

## ПРЕИМУЩЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Пайка является важным технологическим процессом, который широко применяется на предприятиях автотракторного и сельскохозяйственного машиностроения, приборостроения и радиоэлектроники, химической промышленности и транспорта Республики Беларусь.

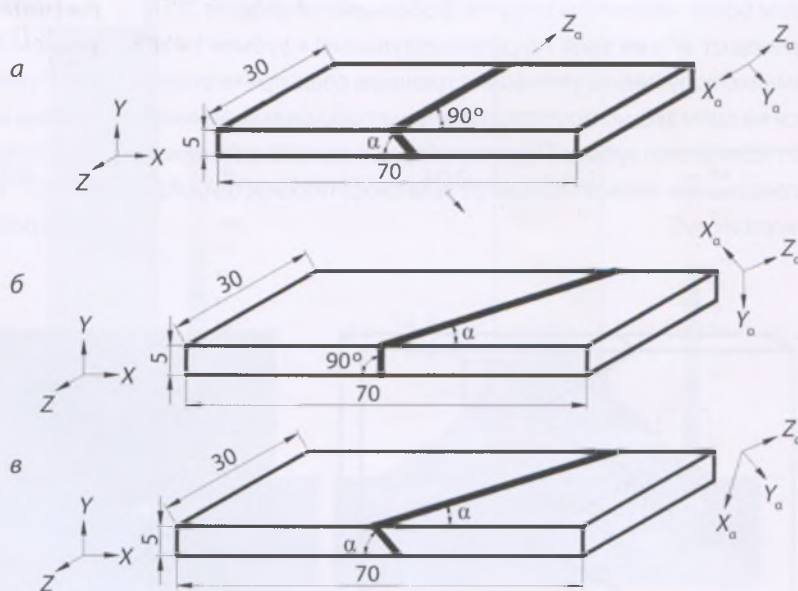
Особенно велико ее значение для соединения таких конструкционных материалов, как специальные сплавы, цветные металлы, разнородные материалы, материалы, которые имеют значительную разницу в толщине соединяемых элементов, а также материалы, имеющие защитные покрытия, (например, цинковые).

Благодаря пайке удается не только быстро создавать технологические процессы для соединения конкретных сочетаний любых материалов, в том числе вновь разработанных сплавов, но и обеспечивать экономию ресурсов при выпуске продукции.

Накопленный в технике создания неразъемных соединений опыт показал, что обеспечение надежной работы металлических конструкций чисто металлургическим путем не только требует значительных затрат, но и не гарантирует получение требуемого результата [1]. По мнению авторов работы [1] использование конструктивных или конструктивно-металлургических подходов позволяет получить гораздо лучшие результаты как по несущей способности, так и по показателям надежности, долговечности, способности сопротивляться хрупким разрушениям. Поэтому в развитии пайки, расширении объемов ее применения и повышении качества изделий большое значение имеют действующие стандарты, которые дают основные рекомендации по конструированию паяных соединений. Важнейшим из них является ГОСТ 19249-73 [2], который на протяжении длительного периода времени обеспечивал потребности специалистов в области конструирования паяных изделий. Однако в последнее время появились новые типы соединений, которые обладают заметными преимуществами перед теми, которые приведены в этом стандарте. В связи с большой важно-

стью данного вопроса для специалистов, работающих в области пайки, авторы предлагают дополнить действующий стандарт [2] рядом новых разновидностей паяных соединений, разработанных в Республике Беларусь [3] – [8].

Косостыковые соединения, которые обеспечивают высокие показатели работоспособности, нашли широкое применение в промышленности. Этот тип соединения представлен в ГОСТ 19249-73 двумя вариантами, которые имеют условные обозначения ПВ-3 и ПВ-4. Вариант, обозначенный как ПВ-3, представляет собой соединение пластин, скошенных по толщине (рисунок 1, а), а в соединении типа ПВ-4 заготовки сопрягаются друг с другом по коническим поверхностям. Специалисты отмечают [9], [10], что соединения, скошенные по толщине, применяют только при больших толщинах соединяемых элементов. Чтобы расширить возможности практического применения косостыковых соединений, которые по данным работ [9], [11] обеспечивают высокую степень равномерности распределения рабочих напряжений в изделии, были разработаны конструкции соединений, кромки которых скошены по ширине соединяемых



