

ВЫРАВНИВАЮЩЕЕ СВОЙСТВО СВАРОЧНОЙ ВАННЫ

И. Г. ЛЯПИЧЕВ

(Представлено проф. докт. техн. наук А. Н. Добровидовым)

Постоянный химический состав наплавленного металла является основным условием для получения неизменных физико-механических свойств сварного шва. Это необходимо как при сварке конструкционных, так и особенно при наплавке высоколегированных сталей.

Для получения постоянного химического состава наплавленного металла необходимо неизменное соотношение количества расплавленных флюса, ферросплавов, основного и электродного металла за каждую единицу времени. В заводских условиях это требование часто нарушается из-за колебаний сетевого напряжения, неравномерности дозировки и грануляции флюса и ферросплавов.

Условия получения однородного химического состава наплавленного металла недостаточно изучены. Не выяснено, например, влияние перемешивания металла в сварочной ванне на однородность состава металла.

Первое подтверждение перемешивания металла в сварочной ванне (при ручной сварке) обнаружил А. А. Алов [1]. Серебро, введенное в нижнюю часть сварочной ванны через основной металл, обнаруживалось на значительном расстоянии от места введения. Кроме этого, оно находилось в верхнем слое наплавленного металла, несмотря на то, что удельный вес серебра больше удельного веса железа.

Наличие интенсивного перемешивания металла в сварочной ванне неоднократно отмечали Г. И. Погодин-Алексеев [2], К. К. Хренов [3] и другие.

Постоянный химический состав валика может быть обеспечен только при неизменной погонной мощности дуги.

Всякое изменение погонной мощности дуги вызывает нарушение установившегося теплового баланса, что вызывает колебания в составе валика. При использовании малоуглеродистой сварочной проволоки для сварки малоуглеродистой стали изменение погонной мощности дуги менее опасно, так как основной и электродный металл имеют примерно одинаковый химический состав.

При наплавке быстрорежущей стали мы использовали малоуглеродистую сварочную проволоку. Легирование наплавленного металла производилось ферросплавами.

Ферросплавы могут быть равномерно распределены во флюсе ¹⁾ (легирующий неплавленный флюс) или сосредоточены непосредственно в зоне горения дуги в виде легирующей пасты [9] или бруска из ферросплавов. Однако использование пасты связано с рядом технологических трудностей: заполнение пастой разделки под наплавку, необходимость последующей сушки заготовки с нанесенной пастой. Затруднено хранение па-

¹⁾ Флюс с механической добавкой порошкообразных ферросплавов из-за возможного разделения зерен флюса и зерен ферросплавов нами не рассматривается.

сты (она „схватывается“ и затвердевает), использование ее при наплавке плоских заготовок (державки для резцов, ножи для сборных фрез и т. п.), когда разделка под наплавку может отсутствовать. Дозировка пасты согласно профилю разделки не может обеспечить требуемой точности и, следовательно, неизменности химического состава.

Предложенное нами легирование наплавленного металла брусками из ферросплавов лишено этих недостатков. Влияние колебаний сетевого напряжения на химический состав наплавленного металла при этом значительно слабее, чем при других способах легирования.

Легирующие неплавленные флюсы состоят из шлакообразующих и легирующих компонентов. При недостаточном раскислении наплавленного металла или большом угаре легирующих элементов вводят в состав флюса раскислители. Методика расчета легирующего неплавленного флюса или состава бруска из ферросплавов пока не разработана. Количество ферросплавов, которое необходимо вводить в шлакообразующую часть флюса или сосредоточить в виде бруска, определяется рядом опытных наплавов. Найденный состав легирующего флюса или бруска из ферросплавов обеспечивает требуемый состав валика при сохранении опытных режимов наплавки. Изменение хотя бы одного параметра режима наплавки (J_d , U_d , $V_{св}$, $V_э$, $d_э$, $U_{сети}$) вызывает нарушение соотношения количества расплавленного флюса, основного и электродного металла и, следовательно, изменение химического состава наплавки.

Вводимые ферросплавы должны легировать расплавленный основной и электродный металл.

При этом предполагается, что основной металл—углеродистая или низколегированная сталь и электрод—малоуглеродистая проволока марки Св—08. В первом приближении, независимо от состава шлакообразующей основы сварочного флюса, количество вводимых ферросплавов можно рассчитывать по погонному весу валика наплавленного металла. При этом остается неучтенной величина угара ферросплавов, а также часть их, оставшаяся неиспользованной в затвердевшей шлаковой корке, если легирование наплавленного металла производится керамическим флюсом.

Колебания погонной мощности дуги при наплавке быстрорежущей стали оказывают более сильное влияние на химический состав, чем при сварке малоуглеродистой стали малоуглеродистой проволокой. Это происходит благодаря тому, что изменение расплавляемого количества флюса, ферросплавов, основного и электродного металла в отдельности не пропорционально изменению мощности дуги. Степень этой непропорциональности зависит от типа сварочного оборудования и способа легирования наплавленного металла.

При легировании наплавленного металла через керамический флюс химический состав валика в большей степени зависит от колебаний напряжения, чем при других способах легирования.

Сосредоточение ферросплавов в виде бруска в зоне горения дуги обеспечивает полное расплавление их независимо от колебаний погонной мощности дуги. Изменение количества расплавленного защитного флюса слабо влияет на состав валика. При таком способе введения ферросплавов для получения однородного химического состава, мало зависящего от колебаний погонной мощности дуги и от типа сварочного оборудования, требуется обеспечение постоянного количества расплавленного основного и электродного металла.

Колебания погонной мощности сварочной дуги вызываются большей частью изменениями сетевого напряжения.

