

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.А. Чеканов, И.А. Титов

*В работе приведены результаты исследований влияния технологических параметров на качество и долговечность соединений листовых деталей пластическим деформированием соединяемых элементов.*

Среди способов соединения листовых деталей при сборке особое место занимают способы, в которых соединяемые элементы пластически деформируются, обеспечивая достаточно прочное и долговечное соединение. К этим способам относятся холодная прессовая сварка, ротационное локальное деформирование, сборка методами ОМД (осадка, раздача, обжим), сборка недеформируемыми элементами (рис. 1). Наиболее широкими технологическими возможностями обладают методы сборки недеформируемыми элементами, позволяющие получать соединения с общей толщиной соединяемых деталей 2 – 10 мм без предварительной подготовки отверстий в соединяемых деталях [2, 3]. При этом используются специальные заклепки, которые могут либо изменять свою форму, либо не деформироваться в процессе постановки. При этом недеформируемые заклепки являются одновременно и элементом, образующим отверстие, и соединительным элементом.

Главными достоинствами этих способов является возможности получения соединений деталей из металлов, имеющих неудовлетворительную свариваемость, соединений деталей из разнородных металлов, когда применение сварки невозможно, а клеевые соединения не обеспечивают необходимой прочности, а также соединений металлических изделий с неметаллическими материалами.

В настоящее время в литературе отсутствуют рекомендации по выбору технологических параметров при получении соединений, выбору материалов соединительных элементов, сведения по прочности и долговечности подобных соединений.

Как показали проведенные исследования на качество и прочность получаемых соединений влияют форма соединительных элементов, их механические характеристики (прочность, твердость), соотношении диаметра соединительных элементов и толщины соединяемых деталей, а также величина технологического зазора при сборке.

На основе физического и математического моделирования процесса получения соединения предложена оптимальная форма заклепки [2], обеспечивающая повышение прочности и надежности соединений. Ее применение позволяет расширить область возможного применения способа соединения без предварительной подготовки отверстий в соединяемых деталях.

Были проведены исследования течения металла соединяемых деталей в процессе получения соединения. На рис. 2 показаны в разрезе соединения недеформируемыми заклепками в различных сочетаниях соединяемых материалов. Так на рис. 2а, б представлено соединение стальных листов различной толщины, на рис. 2в соединение алюминиевых листов, а на рис. 2г соединение стали с алюминием.

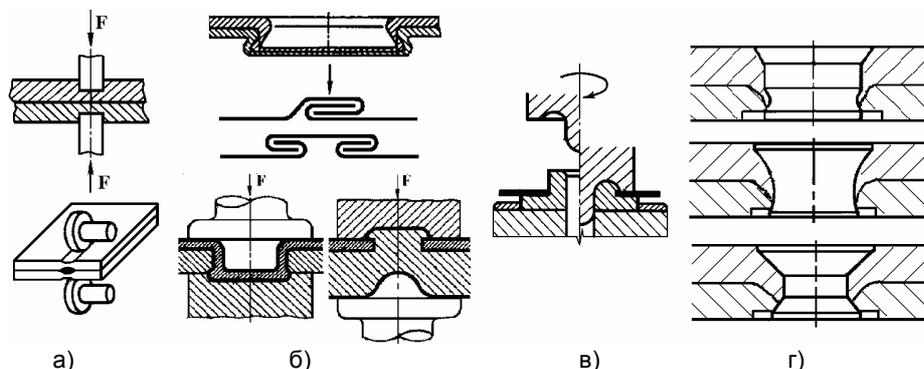


Рисунок 1 – Сборка неразъемных соединений пластическим деформированием соединяемых элементов

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Как показали исследования на процесс течения металла, при получении соединения, влияет, прежде всего, зазор между заклепкой и рабочим инструментом (матрицей). Пластические свойства самого металла сказываются незначительно. При получении соединений зазор между заклепкой и матрицей позволяет металлу верхнего листа втягиваться в зазор увеличивая, тем самым, площадь контакта деталей в зоне соединения. Это повышает прочность соединений предлагаемыми недеформируемыми заклепками [4], в том числе и при циклических нагрузках (рис. 3).

