

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

Сергей Карабинеш, Ярослав Марченко

*Національний університет біоресурсів і природопольовання України
Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15*

Sergey Karabinesh, Yaroslav Marchenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье представлены результаты исследования механизма совместного влияния на прочностные характеристики клеесварного соединения – электроконтактной точечной сварки и склеивания. Определена оптимальная схема размещения сварочных точек при использовании клеесварного соединения в деле восстановления (устранении трещин) чугуновых корпусных деталей.

Ключевые слова: корпус, деталь, трещина, прочность, коэффициент, запас, прочность, сварная точка, клеевый шар, клеесварное соединение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Корпусные или базовые детали шасси тракторов обеспечивают заданное конструкцией машины взаимное размещение механизмов и деталей, соответствующую координату посадочных и привалочных поверхностей. Они воспринимают большинство внутренних и внешних нагрузок, действующих на трактор в процессе эксплуатации. Большинство этих деталей изготавливают тонкостенными и с большой разнотолщиной. Материалом для их изготовления служат чугуны: СЧ-15; СЧ-18; СЧ-21 и СЧ-24 среднего и повышенного качества. При изготовлении корпусных деталей сложной конструкции, как правило, в них возникают высокие внутренние остаточные напряжения, действующие независимо от внешних. Для предотвращения деформации, коробления стенок, и как результата, возникновения в них трещин, проводят искусственное и естественное старение, которое значительно снижает уровень остаточных напряжений. Происходит процесс их релаксации. Внутренние напряжения базовых деталей, кото-

рые были в эксплуатации, имеют значительно низший уровень. Установлено [6], что при устранении трещин в чугуновых корпусных деталях эффективно использовать комплексные соединения, например клеесварные.

Анализу взаимного влияния сварочных точек и клеевой прослойки на работоспособность клеесварных соединений из легких сплавов посвящено значительное количество научно-исследовательских работ. Клеевая прослойка существенно повышает прочность соединений выполненных электроконтактным способом [5, 6]. Она (прослойка) разгружает сварочные точки, воспринимая значительную часть нагрузки, прилагаемую к деталям. В свою очередь, сварочные точки улучшают работоспособность клеевой прослойки в условиях неравномерного отрыва [4].

Изучение литературных источников показало, что на современном этапе развития науки в основном определен характер распределения напряжений в условиях соединения деталей равной толщины и изготовленных с относительно пластичных материалов – алюминиевых и магниевых сплавов. При формировании клеесварного соединения „сталь-чугун”, которое применяют при устранении трещин в чугуновых корпусных деталях, применяют элементы неравной толщины, которые резко отличаются по химическому составу и характеру деформирования.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ специальной литературы [1, 2, 3], а также непосредственные наблюдения за ремфондом позволили установить, что наиболее распространенными дефектами

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

базовых деталей являются трещины и изнашивание посадочных поверхностей. По данным ГОСНИТИ [1, 2, 3, 4], 15–22% корпусов коробок перемены передач и 8–11% раздаточных коробок тракторов имеют трещины, а также соответственно: 10–16% и 9–14% изношенных к предельному состоянию посадочных поверхностей. Возникновения этих дефектов связывают с совокупным действием остаточных внутренних напряжений и внешних циклических нагрузок. Это связано с особенностями материала и конструкции деталей, характера, величины и направления действия внутренних и внешних нагрузок [3, 4, 5], действующих на корпусные детали. Возникновение этих дефектов приводит к изменению геометрических размеров деталей, нарушению соосности между отверстиями, искривлению поверхности привалочных плоскостей и так далее [3, 4, 5]. Следует заметить, что 8–10% этих деталей выбраковываются из-за наличия в них приведенных выше дефектов.

Выявление повреждений, особенно, трещин и внутренних несовершенств структуры материала детали имеет значительные сложности технического характера. Внешний осмотр, а также ряд существующих методов дефектования не дает эффективного результата. В то же время, установлено, что комплексный подход совместимой реализации классической и компьютерной голографии позволяет предотвратить попадание к потребителю неисправных деталей. Величину износа, овальность, конусность и др. посадочных поверхностей контролировали нутромерами, а также калибрами и с помощью универсальных дефектовочных установок.

