

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ИЛИ НАПЛАВКЕ

И. Г. ЛЯПИЧЕВ

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

Большой вклад в изучение и внедрение автоматической сварки и наплавки высоколегированных сталей внесли советские ученые К. В. Любавский, И. И. Фрумин, К. К. Хренов и другие.

Одним из условий, затрудняющим более широкое внедрение автоматической наплавки высоколегированных инструментальных сталей и износостойчивых сплавов, является недостаточная разработанность методики расчета химического состава наплавленного металла.

Введение легирующих элементов в наплавленный металл возможно следующими способами:

- 1) специальной электродной проволокой,
- 2) флюсом с механической добавкой ферросплавов,
- 3) керамическим неплавленным флюсом,
- 4) бруском или пастой из ферросплавов.

Первый способ легирования из-за недостаточного запаса легирующих элементов в электродной проволоке и разбавления ванны на 60–70% основным металлом—малоуглеродистой сталью, не обеспечивает при однослойной наплавке состава валика близкого, например, к сталям Р9, Х12, Г13 и т. д.

Данный способ применяется только при многослойной наплавке [1, 2, 3].

Второй способ легирования из-за разделения по размеру и весу зерен флюса и ферросплавов не обеспечивает однородного состава наплавленного металла (валика) [1, 2]. Поэтому этот способ легирования не получил промышленного распространения.

Третий способ введения легирующих элементов предложен К. К. Хреновым. Этот способ обеспечивает повышенную легированность первого слоя наплавленного металла даже при использовании малоуглеродистой сварочной проволоки [4]. Однако, при колебании сетевого напряжения, которое неизбежно в условиях производства, затрудняется получение постоянного состава валика [1, 2].

Четвертый способ характеризуется сосредоточением необходимого количества ферросплавов в зоне наплавки (на поверхности основного металла) в виде пасты [5] или бруска ферросплавов, вместо равномерного распределения ферросплавов во флюсе, как это осуществляется в третьем способе. Этот способ обеспечивает получение наивысшей легированности (до 30–40%) наплавленного металла. Однако использование пасты связано с рядом технологических трудностей: заполнение пастой разделки под наплавку, необходимость последующей сушки заготовки с нанесенной пастой. Затруднено хранение пасты (она „схватывается“ и затвердевает), использование ее при наплавке плоских заготовок (державки для резцов, ножи для сборных фрез

и т. д.), когда разделка под наплавку может отсутствовать. Дозировка пасты согласно профилю разделки не может обеспечить требуемой точности и, следовательно, неизменности химического состава.

Предложенное нами в 1951 году 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.

Методика расчета состава легирующих керамических или неплавленных флюсов и флюсов с механической добавкой ферросплавов

Легирующие неплавленные флюсы и флюсы с механической добавкой ферросплавов состоят из шлакообразующих и легирующих компонентов. При недостаточном раскислении наплавленного металла или большом угаре легирующих элементов в состав флюса вводят раскислители.

Методика расчета легирующего неплавленного флюса или флюса с механической добавкой ферросплавов пока не разработана. Количество ферросплавов, которое необходимо вводить в шлакообразующую часть флюса, определяется серией опытных наплавов. Найденный состав легирующего флюса обеспечивает требуемый состав валика при сохранении опытных режимов наплавки. Изменение хотя бы одного параметра режима наплавки (I_d , U_d , $V_{св}$, $V_{эл.}$, $U_{сети}$) вызывает нарушение соотношения расплавленного количества флюса, основного и электродного металла и, следовательно, изменение химического состава наплавки.

Универсального состава легирующего неплавленного флюса или стандартного флюса с механической добавкой ферросплавов не существует.

Вводимые ферросплавы должны легировать расплавленный основной и электродный металл. При этом предполагается, что основной металл — углеродистая или низколегированная сталь и малоуглеродистая электродная проволока марки СВ-08. Поэтому, 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 из-за неизбежного окисления ферросплавов, а также другая часть их, оставшаяся неиспользованной в затвердевшей шлаковой корке.

