

УДК 621.791

Чигарев В. В., Голуб Д. М., Волков Д. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ШИХТЫ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ УПРОЧНЕНИИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

В настоящее время при изготовлении ответственных тяжело нагруженных изделий, работающих в условиях интенсивного воздействия внешней среды, возникает проблема недостаточного уровня механических свойств и надежности существующих высокопрочных материалов. В связи с этим изучение возможности улучшения характеристик материала является актуальным направлением исследований [1, 2].

Значительные резервы в повышении ресурса инструмента для деформирования металлов заложены в технологических возможностях процессов наплавки их рабочих поверхностей износостойкими сплавами. Еще в начале прошлого столетия было установлено, что литые штампы с ориентированной структурой металла обладают повышенной износостойкостью в сравнении с инструментом, изготовленным из ковального проката. Уже первый опыт ремонта изношенных штампов наплавкой покрытыми электродами подтвердил способность литого металла к более длительной службе в условиях термомеханического нагружения [3, 4].

При разработке материалов для наплавки прессового инструмента необходимо учесть, что время контакта его рабочих поверхностей с горячим деформируемым металлом (выдавливание, прессование, калибровка, прошивка, экструзия) повышено, в сравнении с ковочными и молотовыми штампами, и, следовательно, износ при этом интенсифицируется. Прессование не сопровождается ударами, что исключает опасность сколов и позволяет применять для наплавки прессового инструмента различные промышленные хромовольфрамовые типы инструментальных наплавочных сплавов. Но при интенсивном циклическом термосиловом воздействии и пиковых максимальных температурах до 1100 °С и более даже лучшие жаропрочные материалы на основе никеля и кобальта недостаточно эффективны [5–7].

Целью данной работы являлось исследование влияния системы «порошковая проволока – флюс» на показатели механических свойств, химический состав, формирование валика, отделимость шлаковой корки и отсутствие пор в наплавленном металле.

Составы порошковых проволок, используемые в данной работе, были разработаны и оптимизированы в ходе ранее проведенных исследований, результаты которых приводятся в работах [8, 9]. Содержание легирующих элементов в металле, наплавленном рассматриваемыми порошковыми проволоками (табл. 1) превышает 30–35 %, что не позволяет обеспечивать качественную защиту зоны наплавки и при этом получение требуемого состава наплавленного металла. В связи с этим, наплавку образцов будем производить под слоем флюса, а в дальнейших исследованиях необходимо комплексно рассмотреть систему «порошковая проволока – флюс».

Для исследований механических свойств наплавленного металла были изготовлены порошковые проволоки (условные марки А1 и А2) диаметром 4,0 мм с оболочкой из ленты сечением 0,5×18 мм из стали марки 08кп. Коэффициент заполнения во всех случаях находился в пределах $K_3 = 0,45–0,47$.

Таблица 1

Состав опытных порошковых проволок

Условная марка	Химический состав, вес %							
	Co	Mo	FeMo	Cr	Ni	FeNb	FeTi	Al+Mg
А1(ПП-К14М15Н5Т)	14	15	-	-	5	-	0,8	-
А2(ПП-К14М16Н9Б2Т)	14	16	-	-	9	4	2	-

При изготовлении порошковых проволок рассматриваемых марок возникала трудность которая заключалась в том, что при их изготовлении наблюдалась пониженная текучесть шихтовых материалов, вызванная высоким содержанием молибденового порошка (марки МПЧ по ТУ 48-19-316-92), что приводит к неравномерному заполнению шихтой профиля оболочки проволоки по сечению и колебаниям в широком диапазоне коэффициента заполнения $K_3 = 0,28-0,4$. Для борьбы с пониженной текучестью шихты без изменения ее состава необходимо более тщательное ее перемешивание для получения равномерного распределения компонентов и отсутствия незаполненных участков в готовой порошковой проволоке.

Способом повышения текучести шихты и равномерного заполнения порошковой проволоки является совершенствование технологии ее изготовления. Для изготовления рассматриваемых марок проволоки была использована технология (патенты Украины № 31492 и 36259) при которой при изготовлении проволоки на нее воздействуют постоянным магнитным полем с индукцией 0,9–1,1 Тл, а также, накладывают вибрации с частотой 50–100 Гц. Наложение вибраций позволяет снизить усилие волочения за счет уменьшения коэффициента внешнего трения в зоне деформации. Дополнительно из заполненной шихтой проволоки через стык оболочки откачивают воздух. Проволока, полученная таким способом, имеет более высокие сварочно-технологические свойства, чем аналоги, изготовленные традиционным способом, что выражается в повышенной стабильности заполнения оболочки шихтой, уменьшении количества дефектов в наплавленном металле, снижении неравномерности плавления сердечника и оболочки, снижении просыпания шихты, снижении порообразования и разбрызгивания и более стабильном горении дуги.