Экспериментальная проверка влияния колебаний сетевого напряжения в интервале 200 ÷ 220 в, способа легирования и типа сварочного оборудования на химический состав наплавленного металла показали, что наиболь-

шее постоянство химического состава обеспечивает сварочное оборудование с постоянной скоростью подачи электрода (трактор ТС-17) при легировании наплавленного металла брусками из ферросплавов. Это объясняется тем, что при колебании сетевого напряжения трактор ТС-17 обеспечивает постоянное количество расплавленного электродного металла. При колебании сетевого напряжения устанавливается новый режим с пониженным напряжением на дуге и практически неизменным сварочным током. Несмотря на общее уменьшение мощности дуги при падении сетевого напряжения, количество расплавляемого основного металла изменяется незначительно. Это происходит благодаря погружению столба дуги в основной металл, что увеличивает долю тепла, расходуемую на плавление основного металла.

Наши опыты согласуются с теоретическими исследованиями сварочного оборудования Бринберга И. Л. [7]. Проведенные опыты показывают возможность использования сварочных головок с постоянной скоростью подачи электрода для наплавки быстрорежущей стали при колебании сетевого напряжения: 210 ± 10 в. Если головка настроена при наивысшем сетевом напряжении и предполагается только снижение его, необходимо рассчитывать брусок ферросплавов по нижнему пределу содержания элементов в стали. Падение напряжения уменьшит количество расплавленного основного металла и вызовет повышение легированности валика.

Необходимо отметить, что допустимые колебания согласно ГОСТ в содержании элементов в стали Р18 достигают 8,5—25%, в стали Р9 — 11,8—30%.

Головки с регулируемой скоростью подачи электрода (АДС-1000) при падении сетевого напряжения устанавливают новый режим с неизменным напряжением на дуге и уменьшенным сварочным током. Последнее приводит к уменьшению расплавленного электродного и основного металла. Количество расплавленного флюса уменьшается незначительно. Состав наплавленного металла изменяется сильнее, чем при использовании головок с независимой, постоянной скоростью подачи электрода. Это объясняется неблагоприятной реакцией головки АДС-1000 на колебание напряжения в сети, что приводит к изменению технологически важного параметра режима (сварочного тока) и сохранению второстепенного (дугового) напряжения.

Обеспечение головок с постоянной скоростью подачи электрода стабилизаторами первичного напряжения повысит их ценность при проведении работ по наплавке.

Как показали опыты, наибольшая стабильность состава наплавленного металла при колебании напряжения в сети обеспечивается при использовании автоматов с независимой скоростью подачи электрода и при наплавке по брускам из ферросплавов. Независимо от колебания напряжения в сети эти автоматы обеспечивают постоянное количество расплавленного электродного и основного металла и ферросплавов. Последнее облегчается тем, что ферросплавы не распределены по шлакообразующей части флюса, а сосредоточены непосредственно в зоне наплавки.

Изменение количества расплавленной шлакообразующей части флюса слабо влияет на состав наплавленного металла, так как легирование производится брусками ферросплавов. При этом остается невыясненным, как влияет неравномерность дозировки ферросплавов в бруске на химический состав наплавленного металла по длине валика.

Методика расчета состава бруска из ферросплавов

Состав наплавленного металла зависит от количества расплавленных ферросплавов в бруске, основного, электродного металла и флюса. Расчет состава бруска из ферросплавов должен производиться в зависимости от

режимов наплавки, состава флюса. Колебание режимов наплавки приводит к изменению количества расплавленного основного и электродного металла, ферросплавов и флюса и, следовательно, к изменению состава валика.

Этим требованиям не полностью удовлетворяет методика расчета состава легирующей пасты, предложенная Космачевым И. Г. [9]. При этом обеспечивается высокий (более 30%) запас легирующих элементов без связи с их угаром. Дозировка пасты производится в зависимости от площади сечения канавок под наплавку. Отсутствует связь с режимами наплавки и маркой флюса. Затруднено использование методики расчета при комплексных или углеродистых ферросплавах.

Предлагаемая нами методика расчета состава бруска из ферросплавов основана на предположении, что площадь сечения валика при постоянной погонной мощности дуги не зависит от его химического состава. Площадь сечения валика при наплавке по брускам из ферросплавов и без них будет одинаковой. При наплавке по брускам количество расплавленного основного металла малоуглеродистой стали должно уменьшаться соответственно весу бруска ферросплавов.

Изменение химического состава наплавленного металла, а, следовательно, и теплоты плавления приведет только к изменению величины перегрева металла сварочной ванны. Однако, это не приводит к соответственному колебанию площади сечения валика из-за недостаточной теплопередачи от жидкого к твердому металлу.

Для определения влияния плотности и химического состава бруска на площадь сечения валика были проведены следующие опыты. Из стружки сталей 3, Р18 и смеси ферросплавов различного состава были изготовлены прессованием бруски размером $(6 \div 8) \times 16 \times 50$ мм различной плотности, но одинакового веса—26 г; из стали 3—изготовлены пластинки: $4 \times 16 \times 50$ мм, а из стали Р18 пластинки $3,6 \times 16 \times 50$ мм весом по 26 г. Наплавки производились трактором ТС-17 на заготовки $18 \times 8 \times 370$ мм из стали 3 на режиме: $J_d = 600a$, $U_d = 45v$, $d_z = 4$ мм. $U_{сепи} = 208—210$ в, $U_z = 40$ м/час, $V_{св} = 20$ м/час под флюсом АН-348-А с использованием прессованных брусков, пластинок и без них, т. е. непосредственно на заготовки.

