

**магистрант Усенов А., доц. Эрматов З.Д. (ТГТУ)  
К ВОПРОСУ РАСЧЕТА СОСТАВА МЕТАЛЛА ШВА ПО  
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

В основу термодинамической модели процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами были положены известные физические представления о механизме протекания гетерогенных реакций. Для обеспечения правильности термодинамических расчетов необходимо знание температуры, при которой протекают химические реакции.

Как отмечено в [1], температура дуги при ручной сварке зависит от составов покрытия и стержня электрода, силы сварочного тока, напряжения дуги, коэффициента массы покрытия и других факторов. Средняя температура дуги, определяемая температурой ее столба, при ручной дуговой сварке составляет 5473-5873 К. Причем более высокую температуру имеет дуга на электродах с кислым покрытием, менее высокую — на электродах с основным покрытием. Температура металла в области анодного пятна достигает 2873-4073 К, в области катодного — 2673-3473 К. Более низкая температура металла на катодном пятне обусловлена затратой катодом энергии на эмиссию электронов.

Вместе с тем определение температуры, особенно на стадии плавления электродного металла, сопряжено с большими трудностями, связанными с кратковременностью существования, малыми объемами металла, большими градиентами температур, наличием шлака, большого количества выделяющихся газов и втулочки из неоплавившегося покрытия на торце электрода.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили три метода для измерения температуры капель электродного металла. Это метод калориметрирования, разработанный В.И. Шумкиным, метод микропирометрии и метод прямого измерения температуры металла капли с помощью термопары погружения, разработанный и впервые примененный В.Н. Горпенюком и И.К. Походней. Также имеются несколько расчетных методик определения температуры капли [2].

Результаты, полученные методом калориметрирования, варьируются в пределах от 2100 до 2700 К на токах, характерных для ручной дуговой сварки (125-195 А).

Следует отметить, что метод калориметрирования применим только для сварки голым и тонкопокрытым электродом, то есть когда можно пренебречь долей тепла, вносимой шлаком. При расплавлении толстопокрытых электродов количество шлака достигает 20—40 % от массы расплавленного металла. Отсутствие же данных о теплоемкости шлаков при высоких температурах не позволяет точно оценить их вклад в теплосодержание металла капель. Таким образом, приведенные температуры для электродов с нормальной толщиной покрытия УОНИ-13/45 и ОММ-5 определены с погрешностью не превышающей 20 %.

Метод микропирометрии также непригоден для исследования температуры капель электродов с нормальной и увеличенной толщиной покрытия из-за втулки, образующейся на торце электрода при его плавлении.

Для измерения температуры капли, находящейся на торце электрода с нормальной и увеличенной толщиной покрытия пригоден только метод прямого измерения температуры с помощью термопары погружения.

Эксперимент проводился с рутиловыми электродами марки АНО-4 диаметром 8 мм. Жидкая капля на торце такого электрода имела правильную коническую форму. Полученные результаты показывают, что средняя величина мгновенной температуры увеличивается как по высоте капли, так и с повышением сварочного тока [3]. Экспериментально установлено, что с увеличением тока в электродах всех типов температура капель возрастает и достигает 2423 – 2623 К. Однако, скорость увеличения

температуры и величина сварочного тока, при которой фиксируется максимальная температура, для каждой марки электродов индивидуальны.

Точный расчет количества теплоты, затрачиваемой на нагрев и плавление покрытия, требует знания механизма протекающих при этом превращений и в настоящее время затруднителен для электродных покрытий. При сварке расчет также осложняется отсутствием данных о температуре, достигаемой покрытием (шлаком) при его плавлении.

При изучении металлургических процессов при сварке во многих работах использовались закономерности химической термодинамики, с помощью которой исследовалось возможное развитие реакций при сварке и были получены важные в теоретическом и практическом отношении выводы [4]. Однако термодинамический анализ служит главным образом целям качественной оценки процессов при сварке; количественные же расчеты равновесий развиты крайне слабо, что вызвано рядом трудностей, связанных с выбором температуры, к которой следует относить расчет равновесия, отсутствием исходных данных для расчета сварочных систем и др.

В зоне сварки одновременно существуют области металла с температурой, изменяющейся в широком диапазоне, — от температуры, близкой к точке кипения, до температуры кристаллизации. Поэтому нельзя говорить о равновесии применительно ко всей зоне сварки в целом.

Протекание реакций между металлом и шлаком зависит не только от состава, но и от относительного количества взаимодействующих фаз. Относительная масса шлака влияет также и на равновесную концентрацию элемента.

Стадия капли - первая стадия процесса. Здесь начинается взаимодействие, система наиболее удалена от равновесия и скорость реакций максимальна, так как чем больше разность между начальными и равновесными концентрациями, тем больше действующая в системе «термодинамическая сила» и тем больше при прочих равных условиях должна быть скорость процесса.

На стадию ванны система приходит уже с другими концентрациями реагентов, приблизившись к равновесию. Скорость реакций должна быть меньше. Поэтому в ванне можно ожидать менее интенсивного протекания реакции.

Данные исследований позволяют сделать вывод, что сварочная ванна является квазистационарной системой как в геометрическом и тепловом, так и в физико-химическом отношении. Этим ванна отличается от капли, где к моменту перехода капли квазистационарное состояние, как правило, не достигается.

Применение термодинамического подхода требует достаточно точного определения температуры взаимодействия, а она может меняться в зависимости от изменения параметров режима и состава покрытия электрода. Поэтому термодинамические модели применимы для условий автоматизированной сварки, когда параметры поддерживаются относительно постоянными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жизняков, С.Н. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология / С.Н. Жизняков, З.А. Сидлин. — М.: ЦТТ ИЭС им. Е.О. Патона, 2007. — 360 с.
2. Походня, И.К. Математическое моделирование процессов взаимодействия металла с газами при дуговой сварке / И.К. Походня // Автоматическая сварка. — 2003. — № 2. — С. 3–10.
3. Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов / под ред. И.К. Походни. — Киев: Наукова думка, 1990. — 223 с.
4. Фрумин, И.И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фрумин. — Харьков: Metallurgizdat, 2011. — 421 с.