

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРУЗИОННЫХ МОДИФИКАТОРОВ ОБМАЗОЧНЫХ МАСС НА РАЗНОТОЛЩИННОСТЬ ЭЛЕКТРОДНОГО ПОКРЫТИЯ*

А.Е. Марченко¹, М.Ф. Гнатенко², Н.В. Скорина¹

¹ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ООО «ВЕЛМА», 02160, г. Киев, ул. Каунасская, 3

С применением метода осциллографирования сигналов, генерируемых электромагнитным датчиком, через канал которого следуют электроды на выходе из обмазочной головки пресса, изучено влияние экструзионных модификаторов обмазочной массы на разнотолщинность покрытия при изготовлении опытных электродов УОНИ 13/55 диаметром 4 мм. Феномен понижения разнотолщинности покрытия под влиянием модификаторов (КМЦ, альгинатов, целлюлозы или кальцинированной соды) объясняется тем, что вместе с изменением вида и повышением содержания модификатора постепенно увеличивается доза вводимого в обмазку жидкого стекла. Вследствие гидратирования частиц модифицирующих добавок за счет поглощения влаги жидкого стекла, оно загущается, его междузеренные прослойки в обмазочной массе утолщаются, гамакеровское взаимодействие зерен наполнителя ослабляется. Понижается вероятность возникновения и накопления упругих напряжений в ходе экструзионного нанесения обмазки на стержни. Соответственно возрастает способность потока обмазки обволакивать стержни при опрессовке электродов равномерным концентричным слоем. Библиогр. 6, табл. 1, рис. 11.

Ключевые слова: производство покрытых электродов, обмазочная масса, разнотолщинность покрытия, экструзионные модификаторы, жидкое стекло, вязкость обмазки, качество электродов

Чтобы поддерживать стационарное напорное течение обмазочных масс в процессе их экструзионного нанесения на стержни и обеспечения равномерного концентричного слоя покрытия, используются технологические добавки природного происхождения или синтезированные химическим путем. К ним относятся силикаты (каолин, бентонит, слюда-мусковит), химикаты (сода, поташ) или порошки органических гидроколлоидов (целлюлоза, КМЦ, альгинаты). Пластифицирующее действие перечисленных модификаторов объясняют их загущающим влиянием на жидкостекольное связующее в составе обмазки или подавлением химической реакции между жидким стеклом и мрамором обмазки. Известно, что в составе силикатов имеется структурная влага, а основа щелочных гидроколлоидов состоит из углеводов. Важно, чтобы их использование не привело к ухудшению металлургических и других технологических показателей качества изготовленных электродов.

Номенклатура модификаторов достаточно обширна, а механизм их предполагаемого действия стал проясняться лишь в конце 1980-х гг. В настоящей работе анализируются его физико-химические особенности и обосновываются рациональные пути реализации.

Объекты и методика исследования. Исследованы порошки органических гидроколлоидов в виде Na-КМЦ марки 85CO Наманганского химзавода и Na-альгината марки Manutex RK/F фирмы Alginat Industries Ltd (Великобритания), целлюлозы ЭЦ, а также кальцинированной соды. Каждый из них тестировался индивидуально, изменялось лишь его содержание в обмазке. Для сравнения исследовали обмазку, указанные добавки не содержащую. Использована методика исследования, детально изложенная в работе [1].

Характеристики зернового состава шихты: проход сквозь сетку 0063 – 34,0 %, удельная поверхность 3700 см²/г, плотность упаковки зерен 0,790.

Во всех опытах использовано жидкое NaK стекло с модулем 3,05; $\rho = 1435 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ и $\eta = 910 \text{ мПа}\cdot\text{с}$, а в опыте с альгинатом – с $\eta = 500 \text{ мПа}\cdot\text{с}$. Обмазку готовили в однокатковом бегунковом смесителе.

Условия приготовления обмазочных масс приведены в таблице. Принятые в ней обозначения:

- $t_{\text{см}}, P_{\text{опр}}$ – продолжительность приготовления обмазки и давление, развиваемое в головке пресса при опрессовке электродов;

- $e_p, e_{\text{св}}, R_c, S_p$ – индивидуальные, выборочные средние, размахи и среднеквадратичные отклонения значений разнотолщинности покрытия,

*По материалам доклада, представленного на семинаре «Сварочные материалы: состояние и перспективы», 18–20 июня 2019 г., г. Гомель.

вычисленные по координатным составляющим вектора разнотолщинности покрытия x_i и y_i (КС ВРП), зарегистрированных на осциллограммах;

$N = 100$ – количество замеров e_i в генеральной совокупности, накопленной в течение 60 с. Скорость ленты осциллографа $10 \text{ мм} \cdot \text{с}^{-1}$, скорость опрессовки электродов 420 шт. в минуту (на 3 электрода приходилось 2 измерения x_i и y_i).

Для вычисления значений $e_{\text{св}}$, R_c и S_p использовали методику скользящих средних, применяемую в исследованиях временных рядов, прогнозируя, к примеру, погоду, курс валют, рыночные цены и пр. С этой целью, как и в работе [1], генеральную совокупность данных условно разбивали на 20 последовательных выборок, каждая из пяти

следующих друг за другом значений e_i . Выборочные значения $e_{\text{св}}$, R_c , S_p , устраняя шумы, лучше отражают тренды, чем e_i .

Результаты исследований.

