

УДК 621.791

С. В. Наумов, Ю. В. Раков, А. С. Смолина, М. Н. Игнатов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЛАКА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ УРАЛА

Проведены дилатометрические исследования и оценка внешней и внутренней поверхностей шлаковых корок, полученных в процессе сварки под флюсом из минерального сырья Уральского региона. Исследованы отделяемость и пористость сварочных корок, коэффициенты теплового расширения шлака и наплавленного металла.

Ключевые слова: шлаковая корка, сварка под флюсом, минеральное сырье, сварочный материал, дилатометрия, растровая электронная микроскопия, отделимость шлака.

S. V. Naumov, Y. V. Rakov, A. S. Smolina, M. N. Ignatov

INVESTIGATION OF SLAG FORMED IN THE SUBMERGED ARC WELDING OF THE MINERALS URALS

Dilatometric tests and estimation external and internal surfaces of welded crusts obtained in the process of submerged arc welding of mineral raw materials Urals region are performed. Separation and porosity welding crusts, thermal expansion coefficient of slag and weld metal are investigated.

Keywords: slag crust, submerged arc welding, minerals, welding material, dilatometry, scanning electron microscopy, separability of slag.

Одним из важнейших показателей определения сварочно-технологических свойств покрытых электродов, сварочных флюсов, порошковых проволок и сварных соединений является отделяемость шлаковой корки от металла сварного шва. Плохая отделяемость, а в ряде источников и пористая сварочная корка, может привести к дефектам в виде подрезов и неравномерному формированию шва, что скажется на затрате времени сварщика на зачистку сварного шва и сильно отразится на производительности процесса сварки [1].

Однако с использованием альтернативного, либо импортозамещающего минерального сырья, проблемы возникают чаще, чем с тем же традиционным сырьем в производстве сварочных материалов. Для решения этих проблем необходимо проводить комплексные исследования минерально-сырьевой базы Уральского региона, сварочных материалов и сварных соединений на современном технологическом оборудовании. Исследование и прогнозирование сварочно-технологических свойств сварочных флюсов из минерального сырья Урала на формирование сварного шва и отделяемость шлаковой корки является актуальной задачей в сварочном производстве [2; 3].

Объектом исследования являются шлаковые корки после сварки под флюсом из горных пород Уральского региона, а именно из габбро-диабазы Ломовского месторождения Пермского края и горнблендита Свердловской области.

Дилатометрия позволяет дополнить прогнозируемую оценку сварочно-технологических свойств сварных соединений и разрабатываемых сварочных материалов из минерального сырья Уральского региона [4]. Для исследования коэффициентов термического расширения шлаковых корок использован дилатометр NETZSCH DIL 402C. Образцы, вырезанные из сварочных шлаков разрабатываемых флюсов и АН-348А, имеют размеры 4x4x20 мм, диапазон нагрева 20–1000 °С, скорость нагрева – 10 °С/мин, скорость охлаждения – 30 °С/мин.

Полученные результаты дилатометрии сварочных шлаков представлены на рис. 1. Коэффициенты линейного теплового расширения (α) сварочных шлаков сопоставлены с металлом сварного шва стали 25, α которого определен по справочным данным [5].

Установлено, что наиболее высокой оценкой по отделяемости шлаковой корки обладает сварочный флюс из горнблендита и имеет наибольшее отклонение α от α_{Me} ($\alpha = 1,19-1,61 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ в области температур 20–1000 °С), где по РД 03-613-03 был определен 5 высший балл. Однако флюс из габбро-диабазы имеет 4-5 балл, хорошая отделяемость шлаковой корки, которая

отделяется при незначительном механическом воздействии. Это объясняется тем, что значения α на всех интервалах температур более близки к α_{Me} ($\alpha = 5,04-9,94 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ в области температур 20 – 1000 $^{\circ}C$). Шлак сварочного флюса АН-348А обладает, как и флюс на основе горнблендита, высокой оценкой по отделяемости шлаковой корки ($\alpha = 0,71-2,59 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ в области температур 20–1000 $^{\circ}C$).

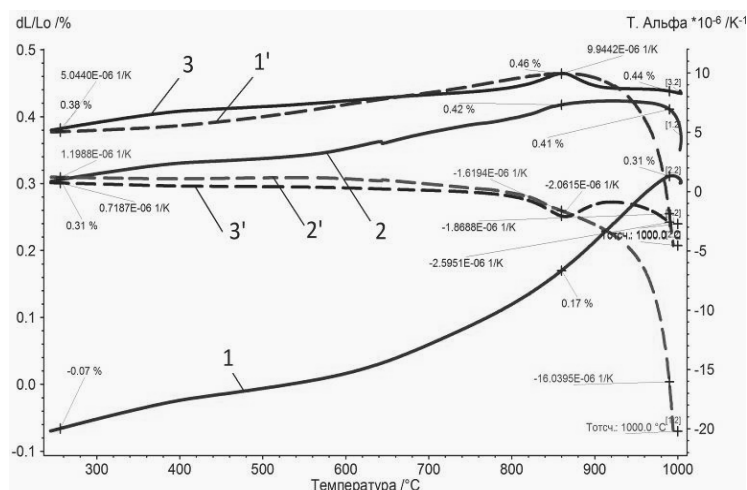


Рис. 1. Термограмма дилатометрии сварочных шлаков в диапазоне температур 20-1000 $^{\circ}C$:
 1 – шлак габбро-диабазы; 2 – шлак горнблендита; 3 – шлак АН-348