Измерение площади сечения валиков показали отсутствие зависимости ее от химического состава и плотности легирующей добавки (бруска или пластинки). Сечение валика при наплавке по пластинке и стружке из стали 3 равно $1,19—1,23$ см², по пластинке и стружке из Р18— $1,14$ см², по смеси ферросплавов— $1,09$ см². Если учесть различный удельный вес наплавленного металла, оказывается, что вес расплавленного основного и электродного металла постоянен и не зависит от состава валика. В заключение мы проделали следующие опыты.

У трактора ТС-17, настроенного на вышеуказанных режимах, малоуглеродистая сварочная проволока—Св-08 была заменена серебрянкой $\varnothing 4$ мм из стали Р9 и Р18. Основным металлом при этом служили заготовки также из стали Р9 и Р18. Нарушения стабильности процесса наплавки не наблюдалось. Площадь сечения наплавленного металла равнялась $1,18 \div 1,24$ см².

Расчет состава бруска из ферросплавов мы рекомендуем проводить в следующей последовательности:

1. Предварительно выбирается сварочный флюс. Как показал опыт, можно использовать высокомарганцовистые флюсы типа АН-348—А. Физико-химические особенности легирования металла, наплавленного с использованием брусков ферросплавов, обеспечивают высокое качество наплавленной быстрорежущей стали и незначительный угар легирующих элементов.

2. Согласно чертежа наплавляемой детали, или режущей части инструмента намечается режим наплавки, обеспечивающий необходимое попереч-

ное сечение наплавленного металла. Выбор режимов наплавки можно производить по данным работы [10].

3. Производится опытная наплавка на заготовку детали или инструмента малоуглеродистой сварочной проволокой на выбранных режимах.

4. Измеряется площадь поперечного сечения и определяется погонный вес валика.

5. Если сечение валика удовлетворяет пункту 2, то по формуле (1) рассчитывается состав бруска из ферросплавов для легирования наплавленного металла до требуемого уровня.

Количество ферросплава Q_2 , введение которого в A_2 наплавленного металла, обеспечит в нем содержание $a\%$ элемента, мы рекомендуем определять по формуле:

$$Q = \frac{100 + k}{100} A \frac{a}{b}, \quad (1)$$

где

b — содержание элемента в ферросплаве в %,

k — коэффициент, учитывающий угар и другие потери в %.

Если с элемента вводится, кроме ферросплава, например, шлакообразующими компонентами, электродным или основным металлом, то в формуле вместо „ a “ следует подставить „ $a-c$ “.

6. Изготовление бруска ферросплавов происходит в прессформе. Размеры бруска устанавливаются следующим образом: длина бруска должна обеспечить погонную дозировку ферросплавов. Ширина бруска берется на 2 мм меньше ширины валика наплавленного металла (пункт 3). После изготовления бруска он укладывается на поверхности наплавливаемой детали или заготовки режущего инструмента. После этого на ранее выбранных режимах (пункт 1) производится наплавка. Расплавляемый брусок легирует сварочную ванну.

При режиме наплавки:

1) напряжение в сети $U_{сети} = 210$ в,

2) сварочный ток — $J_0 = 600$ а,

3) напряжение на дуге — $U_в = 45$ в,

4) скорость наплавки — $V_{св} = 20$ м/час,

5) диаметр электрода — $d_э = 4$ мм,

6) сварочное оборудование ТС-17, флюс АН-348-А,

для изготовления бруска размером $5 \times 16 \times 50$ мм использовалось 26 г смеси, 14,3 г ферровольфрама (70% W, 0,8% C); 9,0 г феррохрома: (52,2% Cr, 6,02% C, 3,21% Si); 6,75 г феррованадия (39,8% V, 0,52% C, 2,8% Si, 2,50% Al); 3,1 г ферромolibдена (59,5% Mo, 1,42% Si), и 19 г чугуна (4,81% C). Чугун плавился на основе стали У12.

Плавление отходов стали У12 производилось на высокочастотном генераторе АЗ-43 при напряжении 8-9 киловольт и $2,5 \div 3$ ампера анодного тока с пониженной частотой за счет дополнительного введения батареи воздушных конденсаторов. В индуктор установки вкладывался тигель, изготовленный из смеси 80% кварцевого песка и 20% огнеупорной глины. Емкость тигеля $1,5 \div 2$ кг стали.

Науглероживание стали производилось графитовым боем. Плавка защищалась боем из оконного стекла.

Легирование брусками из ферросплавов такого состава обеспечивало получение наплавленного металла, химический состав которого приведен в табл. 1.

Для предупреждения непровара погонный вес бруска из ферросплавов не должен превышать 80% от погонного веса валика, полученного при наплавке малоуглеродистой проволокой (пункт 4).

Легирование наплавленного металла брусками из ферросплавов открывает большую возможность для использования брикетов стружки легированных сталей. При этом достигается значительная экономия ферросплавов.

Использование брикетов стружки специальных сталей для легирования наплавленного металла основано на том, что для каждого режима автоматической наплавки существует наибольшее количество ферросплавов (в граммах), которое можно вводить на единицу длины наплавленного металла. При превышении этого количества наблюдается непровар. Например, это получилось при дозировке ферросплавов 9,2 г/см при наплавке на вышеуказанном режиме: сварочный ток—600 а, диаметр электродной проволоки 4 мм.

Ранее проведенные опыты по наплавке быстрорежущей стали с использованием брусков ферросплавов ($J_d = 600a$, $V_{св} = 20$ м/час, $V_z = 40$ м/час, $d_z = 4$ мм) показывают, что в составе валика доля электродного металла не превышает 20%. Доля электродного металла определялась по площади поперечного сечения и погонному весу валика, а также по расходу электродной проволоки.

