

КОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ И РЕЛЬЕФНАЯ СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ СТАЛЕЙ.

Артём Анатольевич Терехов

студент 6 курса, очная форма

*Российская Федерация, г. Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра
«Технологии сварки и диагностики»*

Научный руководитель: А. П. Исаев

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии сварки и
диагностики»

Введение

Для продления ресурса автомобилей и повышения безопасности требуется применение новых материалов. Среди сталей наибольший интерес для применения в корпусных конструкциях автомобилей представляют оцинкованные аустенитные стали, легированные алюминием, марганцем и кремнием (TRIP-стали).

Предпосылки для использования TRIP-сталей:

- при одной и той же нагрузке детали будут иметь меньшую толщину и вес;
- благодаря высокой прочности и деформационной способности детали из этих материалов обладают высокой геометрической гибкостью;
- вследствие высокой прочности и пластичности, TRIP-стали могут заменить традиционные материалы как сравнимые с ней по прочности, так и пластичные материалы с меньшей прочностью;
- отсутствие технологических проблем при резке и штамповке;
- данные аустенитные стали имеют, по сравнению с традиционными сталями, меньшую плотность ($7,3 \text{ г/см}^3$), что позволяет снизить вес автомобиля и соответственно расход топлива.

На данном этапе исследований свариваемости происходит только накопление опыта по соединению данных материалов.

В работах [1, 3] говорится о хорошей свариваемости данных материалов контактной точечной сваркой. Однако в тех же работах отмечают, что при сварке оцинкованных сталей возникает проблема образования трещин [1, 3] и износа электродов. Указывается, что горячие трещины в этом случае возникают в результате перегрева цинкового покрытия в контакте «электрод-деталь» и проникновения цинка в область растягивающих напряжений на поверхности стали. Отмечается также значительный износ электродов, связанный с загрязнением их поверхности в результате диффузии расплавленного цинка, что обуславливает необходимость их частой заточки.

Для расширения сварочной области качества рекомендуется увеличивать силу тока и силу сжатия на электродах.

В рамках данной работы проводился подбор режима контактной сварки оцинкованной листовой стали типа TRIP марки HCT690T+ZE 75/75 толщиной 1,5 мм. С целью выявления трещин по границе литого ядра и на поверхности соединения проводились металлографические исследования.

Характеристика стали типа TRIP марки HCT690T

Рассматриваемая сталь относится к материалам с высоким содержанием марганца. Она имеет трехфазную структуру: аустенит, до 30% α -феррита и незначительное количество ε -мартенсита. При приложении силы (рабочей нагрузки) кристаллическая решётка теряет равновесие и происходит превращение из кубической гранцентрированной аустенитной формы в кубическую объёмно-центрированную мартенситную форму. Леггирующие элементы позволяют проводить данное превращение в две стадии: на первом этапе происходит превращение аустенита в гексагональный мартенсит, на второй стадии гексагональная структура преобразуется в объёмно-центрированную. Благодаря такому механизму превращения, данная сталь имеет высокие показатели по пластичности. Исследуемая марка стали HCT690T, поставляется в холоднокатаном состоянии. Она хорошо сваривается без применения защитных покрытий (цинка) Для обеспечения протекторной защиты сталь подвергается двустороннему гальваническому оцинкованию толщиной слоя цинка 7,5 мкм. При сварке в оцинкованном состоянии сталь склонна к образованию трещин, причиной которых является межкристаллитное разупрочнение связей из-за проникновения цинкового покрытия в область растяжения соединения. Химический состав, механические и теплофизические свойства стали приведены соответственно в таблицах 1-3.

Таблица 1

Химический состав стали HCT690T

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al
0,25	0,04	1,66	0,02	0,007	0,04	0,04	0,015	1,49

Таблица 2

Механические свойства стали HCT690T

Предел текучести σ_{02}	Предел прочности σ_B	Относительное удлинение при разрыве E
[МПа]	[МПа]	[%]

450-550	680	24
---------	-----	----

Таблица 3

Теплофизические свойства стали НСТ690Т

Коэффициент теплового расширения α при комнатной температуре, $10^{-6}/K$	Теплопроводность λ при комнатной температуре, Вт/(м·К)	Электрическое сопротивление ρ при комнатной температуре, мкОм·см
12,0	46,0	21

Подбор режимов сварки

Сварка образцов производилась на контактной машине PPN 135 постоянного тока с промежуточным звеном повышенной частоты. Данная контактная машина позволяет реализовать трёхимпульсный сварочный цикл: подогревающий импульс тока, сварочный импульс с модуляцией переднего фронта и импульс тока для послесварочной термообработки. При подборе режима сварки проводился разрушающий контроль с целью проверки качества соединения и соответствия сварного соединения ГОСТ 15878-79