Разнотолщинность покрытия из обмазки, не содержащей модификаторов. Как и ожидалось, у обмазки без экструзионных модификаторов, обозначенной индексом 1188, выявлены неблагоприятные технологические свойства. Опрессовать из нее электроды стало возможным лишь после того, как зазор между наконечником стержнепровода и калибрующей втулкой, т.е. объем прессовой камеры, увеличили вдвое по сравнению с ее штатным размером. Обмазка все же обволакивает при этом стержни неравномерным слоем, а процесс опрессовки по су-

Условия и результаты экспериментов

Номер опыта	Стекло, обмазка			Выборочные показатели разнотолщинности покрытия, мм					Доля брака, %
	Доза, %	$t_{\text{см}}$, мин	$P_{\text{опр}}$, МПа	Номер зарядки	N , шт	$e_{\text{св}}$	R_c	S_p	
0 % КМЦ марки 85СО в шихте									
1188	23,0	10,5	55,0 ¹	1.1	100	0,18	0,055	0,025	57,0
				1.2	100	0,23	0,050	0,015	61,0
				1.3	100	0,15	0,060	0,025	35,0
				2	90	0,16	0,060	0,030	26,0
0,5 % КМЦ марки 85СО в шихте									
1205	24,4	7,0	52,0	1	100	0,07	0,060	0,025	0
				2	100	0,08	0,040	0,015	0
				3	100	0,09	0,035	0,015	0
1,0 % КМЦ марки 85СО в шихте									
1306	27,0	5,0	52,0	1	100	0,11	0,035	0,025	2,0 ²
				2	80	0,14	0,025	0,010	0
				3	90	0,12	0,025	0,010	0
1,5 % КМЦ марки 85СО в шихте									
1407	30,1	3,5	52,0	1	120	0,06	0,025	0,015	0
1,0 % альгината в шихте									
8848	28,7	7,0	53,0	1	100	0,03	0,035	-	0
				2	100	0,04	0,040	-	0
				3	80	0,02	0,025	-	0
2,0 % целлюлозы в шихте									
2313	28,8	8,0	44,0	1	65	0,04	0,030	0,015	0
				2	50	0,06	0,030	0,017	0
				3	90	0,04	0,043	0,056	0
2,5 % целлюлозы в шихте									
1814	28,8	8,0	48,0	1	70	0,01	0,009	0,004	0
				2	55	0,01	0,018	0,009	0
				3	45	0,02	0,023	0,017	0
1,2 % соды в шихте									
2408	31,6	4,0	40,0	1	100	0,04	0,040	0,015	0
				4	100	0,07	0,015	0,010	0
2,4 % соды в шихте									
2409	37,5	5,0	40,0	1	60	0,01	0,015	0,005	0
				5	60	0,03	0,023	0,010	0

Примечания. ¹ Давление опрессовки при штатном зазоре превышает 80 МПа; ² в осциллограмму попал стартовый участок опрессовки.

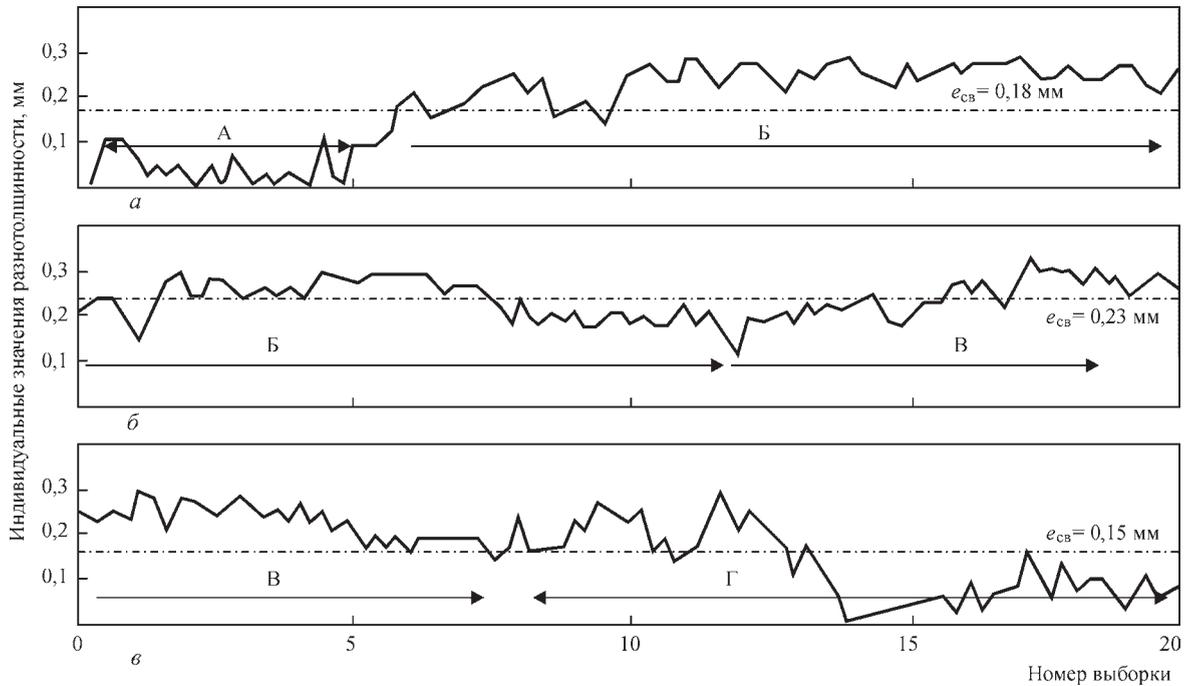


Рис. 1. Эволюция e_i у электродов, опрессованных из обмазки 1188 (зарядка 1); а-в – обозначения начального (в таблице обозначен индексом 1.1), среднего (1.2) и конечного (1.3) участков осциллограмм ВРП

ществу не поддается настройке. Значения КС ВРП в этом опыте регистрировали непрерывно в течение 240 с. Из приведенных в таблице данных следует, что изготовленные электроды имели недопустимо высокие и весьма нестабильные показатели разнотолщинности покрытия. Доля брака, т.е. количество электродов со сверхнормативным значением разнотолщинности покрытия превышает 60 %.

По форме осциллограмм можно судить о том, что экструзионное нанесение покрытия на стержни из обмазки 1188 – процесс стохастический и многофакторный. В ходе опрессовки случайным образом изменяются и горизонтальная, и вертикальная координатные составляющие ВРП. В данном опыте амплитуда и продолжительность отклонений x_i от нулевых значений больше, чем у y_i .

Судя по ориентации стохастических отклонений x_i от x_0 от нулевых линий, они вероятнее всего, вызваны действием на пруток напора столба обмазки, нагнетаемой из цилиндра в обмазочную головку пресса. На них явно накладываются проскальзывания обмазки по поверхности поворотной плиты.

В профиле вертикальной составляющей ВРП преобладает мотив периодических кратковременных и малоамплитудных отклонений. Они могут быть вызваны пульсирующим прохождением обмазки сквозь вертикально расположенные окна рассекателя перед прессовой камерой.

