

В этой статье будут определены приемлемые уровни побежалости сварного шва на поверхностях из нержавеющей стали, подвергнутых механической полировке и электрополировке, а также продемонстрированы проверенные методы восстановления в мастерских и "в поле" для устранения чрезмерных цветов побежалости. Кроме того, мы покажем влияние различных уровней кислорода и влияние побежалости на коррозионную стойкость. Информация в данном документе основана на реальном "полевом" опыте и успешных методах "полевого" восстановления.

Определение допустимых уровней цветов побежалости сварных швов на поверхности механически полированной и электрополированной нержавеющей стали

by Ken Kimbrel

Вступление

В течение многих лет фармацевтическая промышленность в значительной степени опиралась на диаграмму побежалости сварных швов AWS D18.2 Американского общества сварки, чтобы определить приемлемость цвета в Зоне Термического Влияния (ЗТВ) для сварных швов в системах трубопроводов. В действующей редакции ASME-BPE © 2009, таблица MJ-3, в разделе Цвета побежалости в зоне термического влияния поверхностей, контактирующих с продуктом, говорится «допускается иметь цвет от светло-соломенного до светло-голубого» (например, образцы AWS D18.2 с 1-го по 3-й можно использовать в качестве ориентира)». Диаграмма AWS D18.2 на рис.10 пытается предложить руководство на основе сварных швов, сделанных с содержанием кислорода от 10 до 25000 ppm (частей на миллион), идентифицируя с соответствующим номером образца и, таким образом, определяя не только цвет, но и допустимый диапазон содержания кислорода в защитном газе. Тем не менее, было мало доказательств того, что цвет выше уровня 3 ухудшает коррозионную стойкость в зоне сварки или в зоне термического влияния на аустенитных нержавеющей сталях.

В процессе проверки системы трубопроводов, определение цвета и признание приемлемости цвета в лучшем случае субъективны. Многие люди, делающие определение приемлемости, не были должным образом обучены определять приемлемость цвета и не проходили ежегодный тест на остроту зрения. Без стандартов, дающих четкое руководство по специальному освещению и оборудованию для осмотра, многие могут использовать неподходящее или устаревшее оборудование с плохими источниками освещения, которые могут повлиять на четкость и представление цвета.

Доктор Лиза Нат, ведущий глазной хирург из Университета Питтсбурга, связалась по вопросу о важности проверки остроты цвета, заявив: «Если способность рабочих обязанностей этих инспекторов зависит от субъективного характера их зрения, я думаю, что ежегодный экзамен оправдан».

Далее она объясняет: «Цветовое зрение возникает благодаря наличию у нас трех типов колбочек: красных, голубых и зеленых. Свет различных длин волн поглощаются этими колбочками, и каждый пигмент колбочек поглощает широкий диапазон длин волн, хотя каждая длина волны не поглощается одинаково. Наш мозг очень сложным образом интерпретирует длины волн, смешивая возбуждающие рецептивные поля (коры головного мозга) и тормозные рецептивные поля, и таким образом мы интерпретируем цвет».

Дефекты цветового зрения можно разделить на врожденные и приобретенные. Врожденные дефекты цвета почти всегда красно-зеленые и затрагивают 8% всех мужчин и 0,5% всех женщин. Приобретенные дефекты чаще всего сине-желтого типа и одинаково распространены у мужчин и женщин.

Врожденные дефекты цветового зрения обычно не связаны с какой-либо заметной патологией сетчатки или зрительного нерва, но приобретенные дефекты цветового зрения часто связаны с наблюдаемой глазной патологией.

В идеале, тест цветового зрения должен обнаруживать наличие или отсутствие нормального цветового зрения, а также различать красно-зеленые дефекты и сине-желтые дефекты (помните, что сине-желтые дефекты - это, прежде всего, приобретенные потери цветового зрения)».

В выпуске ASME-BPE 2009, касающемся квалификации инспекторов/экзаменаторов в GR-4.1.3 «Сертификация», указано: «Работодатель несет ответственность за обучение, тестирование и сертификацию работников. Работодатель должен установить письменную практику в соответствии с руководящими принципами ASNT-SNT-TC-1A, включая:

- а. требования, перечисленные в таблице GR-1
- б. обучающие программы
- с. требования к сертификационным испытаниям

- д. требования к обследованию глаз
- е. сертификационная документация

Владелец/пользователь несет ответственность за проверку соблюдения требований этого раздела».

“В этой статье приведены для рассмотрения образцы цветов побежалости, подобные показанным на диаграмме AWS D18.2, выполненной на электрополированной нержавеющей стали 316L, чтобы показать необходимость в промышленно принятой цветовой диаграмме для электрополированного материала.”

SNT-TC-1A - это руководство, которое используется работодателями для разработки собственной местной программы, охватывающей обучение, квалификацию и сертификацию своих сотрудников, выполняющих неразрушающие испытания.

Важно отметить, что SNT-TC-1A является руководством, а не обязательным набором правил. Следует также отметить, что SNT-TC-1A пересматривается каждые несколько лет, но, если не требуется иное, не требуется принятия последней версии. Другими словами, SNT-TC-1A может быть настолько широким или ограниченным, насколько вам нужно.