а – скошенного по толщине деталей; б – скошенного по ширине деталей; в – скошенного как по толщине, так и по ширине соединяемых деталей

Рисунок 1 – Схемы паяных косостыковых соединений

деталей (рисунок 1, б), либо одновременно по их ширине и толщине (рисунок 1, в) [3]. При исследовании напряженно-деформированного состояния было установлено, что по характеристикам несущей способности и равномерности распределения рабочих напряжений паяное соединение, показанное на рисунке 1, б, не уступает стандартному соединению типа ПВ-3, которое показано на рисунке 1, а. Что касается косостыкового соединения, приведенного на рисунке 1, в, то оно превосходит по показателям несущей способности те соединения, которые изображены на рисунках 1, а и 1, б.

Можно также отметить, что косостыковое паяное соединение с кромками, скошенными по ширине (рисунок 1, б), более технологично в производстве, чем соединение, в котором кромки скошены по толщине, так как заготовки для него не требуют операции фрезерования и могут быть просто отрезаны на гильотинных ножницах.

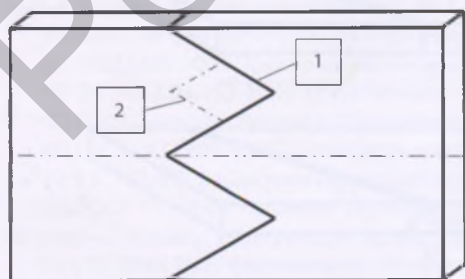
Существенным недостатком паяных соединений, скошенных по ширине, является большой объем отходов, особенно при малых углах скоса. Поэтому данный прием может быть успешно реализован только при пайке узких полос. Для того чтобы расширить область возможного применения косостыковых соединений, авторами предложена конструкция, показанная на рисунке 2. Это паяное соединение (зубчатое) сохраняет все преимущества косостыковых соединений известных типов, но является более экономичным. При его выполнении можно использовать зубья двух типов: крупные (на рисунке 2 они обозначены цифрой 1) или более мелкие (на рисунке 2 обозначены цифрой 2). Переход от зубьев типа 1 (крупномодульных) к зубьям типа 2 (мелкомодульным) уменьшает площадь спаев, приходящуюся на один зуб, но пропорциональным образом увеличивает количество зубьев. Поэтому несущая способность такого соединения зависит только от угла скоса плоскостей, образующих зуб.

Распределение осевых напряжений в паяном соединении зубчатого типа показано на рисунке 3. Оно характеризуется практически однородным распределением напряжений в основном металле и в паяном шве. Незначительная концентрация напряжений (меньше 10 %) наблюдается только у вершин зубьев такого соединения. Такой характер распределения рабочих напряжений свидетельствует о перспективности применения паяных соединений такой конструкции в изделиях различного назначения, работающих в условиях воздействия не только статических, но и динамических нагрузок.

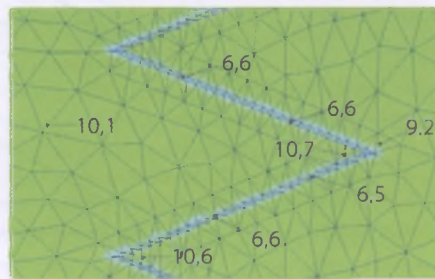
По нашему мнению, схема, характерная для зубчатых косостыковых соединений, может быть успешно использована при пайке труб (рисунок 4). Следует отметить, что наличие зубьев создает предпосылки для достижения высокой работоспособности в условиях воздействия крутящего момента, что особенно важно при проведении буровых работ, особенно в проходке глубоких нефтяных скважин [5], [12]. Поэтому авторы предлагают дополнить ГОСТ 19249-73 паяным соединением, показанным на рисунке 4.

Хорошо сопротивляется воздействию скручивающих нагрузок и паяное соединение, показанное на рисунке 5. Оно характеризуется наличием плоского стыка и муфты, благодаря чему при работе на кручение максимальные напряжения будут возникать не в паяном шве, а в основном металле. Предпосылки к этому создает отсутствие осевой симметрии паяного шва в конструкции соединения. Авторы считают, что дополнение ГОСТ 19249-73 паяным соединением, показанным на рисунке 5, расширит возможности конструкторов при создании экономичных изделий с высокими характеристиками работоспособности.

