

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОБМАЗОЧНЫХ МАСС ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

М. Ф. ГНАТЕНКО

Фирма «Велма». 02160, г. Киев, ул. Каунасская, 3. E-mail: mavel@ukrpost.ua

Вопросы качества производства покрытых электродов совершенно недостаточно рассматриваются в отечественных и зарубежных публикациях. В представленной работе предпринята попытка рассмотреть причины недостаточной стабильности процесса опрессовки электродов и поделиться практическим опытом по их устранению. Даны рекомендации по оптимизации процесса нанесения покрытий при производстве электродов. Библиогр. 4.

Ключевые слова: производство сварочных электродов, обмазочные массы, технологические свойства, оптимизация, гранулометрический состав, состав и свойства шихты

Качество изготовления покрытых сварочных электродов определяется, в основном, технологическими свойствами обмазочных масс. Наиболее существенным показателем качества электродов является разнотолщинность покрытия электродов. Этот показатель проявляется на стадии нанесения обмазочной массы (покрытия) на стержни в процессе их опрессовки при давлениях на массу до 800 кг/см^2 и скоростях до 400 м/мин .

Стабильность процесса опрессовки, в т. ч. по разнотолщинности покрытия, на 90% определяется опрессовочными (пластическими) свойствами обмазочных масс.

Характерно, что в публикациях по этому вопросу отсутствуют четкие закономерности по влиянию на опрессовочные свойства различных параметров и характеристик технологических составляющих и, тем более, нет четких практических рекомендаций для технологов-производственников.

Цель работы: рассмотреть причины нестабильности процесса опрессовки электродов и возможные пути их устранения.

Технологические свойства масс. Они включают в себя:

– опрессовочные (пластические) свойства обмазочных масс: давление опрессовки (чем меньше, тем лучше при достаточной сопротивляемости вмятинам), степень стабильности формирования потоков в заходной опрессовочной зоне и, соответственно, стабильность разнотолщинности нанесения покрытия на стержни при опрессовке; степень адгезии массы (покрытия) к стержню при их контакте в опрессовочной камере;

– свойства сырых масс (покрытия), характеризующие их склонность к переработке (к разрыву покрытия по плоскости стыковки стержней электродов после выхода из опрессовочной головки), к зачистке покрытия под электрододержатель и кон-

тактный торец, к слипанию электродов, прилипанию к рамкам и т.п.;

– сушильные свойства обмазочных масс: сопротивляемость структуры обмазочных масс прохождению влаги (удалению из внутренних слоев); степень размягчения масс при нагреве на начальных стадиях сушки; склонность масс к усадке и к микро-, макротрещинам; к отслоению от поверхности стержня (трещины и отслоение уменьшают прочность покрытия электродов);

– прочностные свойства покрытия готовых электродов.

Причины пониженных технологических свойств и пути их оптимизации. Результаты экспериментов, производственный опыт и их анализ на основе имеющихся научных публикаций [1–4] позволяют утверждать, что опрессовочные свойства обмазочных масс определяются:

– составом шихты (свойствами и количеством того или другого компонента); степенью смачивания и химическим взаимодействием порошков шихты с жидким стеклом; прочностными характеристиками частиц компонентов и др.);

– свойствами жидкого стекла;

– объемным гранулометрическим составом шихты;

– свойствами пластификатора (в т. ч. различных добавок, солей, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и т. п.);

– типом смесителя для приготовления обмазочных масс (рассмотрены в работе).

1. В первую очередь рассмотрим наиболее очевидный фактор влияния на опрессовочные свойства масс — *грансостав* шихты (объемный):

а) максимальный размер частиц компонентов не должен быть больше толщины покрытия электродов, а точнее меньше в $2...3$ раза, дабы, сойдясь, $2...3$ частицы в толщине покрытия не заперли канал, когда таких частиц в шихте много;

б) должна быть максимальная плотность упаковки частиц шихты для предупреждения дилатансии и пульсации;

в) необходима минимизация коэффициента трения между слоями течения при формировании потока покрытия электродов на входе в фильеру (формирующую втулку). Это достигается за счет уменьшения средней фракции (+0,063 –0,16) в шихте до минимума, т.е. крупная фракция (–0,16 +0,355: 30...35 %) составляет толщину одного слоя (каркас слоя), а мелкая фракция (–0,063) в толщине слоя обеспечивает максимальную плотность упаковки и минимальную шероховатость слоя;

г) нельзя допускать, чтобы в шихте было больше 65...70 % мелкой фракции (–0,063), т. к. количество слоев течения на стадии формирования толщины покрытия резко увеличивается (в десятки раз), и, соответственно, количество степеней сдвига слоев тоже резко увеличивается. Это приводит к нестабильному формированию потоков по месту и времени (пульсации разнотолщинности).