Во многих случаях сварные швы из нержавеющей стали были забракованы из-за желания перестраховаться. Когда это происходит, обычно гораздо проще вырезать шов и заново сварить его и расходы переложить на подрядчиков, чем обсуждать обоснованность забраковки шва. В конечном счете это увеличивает стоимость и для заказчика системы, если не во время переваривания швов в процессе установки системы с задержками и дополнительными расходами, то затем, в будущих установках систем, вынуждая подрядчиков повышать цены.

Это изменение цвета сварного шва или «цвета побежалости» не следует путать с естественной прозрачной оксидной пленкой, присутствующей на всей нержавеющей стали, которая в значительной степени отвечает за коррозионную стойкость сплавов в агрессивных средах. Состав слоя побежалости может варьироваться, но чаще всего это смесь оксидов хрома и железа, и чем тяжелее оксидный слой, тем темнее цвет. Под оксидным слоем основной металл обычно обеднен хромом и поэтому теряет коррозионную стойкость стали в этой области. До тех пор, пока не будет восстановлена однородная пассивная оксидная пленка, эти участки в сварных швах и ЗТВ, где образовались тяжелые оксиды, подвержены коррозионным атакам, чаще всего в виде точечной и щелевой коррозии.

У многих инспекторов, заказчиков и даже производителей сложилось впечатление, что для устранения побежалости и восстановления коррозионной стойкости пораженный участок должен быть отшлифован для удаления металла с последующей пассивацией или электрополировкой. В этом документе будет показано влияние этих процессов и их преимущества и недостатки.

Большой процент фармацевтических систем, используемых сегодня, изготавливается с использованием электрополированных труб и фитингов из нержавеющей стали 316L. Цветовая диаграмма AWS D18.2, используемая для цветового сравнения и критериев приемки, была установлена для полированной нержавеющей стали 304L. Несмотря на то, что диаграмма цвета включает в себя обозначение «не было значительного различия в цветах побежалости от UNS S31603 (номер стали 1.4404, тип 316L)», в нем не учитывается использование электрополированных компонентов при определении приемлемости цвета и то как увеличенная коррозионная стойкость более благоприятна для компонентов прошедших процесс электрополировки.

Также известно, что коррозионная стойкость высоколегированных аустенитных нержавеющих сталей обычно менее подвержена ухудшению от сварочной побежалости. В этой статье будут представлены образцы цветов, аналогичные тем, которые показаны на диаграмме AWS D18.2, выполненной для электрополированной нержавеющей стали 316L, с тем чтобы показать необходимость использования общепринятой в отрасли цветовой диаграммы для электрополированного материала.

Как указано в статье Л. Х. Боултона и Р. Э. Авери, опубликованной в апреле 2004 г. «Мир нержавеющей стали», при определении критериев приемлемости для цветов побежалости на сварных швах из нержавеющей стали следует учитывать методы очистки после сварки, которые будут выполняться на сварных швах, или если же считается, что определенный уровень побежалости, присутствующий на соединениях, обеспечит приемлемую коррозионную стойкость в конкретном применении или окружающей среде.

Инспекционное оборудование

Основное влияние на количество цвета, которое можно увидеть, и проблема, которой уделяют очень мало внимания, заключается в том, как рассматривается сварной шов во время проверки. Цвет может варьироваться, в зависимости от того, просматривается ли он невооруженным глазом при комнатном освещении или светодиодном освещении, или с помощью электронных устройств, таких как бороскопа. В зависимости от типа используемой лампы и типа устройства для просмотра изображений, все это может повлиять на "приемлемый цвет" сварочного шва.

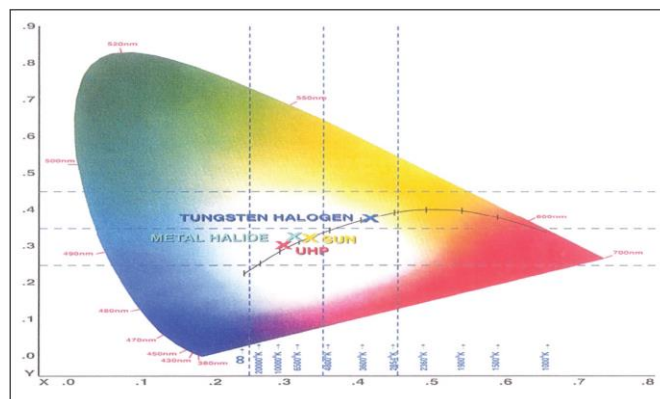


Рис. 1. Спектральный график зависимости цвета от температуры °K.

