

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАВЛЕНОГО И АГЛОМЕРИРОВАННОГО ФЛЮСОВ АНФ-6-1

**Ф. К. Биктагиров, Д. Д. Мищенко, В. А. Шаповалов,
А. В. Гнатушенко, А. П. Игнатов, А. В. Веретильник**

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.
03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Изучены физические свойства агломерированного флюса АНФ-6-1. Показано, что по химическому составу, температуре плавления, электропроводности и вязкости агломерированный флюс АНФ-6-1 идентичен плавленому той же марки. Соответственно практически одинаковы технико-экономические показатели ЭШП с использованием указанных флюсов. Библиогр. 8, табл. 3, ил. 2.

Ключевые слова: электрошлаковый переплав; агломерированный флюс АНФ-6-1; химический состав; свойства; качество металла

Широкое распространение в металлургии как способ получения высококачественной металлопродукции получил электрошлаковый переплав (ЭШП). Основой ЭШП и других электрошлаковых технологий является электрошлаковый процесс — выделение Джоулевого тепла в жидком шлаке при прохождении через него электрического тока. Это предопределяет ведущую роль шлака при ЭШП в первую очередь с точки зрения преобразования электрической энергии в тепловую. Эффективность такого преобразования во многом определяется электросопротивлением используемого шлака. Именно от этого физического свойства шлакового расплава зависят такие технологические параметры ЭШП, как подводимое к шлаковой ванне напряжение, межэлектродные промежутки, сила тока, скорость плавки и т. д. Среди других физических свойств, помимо электропроводности (величины, обратной электросопротивлению), которые влияют на металлургические и технологические показатели ЭШП, выделяют температуру плавления шлака и его вязкость [1].

Первоначально ЭШП осуществлялся с использованием шлаков, которые применялись для электрошлаковой сварки. Впоследствии были разработаны специальные шлаки для ЭШП с определенным набором свойств, зависящих от их состава. Среди них одним из наиболее распространенных является шлак на основе эвтектики 70 % CaF_2 –30 % Al_2O_3 . Этот шлак или флюс (по аналогии с термином «флюс», применяемым для сварочных шлаков) выпускается под наименованием (маркой) АНФ-6. Требования технических условий к химическому составу этого флюса и его модификаций приведены в табл. 1.

Для нужд сварки и ЭШП промышленностью освоено производство флюсов путем плавки в электропечах исходных компонентов с последующей сухой или мокрой грануляцией выпускаемого из печи расплава. В последнее время в сварочных процессах помимо плавленных, т. е. полученных предварительной плавкой, применяются так называемые агломерированные флюсы [2, 3]. Производство таких флюсов заключается в предварительном помоле исходных компонентов,

Т а б л и ц а 1. Химический состав флюсов типа АНФ-6 (ДСТУ 4025–2001)

Марка флюса	Содержание, мас. %									
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	C	Fe ₂ O ₃	S	P	TiO ₂
	не более									
АНФ-6	Основа	25...31	≤ 8	≤ 2,5	–	0,1	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-1	»-»	25...31	≤ 8	≤ 2,5	–	0,05	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-2	»-»	25...31	≤ 8	≤ 1,0	–	0,1	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-3	»-»	25...31	≤ 8	≤ 1,0	–	0,05	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-4	»-»	25...34	≤ 8	≤ 1,0	–	0,1	0,5	0,05	0,02	0,05
АНФ-6-5	»-»	25...37	≤ 8	2...7	0,3...0,9	0,1	0,5	0,05	0,02	–

Таблица 2. Химический состав флюсов АНФ 6-1, мас. %

Флюс	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	C	Fe ₂ O ₃	S	P
Агломерированный	63,0	31,0	3,1	1,6	0,025...0,030	0,43	0,005	0,005
Плавленый	67,5	27,3	3,2	1,7	0,035	0,1	0,011	0,007

их смешении, грануляции, сушке и при необходимости обжиге. Среди преимуществ производства агломерированных флюсов по сравнению с плавлеными можно отметить существенное, в несколько раз, снижение энергетических затрат и принципиальная возможность в более широких пределах варьировать составом флюса, в том числе путем введения в него компонентов, которые интенсивно испаряются или окисляются при плавке.