Все иные проблемы, связанные с разнотолщинностью (причины и следствия), будут рассматриваться при условии:

- грансостав шихты обмазочных масс оптимальный и одинаковый;

- чисто химическое взаимодействие компонентов с жидким стеклом отсутствует (в т. ч. с выделением газообразных продуктов).

2. *Состав шихты и физико-химические свойства отдельных компонентов:*

а) наличие в шихте компонентов с анизодиаметрической формой частиц (слюда, тальк, воллостанит, каолин, целлюлоза и т. п.) в достаточном количестве (не менее 4...6 %) уменьшает внутреннее трение в обмазочной массе при формировании потоков с диаметра гильзы до диаметра покрытия. Важно также, что такие частицы армируют обмазочную массу, соответственно и покрытие, т. е. стойкость против вмятин и т. п. возрастает. Такие компоненты, как правило, используются в покрытиях рутилового вида, рутил-целлюлозного, ильменитового и т.п. Обмазочные массы таких электродов характеризуются хорошими опрессовочными свойствами (АНО-4, ОЗС-4, МР 3, АНО-13, АНО-36 и т.п.);

б) наличие в шихте компонентов, которые имеют прочность разрушения на сжатие и сдвиг на уровне давлений на массу при опрессовке электродов: 300...800 кг/см². Известно, что в эту область попадают прочностные характеристики мрамора, магнезита, доломита и т.п. Наиболее яркими представителями таких шихт (обмазочных масс) являются электроды марок УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, АНО-9 и т. п. В составе таких шихт около 50 % мрамора с прочностью разрушения пример-

но 500 кг/см². Обмазочные массы таких электродов характеризуются низкими опрессовочными свойствами (и, в целом, технологическими). При их опрессовке на давлениях выше 400...500 кг/см² (на массу) в заходной зоне и в опрессовочной камере происходит частичное разрушение (скалывание) частиц мрамора с образованием новых поверхностей, которые отбирают на себя часть влаги с пленки геля жидкого стекла. Масса в этих местах загустевает, образуются «сухари», нарушается стабильность формирования потока массы; разнотолщинность начинает пульсировать по направлению и времени. Зачастую идет и повышение давления вплоть до запираания каналов.

Накопившийся ранее производственный опыт показывает, что, например, электроды марки АНО-4 обычно прессуют при давлениях 600...700 кг/см² (на массу), а УОНИ 13/55 — на давлениях 350...450 кг/см². В первом случае масса содержит в своем составе много слюды (24 %) и мало относительно мягких частиц магнезита (всего 15 %). Электроды АНО-4 можно прессовать при больших давлениях, не нарушая целостность частиц магнезита, тем более при наличии слюды. В случае УОНИ 13/55 эффект противоположный и это необходимо учитывать при опрессовке, обеспечивая повышение стабильности этого процесса за счет: улучшения опрессовочных свойств масс, используя соответствующие способы пластифицирования; снижения давления опрессовки путем использования эффективных опрессовочных заходных зон и головок; применения интенсивных смесителей для приготовления масс, а также используя марки мрамора с прочностью в пределах 1000 кг/см².

На ухудшение опрессовочных свойств обмазочных масс УОНИ 13/55 (и т. п.) фтористокальциевого типа может оказать влияние применение флотационного флюорита, который зачастую содержит на поверхности частиц относительно большое количество флотореагентов. Это резко снижает смачиваемость флюорита жидким стеклом. Степень адгезии жидкого стекла (геля) к частичкам флюорита уменьшается и трение между частицами увеличивается. Течение становится более нестабильным. Т.е. степень смачивания частичек шихты определяет качество покрытия их жидким стеклом и уровень трения между частицами при течении повышается. Процесс опрессовки становится менее стабильным.

3. *Роль жидкого стекла в свойствах обмазочных масс.* Технологические, в т. ч. опрессовочные, свойства обмазочных масс на 70...80 % зависят от типа, характеристик и свойств жидкого стекла (его влияние на сварочно-технологические свойства не рассматривается).

Основное предназначение жидкого стекла в обмазочных массах (с точки зрения опрессовки) —

до минимума снизить трение между частицами шихты при формировании потока с диаметра цилиндра пресса до диаметра покрытия электродов при их опрессовке, а после опрессовки покрытие должно обладать достаточной стойкостью против вмятин и механических повреждений. В чем же и как проявляются смазочные и упрочняющие свойства жидкого стекла в обмазочной массе?