На рис. 1 показана эволюция вычисленных индивидуальных значений разнотолщинности покрытия электродов, опрессованных из обмазки 1188. Стрелками выделены стартовый участок осциллограммы А, участки сверхнормативных значе-

ний разнотолщинности Б и В, а также переходный участок Г, в пределах которого изменяется направление эволюции значений разнотолщинности. Отчетливо видны волнообразные элементы эволюции разнотолщинности с большим (А), меньшим (Б) периодом и примерно одинаковой амплитудой.

В пределах каждого периода видна стохастическая пульсация с частотой, на порядки большей, чем у волн с периодом А и Б.

На рис. 2 приведен вид траектории перемещения проекции электродного сердечника на плоскость, перпендикулярную оси электрода. Индексами 2Н и 2К обозначены начальная и конечная ветви фазограммы, а индексами С и Ф – начало и конец каждой ветви. Между ними раскручивается ломаная по виду спираль, со сменой правого закручивания (сплошная линия) на противоположное (пунктир), и одновременной пульсацией ее продольных и поперечных размерных параметров. Начальная ветвь, обозначенная индексом 2Н, на протяжении примерно 30 с пульсирует вдоль направления перемещения электрода, оставаясь, в основном, в пределах 0,20 мм, а финишная точка перемещения ВРП почти совпала со стартовой. Конечная ветвь спирали, обозначенная индексом 2К, напротив, отражает малоамплитудные пульсации вершины ВРП, которая в течение такого же промежутка времени, постепенно смещаясь в радиальном направлении, выходит, в конце концов, за пределы окружности допустимых значений разнотолщинности с диаметром 0,20 мм.

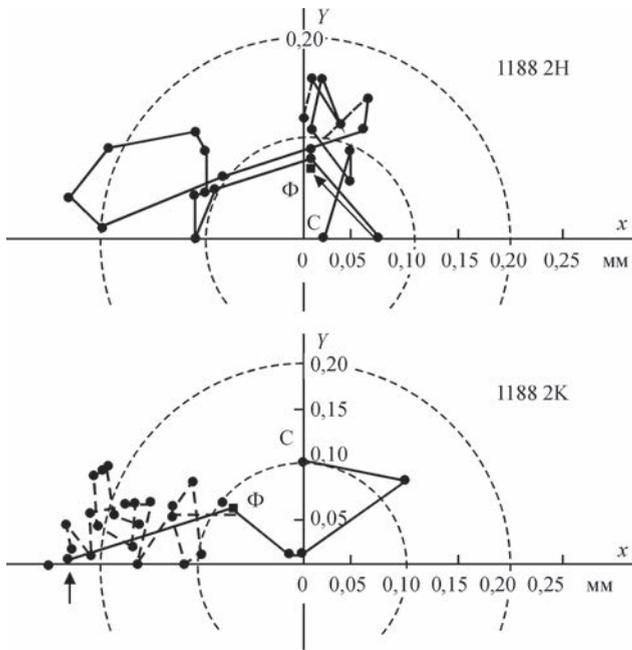


Рис. 2. Вид фазовых траекторий ВРП, полученных при опрессовке электродов из зарядки 2 обмазки 1188 (обозначения см. в тексте)

По характеру кривых, приведенных на рис 1 и 2, можно утверждать, что в ходе опрессовки, которую они отражают, невозможно отрегулировать процесс с применением средств, которыми располагает оператор.

Влияние модификаторов на разнотолщинность покрытия. С введением в обмазку органических гидроколлоидов в виде КМЦ (от 0,5 до 1,5 %) и альгината (1%) опрессовка из нее электродов возможна при штатном зазоре в головке

пресса, а средние выборочные значения и показатели рассеяния разнотолщинности покрытия уменьшаются (см. таблицу).

Обмазки с КМЦ. Начиная с 0,5 % КМЦ, профиль осциллограмм эволюции КС ВРП, а также кривые изменения e_i в ходе опрессовки сглаживаются тем в большей мере, чем больше доля КМЦ в обмазке (рис. 3).

При этом в эволюции $e_{св}$, R_c и S_p усиливаются крупномасштабные тренды, свидетельствующие о повышении, однородности электродов по показателю e_i , а случаев сверхнормативной разнотолщинности нет вообще.

Естественно, гистограммы распределения e_i и траектории фазограмм ВРП существенно уплотняются, хотя последние и сохраняют спиралевидную форму, не выходящую за пределы круга с диаметром 0,15 мм.

Обмазки с альгинатом. Судя по приведенным в таблице абсолютным значениям $e_{св}$, технологические свойства обмазки с альгинатом лучше, чем обмазки с таким же содержанием КМЦ. Это можно объяснить меньшей вязкостью использованного жидкого стекла и большим его содержанием, чем в обмазке с индексом 1188, выбранной в качестве аналога. По показателям рассеяния значений e_i электроды из обмазок с одинаковым содержанием альгината и КМЦ идентичны друг другу.

Обмазки с содой. С точки зрения способности подавлять разнотолщинность покрытия кальцинированная сода – более эффективный экстраузи-

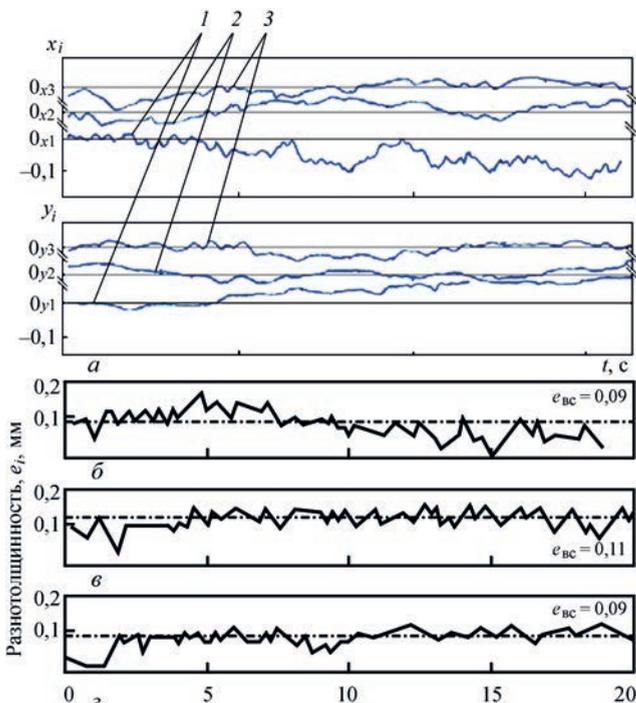


Рис. 3. Выкопировки из осциллограмм КС ВРП (x_i и y_i) (а) и эволюция e_i в ходе опрессовки электродов из обмазок 1205 (б), 1306 (в) и 1407 (г), содержащих 0,5 (1), 1,0 (2) и 1,5% (3) КМЦ, соответственно