Найденное количество ферросплавов для легирования наплавленного металла необходимо распределить в таком количестве шлакообразующих компонентов, чтобы после наплавки получить расчетный состав валика. Для этого необходимо, чтобы при наплавке расплавлялось количество легирующего неплавленного флюса, обеспечивающее введение расчетного количества ферросплавов. Кроме этого, введение ферросплавов во флюс не должно приводить, по сравнению с опытными наплавками, к изменению площади сечения наплавленного металла, которое было принято для определения количества вводимых ферросплавов.

Для решения этих вопросов были высказаны следующие предположения:

1. введение расчетного количества ферросплавов — тугоплавкой составляющей — в шлакообразующую часть флюса уменьшает только степень перегрева его. Однако это не приводит к изменению количества расплавленного флюса несмотря на изменение его состава, а следовательно, и теплоты плавления. Быстрота процесса наплавки, значительный перегрев флюса в зоне столба дуги, недостаточная теплопередача от перегретых к холодным слоям ослабляют зависимость между теплотой плавления компонентов и количеством расплавленного флюса.

При сохранении погонной мощности дуги количество расплавленного „шлакообразующего“ керамического флюса, изготовленного только из защитных шлакообразующих компонентов, остается постоянным по сравнению с количеством легирующего неплавленного флюса, составленного из тех же шлакообразующих компонентов и ферросплавов. Необходимо отметить, что расход легирующего неплавленного флюса нельзя определять по весу шлаковой корки: ферросплавы флюса при плавлении его переходят в валик:

2. при сохранении погонной мощности дуги количество расплавленного основного и электродного металла, наплавленного как под „шлакообразующим“ керамическим флюсом (изготовленным только из шлакообразующих компонентов), так и легирующим неплавленным флюсом, составленным из тех же шлакообразующих компонентов и ферросплавов, остается постоянным.

Эти предположения подтвердились многочисленными опытами.

Расчет состава керамического неплавленного легирующего флюса или флюса с механической добавкой ферросплавов происходит в следующей последовательности:

1. предварительно выбирается шлакообразующая основа легирующего флюса и изготавливается „шлакообразующий“ флюс. К такому флюсу предъявляются общие, для всех сварочных флюсов, требования. Дополнительным требованием является необходимость обеспечения наименьшего окисления легирующих элементов, которые будут после расчета введены в состав этого „шлакообразующего“ флюса;

2. согласно чертежу наплавляемой детали или режущей части инструмента определяются режимы наплавки для создания площади необходимого поперечного сечения наплавленного слоя—будущей износостойчивой рабочей части детали или режущей части инструмента. Определение режимов наплавки можно производить по данным, приведенным в работе [2];

3. на выбранных режимах малоуглеродистой сварочной проволокой под „шлакообразующим“ флюсом производится опытная наплавка заготовок деталей или режущего инструмента;

4. определяются площадь сечения валика, расход флюса на 100 г наплавленного металла. Производится химический анализ наплавленного металла;

5. по нижеприведенной формуле рассчитывается количество ферросплавов, необходимых для легирования 100 г наплавленного металла;

6. по данным расхода флюса (пункт 4) и необходимому количеству ферросплавов (пункт 5) составляется шихта для неплавленного керамического флюса. Грануляция готового керамического легирующего, а также „шлакообразующего“ флюса, должна быть одинаковой.

Количество ферросплава Q г, введение которого в A г 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 $c\%$ элемента вводится кроме ферросплава, например, шлакообразующими компонентами, электродным или основным металлом, то в формуле вместо „ a “ следует подставить „ $a-c$ “.

Нами были изготовлены неплавленные „шлакообразующие“ флюсы (табл. 1). Флюс № 1 отличается от флюса Космачева И. Г. [5] отсутствием в нем трех процентов ферроалюминия и двух процентов ферротитана.

Это объясняется отсутствием заметного влияния их на состав и структуру валика. Повидимому, алюминий и титан выгорают преждевременно вне

пределов сварочной ванны. Флюс № 2 изготовлен из измельченного плавленного флюса АН-348-А и имеет большую кислотность, чем флюс № 1. Можно думать, что флюс № 2 сохранит высокие технологические свойства плавленного флюса.