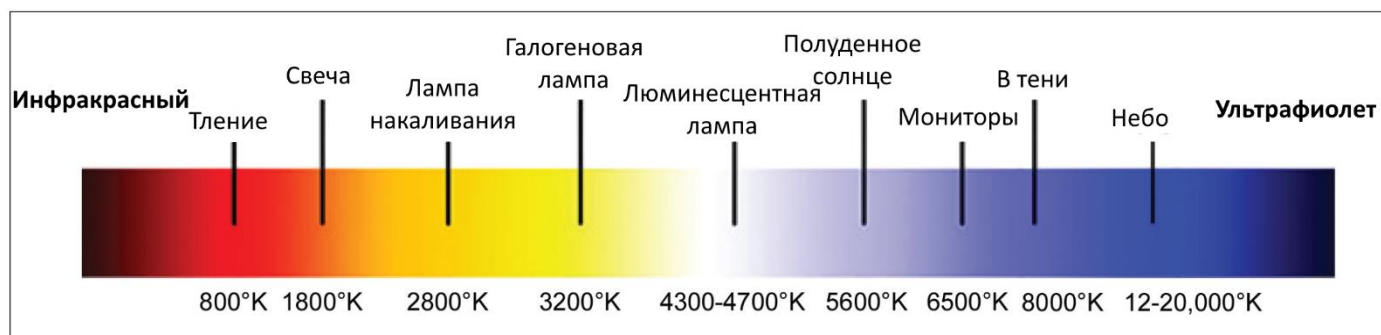


Рис.2. Отображение цветовой температуры.

Существуют три различных типа ламп, излучающих источники света, которые используются в бороскопах для инспекционных процедур в фармацевтической промышленности. Это высокопроизводительные газоразрядные лампы высокого давления, которые будут излучать синий оттенок, вольфрам, который будет излучать желтый оттенок, и металлогалогенид, который будет излучать сине-зеленый оттенок на поверхность. На диаграмме выше показана кривая цветового оттенка в зависимости от используемого источника света.

Спектральный выход

Спектральный выход лампы детализирует количество электромагнитного излучения, генерируемого в диапазоне длин волн, от ультрафиолетового (УФ), через видимый спектр, до инфракрасного (ИК) - Рис. 1. Длина волны излучения выражается в нанометрах (нм), один нанометр составляет 10^{-9} метров.

Видимый спектр находится между приблизительно 390 и 770 нм, причем ультрафиолетовое излучение находится ниже, а инфракрасное излучение - выше этого диапазона. Чтобы получить истинные цветные изображения, источник света должен иметь относительно равномерный выход по видимому спектру. В идеале количество производимого ИК-излучения должно быть сведено к минимуму, поскольку ИК-излучение преобразуется в тепло, что может потребовать системы охлаждения. Спектральные выходы трех наиболее часто используемых типов ламп показаны на Рис. 1 и сравниваются со спектром на солнца.

Цветовая температура

Цветовая температура лампы является показателем ее излучения и измеряется в абсолютных градусах ($^{\circ}\text{K}$ в единицах СИ) - Рис. 2. Как правило, вольфрам-галогенные лампы имеют цветовую температуру 3200°K, а металлогалогенные и высокопроизводительные газоразрядные лампы высокого давления имеют температуру около 5600°K. Цветовая температура солнца составляет 5900°K. В вольфрам-галогенных лампах цветовая температура может быть уменьшена путем уменьшения напряжения на нити лампы. Некоторые источники света используют этот метод для регулировки «интенсивности» светового потока. К сожалению, этот тип управления - «реостат», увеличивает «пожелтение» результирующего освещения.

По словам производителей бороскопов, с которыми связались в ходе исследования этой статьи, считается, что металлогалогенные лампы наиболее близки к доступному солнечному свету. Интересным примечанием является то, что большинство бороскопов, используемых в промышленности, встречаются в аэрокосмическом секторе, при этом мало внимания уделяется фармацевтическим применениям, где цвет может иметь большее значение.

Чтобы дополнительно проиллюстрировать влияние источника света на цвет, на рисунках 3, 4 и 5 показано влияние цвета подсветки на сварные швы при разных уровнях кислорода в защитном газе. Каждое фото в следующих трех примерах показывает автогенный шов на наружном диаметре куска трубки из нержавеющей стали 316L диаметром 1,5", разрезанной пополам.

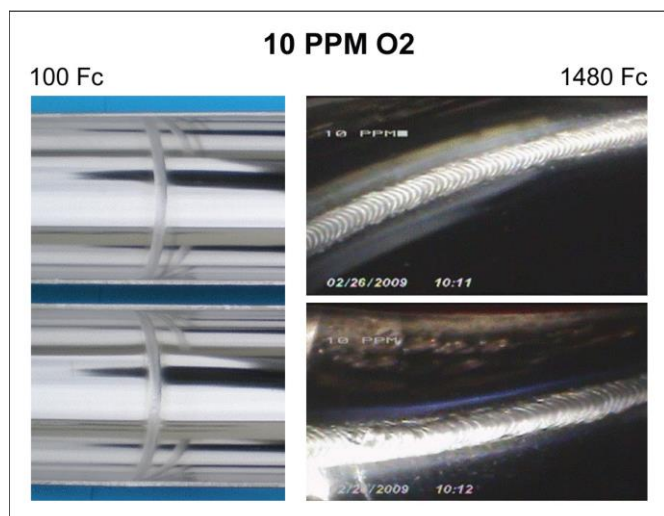


Рис. 3. Фотография слева иллюстрирует цвет на сварном шве и в ЗТВ сварного шва, сделанного с 10 ppm O_2 . Крайние фотографии слева показывают изменение цвета сварного шва невооруженным глазом, в то время как на ближайших фотографиях виден тот же сварной шов, что и при использовании бороскопа при мощности 1480 Fc.