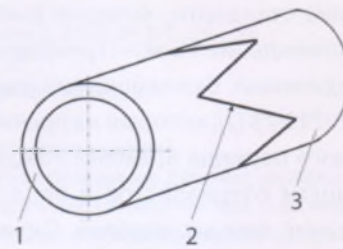
Паяные соединения таврового типа представлены в ГОСТ 19249-73 двумя разновидностями, которые имеют условные обозначения ПТ-1 и ПТ-2. Соединение типа



**Рисунок 2 – Схема зубчатого стыкового паяного соединения**

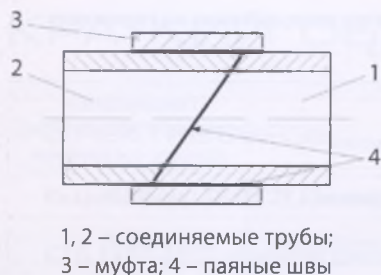


**Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений в паяном соединении зубчатого типа**



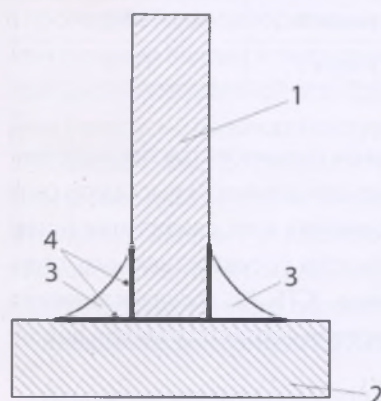
1, 3 – соединяемые трубы;  
2 – паяный шов

**Рисунок 4 – Зубчатое паяное соединение труб**



1, 2 – соединяемые трубы;  
3 – муфта; 4 – паяные швы

**Рисунок 5 – Схема косостыкового паяного соединения труб с плоским стыком**



1, 2 – соединяемые трубы;  
3 – галтели; 4 – паяные швы

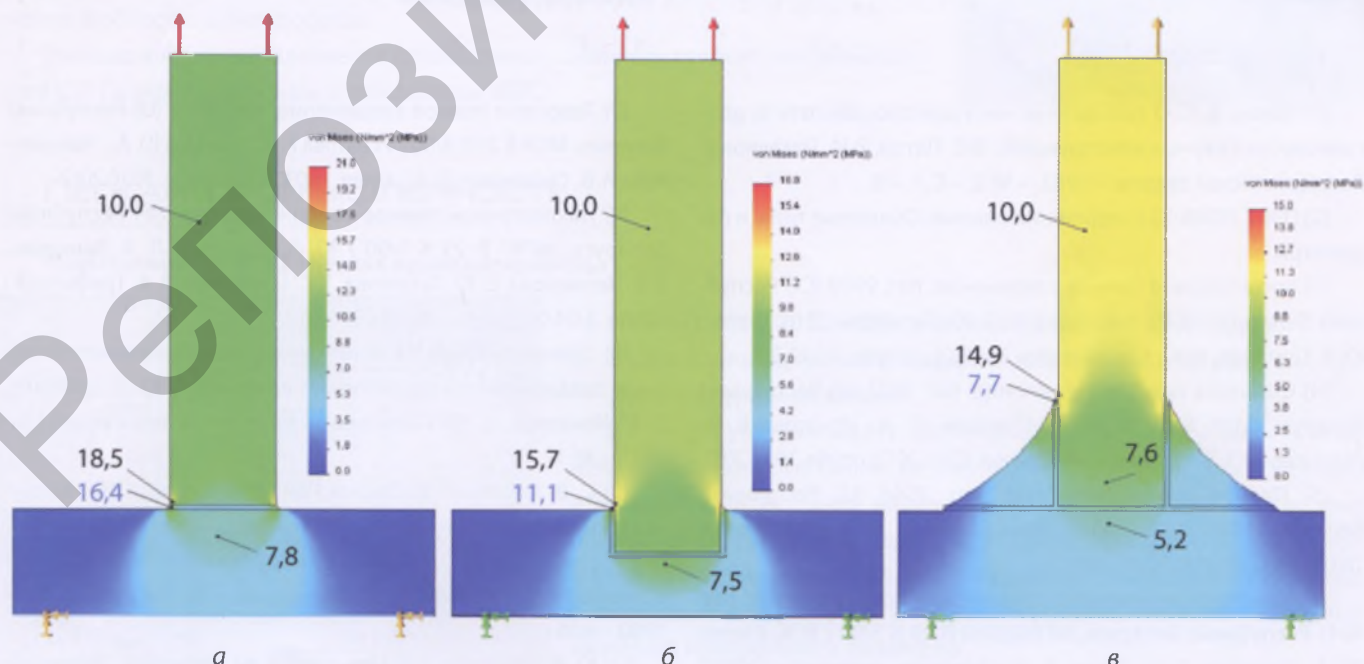
**Рисунок 6 – Схема паяного таврового соединения с галтелями**