При увеличении количества вводимых ферросплавов можно уменьшить глубину проплавления основного металла до 1—1,5 мм. Это уменьшит разбавление сварочной ванны малоуглеродистой сталью заготовки детали или инструмента. Доля основного металла в сварочной ванне уменьшится до 15÷20%. В итоге, наплавленный металл на 35÷40% будет состоять из нелегированного основного и электродного металла. Это обеспечивает возможность, например, получить наплавленный металл по химическому составу близкий к стали типа Р9, если использовать брикет стружки из стали Р18. При погонном весе бруска стружки стали Р18 6,5÷7 г/см при наплавке на указанных режимах под флюсом АН-348-А (трактор ТС-17) мы получали следующий состав наплавленного металла: 0,46% С; 0,84% Мп; 0,70% Si; 10,02% W; 1,82% Cr и 0,54% V. Пониженное содержание хрома, ванадия и углерода можно компенсировать добавлением ферросплавов и чугуна. Результаты такого комплексного легирования стружкой и ферросплавами приведены в табл. 1.

Таблица 1

Способ легирования наплавки	Химический состав в %									
	Наплавленный металл					Шлак				
	С	W	Cr	V	Mo	W	Cr	V	Mo	
Ферросплавы	1,16	9,52	4,64	2,72	1,73	0,01	0,40	0,20	0,01	
Стружка и ферросплавы	1,12	10,81	4,68	2,91	1,81	0,01	0,35	0,17	0,01	

При легировании наплавленного металла стружкой и ферросплавами мы использовали 40 г стружки стали Р18; 4,4 г феррохрома; 4,8 г феррованадия и 26 г чугуна на основе отходов стали Р18. Такая замена бруска ферросплавов, состоящего из 14,3 г ферровольфрама; 9,0 г феррохрома; 6,75 г феррованадия, экономит на 100% ферровольфрам,—51% феррохром и 30% феррованадий. Использование добавок стружки высокохромистой стали типа Х12 приведет к увеличению экономии феррохрома.

Дальнейшие работы должны расширить область применения стружки легированных сталей, как в виде брикетов, так и для изготовления леги-

рующих керамических флюсов. Использование специальных режимов наплавки, обеспечивающих наименьший провар основного металла, а также оборудования с неплавящимся (графитовым, вольфрамовым) электродом значительно повысит концентрацию легирующих элементов в сварочной ванне.

В настоящее время на Томском ордена Трудового Красного Знамени заводе режущих инструментов внедряется наплавка инструмента с использованием как ферросплавов, так и стружки быстрорежущей стали.

Брикетирование стружки производится на молоте или фрикционном прессе (180 *т*). Стружка предварительно смачивается жидким стеклом. Меркой засыпают в штамп 70 г стружки. После прессования брикеты прокаливаются при температуре $350 \div 400^\circ$ в течение 1 часа. Колебания веса готовых брикетов достигают $64 \div 72$ г. Длина брикетов—100 мм, сечение— 6×16 мм.

Легирование брусками из ферросплавов было использовано нами для получения опытных наплавов быстрорежущей стали типа Р9, дополнительно легированной углеродом, ванадием, титаном и вольфрамом.

Для определения необходимой измельченности ферросплавов (грануляции) бруски изготавливались из смеси их порошков, проходящих через сито с диаметром отверстия 0,5—2 мм.

После смешивания ферросплавов в сухом виде смесь слегка увлажнялась жидким стеклом, предварительно разведенным на $50 \div 60\%$ водой. После этого производится повторное перемешивание.

Небольшая увлажненность смеси разведенным жидким стеклом замедляет „схватывание“ и затвердевание смеси. Кроме этого, каналы между частицами смеси остаются свободными для выхода паров при сушке. Последнее позволяет избежать вспучивания бруска при ускоренной сушке и сократить ее до $2 \div 3$ час. за счет увеличения температуры до $80 \div 100^\circ$. Прочность связки частиц смеси вполне достаточная: бруски не разрушаются при транспортировке и легких толчках.

Увлажненная смесь засыпается в прессформу и выравнивается. Дозировка смеси при засыпке может производиться как мерной тарой, так и взвешиванием. Прессование производится при небольшом давлении— $8 \div 10$ кг/см². При внешнем осмотре и разрушении брусков пустот не обнаруживалось.

Измельченность ферросплавов до 2 мм не влияет на технологические свойства флюса и на однородность химического состава наплавленного металла. Такое повышение крупности порошка ферросплавов вместо измельчения и просеивания его через сито с 1600 отв/см² [9] повышает производительность дробильного оборудования.

Основное преимущество наплавки по брускам из ферросплавов по сравнению с наплавкой под легирующими керамическими флюсами состоит в возможности получения высоколегированного состава (до $30 \div 40\%$) наплавленного металла в первом валике, т. е. при однослойной наплавке. При этом возможно применение любых режимов автоматической сварки, обеспечивающих наибольшую площадь сечения наплавленного металла. Значительное проплавление основного металла при использовании режимов с высокими плотностями сварочного тока не является тормозом к внедрению этого способа наплавки. Наоборот, это приводит к возможности увеличения легированности наплавки, так как погонный вес бруска из ферросплавов находится в прямой зависимости от количества расплавленного основного металла.

При легировании наплавленного металла керамическим флюсом расчетный состав его можно получить только во втором—третьем слое металла [4,6].

Переход легирующих элементов из керамического флюса в наплавлен-

ный металл не превышает 60% из-за значительных потерь ферросплавов в шлаковой корке и окисления.