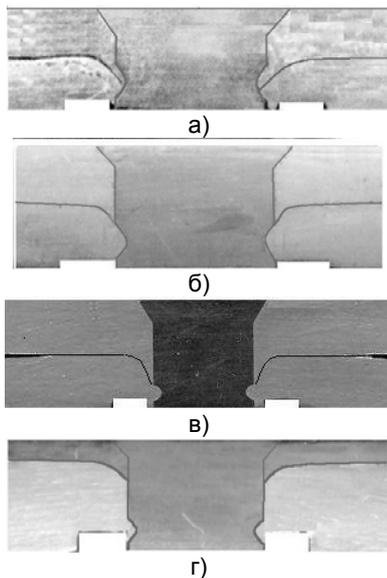


Рисунок 2 – Виды соединений различных металлов недеформируемыми заклепками

Для определения циклической прочности соединений листовых материалов недеформируемыми заклепками были проведены исследования заклепочных соединений на срез при действии циклических нагрузок.

Измерение на прочность проводилось с постоянными амплитудными значениями силы при синусоидальной форме цикла. Для определения амплитудных значений силы использовался тензодатчик силы, а для определения осевых перемещений - тензодатчик перемещения.

Схему нагружения выбирают для того, чтобы воспроизвести в образцах напряженное состояние, характерное для эксплуатационных условий работы детали, и воспроизвести в образце или детали излом эксплуатационного вида.

При исследовании заклепочных соединений на циклическую прочность при повторных-переменных нагрузках была выбрана си-

нусоидальная форма изменения амплитуды напряжений циклов при знакопостоянном асимметричном цикле нагружения [1].

На рис. 3 показаны сравнительные кривые усталости заклепочных соединений, где кривые 1, 2 – соединения предлагаемой недеформируемой заклепкой [2] (общая толщина соединяемых листов 3 и 4 мм, диаметр заклепок 4 и 5,3 мм соответственно), кривая 3 – соединения недеформируемой заклепкой, имеющей форму по патенту США [3] (общая толщина соединяемых листов 3 мм, диаметр заклепки 4 мм) и кривая 4 – соединения стандартной заклепкой (общая толщина соединяемых листов 4 мм, диаметр заклепок 5 мм).

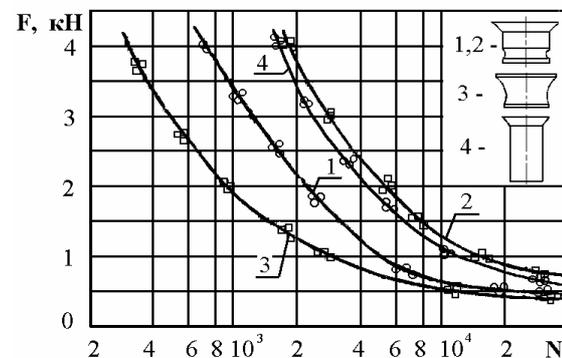


Рисунок 3 – Кривые усталости заклепочных соединений при циклическом нагружении: □, ○ - экспериментальные значения; — - аппроксимирующие функции

По шкале  $F$  отложена максимальная амплитуда цикла. Величина  $N$  – предельное количество циклов при нагружении. При этом условный предел выносливости для соединения предлагаемой недеформируемой заклепкой составил  $F_R = 1000\text{H}$ , а усталостная долговечность  $N_0 = 5 \cdot 10^4$  цикла - для соединений суммарной толщиной 3мм, и  $F_R = 1300\text{H}$ ,  $N_0 = 10^5$  цикла - для толщины соединяемых листов 4 мм. Для соединения недеформируемой заклепкой, имеющей форму по патенту США условный предел выносливости равен  $F_R = 900\text{H}$ , а усталостная долговечность  $N_0 = 3 \cdot 10^4$  цикла (общая толщина соединяемых листов 3 мм). Для заклепочных соединений, полученных с помощью стандартных заклепок, условный предел выносливости равен  $F_R = 1300\text{H}$ , а усталостная долговечность  $N_0 = 8 \cdot 10^4$  цикла (общая толщина соединяемых листов 4 мм).