Таблица 1

№ п/п	Название компонента	Весовой состав в %	№ п/п	Название компонента	Химический состав в %
	Флюс № 1			Флюс № 2	
1	Мрамор	77,5	1	MnO	34,5 ÷ 35,5
2	Плавиковый шпат	20,0	2	SiO ₂	41,0 ÷ 43,5
3	Ферросилиций	2,0	3	Al ₂ O ₃	до 3,0
4	Ферромарганец	0,5	4	MgO	5,5 ÷ 7,5
			5	CaO	до 5,5
			6	FeO	до 1,5
			7	CaF ₂	3,5 ÷ 5,5

Компоненты флюса № 1 смешивались после измельчения и просеивания через сито с 1600 отв/см^2 . После добавки жидкого стекла смесь просушивалась при температуре 250° . Последующее дробление завершает изготовление неплавленого флюса. Согласно исследованию Космачева И. Г. [5] нормальной измельченностью флюса считается грануляция остатка на сите с 400 отв/см^2 .

Наши опыты показали, что такая измельченность не обеспечивает нормального горения дуги при наплавке высокоуглеродистых сталей и сплавов. Например, при наплавке быстрорежущей стали наблюдаются прорывы газов. При наплавке малоуглеродистой стали прорывы наблюдаются реже. В связи с этим крупность зерен неплавленого флюса, используемого для наплавки высокоуглеродистых сталей, была увеличена до 1—2 мм в поперечнике. Слой флюса при наплавке быстрорежущей стали повышен до 6—7 см, вместо 3—4 см, при сварке или наплавке малоуглеродистой стали.

При наплавке быстрорежущей стали с содержанием 0,9—1,4% С по промежуткам между зернами флюса образуется сильное газовое дутье. Видимо, это результат интенсивного выгорания углерода, содержание которого в быстрорежущей стали в 4—6 раз выше, чем в конструкционных сталях.

Измельчение флюса удлиняет промежутки между зернами флюса и уменьшает их поперечное сечение. Это увеличивает сопротивление выходу газов. Повышенное газовыделение при наплавке быстрорежущей стали приводит к увеличению скорости движения газов в зоне дуги. Газы не успевают достаточно охладиться при прохождении слоя флюса высотой 3—4 см. Это приводит к воспламенению газов на поверхности флюса, что облегчается высоким содержанием в них окиси углерода.

Воспламенение вызывает местное дополнительное плавление флюса и увеличивает каналы, по которым прорываются газы. В эти каналы устремляется основная масса газов дуги, несмотря на значительное расстояние до 130—160 мм между отверстием прорыва и местом горения дуги.

При повышенном слое флюса (6—7 см) газы успевают охладиться. Они иногда догорают на поверхности флюса спокойным синеватым пламенем без образования прорыва. Необходимо отметить, что прорыву газов способствует увеличение длины дуги.

Газопроницаемость флюса при наплавке быстрорежущей стали является важным фактором. Необходимо использовать пористые, пензвидные или

крупнозернистые плавные флюсы. При использовании неплавленных флюсов величина зерна их должна быть не менее 1—2 мм в поперечнике.

Увеличение зерна керамического флюса рекомендуют авторы недавно вышедшей работы [6].

Под флюсами № 1,2 и АН-348-А на тракторах ТС-17 (постоянная скорость подачи электрода) и АДС-1000 (регулируемая скорость подачи электрода) были произведены наплавки при напряжении в сети 208—210 в. Электродная малоуглеродистая проволока применялась марки СВ08.

Наплавки производились на заготовки размером $18 \times 18 \times 370$ мм из ст. 3, получаемые после строгания прутков с размерами $20 \times 20 \times 370$ мм. Ржавчина на поверхности заготовок отсутствовала. Для предупреждения растекания наплавленного металла применялись графитовые формы.