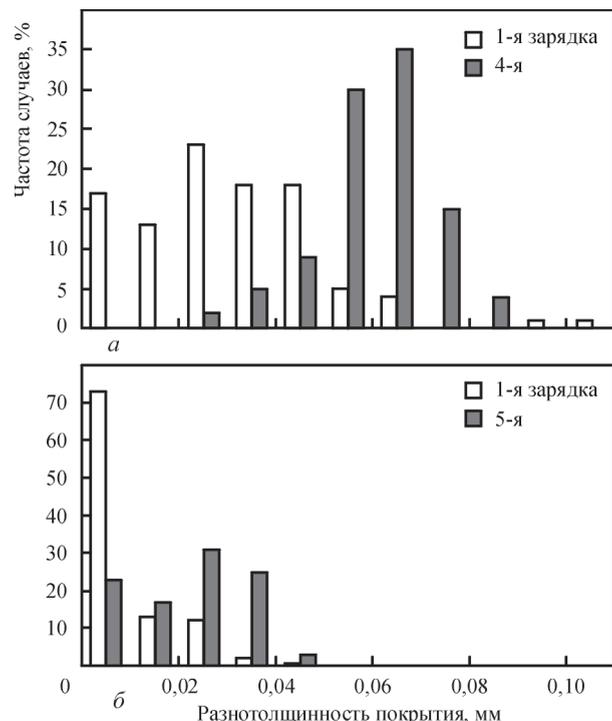


Рис. 4. Плотность распределения e_i у электродов, изготовленных из обмазок 2008 (2 % соды, а) и 2009 (2,4 % соды, б)

онный модификатор, чем КМЦ. В подтверждение достаточно сослаться на рис. 4, из которого следует, что у электродов, изготовленных из этих обмазок, разнотолщинность покрытия не превышает 0,10 мм. В течение часовой выдержки обмазок значение $e_{св}$ несколько возросло. Следовательно, набухание содовых частиц продолжилось. Рассеяние e_i при этом понизилось и ни один из результатов не превысил значения 0,10 мм.

Обмазки с целлюлозой. Данные, полученные при испытании обмазок с 2,0 и 2,5 % целлюлозы, приведены на рис. 5. У электродов из обмазки, обозначенной индексом 2313 (2 % целлюлозы), область рассеяния значений e_i не выходит за пределы 0,10 мм, а опрессованных из обмазки 1814 – за пределы 0,05 мм. Выдержка обмазки 2313 изменяет профиль рассеяния e_i , которое, тем не менее, не выходит за 0,10 мм. Выдержка обмазки 1814 изменяет и профиль, и ширину области рассеяния e_i , однако даже в самом неблагоприятном случае она не выходит за пределы 0,05 мм.

Обсуждение результатов. Форма осциллограмм КС ВРП, характер изменения индивидуальных значений разнотолщинности покрытия, а также вид траекторий ВРП показывают, что изменение разнотолщинности покрытия в ходе экструзионного его нанесения на стержни – процесс стохастический и многофакторный.

Ломаная форма кривых $e_i = f(t)$ и хаотичное перемещение проекций траекторий ВРП на плоскость, перпендикулярную движению электрода, несут в себе признаки фрактальности, свойственной турбулентному течению жидкостей и броуновскому движению взвешенных частиц, соответственно. Беспорядочно изменяющиеся отклонения от нулевой позиции горизонтальной, вертикальной, а, в случае низкой технологичности обмазки, обеих КС ВРП можно считать следствием не только турбулентного течения обмазки, но и сложным силовым взаимодействием упругого (стержень) и вязкоупругого (обволакивающая обмазка) элементов ее потока в прессовой камере. Упругость – причина, а вязкость – средство демпфирования процесса ее релаксации. Модуль упругости стержня постоянен. Результаты наших исследований позволяют заключить, что соотношение модуля упругости и вязкости уменьшаются, а вероятность появления эластической турбулентности обмазки как источника разнотолщинности покрытия в состоянии напорного потока возрастает по мере ужесточения консистенции и усложнения конфигурации потока обмазки, вызванного изменением его направления, степени, а также скорости редуцирования.

Исследованные экструзионные модификаторы обмазок относятся к гидрофильным материалам. Диспергированные в жидком стекле частицы