При отработке технологии точечной сварки оцинкованных сталей следует учитывать, что наличие цинка на поверхности деталей ухудшает её свариваемость. Это связано с тем, что цинковое покрытие, расплавляясь в контакте между деталями, увеличивает его площадь, что приводит к снижению плотности тока и к непровару. Компенсировать непровар можно, увеличивая сварочный ток, что, в свою очередь, приведет к повышению тепловыделения в контактах «электрод-деталь» и, как следствие, к подплавлению покрытия на поверхности деталей, что снижает антикоррозионные свойства соединения. При этом неизбежно появление выплесков легкоплавкого цинкового покрытия и перенос его на рабочую поверхность электродов, что резко снижает стойкость электродов и требует постоянной его зачистки. Перегрев металла в контакте «электрод-деталь» и наличие на ней расплавленного или перегретого цинка создает условия для развития диффузионных процессов проникновения цинка между зёрнами основного металла и возможному появлению поверхностных трещин, особенно в зоне растягивающих напряжений у границы электрода. К сожалению, в литературе отсутствуют также сведения о возможном негативном влиянии цинка на структуру металла литого ядра и ОШЗ. В данной работе проводились исследования с целью уменьшению негативного

Время проковки	$t_{пр}$	С	0,5
Сила прижатия электродов	F	кН	7,0

Для оценки качества сварных соединений дополнительно были проведены металлографические исследования.

В ходе металлографического анализа на образце, выполненном контактной точечной сваркой с применением цикла №1, была обнаружена трещина на наружной поверхности с краю зоны приложения силы сварочными электродами контактной машины.



Рис. 2. Микротрещина в зоне приложения сварочной силы к образцу НСТ690Т+ZE75/75, сваренного контактной точечной сваркой по циклу №1

У образцов, сваренных по циклу №2, трещины отсутствовали.

Таблица 5
Режим контактной точечной сварки стали НСТ690Т+ZE75/75
по циклу №2

Наименование параметра сварки	Обозначение	Размерность	Значение
Время предварительного сжатия	$t_{псз}$	с	1,5
Ток предварительного подогрева	$I_{под}$	кА	3
Время предварительного подогрева	$t_{под}$	с	0,1
Время паузы	$t_{п1}$	с	0,2
Ток сварки	$I_{св}$	кА	8,5
Время сварки	$t_{св}$	с	0,5
Время паузы	$t_{п2}$	с	1
Ток послесварочного подогрева	$I_{то}$	кА	6
Время послесварочного подогрева	$t_{то}$	с	0,86
Время проковки	$t_{пр}$	с	0,5
Сила прижатия электродов	F	кН	7,0

В процессе визуального контроля было установлено, что размеры зоны термического влияния и подплавление цинкового покрытия при реализации двух данных различных циклов сварки одинаковы.



Рис. 3. Снимки соединений стали НСТ690Т+ZE75/75, выполненных контактной точечной сваркой по циклу №1



Рис. 4. Снимки соединений стали НСТ690Т+ZE75/75, выполненных контактной точечной сваркой по циклу №2

Диаметры литого ядра точек - 7 мм. При испытании соединения на отрыв в обоих случаях разрушение происходило по основному металлу.

Результаты исследования технологии точечной сварки TRIP-стали показали, что при использовании цикла №2 удается избежать образования трещин, однако перенос цинка на контактную поверхность электрода значителен, из-за подплавления цинка. Поэтому было принято решение применить рельефную сварку, при которой существенно меньше плотность тока в электродных контактах и, следовательно, их нагрев. Это должно обеспечить снижение нагрева цинкового покрытия и удлинение времени до зачистки электродов.

При выборе рациональной циклограммы для рельефной сварки следует иметь в виду, что в начальной стадии процесса формирования соединения следует предотвратить раннее смятие рельефа, чтобы сохранить его роль, как источника выделения теплоты. В связи с этим следует признать, что наиболее рациональным циклом сварки является цикл №1, что должно предупредить смятие рельефа от действия импульса тока предварительного подогрева.

Режим контактной рельефной сварки для соединений из стали НСТ690Т+ZE75/75

При подборе режима для создания лучших условий выдавливания цинка из зоны соединения и предотвращения выплесков был реализован цикл сварки с модуляцией сварочного тока — цикл №1 (рис.5).

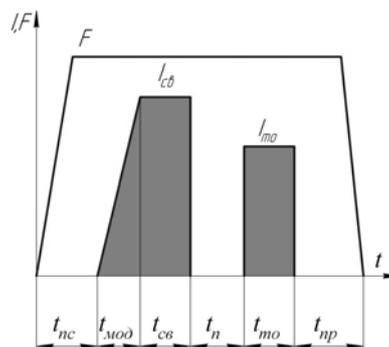


Рис. 5. Схема цикла контактной рельефной сварки стали НСТ690Т+ZE75/75

В процессе визуально-измерительного контроля было проверено соответствие диаметра литого ядра точки ГОСТ 15878-79. Диаметр литого ядра точки – 6,5 мм.