Чтобы установить механизмы и процессы, происходящие при приготовлении обмазочных масс, необходимо разделить эту стадию на два этапа.

Первый этап: распределение жидкого стекла в шихте, т. е. покрытие частиц шихты жидким стеклом; этот этап должен быть осуществлен как можно быстрее. К тому же, необходимо обеспечить хорошую смачиваемость жидким стеклом поверхностей практически всех частиц (применив, если надо, соответствующие специальные поверхностно-активные вещества). Наиболее эффективны для приготовления масс интенсивные смесители.

Второй этап: формирование определенных физико-механических свойств обмазочных масс, как следствие реакции жидкого стекла на контактное взаимодействие его с поверхностью частиц разных компонентов, как-то:

- отбор влаги из пленки жидкого стекла;
- адсорбционные процессы (в т. ч. взаимодействие электрических потенциалов на поверхности раздела);
- ионный обмен между жидким стеклом и отдельными компонентами;
- различное влияние на жидкое стекло разных типов пластификаторов и спецдобавок.

Из первоисточника [2] известно, что в результате аналогичных подобных процессов в жидком стекле происходит гелеобразование (резкое повышение вязкости, полимеризация, образование кремнеорганических структур: гелеобразование, коагуляция). При этом в зависимости от характеристик жидкого стекла, его параметров и факторов воздействия структура геля жидкого стекла получается разная: мягкая, средняя и жесткая.

К мягкой структуре получаемого геля склонны жидкие стекла с низким модулем ($< 2,9$). К жесткой структуре — с большим модулем ($> 3,1$) и, естественно, к средней — с модулем $> 2,9$ и $< 3,1$. В чем это проявляется? Если взять на указательный палец низкомолекулярное жидкое стекло и растереть его большим пальцем, то состояние очень долго не будет меняться. Оно будет оставаться липким (мягкая структура). Если же эту процедуру проделать с жидким стеклом высокого модуля, то очень быстро между пальцами образуется сухой «песок» (жесткая структура геля). А со средним модулем между пальцами образует-

ся слой типа желе — структура геля средняя по жесткости. На обмазочных массах это проявляется при их приготовлении: если масса липкая, долго «не скручивается», не вымешивается — структура геля мягкая. Если масса очень быстро становится сухой и требует дополнительного количества жидкого стекла, между пальцами трудно сдвигается, рассыпается, то здесь структура геля жидкого стекла получается жесткая. Средний вариант — масса получается не липкая, но под указательным и большим пальцами хорошо сдвигается (даже при повторном продавливании).

В чем же причина образования разных структур геля жидкого стекла в пленке обмазочных масс и их свойств? В процессе гелеобразования жидкого стекла, как известно, происходят процессы полимеризации, гелеобразования, коагуляции частиц кремнеорганических коллоидных соединений. В результате могут образовываться как плоскостные слабые структуры (мягкие), так и объемные жесткие структуры (жесткие) в зависимости от модуля жидкого стекла. При среднем модуле в структуре геля присутствуют в комбинации как плоскостные, так и объемные структуры. В момент гелеобразования (коагуляции) микрообразования (частицы) обладают высокими адгезионными и когезионными свойствами. Поскольку на первом этапе жидкое стекло уже покрыло частицы, то на втором этапе происходит гелеобразование (коагуляция) пленки жидкого стекла, сопровождающееся высокой адгезией, что приводит к качественному покрытию частичек гелем. Он и обеспечивает течение обмазочных масс при опрессовке.

Итак: а) при низком модуле гелеобразование очень слабое (плоскостное), адгезия к частичкам слабая, трение между частичками высокое, течение нестабильное; б) при высоком модуле гелеобразование очень интенсивное (коагуляция), объемное, когезия в пленке жидкого стекла выше, чем адгезия к частицам, поэтому они неравномерно покрыты, течение происходит нестабильно, а покрытие «разрыхляется», т. к. масса в структуре не восстанавливается (разрыв сплошности). Течение при этом не может быть стабильным по направлениям и во времени. Покрытие плохо удерживается на стержне. По-видимому, структура такого геля имеет упругость, связанную с пористой структурой, за счет большой величины когезионных сил в микрочастицах геля. Это тоже в пользу процесса «разрыхления» массы. Как же управлять структурой геля? В случае мягкой структуры геля, его надо ужесточить, в случае жесткой структуры — смягчить, выводя ее на средний уровень, применяя для этого соответствующие приемы. Дабы ужесточить структуру геля с мягкой до средней надо применить активный пластификатор. Это поташ, сода,

техническая КМЦ и т. п. Электролитные составляющие вызывают активацию процесса гелеобразования, в результате получается средняя структура геля и достигается эффект повышения пластических (опрессовочных) свойств. Следует отметить, что есть и другие приемы повышения степени гелеобразования: повышение вязкости применяемого жидкого стекла; использование более мелкого компонента, который больше активует процесс гелеобразования в жидком стекле; или же применять жидкое стекло с большим модулем.