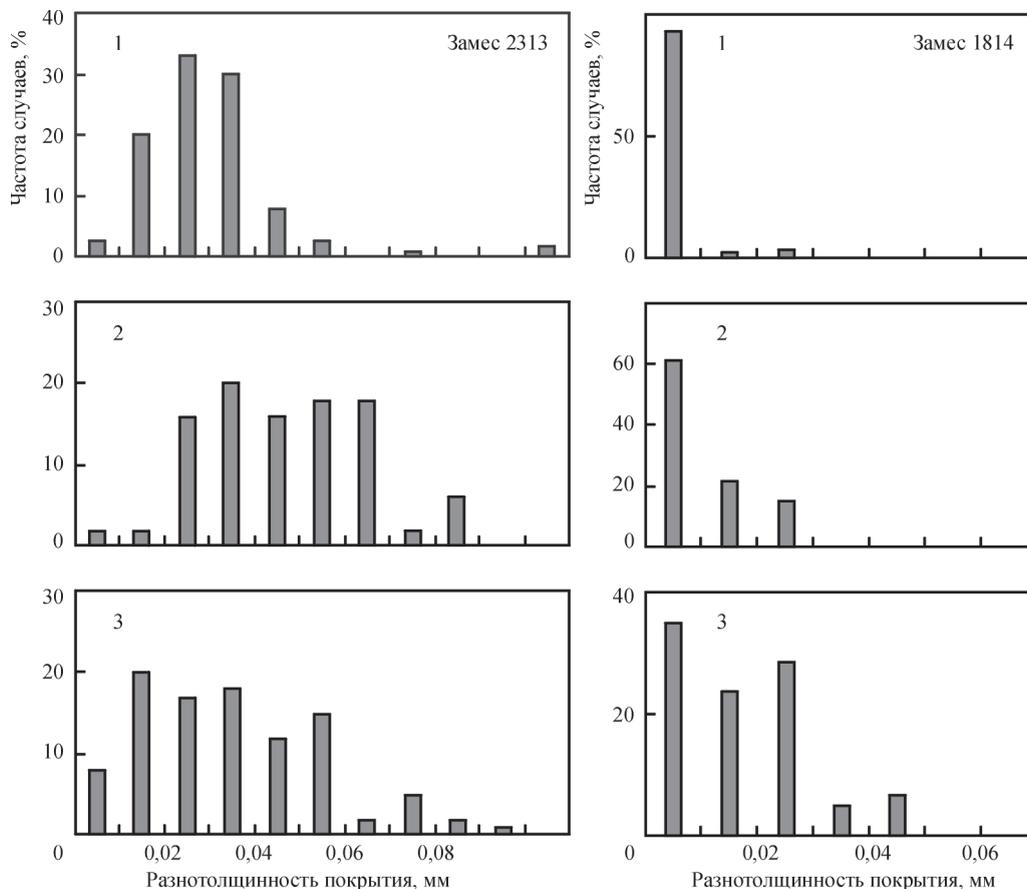


Рис. 5. Плотность распределения e_i у электродов, изготовленных из обмазок 2313 (2 % ЭЦ) и 1814 (2,5 % ЭЦ). 1–3 – номер зарядки

КМЦ, сорбируя из него влагу, набухают и увлажняются, по нашим данным, до 115...125 %, альгинатов – чуть в меньшей, а целлюлозы, по-видимому, в наименьшей степени. Содовые частицы, гидратируясь, могут по аналогичным расчетам сорбировать до 200 % H₂O из жидкого стекла.

В результате обезвоживания жидкого стекла в междузеренном пространстве, вязкость его и соответственно сопротивляемость обмазки экструдированию P_3 , а также ее пластическая прочность P_m , должны повыситься. Это согласуется с данными, приведенными на рис. 6.

Из таблицы следует, что вместе с изменением вида и повышением содержания модификатора увеличивается доза вводимого в обмазку жидкого стекла: с 23,0 % (обмазка без пластификатора, обозначена индексом 1188) до 37,5 % (обмазка с 2,4 % соды, индекс 2409). Именно таким образом компенсируется загущение обмазки под действием модификатора. При этом понижается степень наполнения объема зернами шихты, утолщается межзеренная пленка связующего, ослабляется взаимодействие зерен наполнителя, что, в конечном счете, должно облегчить активационное зарождение вакансий, необходимых для сдвигового перемещения зерен наполнителя экструдированной обмазки.

Соответственно, понижается вероятность накопления упругих напряжений в потоке обмазки в ходе нанесения ее на стержень. Нет необходимости их релаксации, например, путем спонтанного перехода напорного потока обмазки с симметричного на эксцентричное кольцевое се-

чение, более благоприятное с энергетической точки зрения [2].

Важно, чтобы ослабление консистенции обмазки, вызванное увеличением содержания в ней жидкого стекла, как и сами модификаторы не стали причиной появления других дефектов покрытия и швов.

Производственный опыт показывает, что вероятность возникновения разнотолщинности покрытия, обусловленной неблагоприятными экструзионными характеристиками обмазки, как правило, понижается, в то время как его склонность к механическим повреждениям, обусловленная ее слабой консистенцией, повышается. Об этом, в частности, свидетельствуют приведенные на рис. 7 систематизированные и обобщенные нами годовые результаты приемо-сдаточных испытаний электродной продукции, выполненных службой Госприемки одного из предприятий, изготавливающих электроды.

Изменением состава, характеристик и дозы жидкого стекла, с одной стороны, а также видом и концентрацией модификатора, с другой, можно отрегулировать консистенцию обмазки и добиться благоприятных соотношений ее экструзионных показателей (P_3 как меры энергоемкости процесса экструзионного нанесения покрытия на стержни) и пластической прочности (P_m как меры стойкости сырого покрытия против механических повреждений). Из данных, приведенных на рис. 8, следует, что высокомодульные жидкие стекла, особенно с низкой вязкостью, позволяют получить больший диапазон значений P_m обмазки при одних и тех же вариациях P_3 (заштрихованная зона), чем низко модульные стекла. Это подтверждают и приведенные в таблице результаты опыта с опрессовкой электродов из обмазки с альгинатом.

Модифицирующая эффективность рассматриваемых добавок существенно зависит не только от

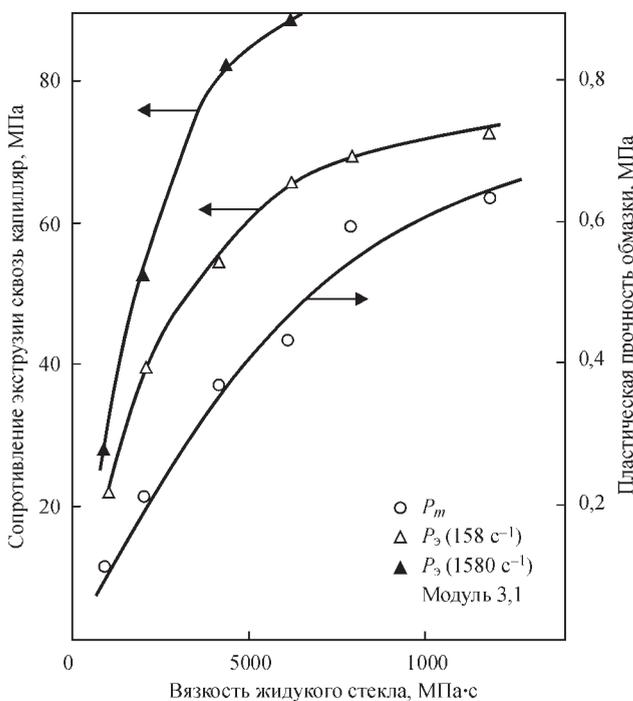


Рис. 6. Изменение P_m и P_3 обмазочной массы для электродов УОНИ 13/55, вызванное повышением вязкости NaK жидкого стекла (25 мас. %)