Из кривых усталости следует, что соединения листовых металлов предлагаемыми

недеформированными заклепками по сравнению с соединениями, получаемыми с помощью других недеформируемых заклепок, в нашем случае заклепок, имеющих форму, предложенную в патенте США, и соединениями стандартными заклепками, имеют более высокие показатели надежности на циклическую усталость. Также соединения, предлагаемой недеформируемой заклепкой, имеют меньшие поперечные перемещения, что говорит о достаточно плотной посадке недеформируемой заклепки и относительно плотном соединении по сравнению с заклепкой, имеющей профиль, предложенный в патенте США. Увеличение зазора происходит в основном за счет смятия кромок отверстия в листах, получаемого в процессе постановки заклепки. При циклическом нагружении соединений недеформируемой заклепкой, имеющей форму по патенту США, происходит значительно большее увеличение зазора между листами и заклепкой. Это говорит о явных признаках усталостного разрушения соединения.

Помимо этого для определения прочности соединений листовых материалов недеформируемыми заклепками были проведены также исследования заклепочных соединений просто на срез. Проведение испытаний заключалось в получении соединений недеформируемыми заклепками, определение их прочности в зависимости от твердости и формы недеформируемой заклепки. После этого каждое соединение проверялось на срез на разрывной машине Р-10. Использовалась схема чистого сдвига.

Результаты проведения испытаний на срез, в зависимости от твердости и формы недеформируемой заклепки, представлены на рисунке 4. Точки на графике экспериментальные значения, кривые аппроксимирующие зависимости изменения прочности соединения в зависимости от твердости заклепки.

Данные исследования позволили определить диапазон твердости недеформируемых заклепок (360 – 420 НВ), обеспечивающий наибольшую прочность и технологичность соединения. Сравнительный анализ недеформируемых заклепок показал, что соединения, полученные при помощи предлагаемых недеформируемых заклепок (рис. 4), имеют на 20-30% выше прочность в сравнении с соединениями, полученными при помощи заклепок, имеющих профиль, предложенный в патенте США.

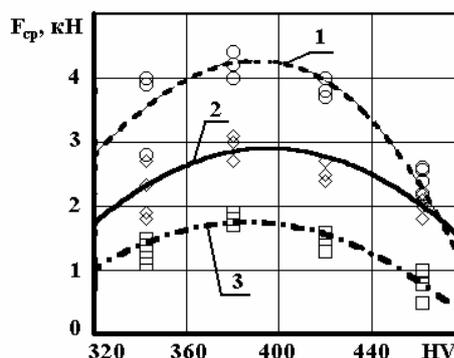


Рисунок 4 – График зависимости усилия среза от твердости заклепки: 1 – недеформируемая заклепка; 2, 3 – заклепки, имеющие формы, предложенные в патенте США O, □, ◇ - экспериментальные значения; — - аппроксимирующие функции

Для оценки качества получаемых соединений при повторно-переменных нагрузках проводились металлографические исследования. Брались образцы в виде пакетов из двух листов, соединенных заклепками различного диаметра. Материал пластин - сталь 10, материал недеформируемых заклепок – сталь 38ХА.

Микроструктурный анализ проводился на шлифах, протравленных в 4%-ном растворе азотной кислоты в спирте. Помимо этого для сравнения проводились также металлографические исследования заклепочных соединений, в которых использовались заклепки, имеющий профиль по патенту США [3]. Схема расположения участков, в которых фотографировалась микроструктура, приведена на рис. 5.

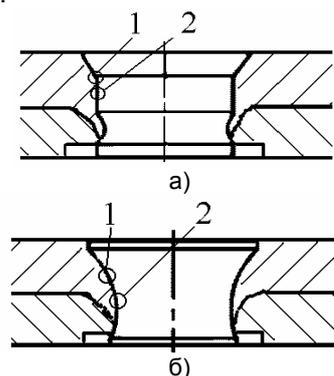


Рисунок 5 – Схема расположения участков при фотографировании: а) - недеформируемая заклепка; б) - заклепка, имеющая профиль по патенту США

Фотографирование микрошлифов проводилось на микроскопе МВТ-71 при ста двадцати кратном увеличении. Фотографии микрошлифов соединений недеформируемой

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ СОЕДИНЯЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

заклепкой представлены на рисунке 6, а соединений, полученных с помощью заклепок, имеющих профиль по патенту США на рис. 7. На всех фотографиях структура заклепки изображена справа, а структура соединяемых

листов слева. Также все фотографии ориентированы в направлении, соответствующем вертикальному расположению заклепки (вверху - конический участок заклепки).