Если структура геля жидкого стекла в обмазочной массе получается жесткой, то следует:

- понизить вязкость жидкого стекла, либо исключить из состава шихты активные пластификаторы;
- применить неактивные пластификаторы (очищенную КМЦ, чистую электродную целлюлозу и т. п.). Так, КМЦ, «растворяясь» в пленке жидкого стекла (с пониженной вязкостью), предотвращает образование жесткого геля;
- компоненты, активно воздействующие на процесс гелеобразования, необходимо применять с более крупным грансоставом;
- использовать добавки растворов щелочей (Na, K) для понижения модуля жидкого стекла.

Некоторые перечисленные приемы (как первые для мягких, так и вторые — для жестких) можно реализовывать уже на стадии приготовления обмазочных масс (масса получается мягкой — добавить в массу активные пластификаторы, а если сухая, то добавить воды плюс немного очищенной КМЦ (ЭЦ)). Обмазочная масса, как система «шихта – жидкое стекло – пластификатор» с учетом активности отдельных составляющих, должна быть выведена на получение в пленке жидкого стекла геля структуры средней жесткости.

По нашему мнению, причины плохих пластических (опрессовочных) свойств обмазочных масс и пути их улучшения (оптимизации) определены.

Выводы

1. Грансостав шихты (объемный) должен быть: с максимальной плотностью упаковки, иначе будет дилатенсия (пульсация и отжим жидкой фазы); с минимальной шероховатостью слоя течения-скольжения и минимальным давлением опрессовки (минималь-

ное содержание средней фракции); с минимальным количеством слоев до трех при формировании потока массы до толщины покрытия (нельзя допускать количество мягкой фракции в шихте более 65...70 %, иначе будет сильная пульсация).

2. Отрицательно влияет на пластические свойства масс большое содержание мягких карбонатов в шихте (УОНИ, АНО-9 и т. п.), т. к. их прочность невысокая (около 500 кг/см²) и при давлениях опрессовки на массу происходит разрушение частичек таких компонентов (подтирание), что вызывает образование сухарей, нарушение формирования потоков и пульсацию. Необходимо: применять эффективные способы пластифицирования, чтобы давление опрессовки не превышало примерно 500 кг/см² (на массу); минимизировать потери давления в заходной и опрессовочной зонах; использовать марки высокопрочных карбонатов (в т. ч. мрамора с прочностью 1000 кг/см²); производить электроды соответствующих марок с небольшим содержанием карбонатов.

3. Использовать жидкое стекло с модулем 3 ± 1 и соответствующие пластификаторы в зависимости от активности шихты. Возможно использовать и высокомодульные жидкие стекла, но очень малой вязкости и только в комбинации с качественной очищенной КМЦ. Во всех случаях необходимо добиваться получения структуры геля средней жесткости, которая обеспечивает наиболее высокие пластические свойства масс.

1. Ворновицкий И. Н. Управление качеством сварочных электродов в процессе их изготовления / И. Н. Ворновицкий. – М.: Издательство ИКАР, 2001. – 110 с.
2. Реологические свойства гелей, образующихся при взаимодействии жидкого стекла и отвердителей сложноэфирного типа / О. И. Игнаткина, О. И. Лукьянова, П. А. Борсук [и др.] // Литейное производство. – 1999. – № 10. – С. 39–41.
3. Марченко А. Е. Особенности течения электродных обмазочных масс, обнаруженные капиллярным пластометром: Информ. материалы (СЭВ. Координац. центр по пробл. «Развитие научных основ и разработка новых технологических процессов сварки, наплавки и термической резки материалов и сплавов для получения сварных конструкций и создания эффективных сварочных материалов и оборудования) / А. Е. Марченко, М. Ф. Гнатенко. – Киев, 1980. – Вып. 1. – С. 106–117.
4. Марченко А. Е. Реологические исследования низкотермических напорных потоков обмазочных масс для сварочных электродов в прямооточных ступенчатых каналах / А. Е. Марченко // Автоматическая сварка. – 2016. – № 1. – С. 1–19.

Поступила в редакцию 28.07.2016

IV Международная научно-техническая конференция «СВАРКА И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

4–7 октября 2016 г.

г. Краматорск

Контакты: E-mail: sp@dgma.donetsk.ua; goldenmih@ukr.net; www.dgma.donetsk.ua