

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Игнатова Е.В.

Научный руководитель доцент Цумарев Ю.А.

Белорусско-Российский университет, г. Могилев

В современной промышленности пайка является важным технологическим процессом получения неразъемных соединений, применение которого имеет тенденцию к постоянному расширению. Поэтому особую важность приобретают вопросы повышения работоспособности паяных соединений, в том числе их статической прочности. Столь серьезная проблема, связанная с повышением работоспособности, может быть решена только при системном подходе, как к получению паяных изделий, так и к анализу их свойств. Пайка относится к ответственному, подлежащим систематическому контролю и эффективному управлению, технологическим процессам, качество которых нельзя определить только методами контроля. Поэтому проектирование паяной конструкции является важнейшим этапом создания паяной конструкции, в основе которого лежит конструкторская и технологическая информация.

Проведенный С.В. Лашко и Н.Ф. Лашко еще в 1974 г. анализ патентной информации, которая является характеристикой инновационного развития в любой

области, в том числе и в пайке, показал, что наибольшее количество разработок связано с технологией, а изобретения конструкторского характера практически отсутствуют [1]. Несколько позже на недостаточное количество исследований, посвященных конструированию и прочности паяных соединений, указал и И.Е. Петрунин [2]. В настоящее время положение с научно-технической информацией по проектированию паяных конструкций несколько не улучшилось. Это серьезным образом сдерживает совершенствование и дальнейшее развитие пайки. Основной причиной такого положения дел является недостаточно корректный подход к расчету и оценке прочности паяных соединений комбинированного типа, которые как раз и могли бы составить основу новых, более эффективных конструктивных решений в пайке.

Основными типами комбинированных паяных соединений являются соединения, показанные на рисунке 1. К ним относятся косостыковые (а), ступенчатые (б), гребенчатые (в) соединения, а также нахлесточные соединения со шпонкой (г). При оценке несущей способности таких соединений ряд авторов, не приводя никаких обоснований, выделяют ступенчатые, гребенчатые, а также соединения со шпонкой, считая их «механически усиленными» [3]. Трудно согласиться с таким подходом к оценке прочности этих соединений по следующей причине. Авторы работы [3] на стр. 6 указывают: «Припой в ПС, как правило, по прочности уступает основному материалу». Предположим, что при этом выполняется соотношение:

$$\sigma_n / \sigma_\sigma = \beta, \quad (1)$$

где σ_σ и σ_n - соответственно пределы прочности основного металла и паяного шва при растяжении;

β - коэффициент, показывающий, во сколько раз прочность паяного шва меньше прочности основного металла.

Тогда максимальная нагрузка, воспринимаемая основным металлом:

$$P_{\text{ом}} = \sigma_\sigma F_0, \quad (2)$$

где F_0 - площадь поперечного сечения соединения.

Нагрузку, воспринимаемую стыковым швом ступенчатого паяного соединения при его частичном разрушении по основному металлу (например, по сечению А - А, рисунку 1 б), определим суммированием:

$$P_{\text{ш}} = 0,5\sigma_\sigma F_0 + 0,5\sigma_n' F_0 = 0,5F_0\sigma_\sigma \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3)$$

Очевидно, что $\beta > 1$, т.е., $1 + \frac{1}{\beta} < 2$, поэтому $P_{\text{ш}} < P_{\text{ом}}$. Значит, сечения А - А, и

Б - Б в паяных соединениях, которые показаны на рисунке 1б, 1в, и 1г, будут ослабленными по сравнению с основным материалом. Следовательно, при воздействии полезной нагрузки эти паяные соединения разрушатся по указанным сечениям, причем разрушение произойдет частично по паяному шву, а частично по основному материалу. Таким образом, ступенчатое, гребенчатое паяное соединение, либо соединение со шпонкой принципиально не могут обеспечить равнопрочности и нет оснований рассматривать их как усиленные.

Данные результаты анализа несущей способности можно использовать для разработки новых, более прочных конструкций паяных комбинированных соединений. Очевидно, что прочность соединения возрастет, если стыковые паяные швы этих соединений не будут располагаться в одной плоскости, например, в плоскости А - А. Смещая стыковые паяные швы друг относительно друга получим более прочное соединение, которое схематично показано на рисунке 2.