ПТ-1 имеет низкие показатели работоспособности, что обусловлено высокой концентрацией напряжений и малой площадью спая. Паяное соединение типа ПТ-2 требует сложной подготовки кромок в виде канавки в одной из соединяемых деталей. Кроме того, данная канавка ослабляет сечение детали и тем самым снижает прочность изделия в целом. Для устранения указанных недостатков авторами разработана конструкция таврового паяного соединения с галтелями, показанная на рисунке 6. Основной особенностью конструкции такого паяного соединения является наличие дополнительных элементов в виде галтелей, припаяваемых к каждой из соединяемых деталей паяными швами (4).

Сравнительный конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния показал, что применение таврового соединения, показанного на рисунке 6, обеспечивает снижение уровня эксплуатационных напряжений в паяных швах не менее чем на 30 % по сравнению с величиной напряжений в соединениях ПТ-1 и ПТ-2 (рисунок 7). Поэтому такое соединение также должно быть представлено в ГОСТ 19249-73.

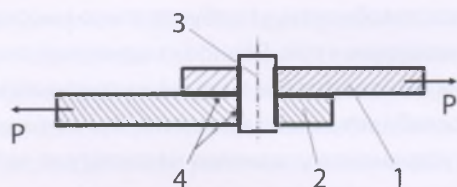
В практике пайки широко применяются паяные соединения пластин нахлесточного типа, которые представлены тремя разновидностями: ПН-1, ПН-2 и ПН-3. Общим недостатком этих паяных соединений является низкая прочность, для повышения которой рекомендуется увеличивать длину нахлестки. Однако ее увеличение повышает массу соединения в целом и способствует пропорциональному росту расхода припоя при изготовлении паяного изделия.

Чтобы устранить указанный недостаток, было разработано паяное нахлесточное соединение, упрочненное стержнями из конструкционного материала, припаяваемыми к каждой из соединяемых деталей (см. рисунок 8). Упрочняющее действие стержней можно регулировать путем изменения диаметра стержня и материала, из которого он изготовлен. Кроме того, можно варьировать



а – ПТ-1; б – ПТ-2; в – паяное тавровое соединение с галтелями

**Рисунок 7 – Распределение эквивалентных напряжений в тавровых паяных соединениях**



1, 2 – соединяемые детали;  
3 – укрепляющий стержень; 4 – паяные швы

**Рисунок 8 – Схема паяного нахлесточного соединения с укрепляющим стержнем**

ровать и количество стержней. Характерной особенностью конструкции данного паяного соединения является то, что прочность припоя, используемого для припаивания укрепляющих стержней, практически не влияет на прочность соединения в целом. Это обстоятельство позволяет более успешно применять легкоплавкие припои в паяных изделиях, что, в свою очередь, обеспечивает минимальное термическое воздействие и создает предпосылки для пайки деталей с защитными покрытиями (например, цинковыми). Поэтому дополнение ГОСТ 19249-73 конструкцией нахлесточного паяного соединения, показанного на рисунке 8, будет способствовать расширению объемов применения пайки, снижению расхода ресурсов на изготовление паяных изделий, повысит их экономичность и качество.

Предлагаемые в ГОСТ 19249-73 дополнения сведены в таблицу 1.