В Украине на ЧАО «Запорожстеклофлюс» (ЗФС) создано оборудование для производства агломерированных сварочных флюсов [4]. Эти флюсы прошли испытания при сварке изделий ответственного назначения, в частности, при электродуговой сварке под флюсом газонефтепроводных труб. На основании успешного опыта использования агломерированных флюсов в сварочном производстве на этом заводе осваивается производство агломерированных флюсов, применяемых при ЭШП. В том числе была выпущена для испытания в реальных условиях ЭШП опытная партия флюса АНФ-6-1.

Учитывая важность влияния используемого шлака на технико-экономические показатели ЭШП и качество получаемого металла, в первую очередь возникла необходимость сопоставления свойств флюсов одной и той же марки различного способа производства. Поэтому целью настоящей работы было исследование и анализ наиболее важных физических свойств плавленого и агломерированного флюсов АНФ-6-1, таких как электропроводность, вязкость и температура плавления.

Для испытаний использовался стандартный плавленый флюс марки АНФ-6-1 производства Никопольского завода ферросплавов (НЗФ) и агломерированный обожженный флюс ЗФС той же марки, представляющий собой прочные гранулы размером от 2 до 5 мм.

Анализ химического состава свидетельствует, что оба материала соответствуют требованиям технических условий на флюс АНФ-6-1 (табл. 2).

Определение вязкости и электропроводности флюсов осуществлялось на специально разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона приборах [5, 6]. Применение в них оснастки из тугоплавких металлов, таких как молибден или вольфрам, позволяло проводить измерения свойств шлаковых расплавов при высоких температурах, характерных для сварочных и электрошлаковых процессов. Вязкость измерялась ротационным методом, а электропроводность с использованием трехэлектродной измерительной ячейки, позволяющей избавиться от влияния приэлектродных поляризации и сопротивления внешних электрических цепей и тем самым повысить точность измерений.

Температура плавления флюсов определялась методом растекающейся капли с контролем тем-

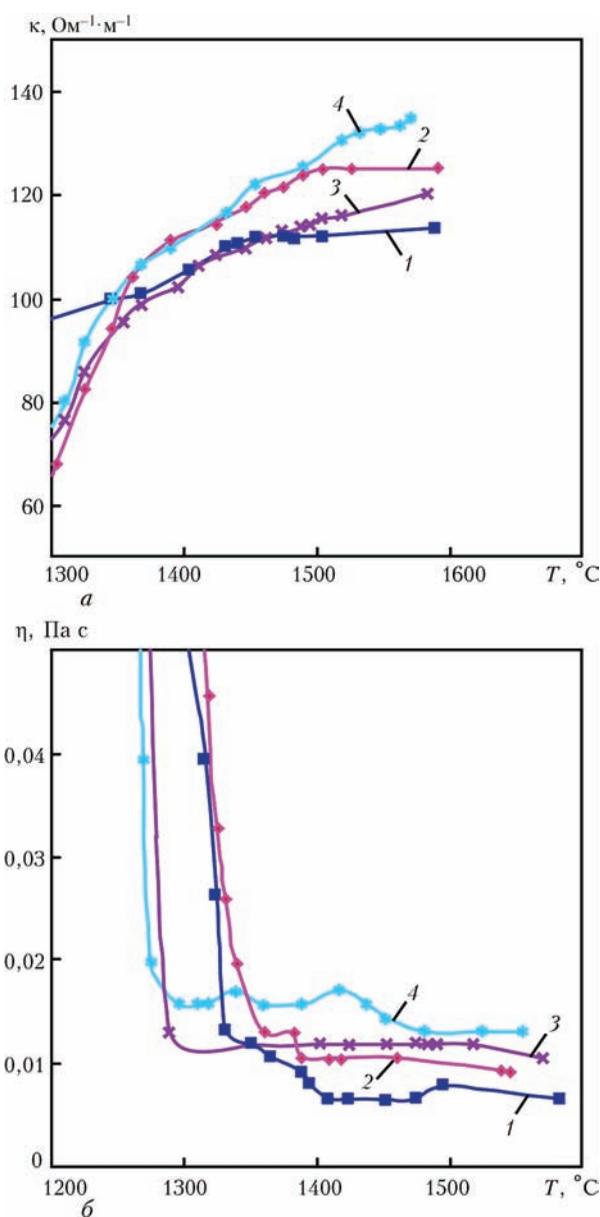


Рис. 1. Свойства флюсов: а — электропроводность; б — вязкость (1, 2 — исходный агломерированный и плавленый соответственно; 3, 4 — конечный агломерированный и плавленый соответственно)