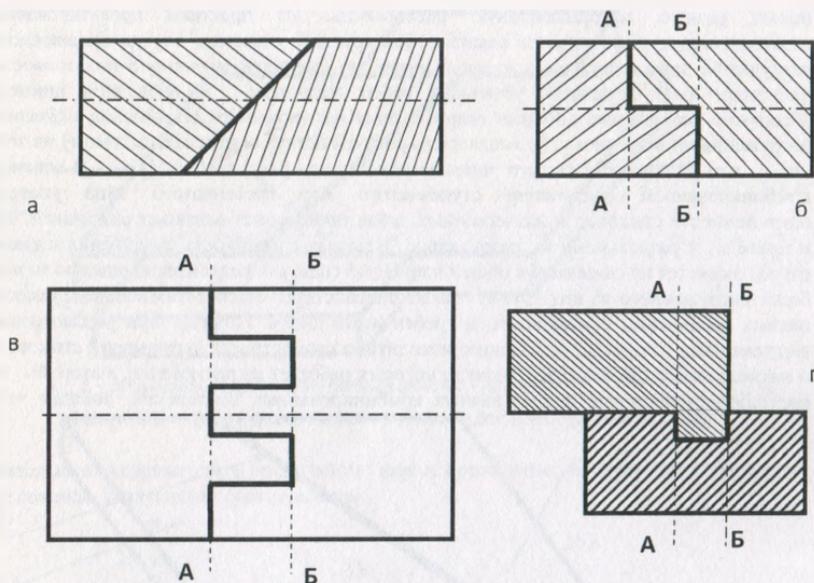


Рисунок 1 – Схемы комбинированных паяных соединений

а – косостыкового; б – ступенчатого; в – гребенчатого; г - нахлесточного соединения со шпонкой

Степень ослабления такого соединения, обусловленная пониженной прочностью стыкового паяного шва, обратно пропорциональна количеству выполненных ступеней. По аналогии с результатами (3) и (4) при одинаковых ступенях для произвольного сечения А – А разрушающую нагрузку упрочненного ступенчатого соединения можно записать следующим образом:

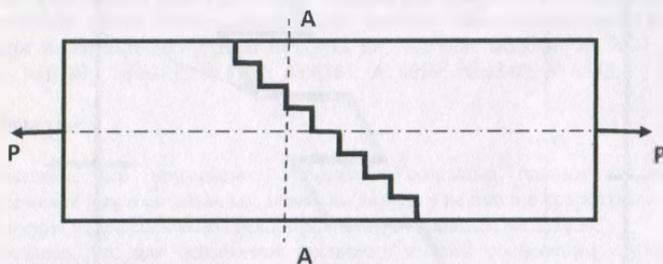


Рисунок 2 – Схема ступенчатого паяного соединения с повышенной несущей способностью.

$$P_{cm} = F_0 \sigma_0 \left(1 - \frac{1}{n} + \frac{1}{n\beta}\right), \quad (4)$$

где n - количество стыковых швов в соединении.

Еще одной проблемой в оценке прочности ступенчатых и гребенчатых соединений, не нашедшей своего разрешения, является степень равномерности распределения нагрузки между стыковыми и нахлесточными паяными швами, которые

имеют разную деформационную способность. Из практики проектирования, изготовления и эксплуатации сварных конструкций известны случаи мгновенного разрушения даже одинаковых сварных швов, но имеющих различную податливость, например, из-за неудачной установки ребер жесткости. В последнем примере абсолютно одинаковые лобовые сварные швы нахлесточного соединения оказались нагруженными по-разному, большая часть рабочей нагрузки передалась одному из этих швов, что и привело к его преждевременному разрушению [4]. В паяном комбинированном соединении ступенчатого или гребенчатого типа уровень нагруженности стыковых и нахлесточных швов также может оказаться различным, что и приведет к раздельному их разрушению. Несущая способность соединения в таком случае окажется не связанной с общей площадью спая, а определится площадью только более нагруженного из них. Этому также способствует статическая неопределимость паяных соединений ступенчатого и гребенчатого типов. Поэтому при рассмотрении напряженного состояния необходимо исходить из совместности деформаций стыкового и нахлесточного паяных швов, один из которых работает на растяжение, а второй – на срез. Деформационный анализ паяных комбинированных соединений показал, что

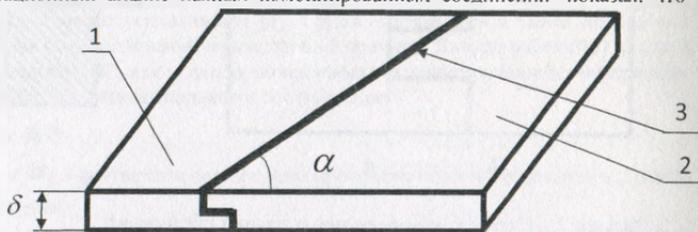


Рисунок 3 - Схема ступенчатого паяного соединения с повышенной несущей способностью