Восстановление (ремонт) работоспособности корпусных базовых чугунных деталей сопряжено со значительными трудностями. Это, в первую очередь, связано с особенностями материала-чугуна, а также со сложностью конструкции, массивностью, значительными габаритными размерами этих деталей. Восстановление исходных параметров только тогда будет эффективным, когда созданы такие технологические условия, при которых в деталях не будут наведены дополнительные напряжения и соответственно не будут возникать существенные деформации и коробления. Разработано около 30 разно-

образных способов устранения дефектов чугунных корпусных деталей. Анализ литературных источников [3, 4, 5, 6] показал, что только незначительное их количество может быть эффективно применено.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования было установление объективной картины распределения напряжений при нагрузке клеесварного соединения с разными схемами размещения сварочных точек при установлении механизма совместимого влияния сварки и склеивания на работоспособность восстанавливаемых деталей. Разработать технологию восстановления корпусных деталей клеесварным способом.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения сравнительных объективных результатов, проводили испытание сварного и клеесварного соединений с одновременным определением рациональной схемы размещения сварочных точек на поверхности детали. Анализ литературных источников [3, 5, 6] показал, что для изучения напряженного поверхностного поля, при сравнительно малых зонах концентрации напряжений (зона термического влияния от действия сварочного импульса тока) эффективным есть применение тонких хрупких покрытий [6, 14, 18]. Картины размещения трещин в покрытии, которые возникают под действием на соединение растягивающего усилия, позволяют визуально установить траектории главных напряжений (деформаций). Форма трещин, их размещение характеризует механизм распределения напряжений на поверхности исследуемого объекта.

Исследования проводили при одноосном растяжении специально изготовленных образцов, которые состояли из двух элементов: чугунной пластины (СЧ 18) с размерами 100x60x10 мм и стальной накладки (Сталь 20) с размерами 100x60x0,8 мм. На поверхность накладки наносили хрупкое покрытие, которое формировали применяя клеевой компаунд специального состава. Нагрузки увеличивали ступенчато плавно, регулируя при этом их скорость. Максимум

нагружения составлял $-0,7[\sigma_{рч}]$. При этом, фиксировалось зарождение и развитие первых трещин в покрытии, которое позволяло установить зоны с наибольшей концентрацией напряжений. Тарированием на балках, которые изготовлены из того же материала, что и исследуемая модель, определяли среднее значение постоянной покрытия по напряжениям – равная $\sigma_0 = 60$ МПа. Коэффициент концентрации напряжений определяли для зоны зарождения первой трещины по формуле [13, 17, 19]:

$$K = \sigma_0 / \sigma, \quad (1)$$

где: σ – максимальное растягивающее напряжение в зоне, по отношению к которой определяли коэффициент концентрации напряжений.

Эксперименты проводили при одно-, дво- и шахматном размещении сварочных точек, с использованием одно- и двусторонних накладок, сварного и клеесварного соединений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что в каждом из рассмотренных случаев, механизм распределения напряжений носит разнообразный характер. Наибольшая концентрация напряжений визуально была определена в однорядном сварном соединении с односторонней накладкой. Приложение нагрузки, вызывает напряжения, которые концентрируются вокруг сварной точки, о чем свидетельствует образование и форма первых трещин в покрытии. Коэффициент концентрации напряжений составлял $K_{1св} = 3,74$. Использование двусторонней наклейки снижает концентрацию напряжений в опасных областях (зона термического влияния). Возникновение трещин в покрытии проходит в радиальном направлении вокруг сварочных точек. Трещины имели меньшую длину в направлении действия нагрузки, а величина коэффициента концентрации напряжений составляла $K_{2св} = 3,56$, что указывает на более равномерное распределение нагрузки, чем в первом случае.