Если учесть, что технология изготовления брусков из ферросплавов и керамического флюса примерно одинаковы, то при однократной наплавке валков высоколегированной стали с большой площадью поперечного сечения легирование брусками имеет очевидные преимущества.

При наплавке быстрорежущей стали по брускам ферросплавов под флюсом АН-348-А угар легирующих элементов достигает следующей величины: для хрома—2,5%, для ванадия 2,1%. Молибден и вольфрам практически не окисляются. Угар элементов определяется на основании химического анализа шлаковой корки.

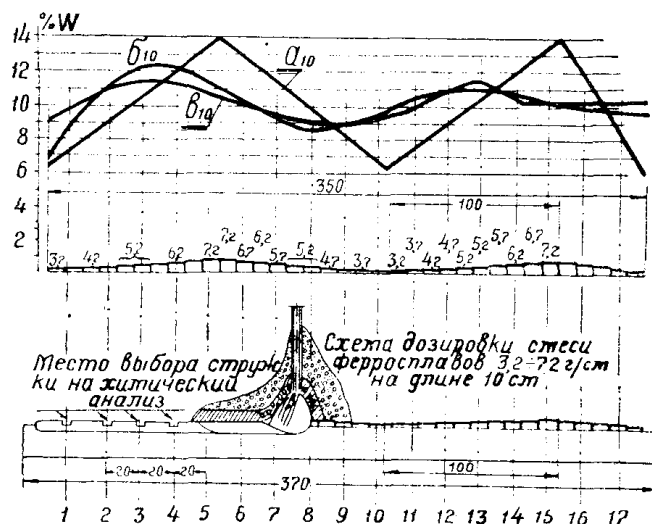
Для определения влияния степени неравномерности дозировки ферросплавов в бруске на химический состав наплавленного металла по длине мы провели следующие опыты.

Из вышеуказанной смеси ферросплавов были изготовлены бруски следующих размеров: $6 \times 16 \times 50$ мм (весом 26 г), $6 \times 16 \times 100$ мм (весом 52 г.) и 10×16 мм переменной высоты (весом $1,2 \div 9,2$ г).

Бруски переменной высоты и различного веса обеспечивали „сборку“ бруска размером $6 \times 16 \times 50$ мм (весом 26 г) из пяти брусков весом каждого 3,2; 4,2; 5,2; 6,2; 7,2 г и 1,2; 3,2; 5,2; 7,2; 9,2 г при площади основания бруска 10×16 мм. Сборка бруска $6 \times 16 \times 100$ мм (весом 52 г) обеспечивалась соединением отдельных брусков весом 3,2; 3,7; 4,2; 5,2; 5,7; 6,2; 6,7 и 7,2, а также 1,2; 2,2; 3,2; 4,2; 5,2; 5,2; 6,2; 7,2; 8,2; 9,2 г.

Отдельные бруски плотно укладывались на поверхности заготовки на длине 350 мм. Схема вариантов „сборки“ при различной дозировке ферросплавов показана на фиг. 1, 2, 3.

Наплавки производились на заготовки размером $18 \times 18 \times 370$ мм. Для предупреждения растекания наплавленного металла употреблялись