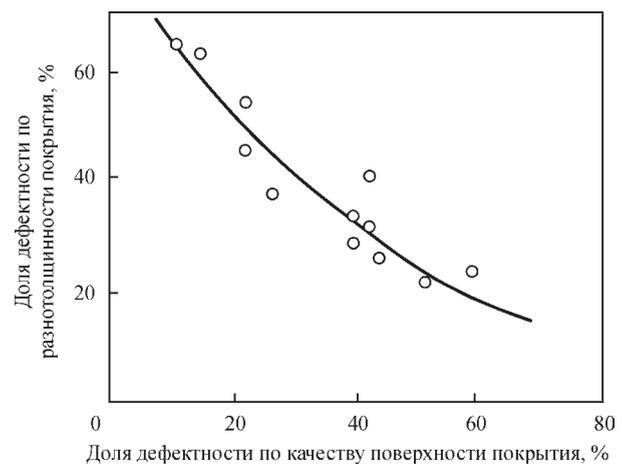


Рис. 7. Взаимосвязь доли электродов, забракованных по разности толщин и качеству поверхности покрытия (суммарная доля брака 3,5 %)

загущающей способности, но и от их влияния на характер физико-химического взаимодействия поверхности зерен наполнителя с жидким стеклом. Полимерные анионы асимметричных молекул КМЦ и альгинатов, диспергированных в междузеренной пленке связующего, а также изомофных карбонатных анионов, образовавшихся в результате диссоциации в нем молекул соды, избирательно сорбируются твердой поверхностью частиц наполнителя обмазки. Подобно другим поверхностно-активным веществам они блокируют доступ к ней жидкостекольных кремнекислородных анионов. Этим предотвращается непрогнозируемое загущение обмазки, вызываемое возрастанием сольватационного барьера, а, следовательно, гидродинамического размера зерен, а также ионно-обменным переходом в нее Са из мраморных частиц в междузеренную жидкостекольную пленку.

Противостояние щелочного силиката и Na-КМЦ в стремлении сорбироваться на поверхности зерен кальцита подтверждается ИК-спектроскопическими и реологическими исследованиями. Результаты ИК-спектроскопических исследований рассмотрены нами в работе [3, 4]. Реологические результаты представлены на рис. 9 в виде экструзионных кривых, зарегистрированных пластометром ОБ-1435 при исследовании образцов УОНИ 13/55, содержащих от 0 до 2 % низковязкой (68/350) и высоковязкой (68/920) Na-КМЦ. Используются капилляры диаметром 4 мм, длиной 40 мм при среднем градиенте скорости сдвига 158 с^{-1} .

Видно, что у образцов без КМЦ и с 0,5 % КМЦ характер истечения весьма нестабилен – давле-

ние пульсирует и нарастает по мере выработки обмазки, вследствие ее дилатантности и отжатия жидкой фазы. При столь низких концентрациях сопоставляемые составы КМЦ не способны блокировать процессы сорбции ККА и переход ионов кальция в жидкое стекло. Это согласуется с приведенными в таблице результатами определения разнотолщинности покрытия.

Течение обмазки, содержащей 1 % высоковязкой КМЦ, стабилизируется и остается стабильным при концентрациях, превышающих 1 %. Низковязкая ее модификация способна обеспечить стабильную экструзию лишь при содержании 1,5 % и выше.

В настоящее время используется несколько производственных вариантов модифицирования экструзионных свойств образцов: индивидуально (КМЦ, альгинат, сода или целлюлоза), КМЦ в комбинации с содой, а также КМЦ в сочетании с целлюлозой.

Чтобы повысить их технологическую эффективность, для приготовления обмазочных масс рекомендуются интенсивные смесители протivotочного типа. В смеситель вместе со стеклом вводят до 2 % воды, слегка «припудривая» обмазку порошком гидроколлоида перед выгрузкой из смесителя.

Вид, содержание и соотношение долей экструзионных модификаторов обмазки в сочетаниях с видом, модулем, вязкостью и дозой жидкого стекла, оптимальные с точки зрения минимизации раз-

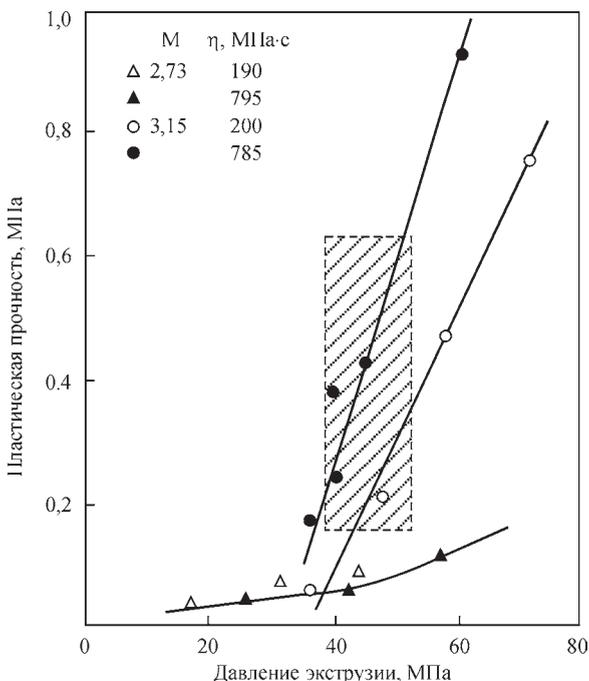


Рис. 8. Влияние модуля и вязкости КNa жидкого стекла на пластическую прочность обмазки для электродов АНО-27