В клеесварном однорядном соединении с односторонней накладкой нагрузки на сварочную точку меньше в сравнении с одно-

типным сварным, на что указывает форма и размещение трещин в покрытии. Они огибают области, которые близко лежат к зоне термического влияния и размещаются под углом, который приближается к прямому по отношению к оси приложения нагрузки. Это указывает на тот факт, что клеевая прослойка, принимая на себя часть нагрузки, разгружает сварочную точку. Изокванты носят плавный характер, а максимум напряжения направлен к стыку соединения.

Применение двусторонней наклейки смещает концентрацию напряжений в крайние зоны нахлеста. Напряжения распределяются более равномерно на поверхности наклейки, чем в описанных выше случаях. Коэффициенты концентрации напряжений в первом и во втором случаях для клеесварного соединения составляют: $K_{1кк} = 3,42$; $K_{2кк} = 3,30$, а это свидетельствует о значительном уменьшении концентрации напряжений в опасных зонах соединения при использовании клеевой прослойки. Однако, величина концентрации является достаточно значительной, а схема размещения сварочных точек не удовлетворяет выставленным требованиям к прочностным характеристикам соединения.

Использование двухрядной схемы размещения сварочных точек резко изменяет характер распределения напряжений от описанного выше. Первые трещины в нанесенном покрытии возникают в пристыковых областях. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к образованию новых трещин в зонах термического влияния. Это связано с тем, что нагрузку воспринимают два ряда сварочных точек, которые размещены один позади другого. Однако, нагрузка обоими рядами воспринимается неравномерно, особенно в случае сварного соединения. Пристыковый ряд несет приблизительно 0,77–0,85% нагрузки. Зоны концентрированного размещения трещин в нанесенном покрытии смещаются от второго ряда точек к области стыка. При этом величина коэффициента концентрации напряжений является меньшей, чем в аналогичного (сварного) однорядного и равная $K_{2св} = 3,52$.

Формирование соединения с двусторонней накладкой снижает величину напряжений в соединении. Трещины в покрытии за-

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

рождаются в областях близких к стыку и при увеличении нагрузки перераспределяются к первому ряду сварочных точек. Такое перераспределение указывает на снижение концентрации напряжений в зоне термического влияния и распределение нагрузки на большую часть накладки, а $K_{22cb} = 3,35$.

Нагрузка клеесварного двухрядного соединения вызывает возникновение трещин в зоне стыка и междурядье сварных точек. Они носят прямолинейный характер с небольшой концентрацией в краевых зонах. Напряжения распределяются на большие площади нахлеста, что снижает их концентрацию вокруг сварочных точек. Второй ряд сварочных точек значительно улучшает условия работы клеевой прослойки в краевых зонах нахлеста, о чем свидетельствует отсутствие концентрации напряжений в областях расположенных позади сварочных точек. При этом, почти полностью устраняется вредное влияние неравномерного отрыва на работоспособность клеевой прослойки. Характер распределения напряжений в клеесварном соединении с двусторонней накладкой подобный распределению с односторонней накладкой. Однако, в этом случае, наблюдалось снижение нагрузки, который несет один ряд сварочных точек и более равномерное распределение напряжений по всей поверхности накладки, о свидетельствуют величины коэффициентов концентрации напряжений $K_{21kc} = 3,18$; $K_{22kc} = 3,08$.

Таким образом, применение двухрядной схемы размещения сварочных точек позволяет значительно уменьшить концентрацию напряжений в опасных зонах соединения в результате более равномерного распределения напряжений на его поверхности. Следовательно, двухрядная схема размещения сварочных точек является более рациональной, чем односторонняя.