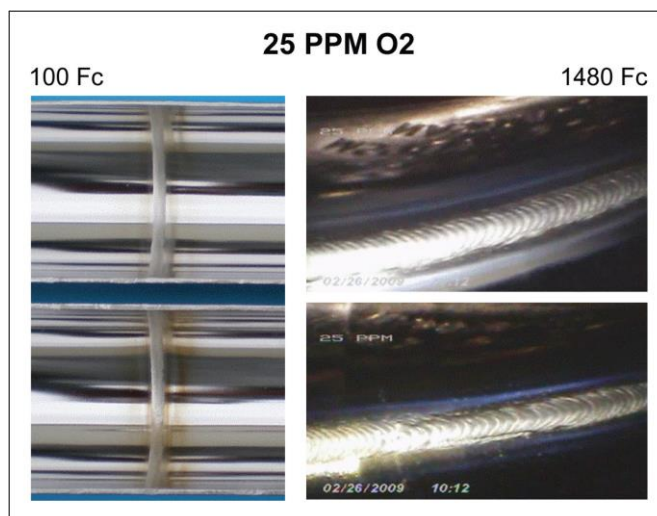


Рис. 4. Фотография слева иллюстрирует цвет на сварном шве и в ЗТВ сварного шва, сделанного с 25 ppm O_2 . Крайние фотографии слева показывают изменение цвета сварного шва невооруженным глазом, в то время как на ближайших фотографиях виден тот же сварной шов, что и при использовании бороскопа при мощности 1480 Fc.

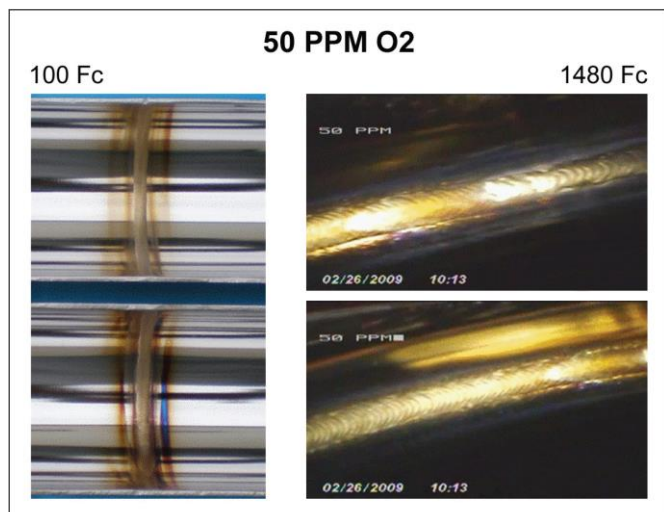


Рис. 5. Фотография слева иллюстрирует цвет на сварном шве и в ЗТВ сварного шва, сделанного с 50 ppm O₂. Крайние фотографии слева показывают изменение цвета сварного шва невооруженным глазом, в то время как на ближайших фотографиях виден тот же сварной шов, что и при использовании бороскопа при мощности 1480 Fc.

Затем каждый из них исследуется невооруженным глазом под мощностью 1480 футовых свечей (Fc) под бороскопом с использованием металлогалогенной лампы мощностью 50 Вт. Идентификация цвета сварного шва не является новостью для биофармацевтической промышленности и должна по-прежнему определяться как потенциальная проблема при необходимости. Однако с учетом того, что принятие цвета является довольно субъективным, важно обеспечить, чтобы лица, ответственные за определение, были как можно лучше экипированы и обучены не только в определении цвета, но и в методах ремонта. В следующем примере я проиллюстрирую, как расхождение во мнениях может повлиять на проект через финансовые вопросы и вопросы планирования.

Дело

В феврале 2009 года крупная американская фармацевтическая компания, устанавливающая новые трубопроводы и передаточные панели, связалась с производителем панелей, указав, что более тридцати сварных швов было отклонено сторонней инспекционной компанией на основании неприемлемого цвета в ЗТВ сварных швов, как показано на AWS. Цветная диаграмма D18.2. Сами панели были осмотрены и приняты на заводе-изготовителе почти двумя годами ранее другим инспектором, нанятым той же инспекционной компанией, и хранились на складе вплоть до этого места установки. Нынешний сторонний инспектор на месте не только отклонил сварные швы на основании его определения цвета, но также указал владельцу, что сварной шов должен быть вырезан и заменен. После нескольких обсуждений с владельцем, сторонней инспекцией и нанятыми консультантами было решено, что существует возможность использования альтернативных методов для удаления сомнительного цвета и поддержания коррозионной стойкости в зоне сварного шва без вырезания сварных швов и повторной сварки в новых секциях.

При рассмотрении альтернатив обсуждались несколько факторов. Если бы сварные швы были вырезаны и заменены, должны были бы быть изготовлены катушки плюс дополнительные сварные швы вместо тех, которые были вырезаны из-за укорачивания секций плюс новые для ввариваемых катушек. В проект будет добавлено несколько недель, чтобы дать время для вырезания существующих сварных швов, изготовления и вваривания новых катушек. Добавление нескольких новых сварных швов сверх количества уже существующих и проблемы с продувкой трубопроводов представляли возможность возникновения дополнительных проблем.

Кроме того, доступность рассматриваемых сварных швов во многих случаях была сложной.