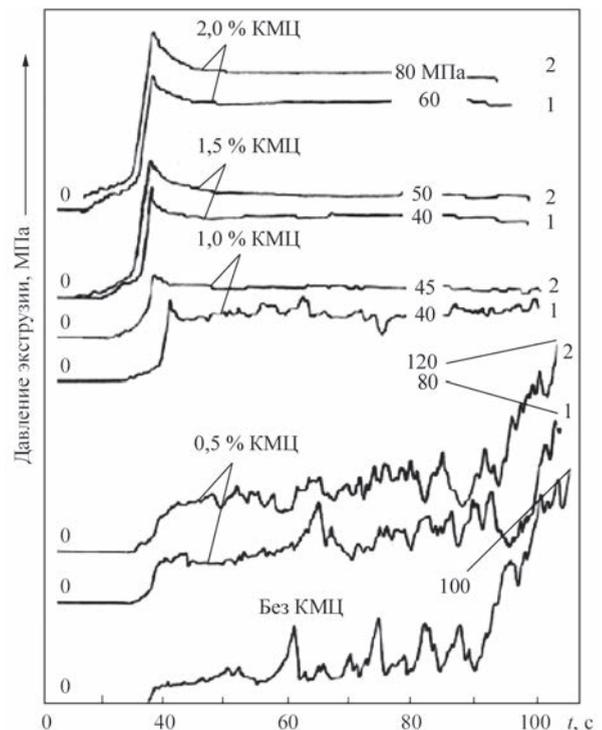


Рис. 9. Кривые экструзии обмазочной массы УОНИ 13/55 с различным содержанием низковязкой (1) и высоковязкой (2) КМЦ (NaK-жидкое стекло с модулем 2,9 и вязкостью 175 мПа·с, 22,5 мас. %)

нотолщинности покрытия, выбираются с учетом особенностей применяемой термообработки и требований к потребительским свойствам электродов.

Так, например, следует учитывать, что в начале сушки электродов сода повышает склонность обмазки к тепловому размягчению, которое способствует образованию поверхностных дефектов покрытия [5]. Это подтверждается отображенным на рис. 10 влиянием температуры на P_m обмазочных масс АНО-4 и УОНИ 13/55. Именно у обмазки, содержащей соду, выявлено самое интенсивное понижение P_m при нагреве, обусловленное высвобождением (начиная с $T = 40^\circ\text{C}$) влаги, поглощенной содой в процессе смешивания шихты с жидким стеклом. У обмазок, содержащих органические гидроколлоиды, темп теплового размягчения, напротив, понижается, особенно когда используются их грубодисперсные модификации [4].

Для предотвращения образования вмятин и исключения прилипания покрытий, содержащих соду в качестве экструзионного модификатора, на рабочие поверхности металлических рамок, используемых для транспорта электродов в сушильных печах проходного типа, вынуждены наклеивать войлочные ленты толщиной 3...5 мм [6].

Сода, к тому же, гигроскопична и понижает гигросорбционную стойкость покрытия (рис. 11). Этот недостаток тривиальными технологическими приемами не устраняется.

В отличие от соды, органические гидроколлоиды в составе покрытия полностью деструктурируют при штатном режиме прокаливания низководородных электродов. Гигроскопичность покрытия, обусловленная образовавшимися при этом порами и их зольными остатками, даже в самом неблагоприятном случае намного меньше, чем вызванная содой (см. рис 11). Следует, тем не менее, учитывать, что гигроскопичность может повыситься, если будет

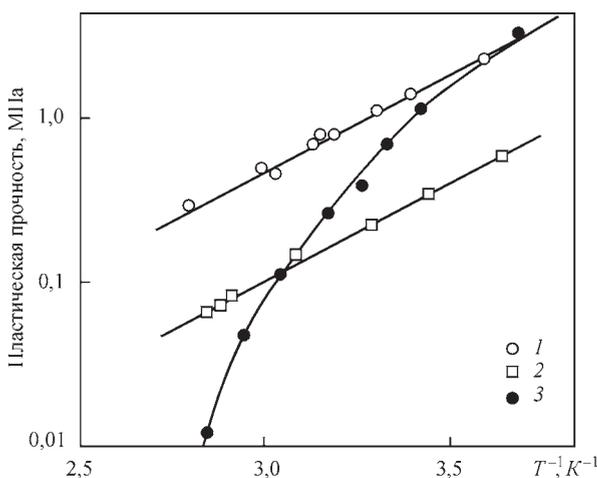


Рис. 10. Влияние температуры на размягчение обмазочных масс АНО-4 (1) и УОНИ 13/55 без соды (2) и с добавкой 1,5 % соды (3)

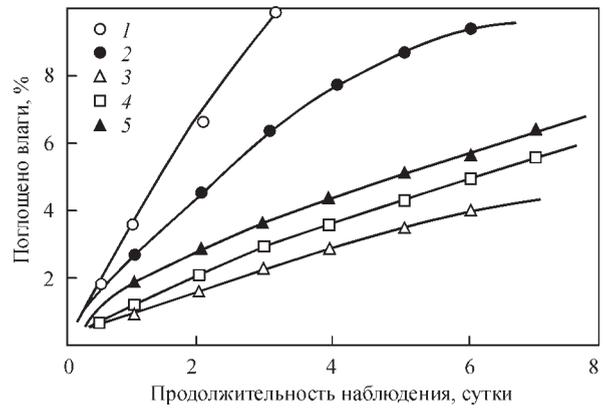


Рис. 11. Сравнение гигроскопичности покрытия электродов УОНИ 13/55, изготовленных из обмазки, содержащей 2,4 (1), 1,6 (2) соды, 1,5 (3), 1,0 (4) и 0 (5) % NaKMЦ

слишком превышена доза стекла, необходимая для компенсации загущения обмазки модификатором.

Заключение

Анализ результатов проведенных исследований позволяет заключить, что порошки КМЦ, альгинатов, целлюлозы и кальцинированной соды действительно модифицируют обмазочную массу низководородных электродов. Диспергированные в междузеренной прослойке жидкого стекла, гидрофильные частицы модификаторов сорбируют из него влагу, в результате чего вязкость обмазки возрастает. Повышение дозы жидкого стекла является средством, «разжижающим» обмазку вследствие увеличения незанятого наполнителем объема и концентрации вакансий в нем, образующихся в ходе течения.

Конкурируя с кремнекислородными анионами жидкого стекла (ККА), гидратированные молекулы органических модификаторов или одноименные карбонатные ионы соды вытесняют ККА из междуфазного слоя на поверхности зерен мрамора и других ингредиентов наполнителя. Благоприятно трансформированная при этом природа междуфазного слоя, блокирование перехода ионов кальция в жидкостекольную пленку, уменьшение гидродинамического размера частиц и заряда ДЭС на поверхности зерен наполнителя, ослабляет консистенцию обмазки вследствие добавления в нее жидкого стекла. Гидратированные частицы модификаторов сами по себе могут рассматриваться как дополнительные вакансии для зерен наполнителя потока обмазки.