Результаты многочисленных экспериментальных исследований и анализ литературных источников [6, 7, 9, 12] дали возможность утверждать, что использование простой двухрядной схемы размещения сварочных точек при формировании клеесварного соединения „сталь-чугун” не дает оптимального решения. Выбранная двухрядная схема имеет целый ряд недостатков, среди которых следует отметить: низкую производитель-

ность труда (необходимость в постановке двух полноценных рядов сварочных точек, что сопровождается увеличением затрат на их формирование); проходит значительное уменьшение прочности клеевого шва в следствие большего выгорания клеевой прослойки; размещение сварочных точек на одной оси в поперечном сечении шва вызывает неравномерное восприятие нагрузки в результате больших зон не перекрытия сварочными точками. В связи с этим, было принято решение продолжить поиск оптимальной схемы размещения сварочных точек при формировании клеесварного соединения „сталь-чугун”.

Из литературных источников [6, 8, 9, 11] известно, что наилучшей компоновкой владеют конструкции, в которых элементы соединены с использованием шахматной схемы. Однако, в литературе не найдено данных о распределении нагрузки и напряжений в соединении, особенно, элементов с неравномерной толщиной и изготовленных из разнородных по своим физико-механическим свойствам.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить, что при шахматном размещении сварочных точек и формировании клеесварного соединения „сталь-чугун” распределение напряжений происходит практически по всей поверхности соединенных элементов. Трещины в хрупком покрытии начинают зарождаться и распространяться практически по всей поверхности накладки без выраженных зон концентрации. Только в сварном соединении с односторонней накладкой замечалась незначительная концентрация напряжений в зоне опасного секущего. Одновременно с тем, концентрация напряжений имеет меньшее значение, чем во всех описанных выше случаях: $K_{31cb} = 2,97$. Это указывает на тот факт, что шахматное размещение сварочных точек благоприятно влияют на распределение напряжений по всей поверхности накладки, увеличивая работоспособность соединения. При использовании двусторонней накладки выравниваются линии прохождения трещин в хрупком покрытии. В работу, при нагрузке, вступают равноценно оба ряда сварочных точек, а величина коэффициента концентрации напряжений составляет $K_{32cb} = 2,84$, что

свидетельствует о выравнивании напряжений на поверхности накладки.

В клеесварном соединении при шахматном размещении сварочных точек наблюдали смещение зон концентрации опасных зон в область стыка. Выразительной концентрации напряжений в опасных зонах не замечено, а в работе практически принимает участие вся поверхность накладки, которая указывает на совместимое действие клеевого шва и сварочных точек. Распределение трещин в хрупком покрытии свидетельствует о равномерности распределения напряжений при приложении нагрузки. Коэффициент концентрации напряжений в исследуемых областях имеет значение $K_{31кк} = 2,56$.

Снижение концентрации напряжений вызвано совместной работой клеевого шва и сварочных точек. Равномерному распределению напряжений при шахматном размещении сварочных точек способствует также и то, что жесткие элементы в клеевом шве размещены не один за другим, а с разбросом. Это позволяет сварочным точкам влиять на большие площади под нахлестом. При этом, полностью сохраняются прочностные характеристики, а выгорание клеевой прослойки при сварке – гораздо меньше. Двусторонняя накладка, в данном случае, изменяет незначительно картину распределения напряжений, а устранение условий неравномерного растяжения, снижает концентрацию напряжений в соединении – $K_{32кк} = 2,47$.

Следует заметить, что в современном машиностроении, а также сельскохозяйственном производстве, значение неразрушающего контроля, как метода повышения надежности техники, все более возрастает. В то же время, образец испытания или разрушенная деталь только они могут дать адресную оценку выявленному явлению, его природе, характеристикам и недооценивать их роль в деле контроля нельзя. Комплексное сочетание разрушающего и неразрушающего контроля позволяет эффективно оценить состояние изделий, выучить возможные причины наступления предельных значения параметров надёжности и так далее.