Консультанты, нанятые сторонней инспекционной компанией, настаивали на том, чтобы для достижения оптимальной коррозионной стойкости, если текущие сварные швы должны быть оставлены на месте, их необходимо отшлифовать, а затем пассивировать или электрополировать. Это само по себе является невыполнимой задачей при работе со сварными швами «в поле», поскольку невозможно получить доступ к швам для шлифования. Другим методом, рассмотренным вместо резки и повторной сварки секций, был процесс, известный как ЭлектроХимическая Очистка или (ЭХО). Этот способ был разработан в качестве альтернативы использованию стандартных процедур пассивации для очистки покраснений и других поверхностных пятен и в прошлом успешно применялся при удалении побежалости из зон термического влияния в сварных швах. Утверждалось, что процесс электрохимической очистки может достигать таких же или улучшенных результатов путем удаления металла при достаточном количестве времени и силе тока, фактически приложенных к поверхности при воздействии электролита, и достигает пассивации поверхности, равной или превышающей стандартные методы пассивации, при этом не повреждая окружающую электрополированную отделку.

Группа определила, что будет сделан целый ряд тестовых образцов труб из нержавеющей стали 316L с такими же отклонениями от цвета на поверхности. Эти образцы затем будут подвергаться различным методам восстановления (то есть электрохимической очистке, механической полировке и очистке), чтобы определить, можно ли в действительности удалить рассматриваемый цвет и было ли ухудшение коррозионной стойкости.

	Образец #00	Образец #01	Образец #02	Образец #03
	Чистая Электрополированная труба без сварн. швов	~ 20 ppm O ₂	~ 50 ppm O ₂	~ 80 ppm O ₂
Набор образцов "А"	A-00	A-01	A-02	
Набор образцов "В"	B-00	B-01	B-02	
Набор образцов "D"		D-01	D-02	
Набор образцов "Е", Без Электрополир-пассивировка в лимонной кислоте		E-01	E-02	E-03
Набор образцов "F", Мех. Полировка и Электрополировка		F-01	F-02	

Образец #00 Набор "А" и "В" были чистой 316L заводской электрополированной трубой которая была протестирована для определения КПК основного металла для определения базовой коррозионной стойкости основного металла для сравнения со швами и ЗТВ в других образцах после процесса очистки.

Образец #01 Наборы "А", "В", "D", "Е", и "F" были с круговыми швами сваренными с 20 ppm кислорода и инспектированы с цветом равным #2 как в таблице цветовой диаграммы AWS D18.2.

Образец #02 Наборы "А", "В", "D", "Е", и "F" были с круговыми швами сваренными с 50 кислорода и инспектированы с цветом равным #3 как в таблице цветовой диаграммы AWS D18.2.

Образец #03 Наборы "Е" были с круговыми швами сваренными с 80 ppm кислорода и инспектированы с цветом между #3 и #4 как в таблице цветовой диаграммы AWS D18.2.

Таблица А. Тринадцать сварочных образцов с типичным цветом в зоне влияния сварных швов.



Рис. 6. Набор купонов A-01.

Образцы

Тринадцать сварочных образцов с характерным цветом в зоне термического влияния сварных швов были предоставлены, как указано в таблице А. Модифицированный тест циклической поляризации ASTM G 61 для определения критического потенциала точечной коррозии (КПК) нержавеющей стали типа 316L был использован для оценки каждого образца после каждого конкретного процесса, как указано ниже. Тестовый раствор состоял из 1000 ppm хлорида, смешанного с NaCl с доведенным pH до 5,0. КПК определяется как потенциал, при котором плотность тока достигает уровня 100 мкА/см². Фотографии, показанные на рисунках 6, 7 и 8, являются репрезентативными для образцов, показанных в таблице А, и протестированы с результатами на рис. 9.

График на рисунке 9 представляет собой образец, показанный для справки по измерениям циклической поляризации, как показано в таблице В. Таблица В представляет собой сводную информацию, показывающую результирующее значение критического потенциала точечной коррозии, которое определено в ходе испытаний на циклическую поляризацию для 13 контрольных образцов. Чем выше число потенциала точечной коррозии, тем выше коррозионная стойкость.

Оценка

Чтобы оценить результаты, показанные в Таблице результатов циклической поляризации, типичная пассивированная нержавеющая сталь 316L с чистовой обработкой 2В будет иметь КПК около уровня середины 400 мВ, что является адекватной поверхностью для типичной коррозионной стойкости. Чтобы еще раз продемонстрировать обоснованность вышеизложенного, в недавнем исследовании д-ра Джима Фрица по оценке пассивированных поверхностей были проанализированы образцы нержавеющей стали 316L и оценены пассивированные поверхности с помощью тестера пассивации Козлова №2026³. Образцы содержали серу в диапазоне 0,005-0,017% и имели швы с полным проплавлением с уровнями цвета между 2-3 на диаграмме цвета шва D18.2.