Сочетая определенные виды и концентрации модификаторов, с одной стороны, с нужными характеристиками и дозой жидкого стекла в обмазке, с другой стороны, можно улучшить ее консистенцию до уровня, необходимого для реологического обеспечения требуемого качества

електродов по різнотолщинності, не ухудшая их качество по другим видам дефектов покриття.

Список литературы

1. Марченко А.Е. (2017) Экспериментальные исследования разнотолщинности покрытия электродов при опрессовке. *Автоматическая сварка*, **1**, 1–9.
2. Бернхардт Э. (1965) *Переработка термопластичных материалов*. Москва, Химия.
3. Лавренов Л.В., Марченко А.Е., Шкурко С.А. (1975) Особенности адсорбции щелочных силикатов из жидкого стекла мрамором и флюоритом в электродных покрытиях. *Автоматическая сварка*, **3**, 34–38.
4. Марченко А.Е., Скорина Н.В. (2013) Влияние технологических факторов изготовления низководородных электродов на содержание водорода в наплавленном металле. *Там же*, **8**, 14–25.
5. Марченко А.Е., Гнатенко М.Ф., Горшкова С.Д. (1984) *Методика оценки теплового размягчения электродных обмазочных масс*. Информ. материалы. СЭВ. Координационный центр по проблеме «Развитие науч. основ...», **1**, сс. 66–69.
6. Шелепов Е.П. (2000) *Печь модели Г-232 для термообработки сварочных электродов*. Сборник материалов научно-технического семинара «Электродное производ-

ство на пороге нового тысячелетия». Санкт-Петербург, 22–26 мая 2000, г. Череповец, сс. 170–175.

References

1. Marchenko, A.E. (2017) Experimental studies of electrode coating thickness variation at pressing. *The Paton Welding J.*, **1**, 20-27.
2. Bernhardt, E. (1965) *Recycling of thermoplastic materials*. Moscow, Khimiya [in Russian].
3. Lavrenov, L.V., Marchenko, A.E., Shkurko, S.A. (1975) Peculiarities of adsorption of alkaline silicates from liquid glass by marble and fluorite in electrode coatings. *Avtomatich. Svarka*, **3**, 34-38 [in Russian].
4. Marchenko, A.E., Skorina, N.V. (2013) Influence of technological factors in manufacture of low-hydrogen electrodes on hydrogen content in the deposited metal. *The Paton Welding J.*, **8**, 13-24.
5. Marchenko, A.E., Gnatenko, M.F., Gorshkova, S.D. (1984) *Method of evaluation of thermal softening of electrode paste*. In: *Inform. documents, CMEA*, **1**, 66-69 [in Russian].
6. Shelepov, E.P. (2000) *Furnace of G-232 model for heat treatment of welding electrodes*. In: *Proc. of Sci.-Techn. Seminar on Electrode Manufacture on the Threshold of New Millennium* (St.-Petersburg, 22-26 May, 2000). Cherepovets, 170-175 [in Russian].

ВПЛИВ ЕКСТРУЗІЙНИХ МОДИФІКАТОРІВ ОБМАЗУВАЛЬНИХ МАС НА РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОКРИТТЯ

А.Ю. Марченко¹, М.Ф. Гнатенко², М.В. Скорина¹

¹ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ООО «ВЕЛМА». 02160, м. Київ, вул. Каунаська, 3

Із застосуванням методу осцилографування сигналів, що генеруються електромагнітним датчиком, через канал якого слідує електроди на виході з обмазувальної головки преса, вивчено вплив екструзійних модифікаторів обмазувальної маси на різнотовщинність покриття при виготовленні дослідних електродів УОНИ 13/55 діаметром 4 мм. Феномен зниження різнотовщинності покриття під впливом модифікаторів (КМЦ, альгинатів, целюлози або кальцинованої соди) пояснюється тим, що разом зі зміною виду та підвищенням вмісту модифікатора поступово збільшується доза, що вводиться в обмазки рідкого скла. Внаслідок гідратування частинок модифікуючих добавок, за рахунок поглинання вологи рідкого скла, воно загущується, його міжзеренні прошарки в обмазувальній масі стовщуються, гамакерівська взаємодія зерен наповнювача послаблюється. Знижується ймовірність виникнення та накопичення пружних напружень в ході екструзійного нанесення обмазки на стрижні. Відповідно зростає здатність потоку обмазки обволікати стрижні при оприсуванні електродів рівномірним концентричним шаром. Бібліогр. 6, табл. 1, рис. 11.

Ключові слова: виробництво покритих електродів, обмазочна маса, різнотолщинність покриття, екструзійні модифікатори, рідке скло, в'язкість обмазки, якість електродів

EFFECT OF EXTRUSION MODIFIERS OF COATING MASS ON VARIATION OF ELECTRODE COATING THICKNESS

A.Yu. Marchenko¹, M.F. Gnatenko², M.V. Skorina¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

²WELMA Co. Ltd., 3 Kaunasskaya Str., 02160, Kyiv

The method of oscillographing the signals generated by electromagnetic sensor, through the channel of which the electrodes pass at the outlet of the press coating head, was used to study the effect of extrusion modifiers of the coating mass on thickness variation in manufacture of test electrodes UONI 13/55 of 4 mm diameter. The phenomenon of reduction of coating thickness variations under the effect of modifiers (CMC, alginates, cellulose or soda ash) is explained by that the dose of liquid glass added to the coating gradually increases with the change of the type and increase of the content of modifier. Hydrating of modifying additive particles as a result of absorption of liquid glass moisture leads to thickening of the glass, and of its intergranular layers in the coating mass, and to weakening of Hamaker interaction of filler grains. Probability of generation and accumulation of elastic stresses during extrusion application of the coating on the rods becomes lower. The ability of the coating flow to cover the rods in a uniform concentric layer at pressing of the electrodes becomes higher, accordingly. 6 Ref., 1 Tabl., 11 Fig.

Keywords: coated electrode production, coating mass, coating thickness variation, extrusion modifiers, liquid glass, coating viscosity, electrode quality

Поступила в редакцію
17.09.2019