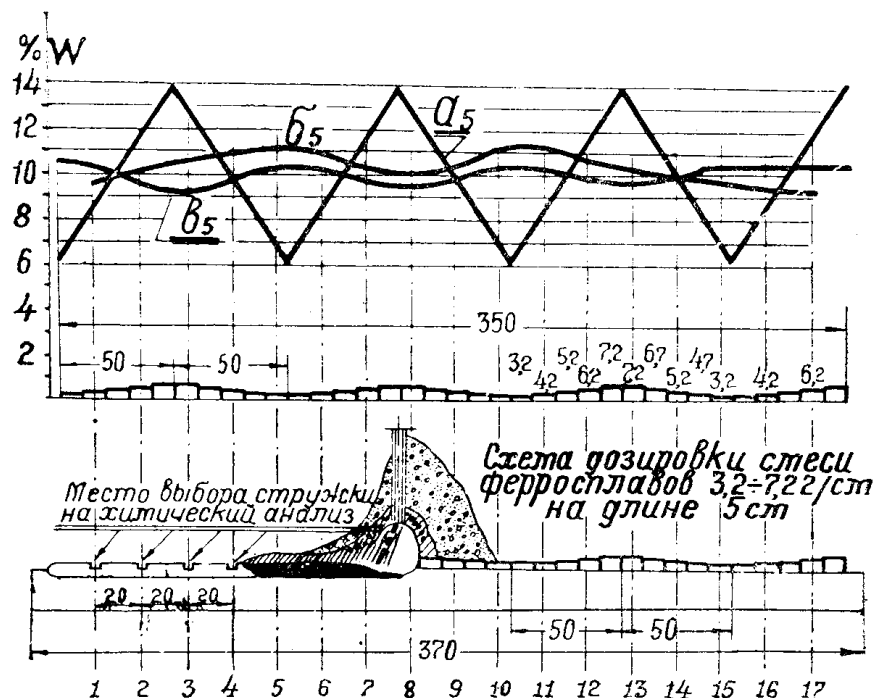


Фиг. 1

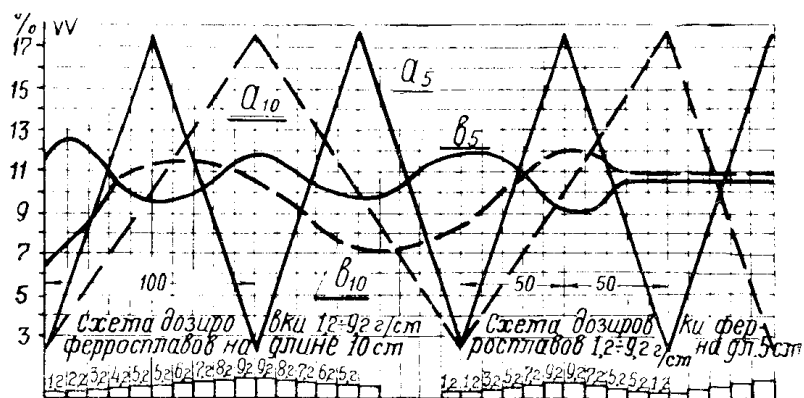
графитовые формы. Превышение графитовой формы над заготовкой на $3 \div 4$ мм обеспечивает хорошее формирование наплавленного металла и предупреждает горение дуги между электродом и графитом. Закорачивание электрода происходило на расстоянии 1 мм (в свету) от бруска ферросплавов в середине заготовки. Окончание наплавки (прекращение подачи электродной проволоки) производилось через 66 сек после включения кнопки „Пуск“. Дозировка времени горения дуги обеспечивала получение

одинакового химического состава наплавленного металла как в середине, так и в конце валика.

Сравнение состава валика (по химическому анализу) δ_5 и δ_{10} с предполагаемым, согласно дозировке ферросплавов a_5 , a_{10} (фиг. 2 и 3) пока-



Фиг. 2



Фиг. 3

зывает особое свойство сварочной ванны. Это свойство заключается в том, что состав валика по длине выравнивается несмотря на неравномерную дозировку ферросплавов. Сварочная ванна объединяет участки с различной концентрацией элементов в „смесительный резервуар“. Это свойство сварочной ванны можно назвать „выравнивающей способностью“. Выравнивающая способность сварочной ванны может быть объяснена тем, что в пределах сварочной ванны химический состав металла одинаков по всему объему, независимо от равномерности линейной дозировки ферро-

сплавов. Для проверки этого предположения производился обрыв дуги в произвольном положении ее по длине заготовки, на поверхности которой произведена неравномерная дозировка по схеме $3,2 \div 7,2$ и $1,2 \div 9,2$ г/см. Места для взятия стружки и результаты анализа указаны в табл. 2.

Наплавленный металл перед взятием стружки не отжигался¹⁾.

На основании этого свойства ванны были проведены расчеты концентраций элементов в ванне при дозировке ферросплавов $1,2 \div 9,2$ и $3,2 \div 7,2$ г/см при длине бруска 5 и 10 см. Результаты расчета и опытные данные приведены только для вольфрама (фиг. 1, 2 и 3).

Известно, что всякую периодическую функцию (в данном случае логарифмическую) можно представить рядом синусоид—основной и высших. Высшие гармоники „срезаются“ выравнивающим свойством сварочной ванны. Графическое интегрирование функции, выражающей предполагаемый состав (согласно дозировке ферросплавов по длине валика (v_5 и v_{10} ; фиг. 1, 2 и 3), показывает усредненное распределение элементов по длине валика.

Расчет производился применительно к таким режимам, которые обеспечивают длину сварочной ванны 70 мм.

Несовпадение предполагаемого по расчету состава (v_5 и v_{10} ; рис. 1, 2) с действительным объясняется тем, что графический расчет производился в предположении, что полная длина ванны (70 мм) устанавливается сразу в начале валика. В действительности, после возбуждения дуги ванна достигает полного размера лишь после того, как затвердеет сзади ее участок в $30 \div 40$ мм длиной. Это явление при расчете трудно учесть, так как рост размеров ванны в неустановившемся период пока не изучен. Однако в дальнейшем влияние этого участка ослабевает и кривые расчетного (предполагаемого v_5 и v_{10}) и действительного химического состава (b_5 и b_{10}) совпадают.

Периодическое чередование колебаний дозировки (фиг. 1, 2, 3) является наихудшим случаем для выравнивания химического состава валика по длине. Другие произвольные сочетания неравномерностей дозировки улучшают выравнивание.

Опыты показали, что наибольшее выравнивание состава достигается при использовании брусков длиной, равной $0,7 \div 1,3$ от длины сварочной ванны.

Такая длина бруска обеспечивает близкое расположение наибольшего и наименьшего значения неравномерностей дозировки. Меньшая длина брусков приводит к увеличению стоимости их изготовления и не улучшает выравнивающего свойства сварочной ванны.

Аналитический расчет²⁾ состава валика в зависимости от схемы дозировки ферросплавов по длине производился следующим образом (фиг. 4).

Пусть дозировка ферросплавов изменяется по уравнению:

$$Y_{\text{дозир}} = a - bx.$$

Для упрощения расчета принимаем длину сварочной ванны $l_s = 1$; l_s принимается за единицу для измерения и общей длины наплавки.

При передвижении ванны вправо на dx изменение концентрации dy в ней выразится:

¹⁾ Изменение состава в конце ванны объясняется следующим: при нажатии кнопки „Стоп 1“ прекращается подача электродной проволоки и передвижение трактора. Сварочный ток при этом не выключается. Горение дуги до самообрыва дополнительно расплавляет основной и электродный металл без соответствующего расплавления бруска из ферросплавов, так как трактор неподвижен. При одновременном нажатии кнопок „Стоп 1“ и „Стоп 2“ ванна имеет постоянный состав.

