимостей видно, что остаточные нормальные напряжения σ_v/σ^* , возникающие в направлении нормали к поверхности контакта (рис. 6), при $K_6 < 1$ являются

растягивающими, и уже при $K_\sigma=0,8$ достигают предела прочности соединения равного $\sigma_T/\sigma^*=19$ и могут привести к разрушению сварного шва; при $K_\sigma>1$ напряжения – сжимающие и оказывают положительное влияние на эксплуатационные характеристики соединения, при $K_\sigma=1$ – напряжения равны 0.

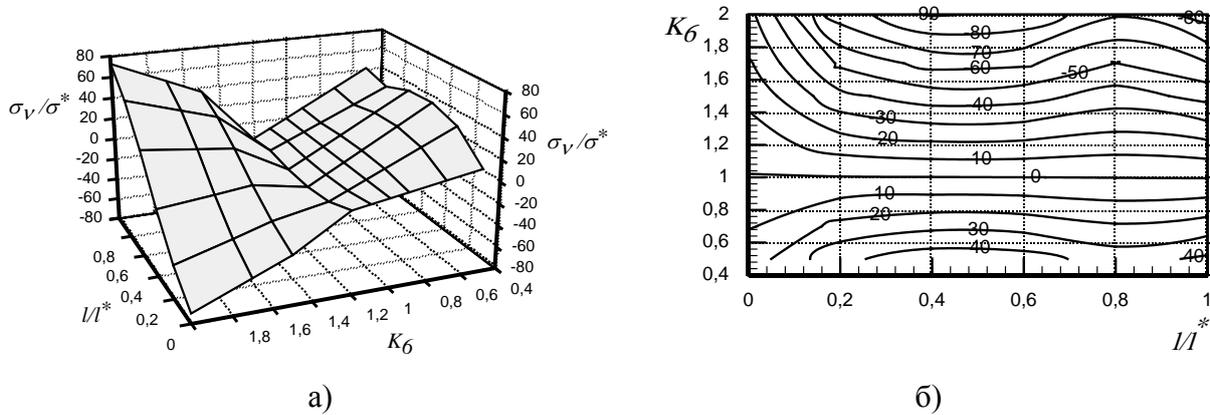


Рис. 6. Влияние коэффициента K_σ на величину остаточных нормальных напряжений:
 а – распределение нормальных напряжений;
 б– контурный график зависимости $\sigma_v(K_\sigma, l/l^*)$

Касательные напряжения σ_T/σ^* равны 0 в среднем сечении соединения, увеличиваются к его краям, равны по модулю и противоположны по знаку (рис. 7). При некотором значении l/l^* величина напряжений может превышать предел прочности соединения на срез, равный $0,5...0,8(\sigma_T/\sigma^*)=10...15$, и привести к его разрушению по краям. Таким образом, величина остаточных напряжений зависит не только от коэффициента K_σ , но и от длины соединения.

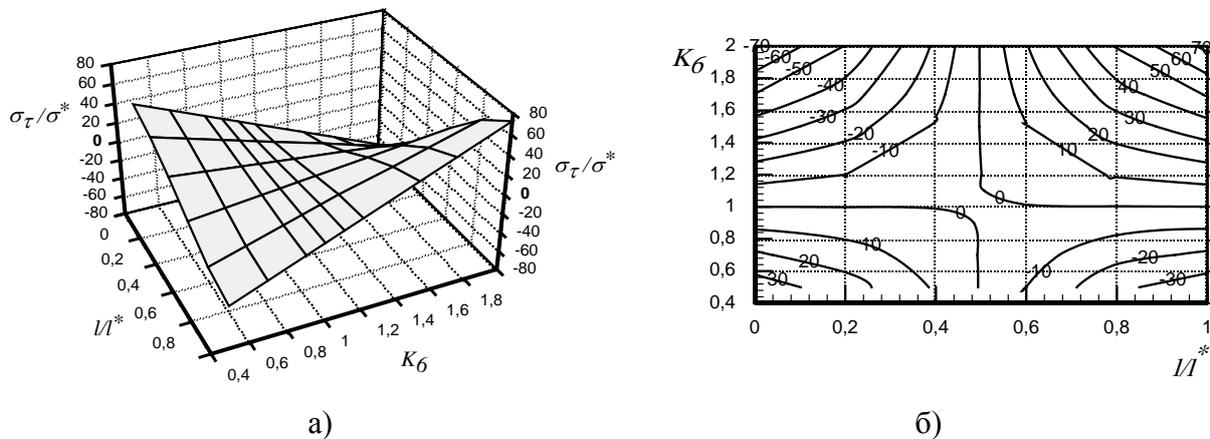


Рис. 7. Влияние коэффициента K_σ на величину остаточных касательных напряжений:
 а – распределение касательных напряжений;
 б– контурный график зависимости $\sigma_T(K_\sigma, l/l^*)$

Анализ остаточных напряжений показал, что качественная сварка возможна с $0,8 < K_{\sigma} < 1,1$ без применения обоймы и остальные значения – с обоймой, у которой коэффициент температурного расширения низкий.

Выводы. На основе анализа существующих методов определения качества изделий, была выбрана методика средневзвешенной оценки качества биметаллических переходников, проанализирована структура показателей свойств качества переходников различного назначения, определено влияние технологических параметров на качество переходников.

Библиографические ссылки

1. Андрианов, Ю. М. Квалиметрия в приборостроении и машиностроении [Текст] / Ю. М. Андрианов, А. И. Субетто. – Л. : Машиностроение, 1990. – 216 с.
2. Карпович, І. І. Задача оптимізації в технології машинобудування [Текст] / І. І. Карпович // Машинознавство. – 1999. – № 11. – С. 29-31.
3. Карпович, І. І. Многофакторная оптимизация технологических процессов [Текст] / І. І. Карпович // Технічні науки: проблеми теорії та практики : збірник наукових праць / М-во освіти і науки України. – Днепропетровск, 1999. – Вып. 1. – С. 38-41.
4. Карпович, Е. В. Комплексные показатели в задачах термоупругопластичности [Текст] / Е. В. Карпович, С. А. Чернецкий, І. І. Карпович // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2010. – Вып. 5. – С. 123-129.
5. Казаков, Н. Ф. Диффузионная сварка материалов [Текст] / Н. Ф. Казаков. – М. : Машиностроение, 1976. – 312 с.
6. Рябов, В. Р. Сварка разнородных металлов и сплавов [Текст] / В. Р. Рябов, Д. М. Рабкин, Р. С. Курочко, Л. Г. Стрижевская. – М. : Машиностроение, 1984. – 239 с.
7. Гуревич, С. М. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов [Текст] / С. М. Гуревич, В. Н. Замков, В. Е. Блащук. – К. : Нукова думка, 1986. – 240 с.
8. Чернецкий, С. А. Математическое моделирование процесса диффузионной сварки соединений с развитыми поверхностями контакта [Текст] / С. А. Чернецкий, Е. В. Карпович // Космічна наука і технологія. – 2003. – Т. 9, № 1. – С. 150-158.

Надійшла до редколегії 8.05.2015