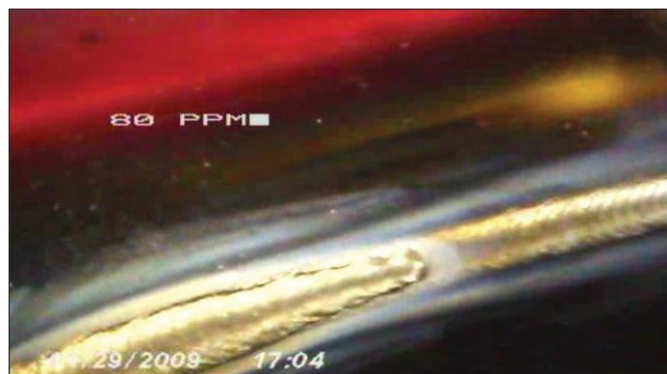


Рис. 8. Набор образцов A-01.

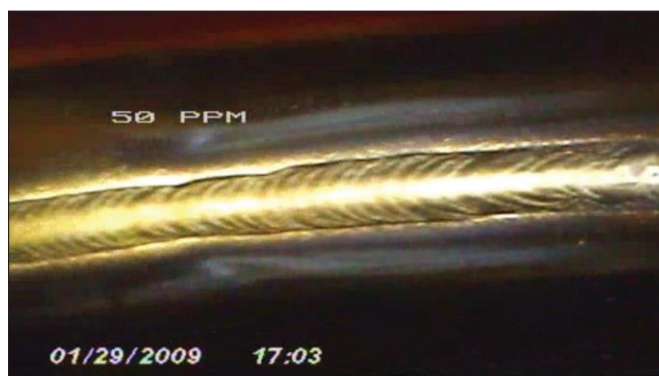


Рис. 7. Набор купонов E-03.

Эти образцы были предоставлены в виде: (1) сваренные, без очистки после сварки; (2) очищенные от цвета, температурное выцветание удалено с помощью абразива Scotch-Bright™; (3) отшлифованные до 120 зернистости. Все образцы затем пассивировали в 9,5% азотной кислоте при 55°C в течение 30 минут. Эти результаты показаны в таблице С и таблице D.

Обзор цветowych диаграмм

Для сравнения цвета, просматриваемого с помощью бороскопа в полевых условиях, и для определения приемлемых уровней цветов побежалости используется диаграмма AWS D18.2, показанная на рисунке 10, важно отметить, что диаграмма просматривается на отрезанном куске трубки с неизвестным источником света освещающим поверхность для оценки невооруженным глазом. В большинстве полевых применений сварные швы просматриваются с использованием бороскопа с неуказанным источником света или смотровым монитором, который может показывать измененную картинку в результате, как описано в разделе «Инспекционное оборудование» выше.

Кроме того, вышеприведенные результаты показывают, что даже при наличии побежалости на сварных швах, пассивированная поверхность, механически полированная по сравнению с электрополированной подвергается воздействию в различной степени. Исследования ясно показывают, что даже при более высоком уровне побежалости электрополированные поверхности обладают большей коррозионной стойкостью, чем те, которые получают только механическую полировку. Поэтому уровни побежалости на электрополированных поверхностях могут отличаться от тех, которые показаны в принятой в отрасли таблице AWS-D18.2. На рисунке 10 (AWS D18.2) показаны различные степени выцветания, в зависимости от содержания кислорода O² на механически полированных трубах, по сравнению с рисунком 11 (таблица № 143 Cotter Bros.), иллюстрирующим уровни побежалости, обычно встречающиеся на электрополированных трубах с аналогичными уровнями O².

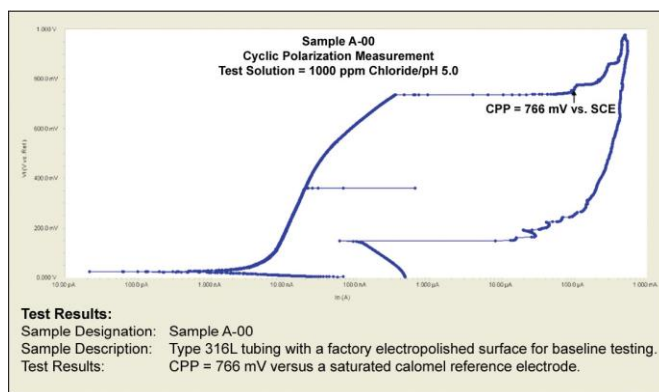


Рис. 9. Измерения циклической поляризации.

ID образца	Описание образца	Критич. корроз. потенциал (mV vs. SCE)
A-00	Базовый образец – заводская электрополировка	766
A-01	Сварено с 20 ppm O ² – электрополир. в теч. 5 мин.	728
A-02	Сварено с 50 ppm O ² – электрополир. в теч. 5 мин.	455
B-00	Базовый образец - заводская электрополировка	764
B-01	Сварено с 20 ppm O ² - электрополир. в теч. 7 мин.	699
B-02	Сварено с 50 ppm O ² - электрополир. в теч. 7 мин.	459
D-01	Сварено как есть с 20 ppm O ²	453
D-02	Сварено как есть с 50 ppm O ²	242
E-01	Сварено (20 ppm O ²) – пассив. в лимонной кисл.	841
E-02	Сварено (50 ppm O ²) - пассив. в лимонной кисл.	451
E-03	Сварено (80 ppm O ²) - пассив. в лимонной кисл.	385
F-01	Сварено (20 ppm O ²) - механ. полиров. + эл.полир.	310
F-02	Сварено (50 ppm O ²) - механ. полиров. + эл.полир.	423

Table B. Образцы труб из 316L – результаты циклической. поляризации.