Режимы наплавки:

ТС-17	$I_{\partial} = 600$ а;	$U_{\partial} = 45$ в;	$V_{\partial} = 40$ м/час.
	$V_{св} = 20$ м/час;	$\varnothing_{\partial} = 4$ мм.	
АДС-1000	$I_{\partial} = 600$ а;	$U_{\partial} = 42$ в.	
	$V_{св} = 20$ м/час;	$\varnothing_{\partial} = 4$ мм	

Каждая наплавка повторялась на трех заготовках. Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ пп	Оборудование	Марка флюса	Сечение наплавки в см ²	Расход флюса в г/см напл.
1	ТС-17	Фл. № 1	1,15	10,9
2	ТС-17	Фл. № 2	1,16	12,8
3	ТС-17	АН-348-А	1,19	12,1
4	АДС-1000	Фл. № 1	1,14	9,6
5	АДС-1000	Фл. № 2	1,19	11,5
6	АДС-1000	АН-348-А	1,22	10,9

По данным расходов шлакообразующих флюсов № 1 и 2 (табл. 2) и необходимому количеству ферросплавов, изготавливались легирующие неплавленные флюсы № 1 и 2.

Например, для получения наплавленной быстрорежущей стали, содержащей 1,2% С, 9,5% W, 4,6% Cr, 2,7% V и 1,7% Mo необходимо для легирования 100 г наплавленного металла 14,3 г ферровольфрама (70% W, 0,8% С) 9 г феррохрома (52,2% Cr, 6,02% С), 7,5 г феррованадия (38,8% V, 0,52% С), 3 г ферромolibдена (59,9% Mo) и 19 г чугуна на основе стали У12 (4,81% С).

Плавление отходов стали У12 производилось на высокочастотном генераторе АЗ-43 при напряжении 8—9 киловольт и 2,5÷3 ампера анодного тока с пониженной частотой за счет дополнительного введения батареи воздушного конденсатора. В индуктор установки вмазывался тигель, изготовленный из смеси 80% кварцевого песка и 20% огнеупорной глины. Емкость тигля 1,5÷2 кг стали.

Науглероживание стали производилось измельченным графитом. Плавка защищалась боем из оконного стекла.

Данные об угаре легирующих элементов при автоматической наплавке быстрорежущей стали нам неизвестны. Ориентировочно мы приняли: для хрома 6÷8%, ванадия 4÷6%, вольфрама 3÷4%, углерода 20÷30%, молиб-

дена $1 \div 2\%$. Кроме этого, из вышеприведенной смеси ферросплавов были изготовлены бруски размером $6 \times 16 \times 50$ мм весом по 26 г (технология их изготовления описана ниже).

Для определения влияния колебаний сетевого напряжения на химический состав наплавленного металла при напряжении в сети U сети = 200 + 210 и 220 вольт под легирующими флюсами № 1 и 2 и под флюсом АН-348-А по брускам из ферросплавов, уложенным на заготовки, были произведены наплавки на указанных выше режимах для тракторов ТС-17 и АДС-1000. Каждая наплавка повторялась на трех заготовках размером $18 \times 18 \times 370$ мм из ст. 3.

Химический анализ на углерод, вольфрам и ванадий производился на одном образце в начале, середине и конце наплавки (табл. 3). На второй и третьей заготовках в этих же местах производился контрольный анализ на углерод и вольфрам. Колебания состава начала и середины валика на трех державках во всех случаях не превышали $\pm 3-4\%$ для углерода и $\pm 2-3\%$ для вольфрама. Только состав концов валиков, наплавленных по брускам из ферросплавов под флюсом АН-348-А, имеет повышенный разброс¹⁾. Дополнительные опыты показали, что этот разброс зависит от момента обрыва дуги относительно конца бруска ферросплавов. Выключение сварочного тока в момент совпадения вертикальной оси электрода с концом бруска приводит к сохранению его на длине 8—12 мм. Поздний обрыв дуги приводит к дополнительному расплавлению основного и электродного металла и, следовательно, к разбавлению ванны.

Для получения одинакового химического состава конца и середины валика необходима дозировка времени горения дуги (например, через реле времени) для возможности точного определения момента разрыва сварочной цепи.

Сравнение составов середины валиков при U сети = 210 в, показывает, что наиболее хорошо к расчетному составу подходят наплавки на ТС-17 и АДС-1000 по брускам ферросплавов. Это происходит благодаря полному расплавлению ферросплавов бруска и показывает правильность предположений, положенных в основу расчета состава бруска из ферросплавов.