Трещины в корпусных деталях определяют способами неразрушающего контроля (одним из перспективных есть применение голографирования) или с помощью лупы

8–10 кратного увеличения. Определяют пределы распространения трещины и на ее концах сверлят отверстия диаметром 2,5–3,0 мм для предотвращения дальнейшего распространения. По всей длине трещины снимают фаску под углом 60–70° на глубину 1,0–3,0 мм. Поверхность детали с трещиной зачищают к металлического блеска с таким расчетом, чтобы зачищенная поверхность перекрывала трещину на 40–50 мм по обе стороны от ее оси. Обезжиривают подготовленную поверхность с помощью тампона, смоченного в растворителе (ацетоне).

Деталь устанавливают таким образом, чтобы трещина находилась в горизонтальном положении и наносят шпателем клеевой состав на основе, например: эпоксидной смолы, на поверхность детали с трещиной по всей ширине подготовленного участка. Для укрепления клеевого покрытия, на его слой дополнительно устанавливают металлическую накладку, изготовленную за контуром трещины из листовой стали (Сталь 20) толщиной 0,8–1,0 мм. Накладка или пластина должна перекрывать трещину из двух сторон на 40–50 мм и на 10–15 мм от концов дефекта.

Клеевое покрытие должно быть толщиной не больше 0,2–0,4 мм и равномерно покрывать поверхность детали с трещиной. Накладку приваривают к детали отдельными, равностоящими одна от другой сварочными точками, которые сформированы электроконтактным способом с помощью сварочных клещей. Сварку проводят используя такие параметры режима: сварочный ток – 10,5–11,0 кА; усилие прижимания электродов – 1,3–1,8 кН; длительность сваривающего импульса – 0,25–0,30 с; длительность прижатия электродов 0,70–0,76 с; ток отжига – 8,5–9,0 кА; длительность отжигающего импульса – 0,45–0,48 с. Прочность соединения на разрыв составляет 176–184 МПа, прочность при циклической нагрузке – 79–80 МПа, что отвечает прочностным характеристикам основного металла детали чугуна СЧ 18 (корпус коробки передач трактора Т–150К с трещиной длиной 87 мм и размахом отклонения от оси 12 мм выявленной в боковой стенке). Оптимальными конструктивными элементами соединения являются: диаметр электродов – 5–6 мм; шаг между сва-

МЕХАНИЗМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ И СКЛЕИВАНИЯ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЕДИНЕНИЯ

рочными точками – 25–30 мм; расстояние между рядами сварочных точек 20–25 мм; количество их рядов – не больше трех с обеих сторон от оси трещины, а величина свободного конца накладки 6–8 мм.

Приваривание стальной накладки проводят по сырому клею, выдавливая его прослойку из зоны контакта. При этом поверхность детали локально нагревается до температуры $80 - 100 \pm 2^\circ\text{C}$, что убыстряет время полимеризации клеевой прослойки без применения дополнительного нагревания всей детали и составляет – 4,5 часа.

Применение электроконтактной сварки у замен использования механических средств позволяет повысить производительность труда в 2,5 – 2,8 раза, нагревание же поверхности детали дает возможность сократить время пребывания деталей в ремонте в 3 раза и избежать применения громоздкого нагревательного оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Клеевая прослойка, принимая часть нагрузки, разгружает сварочные точки.

2. Сварочные точки способствуют увеличению прочности клеевого шва в краевых зонах нахлестки, снижая негативное влияние условий неравномерного отрыва.

3. Совместное использование электроконтактной сварки и склеивания при формировании соединения улучшает их рабочие характеристики путем равномерного распределения напряжений на поверхности накладки и дает возможность применить его для восстановления корпусных деталей с трещинами.

4. Рациональной схемой размещения сварочных точек является шахматная, использование которой способствует более равномерному распределению напряжений и снижению концентрации их в опасных зонах соединения.