²⁾ При проведении аналитического расчета автор пользовался консультацией доцента В. А. Надежницкого.

$$\frac{Y_{\kappa} + Y_{\text{дозир}} - Y dx}{l_{\theta}} - Y = dy, \text{ где}$$

Y_{κ} — промежуточная концентрация ванны,

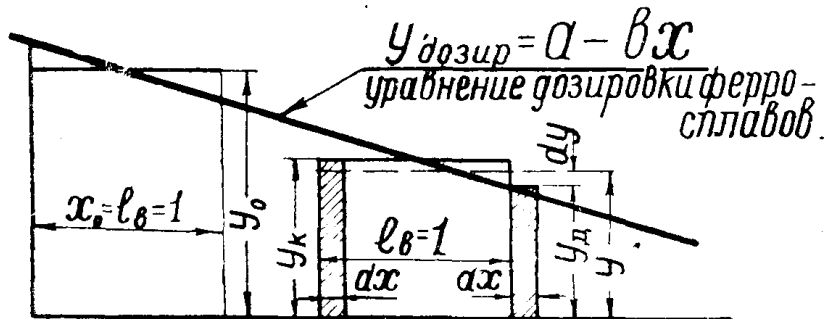
Y — концентрация, установившаяся в ванне после передвижения ее на dx .

Отсюда

$$\frac{dy}{dx} + Y - Y_{\text{дозир}} = \frac{dy}{dx} + Y + bx - a = 0.$$

Решение линейного уравнения 1 порядка будет:

$$Y = C \cdot e^{-x} - b(x-1) + a.$$



Фиг. 4

Постоянную C определяем из начальных условий (фиг. 4):

$$\text{при } x_0 = 1, y_0 = a - \frac{b}{2}, \quad C = -\frac{b}{2} e.$$

Тогда

$$Y = -\frac{b}{2} e^{-(x-1)} - b(x-1) + a.$$

Пример. Длина наплавки $L = 21$ см (фиг. 5).

Длина сварочной ванны 70 мм. Предполагаемое содержание элемента согласно дозировке в начале наплавки 20, в конце 5%. Изменение концентрации проходит по прямой.

Тогда

$$b = \frac{20-5}{3} = 5, \quad Y = 20 - \frac{5}{2} = 17,5.$$

Концентрация элемента в конце валика при $x = 3$,

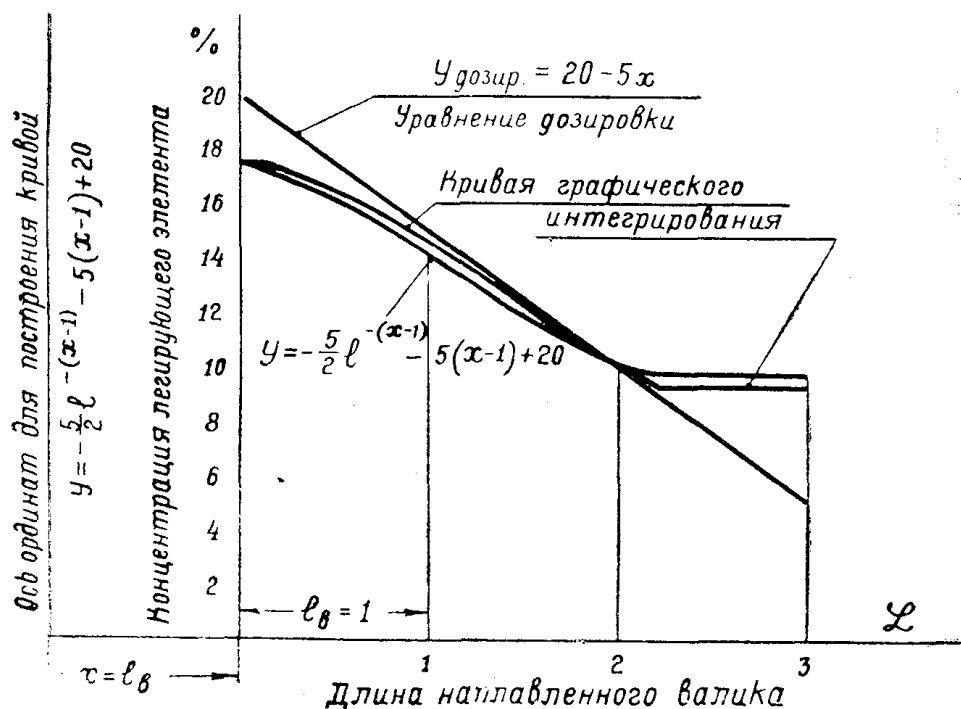
$$Y = -\frac{5}{2} e^{-(3-1)} - 5(3-1) + 20 = 9,66.$$

Первоначальная разница в составе-наплавки по концам ее до $20-5 = 15\%$ уменьшилась до $17,5-9,66 = 7,8\%$.

На фиг. 5 приведен графический расчет для этого случая. Результаты графического и аналитического расчетов совпадают. Согласно исследованиям в большой металлургии скорость распределения легирующих присадок в жидкой стали достаточно велика. При наличии дополнительного перемешивания ванны это происходит чрезвычайно быстро. Как раз в условиях наплавки мы имеем небольшой вес ванны (80 ÷ 120 г), перегрев металла и перемешивание его из-за наличия колебаний и конвекционных

токов. Все это приводит к быстрому выравниванию химического состава валика по его длине.