Несовпадение состава начала и середины одного валика при любом способе легирования является результатом неустановившегося процесса горения дуги в первые 1—2 секунды после ее возбуждения. Это приводит к увеличенному местному расходу флюса в начале наплавки. Поэтому начало валика имеет повышенное содержание элементов, если наплавка производится под легирующим флюсом № 1 или 2. Необходимо отметить, что состав начала валика, наплавленного на ТС-17 имеет более высокое содержание элементов, чем при наплавке на АДС-1000. Это происходит благодаря большей длительности стабилизации горения дуги на ТС-17 из-за отсутствия принудительного регулирования скорости подачи электрода, что характерно для электрической схемы АДС-1000.

Конец наплавки является также местом нарушения установившегося горения дуги. На протяжении контура „последней“ ванны глубина проплавления основного металла уменьшается. При нажатии кнопки „Стоп 1“ прекращается подача электродной проволоки, сварочный ток не выключается. Дуга продолжает гореть до самообрыва. Это увеличивает легированность конца валика при наплавке под флюсами № 1 и 2.

При наплавке под флюсом АН-348-А по брускам из ферросплавов легированность конца валика в этом случае, наоборот, уменьшается.

Наименьшее изменение состава валика при изменении сетевого напряжения с 200 до 220 в наблюдается при наплавке по брускам ферро-

¹⁾ В табл. 3 приведены результаты опытов, технология проведения которых уже предупреждала разброс.

Таблица 3

№ п. п.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Напряжение в сети; в	220	210	200	220	210	200	220	210	200	220	210	200	220	210	200	220	210	200		
Способ легирования и марка флюса	Бруски из ферросплавов; АН-348-А			Легирующий керамический флюс № 1			Легирующий керамический флюс № 2			Бруски из ферросплавов АН-348-А			Легирующий керамический флюс № 1			Легирующий керамический флюс № 2				
Тип оборудования	Трактор ТС-17 Постоянная скорость подачи электрода									Трактор АДС-1000 Регулируемая скорость подачи электрода										
	Химический состав наплавленного металла, %																			
Конец валика	V	2,34	2,55	2,49	2,44	2,84	2,51	2,56	2,34	2,38	2,49	2,79	2,61	2,44	2,48	2,66	2,18	2,45	2,51	
	W	9,42	9,11	9,14	9,23	9,41	8,39	9,52	8,37	8,17	8,64	9,48	9,45	8,73	9,24	9,18	8,21	8,68	9,37	
	C	1,06	1,06	1,14	1,04	1,09	0,86	1,13	1,04	0,92	1,07	1,18	1,21	0,92	0,97	1,08	0,84	0,93	1,04	
	Середина валика	V	2,47	2,71	2,61	2,51	2,81	2,32	2,74	2,45	2,42	2,51	2,84	2,94	2,31	2,52	2,74	2,15	2,37	2,52
		W	9,34	9,52	9,41	8,97	9,63	7,84	9,38	8,24	7,71	8,56	9,91	10,22	8,24	8,97	9,60	7,94	8,41	9,24
		C	1,10	1,16	1,21	1,02	1,17	0,91	1,16	0,97	0,90	1,03	1,22	1,36	0,84	0,97	1,02	0,83	0,98	1,08
	Начало валика	V	2,53	2,64	2,63	2,71	2,42	2,18	2,51	2,64	2,42	2,54	2,64	2,87	2,24	2,38	2,41	2,42	2,62	2,71
		W	9,12	9,53	9,87	9,64	9,71	9,17	9,19	9,27	9,03	9,11	9,73	10,21	7,84	8,32	9,07	8,91	9,27	9,84
		V	1,02	1,10	1,15	1,10	1,19	1,03	1,26	1,02	0,98	0,98	1,15	1,32	0,92	1,04	1,04	0,88	1,01	1,09

Примечание: 1. Место взятия стружки на химический анализ „начало валика“ находилось на расстоянии 20 мм от начала валика; „конец валика“—на расстоянии 35 + 40 мм от конца валика. Взятие стружки производилось резцом или сверлом, оснащенным пластинкой ВК8. Наплавленный металл перед взятием стружки на химический анализ не отжигался, а проходил только высокотемпературный (750 + 800°) отжук.