5. Использование двусторонних накладок более рационально, чем односторонних так, как они позволяют равномерно воспринимать прилагаемую нагрузку и снижают негативное влияние условий неравномерного отрыва, которые возникают в результате изгиба нагруженных элементов соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Repair of machines. 1992: Under prof. N.F. Telnov. - M.: In Agropromizdat.– 550.
2. Tchernoivanov V.A., Andreev P.I. 1983: Renewal of details of agricultural machines / of V.A. Tchernoivanov, P.I. Andreev / – M.: Kolos.– 238.
3. Kakuevitskiy V.M. 1983: the Rational methods of welding of details from cast-iron / V.M. Kakuevitskiy // Motor transport – №7. – 43–45.
4. Karabinosh S.S. 1985: Renewal of cabinet-type details by the gluweldsng method / S.S. Karabinosh // Motor transport. – №7.– 38–39.
5. Volovik E.A., Golubtsova D.S. 1980: Technology of renewal of beds of the native bearing of crankcase of engine of SMD–14 by a additive in the magnetic field / of E.A. Volovik, D.S. Golubtsova. – M.: GOSNITI. – 6–7.
6. Tchuloshnikov P.L. 1974: the Point and roller electric welding of alloyed and alloys / P.L. Tchuloshnikov – M.: Engineer. – 232.
7. Technology and equipment of the pin welding. 1975: / Under prof. Orlov B.D. – M.: Engineer. – 536.
8. Guliyv A.I. 1978: Technology of the point and relief welding of сталей / A.I. Guliyv. – M.: Engineer. – 647.
9. Zolotarev B.B. 1966: Tensions on-loading in flat connections on lining. / B.B. Zolotarev // Automatic welding – № 9.– 35– 39.
10. Karabinosh S.S. 2012: Structurally – technological methods providing of reliability of agricultural technique by computer holography / S.S. Karabinosh – Motrol, T. 14. – №3. – 112–119.
11. Shavirin V.V., Ryzantsev V.A. 1988: Glutwelding constructions/ V.V. Shavirin, V.A. Ryzantsev – M.: Engineer. – 231.
12. Karabinosh S.S. 2013: Diagnostics of the technical state and prognostication of remaining resource / Karabinosh S.S. – M.: Control. Diagnostics, – №3. – 74–78.
13. Karabinosh S.S. 2013: Holography and structural method of providing of reliability of agricultural technique / S.S. Karabinosh.– Motrol.– No 3. – 183–189.
14. Karabinosh S.S. 2001: Non – distracted control glue - weed joining by computer

- holography / S.S. Karabinosh. – Motrol. – Vol. 4. – 144–147.
15. Barnet L., Vitsel V., Duks U / and other. 1977: Destruction: Guidance. In 7 т. / Trudged. with an eng. Т. 4. / L. Barnet, V. Vitsel, U. Duks of and other / – М.: Engineer. – 400.
16. Birger A.A., Shor B.F., Iosilevich B.I. 1993: Calculation on durability of details of machines. Reference book. 4th publ. / A.A. Birger, B.F. Shor, B.I. Iosilevich / – М.: Engineer. – 639.
17. Boyko A.I., Karabinosh S.S. 2001: Do pitannya about determination energy os distraction body at there border state / A.I. Boyko, S.S. Karabinosh // Zb. naukovikh prats KDTU. – Kirovograd. – 45–47.
18. Dobrovolskiy S.B. 2000: Methods of estimation of influence of structural concentration on малоцикловую durability / Dobrovolskiy S.B. // Motor industry. – № 6. – 19–23.
19. Ivanov M.N. 2000: Detail of machines: a 6th publ. / M.N. Ivanov – М.: Higher school. – 383.
20. Karabinosh S.S., Novitskiy A.V. 2005: Reliability of agricultural technique and control of her capacity / S.S. Karabinosh, A.V Novitskiy. – К.: NAU. – V.80.– 183–186.

THE MECHANISM COMMON OF ACTION DOT WELDING FOR WORKING CHARACTERISTICS OF CONNECTION

Summary. There is submitted results of research of the mechanism common of action on strength of the characteristic of glue and welding connection electrocontactwelding and gluing in article. There is determined the circuit of accommodation of welding points is optimum at elimination of cracks in cast iron details.

Key words: corps, part, crack, durability, coefficient, supply, durability, weld-fabricated point, glue ball, gluwelding connection.