Таким образом, для данного типа соединений был подобран следующий окончательный режим контактной рельефной сварки с учётом рекомендаций (табл. 6).

Таблица 6

Режим контактной рельефной сварки стали НСТ690Т+ZE75/75

Наименование параметра сварки	Обозначение	Размерность	Значение
Время предварительного сжатия	$t_{пс}$	с	0,3
Время модуляции	$t_{мод}$	с	0,25
Ток сварки	$I_{св}$	кА	10
Время сварки	$t_{св}$	с	0,75
Время паузы	$t_{п}$	с	1
Ток послесварочного подогрева	$I_{то}$	кА	6
Время послесварочного подогрева	$t_{то}$	с	0,86
Время проковки	$t_{пр}$	С	0,5
Сила прижатия электродов	F	кН	7,0

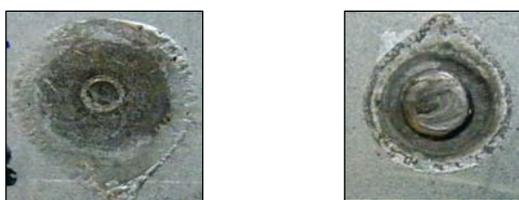


Рис. 6 - Снимки соединений стали НСТ690Т+ZE75/75, выполненных контактной рельефной сваркой ($d_я=6,5$ мм.)

В соединении из стали НСТ690Т+ZE75/75, сваренной контактной рельефной сваркой не обнаружены трещины в литом ядре сварной точки, а также трещины на поверхности образцов в зоне приложения силы сварочными электродами. Подплавление цинкового покрытия меньше, чем при точечной сварке. В соединении присутствует усадочная раковина, которая возникла из-за недостаточной силы сжатия.



Рис. 7. Макрошлиф образца НСТ690Т+ZE75/75, сваренного контактной рельефной сваркой

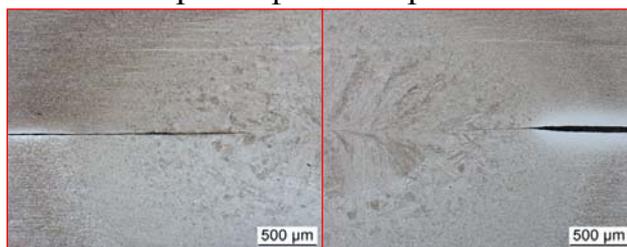


Рис. 8. Края литого ядра сварного соединения стали НСТ690Т+ZE75/75, сваренного контактной рельефной сваркой

Заклучение

1. На поверхности образцов из стали НСТ690Т+ZE75/75, сваренных контактной точечной сваркой с использованием цикла с модуляцией переднего фронта сварочного импульса, обнаружены горячие трещины по краям зоны приложения силы от сварочных электродов. Причиной горячих трещин в данном случае является перегрев цинкового покрытия в контакте «электрод-деталь» и проникновение цинка в область растягивающих напряжений. Использование цикла с предварительным подогревающим импульсом уменьшает перегрев цинкового покрытия в контакте электрод-деталь, что позволяет избежать возникновения трещин на поверхности, о чём свидетельствуют металлографические исследования.
2. При рельефной контактной сварке не обнаружены трещины на поверхности образцов, вследствие малого удельного давления от электродов и меньшей плотности тока по сравнению с контактной точечной сваркой.
3. При контактной рельефной сварке стали НСТ690Т+ZE75/75 в литом ядре сварной точки возможно появление усадочных раковин, что говорит о целесообразности применения переменного цикла давления с увеличением силы на стадии проковки.
4. Для сталей НСТ690Т+ZE75/75 с гальваническим оцинкованием целесообразно применение рельефной контактной сварки с замечаниями, изложенными выше, вследствие меньшей вероятности получения дефектов в сварном соединении, меньшей величины вмятины, меньшего износа электродов по сравнению с контактной точечной сваркой.

Список использованной литературы

- [1] Технология и оборудование контактной сварки / Под ред. Б.Д.Орлова. – М.: Машиностроение, 1986. – 352 с.
- [2] Ausgekochter Stahl für das Auto von morgen. Max Planck Forschung (Nr.3), 36 (2004).

[3] Entwicklung hochfester und supraduktiler Leichtbaustähle für die Verkehrstechnik

Frommeyer, Georg; Rablbauer, Ralf;

[4] Dr.-Ing. Torsten Hallfeldt, Hochfeste supraduktile TWIP / TRIP – Leichtbaustähle für verstärkende und crashstabile Fahrzeugkomponenten