Заключение

Тестирование коррозии, представленное выше, предполагает, что даже с побежалостью зоны термического влияния, «оздоровительные процедуры», такие как пассивирование, электрохимическая очистка, или электрополировка, когда выполнены правильно повышают устойчивость к коррозии в той проблемной области.

Процесс пассивирования может не полностью удалить цвет из ЗТВ, но улучшит устойчивость к коррозии до допустимых уровней.

Образец	Не пассивировано	пассивировано
Как сварено (ЗТВ)	- 780 mv	- 215 mv
Отбелено (ЗТВ)	- 450 mv	- 322 mv
Зачистка (ЗТВ)	- 220 mv	- 298 mv
основн. металл (2b отдел.)	- 221 mv	- 258 mv
От 0 до -400 mv = пассив., -400 to -500 mv = промежуточн., -500 to -1100 mv = не пассив.		

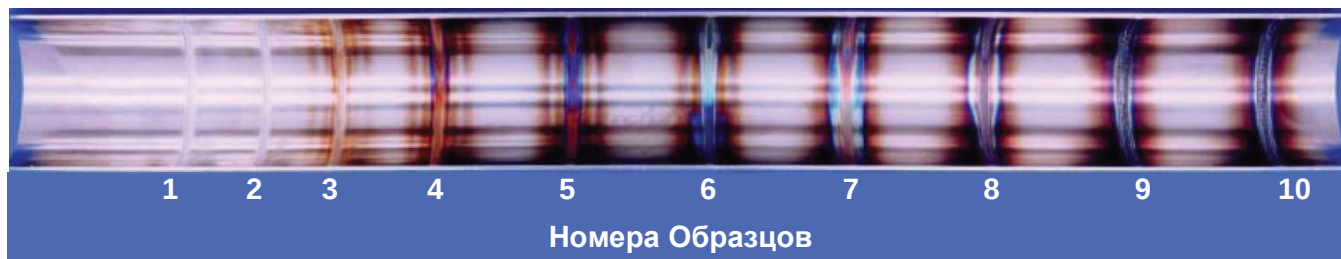
Table C. Итоги теста пассивации Козлова.

Образец	Не пассивировано	пассивировано
Как сварено (ЗТВ)	276 mv	525 mv
Отбелено (ЗТВ)	230 mv	475 mv
Зачистка (ЗТВ)	343 mv	495 mv
Основн.металл (2В Полир.)	506 mv	494 mv
Шов		603 mv

Table D. Итоги замеров КПК.

Электрохимическая очистка и электрополировка не только удаляют цвет из швов и ЗТВ, но также и улучшает устойчивость к коррозии до допустимых пределов, не требуя зачистки сварочных швов, для удаления металла и также без дальнейших процессов пассивирования.

Кроме того, информация выше указывает, что любые результирующие цвета побежалости швов при воздействии O² вплоть до 50 ppm не будет иметь никакого эффекта на устойчивость к коррозии, признаваемую в биофармацевтической промышленности для электрополированной нержавеющей стали 316L.



Примечания:

- Образец трубы был подготовлен, сделано десять автогенных швов на внешнем диаметре трубы 2" (50,8 мм) из нержавеющей стали 316L. Швы на трубе из 304L не показали значительной разницы в цветах побежалости по сравнению с 316L. Швы были с полным проплавлением. Защитный газ горелки был 95% аргона, 5% водорода [99,998 с менее чем 2 частями на миллион (ppm) кислорода, влаги и углеводородов], чтобы гарантировать полное проплавление швов. Добавка водорода к газовой защите горелки, как полагают, не имеет никакого эффекта на слой окиси побежалости в ЗТВ на внутренней поверхности. Для обеспечения переменного количества кислорода в газе поддува, баллон сжатого воздуха медицинского сорта был добавлен к аргону чистоты 99,98% (<2 частей на миллион - кислорода, влаги и углеводородов), и кислород был измерен с калиброванным коммерческим кислородным индикатором. Количество кислорода в ppm в газе поддува было измерено, чтобы получились следующие концентрации:

No. 1 - 10	No. 3 - 50	No. 5 - 200	No. 7 - 1000	No. 9 - 12500
No. 2 - 25	No. 4 - 100	No. 6 - 500	No. 8 - 5000	No. 10 - 25000

- Иллюстрация должна использоваться в качестве справки, для определения степени окиси побежалости порядковым номером, а не для определения содержания кислорода в газе поддува. Приемлемая степень цветов побежалости может меняться в зависимости от различной рабочей среды. Нужно рассматривать наряду с экономическими соображениями, возможность достижения очень низких уровней цветов побежалости, при определении приемлемых уровней цветов побежалости сварочных швов.

Количество и общий вид окиси цветов побежалости могут меняться под влиянием других факторов кроме кислорода, таких как:

- Высокий уровень влажности в защитном газе увеличит степень цветов побежалости.
- Загрязнители, такие как углеводороды, влажность, и некоторые типы макрочастиц на поверхности до сварки могут влиять на уровни окиси побежалости.
- Добавки водорода к аргону в защитный газ может значительно уменьшить количество окиси побежалости.
- Тип отделки металлической поверхности может иметь переменное влияние на общий вид цветов побежалости.