сплавов на тракторе ТС-17. Использование в этих условиях трактора АДС-1000 обеспечивает большее изменение состава валика.

Слабое влияние колебаний сетевого напряжения на состав валика при наплавке по брускам ферросплавов на ТС-17 объясняется тем, что трактор обладает скоростью подачи электрода, независимой от сетевого напряжения. Это обеспечивает постоянное количество расплавленного электродного металла. Постоянное количество легирующих элементов обеспечивается благодаря тому, что брусок из ферросплавов расплавляется всегда полностью, независимо от колебаний сетевого напряжения. Изменение количества расплавленного флюса не вызывает существенного колебания состава валика, так как легирование производится бруском ферросплавов. Претерпевает изменение только третья слагаемая состава валика—доля основного металла.

При падении сетевого напряжения трактор ТС-17, благодаря необходимости расплавить постоянное количество электродного металла, устанавливает новый режим с пониженным напряжением на дуге и практически неизменным сварочным током.

Несмотря на общее уменьшение мощности дуги при падении сетевого напряжения, количество расплавленного 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. А. [7]. Проведенные опыты показывают возможность использования сварочных головок с постоянной скоростью подачи электрода для наплавки быстрорежущей стали при колебании сетевого напряжения в пределах 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 ГОСТу 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 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.

Анализ наплавленного металла по высоте сечения показывает отсутствие зональной ликвации (табл. 4).

Таблица 4

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 по высоте наплавленного слоя.

Это значит, что наплавленный металл по всему сечению является равноценной наплавленной частью детали или режущей частью инструмента.

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 и изменению состава валика.

Этим требованиям полностью удовлетворяет методика расчета состава легирующей пасты, предложенная Космачевым И. Г. [5]. 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 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 и без них будет одинаковой. При наплавке по брускам количество расплавленного основного малоуглеродистого металла должно уменьшаться соответственно весу бруска ферросплавов.

Изменение химического состава наплавленного металла, а следовательно, и теплоты плавления приведет только к изменению величины перегрева металла 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, P18 и смеси ферросплавов различного состава были изготовлены на прессе бруски размером $6 \pm 8 \times 16 \times 50$ мм различной плотности, но одинакового веса—26 г., из ст. 3 изготовлены пластинки: $4 \times 16 \times 50$ мм; из ст. P18 — пластинки $3,6 \times 16 \times 50$ мм весом по 26 г. Наплавки производились трактором ТС-17 на заготовки $18 \times 18 \times 370$ мм из стали 3 на режиме: $I_d = 600$ в, $U_d = 45$ в, $\varnothing_e = 4$ мм., U сети = 208 — 210 в. $V_s = 40$ м/час, $V_{св} = 20$ м/час под флюсом АН-348-А с использованием пресованных 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 ст. 3 равно 1,19—1,23 см²—по пластинке и стружке из P18—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 P9 и P18. Основным металлом при этом служили заготовки из стали P9 и P18. Нарушение стабильности процесса наплавки не наблюдалось. Площадь сечения наплавленного металла равнялась 1,18—1,24 см².

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

1. Предварительно выбирается сварочный флюс. Как показал опыт, можно с успехом использовать высоко-марганцовистые 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 чертежу наплаваемой детали или режущей части инструмента намечается режим наплавки, обеспечивающий необходимое поперечное сечение наплавленного металла.

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.

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 4). После изготовления бруска он укладывается на поверхности наплаваемой детали или заготовки режущего инструмента. После этого, на ранее выбранных режимах (пункт 1), производится наплавка. Расплавляемый брусок легирует сварочную ванну.

Для предотвращения непровара погонный вес бруска 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 произошло при дозировке ферросплавов 9,2 г/см при наплавке на вышеуказанных режимах (сварочный ток 600а, диаметр электродной проволоки 4 мм).

Из соотношения площади поперечного сечения наплавленного металла и расхода электродной проволоки можно определить, что в составе наплавленного металла при указанном режиме доля электродного металла достигает только 20%.