Таким образом, благодаря исследованиям коэффициентов линейного теплового расширения можно достичь наилучшей оценки по отделяемости шлаковой корки и проводить корректировку химического состава на стадии апробации сварочных материалов. Например, кварц и слюда будут эффективно понижать α ($0,7 - 3 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}C^{-1}$), известняк и оксид алюминия незначительно понижают, мрамор в зависимости от $\alpha = 5.5 - 14.1 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}C^{-1}$, марганец повышает $\alpha = 22 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}C^{-1}$.

Однако, в ряде случаев (например, флюс не прокален, малые токи, малая насыпная масса и т.д.) шлаковые корки пористые, в тоже время это не сильно влияет на сварочно-технологические свойства (слегка усиливается шипение, отделимость падает до 4 балла по РД 03-613), а наплавленный металл без пористости. На рис. 2 представлены внешние виды сварочных корок, где была обнаружена пористость шлака.

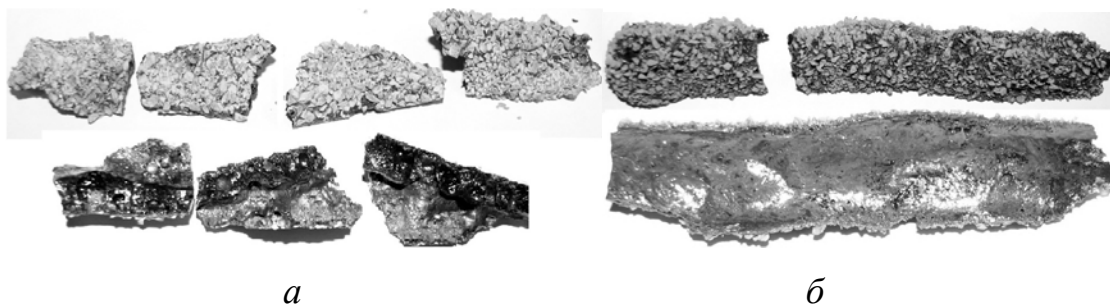


Рис. 2. Внешняя и внутренняя поверхность сварочной корки после сварки под слоем флюса (x2): *а* – шлак габбро-диабазы; *б* – шлак горнблендита

В подтверждение полученным данным дилатометрии для поверхностной диагностики сварочных шлаков проведена растровая электронная микроскопия на оборудовании Carl Zeiss EVO50 XVP. Для проведения исследований взяты образцы после наплавки под флюсом с целью получения сварочного шлака для проведения дилатометрии и в достаточном объеме для проведения растровой электронной микроскопии на режимах: $I = 550 \text{ А}$, $V_{\text{св.}} = 55 \text{ см/мин}$, $U = 30 \text{ В}$ (рис. 3).

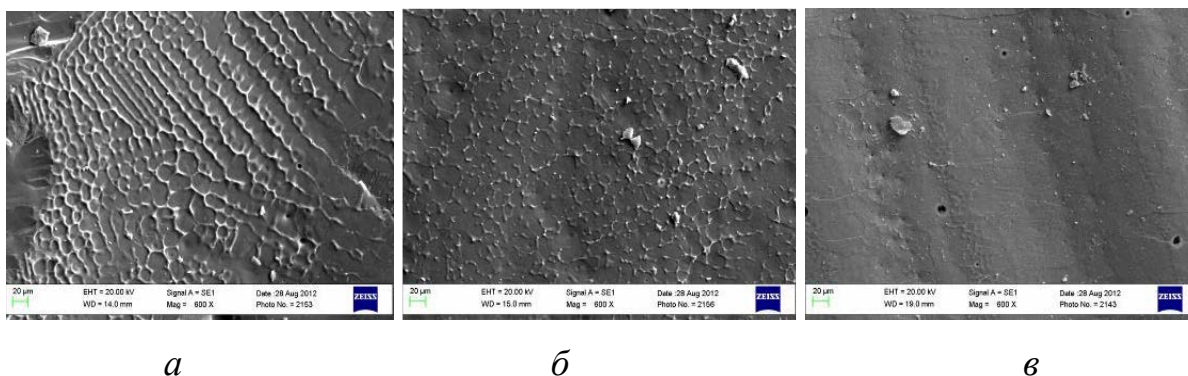


Рис. 3. Поверхность шлаковой корки со стороны сварного шва, х600: *а*) шлак габбро-диабазы; *б*) шлак горнблендита; *в*) шлак АН-348А