Опыты показывают, что за критерий недопустимой неравномерности состава валика по длине можно принять технологический фактор—нали-



Фиг. 5

чие непровара. На фиг. 3 показано a_5 и a_{10} —предполагаемое, согласно дозировке ферросплавов, содержание вольфрама в наплавленном металле. Согласно схеме дозировки ферросплавов без учета выравнивающего действия сварочной ванны колебание в содержании вольфрама достигает при этом $2,6 \div 17,5\%$; v_5 и v_{10} —расчетное содержание вольфрама в наплавленном металле с учетом выравнивающего действия сварочной ванны. Колебания в содержании вольфрама уменьшаются и достигают при длине бруска, равной 5 см $v_5 = 9,5 \div 12\%$; при длине бруска 10 см $v_{10} = 7 \div 11,5\%$. Однако при дозировке по схеме $1,2 \div 9,2$ г/см на участке дозировки $9,2 \div 9,2$ г/см наблюдается непровар. Непровар появляется в результате того, что количество ферросплавов, введенных через брусок, превышает долю расплавляемого основного металла. Непровар в данном случае может служить признаком недопустимой неравномерности дозировки ферросплавов, хотя в отдельных случаях колебания в содержании вольфрама $9,5 \div 12\%$ можно считать (для наплавленных сталей типа Р9) допустимым.

Анализ наплавленного металла по высоте сечений показывает отсутствие зональной ликвации (табл. 3). Это позволяет считать наплавленный металл (по всему сечению) равноценной режущей частью инструмента.

Выравнивание химического состава ванны, повидимому, не может происходить без выравнивания ее температуры. Средняя температура ванны [3] $1700 \div 1900^\circ$ распространяется на всю длину за исключением активных пятен дуги и участка кристаллизации. Равновесие [8], по нашему мнению, целесообразнее отнести к средней температуре ванны, которая „держится“ $8 \div 14$ сек (при весе сварочной ванны $80 \div 120$ г), чем к температуре затвердевания стали. Продолжительность пребывания отдельных участков

наплавленного металла в интервале температур кристаллизации, повидимому, значительно меньше выдержки при средней температуре.

Экспериментальные данные К. В. Любавского [7] доказывают, что содержание кислорода в наплавленном металле при автоматической сварке малоуглеродистой стали совпадает с равновесным, если равновесие отнести к средней температуре ванны—1800°.

Таблица 2

Расстояние ¹⁾ от конца валика наплавленного металла до места взятия пробы на химический анализ, мм				
80	60	40	20	Условия проведения разрыва эл. цепи в конце валика
Содержание вольфрама в ‰				
9,72	9,64	9,08	9,01	Нажатие у „Стоп 1“, затем через 3—4 сек „Стоп 2“.
10,46	10,56	10,43	10,47	Нажатие „Стоп 1“ и „Стоп 2“ одновременно.

¹⁾ Длина сварочной ванны достигает 65—70 мм. Пробы на расстоянии 20, 40 и 60 мм от конца валика находятся в контуре „последней ванны“.

Таблица 3

Место взятия пробы	Химический состав по высоте сечения наплавленного металла, ‰		
	С	W	V
Первый слой	1,14	9,58	1,62
Второй слой	1,11	9,64	1,52
Третий слой	1,13	9,37	1,53

Примечание: Высота наплавленного слоя достигала 7 ÷ 8 мм. Послойная проба — взятие стружки на химический анализ — производилась через каждые 1,5 мм начиная от зоны сплавления по высоте наплавленного слоя.

Выводы

Исследовано выравнивающее свойство сварочной ванны. Это свойство заключается в практически мгновенном выравнивании состава жидкого металла в объеме сварочной ванны, несмотря на неравномерную дозировку ферросплавов по длине шва. Предложены аналитический и графический расчеты химического состава ванны для определения допустимой неравномерности дозировки ферросплавов. За недопустимую неравномерность химического состава наплавленного металла по длине можно принять в отдельных случаях технологический признак—непровар.

Непровар возникает тогда, когда количество ферросплавов в бруске превышает долю основного металла в наплавленном металле. При использовании брусков, погонный вес которых более 80% от погонного веса наплавленного металла, последний формируется только за счет бруска и электродного металла. Мощности сварочной дуги в этом случае недоста-

точно для расплавления кроме флюса, электродного металла и бруска из ферросплавов еще и основного металла.

Особенности кристаллизации наплавленного металла приводят к устранению зональной ликвации. Весь наплавленный металл является равноценной режущей частью инструмента.

ЛИТЕРАТУРА

1. А л о в А. А.—К вопросу о механизме кристаллизации металла шва. Автогенное дело. № 9, 1949.
 2. Погодин-Алексеев Г. И. Теория сварочных процессов. Машгиз, 1950.
 3. Хренов К. К.—Керамические неплавленные флюсы для автоматической дуговой сварки. Сборник докладов научно-технической конференции сварщиков. Машгиз, 1953.
 4. Фрумин И. И.—Легирование наплавленного металла при сварке под флюсом. „Автоматическая сварка“ № 1 (22), 1952.
 5. Бринберг И. Л.—Современная аппаратура для автоматической сварки под флюсом. ЦНИИТМАШ, Книга 14. Вопросы теории сварочных процессов. Машгиз, 1948.
 6. Походня И. К.—Автоматическая наплавка слоя высокохромистой износостойкой стали типа Х12 на поделочную сталь. „Автоматическая сварка“ № 4, 1953.
 7. Любавский К. В. Металлургия автоматической сварки под флюсом. Вопросы теории сварочных процессов. ЦНИИТМАШ, книга 14, Машгиз, 1948.
 8. Лapidус В. А.—Исследование равновесного состояния системы металл-шлак при сварке электродами марки ЦИ-1. Автогенное дело № 4, 1951.
 9. Космачев И. Г.—Автоматическая наплавка многолезвийного инструмента. Машгиз, 1952.
 10. Автоматическая электродуговая сварка. Машгиз, 1953.
-