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 из стали Р18 6,5—7 г/см при наплавке на указанных режимах под флюсом АН-348-А, на тракторе ТС-17 мы получили следующий состав наплавленного металла: 0,46% С; 0,84% Мп; 0,70% Si; 10,02W; 1,82% Cr и 0,54% V. Пониженное содержание хрома, ванадия и углерода можно компенсировать добавлением ферросплавов и чугуна. Резуль-

таты такого комплексного легирования стружкой и ферросплавами приведены в табл. 5.

Таблица 5

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 P18, 4,4 г феррохрома, 4,8 г феррованадия и 26 г чугуна на основе отходов стали P18. 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 X12 приведет к увеличению экономии феррохрома.

Дальнейшие работы должны расширить область применения стружки легированных сталей как в виде брикетов, так и для изготовления легирующих 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).

Легирование брусками из ферросплавов было использовано нами для получения опытных наплавов быстрорежущей стали типа P9, дополнительно легированной углеродом, ванадием, титаном и вольфрамом.

Для определения необходимой измельченности ферросплавов (грануляции) брусочки изготовлялись из порошков их, проходящих через сито с диаметром отверстия 0,5—1—2 мм.

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

Увлажненная смесь засыпается в прессформу. Дозировка смеси при засыпке может производиться как мерной тарой, так и взвешиванием. Прессование производится при небольшом давлении—8 ÷ 10 кг/см².

Как показал опыт, некоторую неравномерность погонной дозировки ферросплавов в бруске можно допустить: практически она не отражается на химическом составе наплавленного металла по длине валика. Химический состав валика выравнивается благодаря сильному перемешиванию металла в сварочной ванне. Сварочная ванна объединяет участки с различной концентрацией в один „смесительный“ резервуар.

Измельченность ферросплавов до 2 мм не влияет на технологические свойства флюса и на однородность химического состава наплавленного металла.

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 практи-

чески не окисляются. Угар элементов определялся на основании химического анализа шлаковой корки после наплавки быстрорежущей стали типа Р9.

Основное преимущество наплавки по брускам из ферросплавов по сравнению с наплавкой под легирующими керамическими флюсами состоит в возможности получения высоколегированного состава (до 30 ÷ 40%) наплавленного металла в первом валике, то есть при однослойной наплавке. При этом возможно применение любых режимов автоматической сварки, обеспечивающих наибольшее сечение 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 наплавленного металла можно получить только во втором-третьем слое металла [1, 2, 3].

Переход легирующих элементов из керамического флюса в наплавленный металл не превышает 60% из-за значительных потерь ферросплавов в шлаковой корке и окисления.

Потери легирующих элементов при наплавке по брускам из ферросплавов не превышают 2 ÷ 3%.

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

Выводы

1. Разработана методика расчета химического состава наплавленного металла при легировании его брусками из ферросплавов и керамическими флюсами.

2. Показана целесообразность легирования наплавленного металла брусками из ферросплавов или из стружки легированной стали при наплавке валиков с большой площадью поперечного сечения. Наплавку рекомендуется проводить на сварочном оборудовании с постоянной скоростью подачи электрода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрумин И. И. Легирование наплавленного металла при сварке под флюсом „Автоматическая сварка“, № 1 (22), 1952.
2. Автоматическая электродугвая сварка, Машгиз, 1953.
3. Походня И. К. Автоматическая наплавка слоя высокохромистой износостойкой стали. „Автоматическая сварка“, № 4, 1953.
4. Хренов К. К. Керамические неплавленные флюсы для автоматической дуговой сварки. Сборник докладов научно-технической конференции сварщиков. Машгиз, 1953.
5. Космачев И. Г. Автоматическая наплавка многолезвийного инструмента. Машгиз, 1952.
6. Хренов К. К. Кушнерев Д. М. Керамические флюсы для сварки. Машгиз, 1954.
7. Брианберг И. Л. Современная аппаратура для сварки под флюсом. ЦНИИТМАШ. Книга 14. Вопросы теории сварочных процессов. Машгиз, 1948.