Выявлено, что сварочный шлак флюса АН-348А имеет небольшую волнистость и возможные микроскопические газовые поры диаметром до 10 мкм, поверхность гладкая и шлаковая корка хорошо отделяется с поверхности сварного шва. Однако сварочный шлак габбро-диабазы имеет большую шероховатость по сравнению с АН-348А (рис. 3, *а*), шлаковая корка отходит не самопроизвольно из-за этого, но легко отделяется, количество газовых пор на поверхности шлака ниже, чем у АН-348, что подтверждается ранее проведенной дилатометрией. Большой интерес вызывает сварочный шлак

флюса на основе горнблендита (рис. 3, б). Мелкая чешуйчатость и шероховатость поверхности, мелкие газовые поры размером до 2–3 мкм подтверждаются отделением сварочного шлака с поверхности шва без механического воздействия [6].

Кроме того, были исследованы и внешние поверхности шлака, образованного в процессе наплавки под флюсом на приведенных выше режимах (рис. 4).

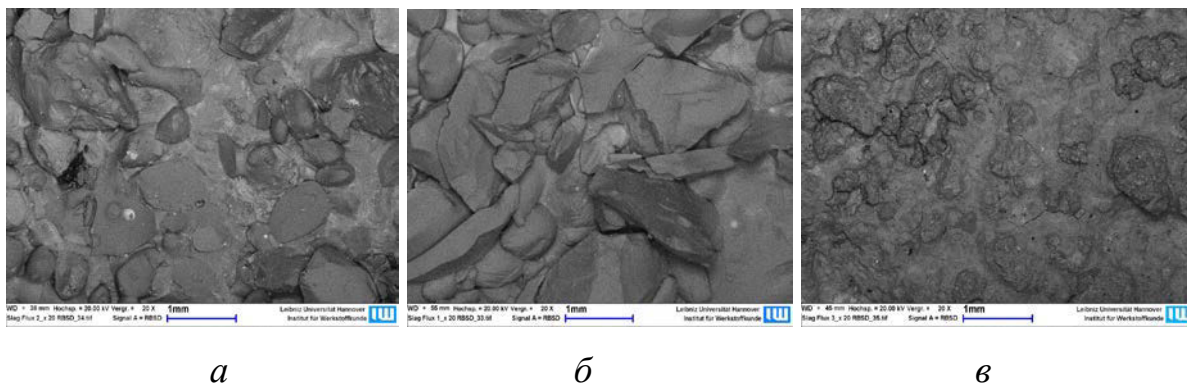


Рис. 4. Внешняя поверхность сварочной корки (x20): а) шлак габбро-диабазы; б) шлак горнблендита; в) шлак агломерированного флюса

Авторы считают, что сварочная корка, образуемая при плавлении флюса из габбро-диабазы и горнблендита, имеет поры в результате выделяющихся газов в каверне при затвердевании шлака. В результате, поверхность шлака при затвердевании не пропускает, а поглощает газы, что обуславливается отсутствием пор на внешней поверхности сварочных корок и имеющих на внутренней (рис. 4, а, б), что отличается от сварочных корок АН-348 и агломерированного флюса. Приведенные аналоги имеют на обеих поверхностях сварочных корок поры \varnothing 10-300 мкм, через которые газы выходят в процессе затвердевания корок (рис.4, в).

В продолжение исследовательских работ будет проведен газовый химический анализ, как основного металла, металла шва, так и флюса и шлаковых корок, который даст характеристику образования и распределения выделяющихся газов в процессе сварки под слоем флюса из горных пород Уральского региона.

Список литературы

1. Подгаецкий В. В., Кузьменко В. Г. Сварочные шлаки : справочное пособие. – Киев, 1988. – 253 с.
2. Наумов С. В. Использование минеральных и техногенных горнометаллургических ресурсов Пермского края в производстве сварочных материалов // Сб. докл. науч. техн. конф. «Сварка и диагностика – 2012». – Екатеринбург : Уральские выставки. – 2012. – С. 129–133
3. Наумов С. В. Алгоритм полного цикла разработки сварочных материалов от оценки пригодности минерального сырья месторождений до технологических характеристик сварных соединений // Сб. трудов всерос. молодеж. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Инженерная мысль машиностроения будущего». – Екатеринбург : УрФУ, 2012. – С. 132–136.
4. Игнатова А. М., Артемов А. О., Наумов С. В. Информативность методов и алгоритм оценки и выбора петругического сырья // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 111–115.
5. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко [и др]. – Машиностроение, 2003. – 784 с.
6. Исследование зависимости коэффициентов термического расширения металла шва и сварочных шлаков от температуры в диапазоне 100...1000 °С / Е. Е. Корниенко [и др.] // Обработка металлов. – 2012. – № 3 (56). – С. 116–119.