Таблица 3. Показатели опытных плавов

Номер плавки	Используемый флюс	Параметры выплавленного слитка		Время плавки, мин	Производительность, кг/мин	Расход электроэнергии		Температура шлака, °С
		высота, мм	масса, кг			общий, кВт·ч	удельный, кВт·ч/кг	
1	Плавленный	203	37,5	42	0,89	92	2,45	1650...1700
2	Агломерированный	198	36,3	40	0,90	88	2,41	1650...1700
3	-»-	260	47,9	54	0,89	108	2,25	1650...1710
4	-»-	220	40,5	46	0,88	91	2,25	1650...1710

пературы начала и конца плавления. Для обоих исследуемых флюсов температура полного расплавления, которую и принято считать за температуру плавления шлака, находится в пределах 1320...1340 °С и по этому показателю они идентичны друг другу.

Результаты измерения электропроводности приведены на рис. 1, а. Видно, что при температурах 1500...1600 °С электропроводность исследованных агломерированного и плавленого флюсов находятся в пределах 110...130 Ом⁻¹·м⁻¹ (1,1...1,3 Ом⁻¹·см⁻¹). Такие значения электропроводности характерны и для серийного шлака АНФ-6 [7, 8]. В то же время согласно выполненным исследованиям электропроводность агломерированного флюса примерно на 10 % ниже, чем плавленого. Связано это скорее всего с большим в нем содержанием оксида алюминия, способствующего повышению электросопротивления шлака, а также меньшим содержанием фторида кальция, который наоборот повышает электропроводность шлаков.

Здесь же приведены данные по электропроводности отработанных (конечных) шлаков. В данном случае отобранных из «шлаковой шапки» после ЭШП стали типа Х18Н10Т. Электропроводность конечных шлаков выше, чем исходных, что является естественным результатом происходящего при ЭШП взаимодействия шлака с металлом и испарения фтористых соединений с уменьшением в них на 2...3 % концентрации фторида кальция по сравнению с исходным.

В то же время сохраняется тенденция более низких значений электропроводности при работе с агломерированным флюсом.

Данные оценки вязкости исходных флюсов и отработанных шлаков представлены на рис. 1, б. По этому показателю значения свойств всех исследованных материалов при температурах выше 1400 °С очень низкие (около 0,01 Па·с). Для сравнения примерно такой уровень вязкости имеет индустриальное масло. При этом изменение вязкости при переходе из твердого состояния в жидкое имеет круто падающую характеристику, что характерно для шлаков с высоким содержанием фторида кальция и низким содержанием оксида кремния.

Исходя из того, что температура плавления, электропроводность и вязкость исследованных агломерированного и плавленого флюсов близки между собой, можно полагать, что и ЭШП с их использованием будет протекать идентично. Выполненные сравнительные плавки слитков диаметром 180 мм из стали 12Х18Н10Т с использованием рассматриваемых флюсов подтвердили это. При стабильном ЭШП и одних и тех же электрических режимах плавки такие технико-экономические показатели, как температура шлаковой ванны, скорость плавки, расход электроэнергии были на одном уровне (табл. 3).

На отдельных плавках с агломерированным флюсом отмечался несколько меньший (на 2...8 %)



Рис. 2. Внешний вид слитков ЭШП с плавленным (а) и агломерированным (б) флюсами

удельный расход электроэнергии, что связано с более низкой его электропроводностью.

Гарнисаж толщиной от 1 до 2 мм хорошо отделялся от слитков, а поверхность их была ровной без каких-либо видимых дефектов (рис. 2).

Таким образом, проведенные лабораторные исследования показали, что по основным физическим и технологическим свойствам агломерированный флюс АНФ-6-1 идентичен плавленому флюсу этой же марки и может быть рекомендован для промышленных испытаний.