1, 2 – соединяемые детали; 3 – паяный шов

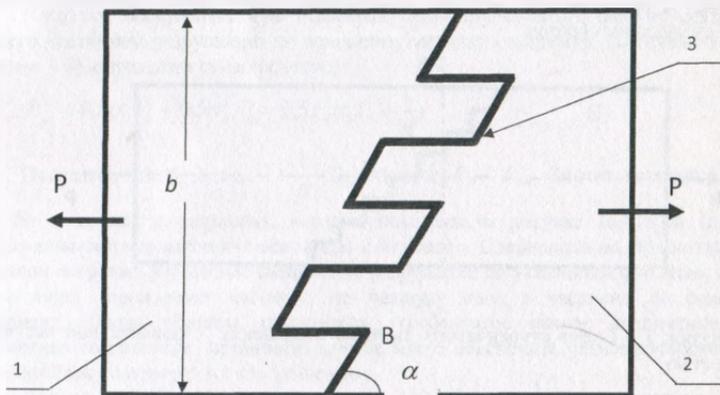
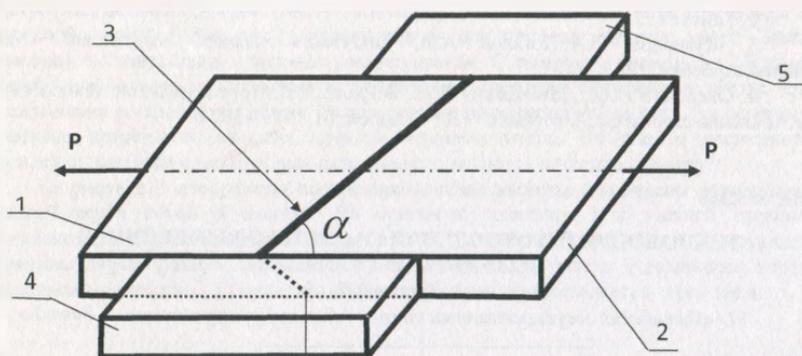


Рисунок 4 - Схема гребенчатого паяного соединения с повышенной несущей способностью

1, 2 – соединяемые детали; 3 – паяный шов



1, 2 – соединяемые детали; 3 – паяный шов; 4,5 - накладки

Рисунок 5 – Схема косостыкового паяного соединения с накладками

касательные напряжения в продольном шве и нормальные напряжения в стыковом шве связаны следующим соотношением:

$$\tau = \frac{\sigma}{2(1 + \mu)} \quad (5)$$

где τ – касательные напряжения в продольном шве;

σ – нормальные напряжения в стыковом паяном шве;

μ – коэффициент Пуассона.

Таким образом, выражение (5) показывает, что нахлесточные и стыковые швы в паяных ступенчатых, а также гребенчатых соединениях нагружены не одинаково. Нормальные напряжения стыковых швов в 2,5...2,7 раза превышают уровень касательных напряжений, возникающих в швах, параллельных продольной нагрузке. Поэтому при конструировании комбинированных соединений для достижения равнопрочности лучше использовать сочетание продольных швов с косостыковыми. Наиболее характерные примеры таких соединений приведены на рисунках 3 – 5. Разработанные нами новые конструкции паяных комбинированных соединений защищены патентами Республики Беларусь на полезные модели № 5627; № 5675; № 5952; № 6380; № 6381; № 6382; № 6384; № 6539; № 6540; № 6543.

Выводы:

1. Показано, что применение термина «Усиленные паяные соединения» к ступенчатым и гребенчатым соединениям является не вполне корректным, т.к. такие соединения не обеспечивают равнопрочности с основным металлом;
2. Показано, что для повышения прочности паяных соединений ступенчатого и гребенчатого типов необходимо конструировать их таким образом, чтобы их стыковые паяные швы не располагались в одной плоскости;
3. Предложены новые конструкции паяных комбинированных соединений, обеспечивающие повышение прочности за счет сочетания косостыковых сварных швов с продольными.

Список литературы

1. Пайка: опыт, искусство, наука. Сборник докладов научно-технических конференций за 1967-2002 гг. М.: Альфа-Доминанта.- 2005. Т. 1.- с. 26.

2. Там же с. 28.

3. Кузнецов О.А., Погалов А.И. Прочность паяных соединений.- М.: Машиностроение, 1987.- 112 с.

4. Окерблом Н.О., Демянцевич В.П., Байкова И.П. Проектирование технологии изготовления сварных конструкций. – Л.: Судпромгиз. 1963.- 602 с.