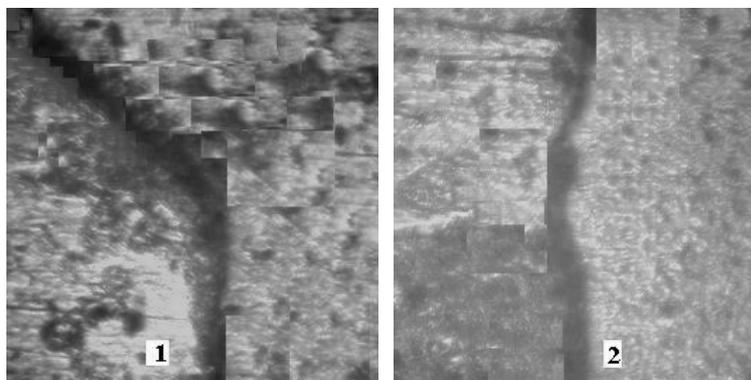


Рисунок 6 – Микрошлифы соединений недеформируемой заклепкой

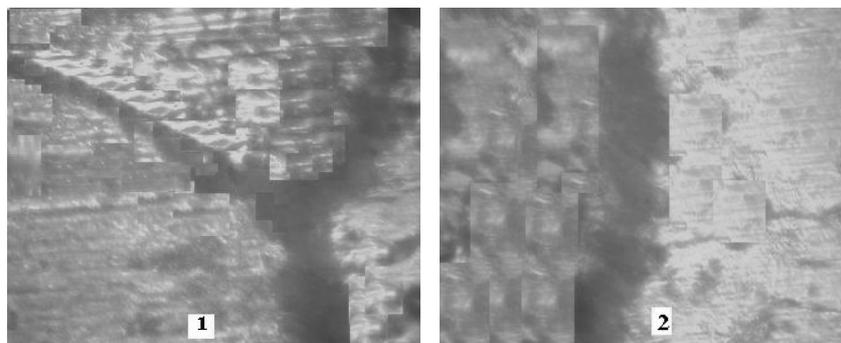


Рисунок 7 – Микрошлифы соединений, полученных с помощью заклепок, имеющих форму по патенту США

Металлографические исследования показали, что при соединении листов недеформируемыми заклепками происходит плотное заполнение отверстия по всей высоте заклепки (рис. 6), в то время как в соединениях, где использована заклепка, имеющая форму по патенту США, заполнение не плотное, имеются большие пустоты (темные большие включения на рисунке), что отрицательно сказывается на прочности соединений (рис. 7). Также следует заметить, что у соединений, полученных с помощью заклепок, имеющих форму по патенту США, происходит циклическое разрушение конической головной части заклепки после переменных нагрузок, что тоже плохо сказывается при работе соединения на усталость. Помимо этого металл соединяемых листов в зоне деформирования упрочняется и зерна получают большую деформацию, что положительно сказывается на прочности соединений, исключается возможность появления трещин в соединяемых листах. Это подтверждают и испытания на повторно-статические нагрузки.

*ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2 2006*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Petrov S A., Chekanov M.A., Abanin V.A., Titov I.A. Measuring System for Research of Toughness Rivet Joints of Sheet Materials// 6<sup>th</sup> International Siberian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2005: Workshop Proceedings. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2005. – P. 61 – 63.
2. Патент №34660 Россия, МПК F16 B19/04. Недеформируемая заклепка/ М.А. Чеканов, П.В. Верещагин, И.А. Титов.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"; Заявл. 16.04.2003; Оpubл. 10.12.2003.
3. Патент №5678970 США, МПК F16 B19/04. Self-coining fastener/ Gary D. Caulk.; Hahn Systems; Заявл. 05.02.1996; Оpubл. 21.10.1997.
4. Верещагин П.В., Чеканов М.А., Титов И.А. Соединение листовых деталей заклепками без предварительного получения отверстий под заклепки // Обработка металлов, 2004. – №2. С. 19 – 20.