## ЛИТЕРАТУРА

[1] Патон, Б. Е. О повышении несущей способности и долговечности сварных конструкций / Б.Е. Патон, В.И. Труфяков // Автоматическая сварка. – 1982. – № 2. – С. 1 – 6.  
[2] ГОСТ 19249-73 Соединения паяные. Основные типы и параметры.  
[3] Косостыковое паяное соединение: пат. 9999 (С1) Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> В 23 К 3/00 / Е. Ю. Латыпова, В. К. Шелег, Ю. А. Цумарев, Н. Ю. Борд ; заявл. 31.05.05 ; опубл. 30.12.07.  
[4] Стыковое паяное соединение: пат. 8612 (U) Республика Беларусь, МПК В 23 К 3/00 / Цумарев Ю. А., Игнатова Е. В., Латыпова Е. Ю., Тюльменкова И. В.; заявл. 12.03.2012; опубл. 30.10.2012.  
[5] Паяное соединение труб: пат. 7546 (U) Республика Беларусь, МПК В 23 К3/00 / Попковский В. А. [и др.] ; заявл. 18.02.2011 ; опубл. 30.08.2011.  
[6] Конструкция паяного соединения трубопровода: пат. 4941 Республика Беларусь, МПК(2006) В 23 К 3/00 / В. К. Шелег, Ю. А. Цумарев, Т. С. Латун, Е. Н. Цумарев; заявитель ГУВПО Белорусско-Российский университет. – № 20080421 ; заявл. 29.05.08; опубл. 30.12.08.

**Таблица 1 – Предложения по дополнению материалов ГОСТ 19249-73**

| № п/п | Тип паяного соединения         | Предлагаемое условное обозначение паяного соединения |
|-------|--------------------------------|--|
| 1     | В соответствии с рисунком 1, б | ПВ-5   |
| 2     | В соответствии с рисунком 1, в | ПВ-6   |
| 3     | В соответствии с рисунком 2    | ПВ-7   |
| 4     | В соответствии с рисунком 4    | ПВ-8   |
| 5     | В соответствии с рисунком 5    | ПВ-9   |
| 6     | В соответствии с рисунком 6    | ПТ-3   |
| 7     | В соответствии с рисунком 8    | ПН-7   |

В этой связи приглашаем специалистов промышленности, науки и других сфер деятельности высказать свое мнение о данных предложениях и их реализации путем разработки предварительного государственного стандарта Республики Беларусь (СТБ П), государственного стандарта (СТБ) либо внесения соответствующих дополнений в ГОСТ 19249-73.

**Ю. А. ЦУМАРЕВ**, канд. техн. наук, Белорусско-Российский университет

**Е. В. ИГНАТОВА**, инженер, Белорусско-Российский университет

**Т. С. ЛАТУН**, инженер, Белорусско-Российский университет

**В. К. ШЕЛЕГ**, докт. техн. наук, Белорусский национальный технический университет

[7] Тавровое паяное соединение: пат. 8579 (U) Республика Беларусь, МПК В 23 К 3/00 / Игнатова Е. В., Цумарев Ю. А., Тюльменкова И. В., Олешкевич Д. А.; заявл. 15.03.2012 ; опубл. 30.10.2012.  
[8] Нахлесточное паяное соединение: пат. 784 Республика Беларусь, МПК В 23 К 1/00 / Ю. А. Цумарев, Л. Я. Зинкевич, Е. В. Червякова, Е. Ю. Латыпова, Т. С. Цумарева, В. А. Трифунтов ; заявл. 2.04.02 ; опубл. 30.03.03.  
[9] Цумарев, Ю. А. Сравнительная оценка прочности паяных соединений со скошенными кромками / Ю. А. Цумарев, Е. В. Игнатова, Е. Ю. Латыпова // Сварочное производство. – 2011. – № 11.  
[10] С. В. Лашко, Н. Ф. Лашко. Пайка металлов. – М. : Машиностроение. – 1988. – 324 с.  
[11] Николаев, Г. А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Г. А. Николаев, В. А. Винокуров. – М.: Высшая школа. – 1990. – 446 с.  
[12] Ю. А. Цумарев, Е. В. Игнатова, Е. Ю. Латыпова. Эволюция паяного косостыкового соединения // Сварочное производство. – 2012. – № 9. – С. 43 – 46.