Рис. 10. Диаграмма изменения окраски сварного шва AWS D18.2.

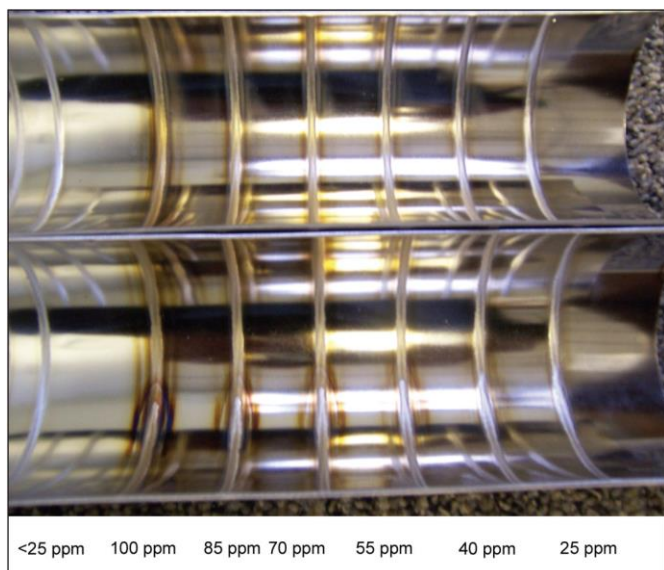


Figure 11. Братья Коттеры. #143 диаграмма цветов побежалости швов для электрополированного металла.

Это присущая проблема - то что недостаточный поддув при сварке в полевых условиях приводит к появлению побежалости на нержавеющей стали, которое может ухудшить устойчивость к коррозии. Усугубляет эту проблему то, что оценка оттенка ЗТВ сварочных швов, в лучшем случае субъективна, при том что может быть оценена неквалифицированным персоналом.

Есть несоответствие отраслевых стандартов для инспекционного персонала, стандартизации оборудования для освещения, увеличения и просмотра изображения, что может привести к усилению или маскировке цвета, приводящего или к увеличению забракованных швов, или к принятию негодных швов.

Пассивирование, хоть и эффективно при улучшении устойчивости к коррозии, может не удалить цвет из шва или ЗТВ. Текущая применяемая практика для удаления сварочной побежалости - зачистка области, для удаления металла и последующее пассивирование или электрополирование зоны поражения, или вырезание и замена швов на месте, и попытка управлять цветом при помощи надлежащих методов продувки. Исследования коррозии показали, что локальная электрополировка или электрохимическая очистка могут эффективно удалить материал и побежалость сварочных швов и ЗТВ, улучшая устойчивость к коррозии до уровней, подобных основному металлу, без зачистки и механической полировки.

Цветовая диаграмма, учитывающая эффекты в цвете побежалости для электрополированного материала, должна быть разработана и принята для фармацевтической промышленности, показывающей точные допустимые уровни побежалости – Рис. 11. Инспекторы и ответственные за оценку цвета на швах должны ежегодно проходить цветные тесты остроты зрения и должны предоставить документацию тестирования требуемой владельцем или поставщиком оборудования до начала инспекционного процесса.

References

1. AWS D18.2 Weld Discoloration Chart.
2. Boulton, L.H., and Avery, R.E., "Heat Tinted Stainless Steel Welds - Guidelines for Acceptance," *Stainless Steel World*, April 2004.
3. Fritz, J., "ASME-BPE Evaluation of Passive Surfaces," *TMR Stainless Inc.*, March 2009.

Acknowledgements

The author would like to thank Randy Cotter Sr. for setting this initiative in motion, Cotter Brothers Corporation for providing the samples and funding this study, Dr. Jim Fritz of TMR Stainless for performing all the laboratory tests, and UltraClean Electropolish Inc. for providing the electrochemical cleaning (ECC) and electropolishing of the samples for evaluation.

About the Author



Ken Kimbrel is Vice President of Ultra-Clean Electropolish Incorporated. He is responsible for technical publications, sales, marketing, process and material evaluation in corrosive environments. He attended Tulsa Community College and has an extensive background in engineering, equipment manufacturing, and is a NACE International

Board Certified Corrosion Technician. Kimbrel is a member of The American Society of Mechanical Engineers (ASME) and serves as chairman of the ASME BPE sub-committee on Metallic Materials of Construction and is also member of the ASME-BPE sub-committees on Accreditation, the Main committee and Executive committee. He is a member of the International Society for Pharmaceutical Engineering (ISPE), ASM International (ASM), the International Metallographic Society (IMS), the National Association of Corrosion Engineers (NACE), and serves NACE as a member of Specific Technology Group 39-Material Applications; Technology Exchange Group 114X - Applications of Duplex and Ferritic Stainless Steel, and Technology Exchange Group 116X-Austenitic Alloy applications, and serves as vice-chair of NACE Technology Exchange Group - Material Issues in High Purity & Sanitary Applications.

UltraClean Electropolishing Inc., 1423 S. Thousand Oaks Dr., Nixa, Missouri 65714-8201, USA.