Список литературы

1. Лагаш Ю. В., Медовар Б. И. (1970) *Электрошлаковый переплав*. Москва, Metallurgiya.
2. Потапов Н. Н. (1997) Состояние и перспективы развития флюсового производства в России. *Сварочное производство*, **9**, 34–36.
3. Походня И. К. (2003) *Сварочные материалы: состояние и тенденции развития*. Там же, **6**, 26–40.
4. Головки В. В., Галинич В. И., Гончаров И. А. и др. (2008) Агломерированные флюсы — новая продукция завода ОАО «Запорожстеклофлюс». *Автоматическая сварка*, **10**, 41–44.
5. Колиснык В. Н., Усиков С. В., Шоной С. А. *Устройство для измерения электропроводности расплавленного шлака*. А. с. СССР № 957081.
6. Колиснык В. Н., Шоной С. А., Сагинов Ч. А. (1979) *Ротационный вискозиметр*. А. с. СССР N 667867. М. Кл.² G 01 N 11/14. Бюл. № 22.

7. Клюев М. М., Каблукровский А. М. (1969) *Металлургия электрошлакового переплава*. Москва, Metallurgiya.
8. Ждановский А. А., Лагаш Ю. В., Горчинский О. А. и др. (1978) *Установка для измерения электропроводности расплавленных флюсов. Проблемы специальной электрометаллургии*. Киев, Наукова думка, сс. 113–115.

References

1. Latash, Yu.V., Medovar, B.I. (1970) *Electroslag remelting*. Moscow: Metallurgiya [in Russian].
2. Potapov, N.N. (1997) State and prospects of development of flux production in Russia. *Svarochn. Proizvodstvo*, **9**, 34–36 [in Russian].
3. Pokhodnya, I.K. (2003) Welding materials: State and tendencies of development. *Ibid.*, **6**, 26–40 [in Russian].
4. Golovko, V.V., Galinich, V.I., Goncharov, I.A. et al. (2008) Agglomerated fluxes — new products of OJSC «Zaporozhstefloflyus». *The Paton Welding J.*, **10**, 36–39.
5. Kolisnyk, V.N., Usikov, S.V., Shonoy, S.A. *Device for measurement of electric conductivity of melted slag*. USSR author’s cert. 957081 [in Russian].
6. Kolisnyk, V.N., Shonoy, S.A., Saginov, Ch.A. (1979) *Rotational viscosimeter*. USSR author’s cert. 667867. Int. Cl. G 01 N 11/14 [in Russian].
7. Klyuev, M.M., Kablukovsky, A.M. (1969) *Metallurgy of electroslag remelting*. Moscow: Metallurgiya [in Russian].
8. Zhdanovsky, A.A., Latash, Yu.V., Gorchinsky, O.A. et al. (1978) Unit for measurement of electric conductivity of melted fluxes. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*. Kiev: Naukova Dumka, 113–115 [in Russian].

ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАВЛЕНОГО ТА АГЛОМЕРОВАНОГО ФЛЮСІВ АНФ-6-1

Ф. К. Біктагіров, Д. Д. Міщенко, В. О. Шаповалов, О. В. Гнатушенко, А. П. Ігнатів, О. В. Веретільник
 Інститут електросварювання ім. Є. О. Патона НАН України.
 03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Вивчені фізичні властивості агломерованого флюсу АНФ-6-1. Показано, що за хімічним складом, температурою плавлення, електропровідністю і в’язкістю агломерований флюс АНФ-6-1 ідентичний до плавленого цієї ж марки. Відповідно практично однакові техніко-економічні показники ЕШП із використанням наведених флюсів. Бібліогр. 8, табл. 3, іл. 2.

Ключові слова: електрошлаковий переплав; агломерований флюс АНФ-6-1; хімічний склад; властивості; якість металу

PHYSICAL PROPERTIES OF FUSED AND AGGLOMERATED FLUXES ANF-6-1

F.K. Biktagirov, D.D. Mishchenko, V.A. Shapovalov, A.V. Gnatushenko, A.P. Ignatov, A.V. Veretilnik
 E.O. Paton Electric Welding Institute, NASU.
 11 Kazimir Malevich Str., 03680, Kiev, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The physical properties of agglomerated flux ANF-6-1 were studied. It is shown that the agglomerated flux is identical to the fused flux of the same grade by the chemical composition, melting temperature, electric conductivity and viscosity. Accordingly, the technical and economical characteristics of ESR by using the mentioned fluxes are almost similar. Ref. 8, Tables 3, Figures 2.

Key words: electroslag remelting; agglomerated flux ANF-6-1; chemical composition; properties; metal quality

Поступила 20.07.2017