Еще одним способом увеличения текучести шихты является замена чистых металлических компонентов ферросплавами, поэтому для рассматриваемых марок порошковых проволок (А1и А2) было принято решение исследовать влияние на текучесть шихты содержания чистого молибденового порошка и порошка ферромolibдена. Для этого в состав шихты вместо чистого молибденового порошка (марки МПЧ по ТУ 48-19-316-92) частично вводили порошок ферромolibдена (марка ФМо60). Варьирование содержания порошка ферромolibдена в исследуемых порошковых проволоках приводится в табл. 2.

Как было указано ранее, порошковые проволоки, составы которых приведены в табл. 1 и табл. 2, нельзя изготовить самозащитными и поэтому наплавку образцов этими проволоками будем производить под слоем флюса, а перед проведением дальнейших исследований необходимо выбрать флюс. Для этого необходимо провести наплавку под флюсами различных марок. Для этого были изготовлены порошковые проволоки диаметром 3 мм указанных выше марок. Для исследований использовали флюсы основного типа АН-28, АН-20, АНФ-6, 48-ОФ-6 и высококремнемарганцовистый АН-60. Все дальнейшие наплавки порошковыми проволоками составов, приведенных в табл. 1 и табл. 2, будут проводиться под выбранным флюсом. Химический состав используемых марок флюсов приведен в табл. 3.

Таблица 2

Состав опытных порошковых проволок, содержащих порошок ферромolibдена

Условная марка	Химический состав, вес %							
	Co	Mo	FeMo	Cr	Ni	FeNb	FeTi	Al+Mg
Б01	14	8	10	1,5	3	1,5	-	0,8
Б02	17	9	10	2	3,5	2	-	0,9
Б03	15	9	11	2,5	4	3	-	1,0
Б04	16	10	12	2,5	4	3,5	-	1,0
Б05	16	10	12	3	5	4	-	1,1

Таблица 3

Химический состав исследуемых флюсов

Марка флюса	Химический состав, %									
	SiO ₂	CaF ₂	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	FeO	S	P
АН-20	20	20,8	6,0	-	29	10,2	3	-	0,04	0,03
АН-28	8	13,2	36,3	0,62	38	1,1	1,2	1,5	0,032	0,05
АНФ-6	-	70	30	-	-	-	-	-	0,034	0,032
48-ОФ-6	5,1	48,3	20,8	0,4	21,2	2,2	-	1,4	0,028	0,032
АН-60	41,4	6,1	8,1	36,3	4,8	2,1	-	0,86	0,072	0,068

Наплавка образцов производилась в пять слоев на пластины из стали марки Сталь 45, имеющие размеры 15×80×200 мм. Режимы наплавки (на постоянном токе обратной полярности): $I_{св} = 340-360$ А; $U_{д} = 30-32$ В; $V_{св} = 20$ м/ч.

Как показали опыты, при наплавке под флюсами АН-20 и АН-28 наблюдались вмятины и прилипшие частички шлака. АНФ-6 давал плохое формирование наплавленного валика. При наплавке под флюсом 48-ОФ-6 наблюдались единичные поры и удовлетворительное формирование наплавленного валика.

При наплавке порошковой проволокой под флюсом АНФ-6 получались единичные поры и удовлетворительное формирование наплавленного металла.

Наилучшие результаты по формированию валика, стабильности дугового процесса, отделимости шлаковой корки и отсутствия дефектов в наплавленном металле были получены при наплавке под флюсом АН-60.

При наплавке под флюсом АН-60 во всех опытах получался хорошо сформированный валик с металлическим блеском, без пор, трещин, прилипших частичек и других дефектов.

Согласно полученным результатам, непосредственно после наплавки под флюсом АН-60 опытными порошковыми проволоками металл шва обладает твердостью 40–42 НРС и ударной вязкостью $a_n = 2-2,5$ МДж/м².

В табл. 4 приведен химический состав металла (в пятом слое), наплавленного опытными порошковыми проволоками под флюсом АН-60.

Таблица 4

Химический состав металла, наплавленного под флюсом АН-60

Условная марка проволоки	Химический состав, %										
	C	Si	Mn	Co	Mo	Cr	Ni	Ti	Al	Nb	Mg
Б01	0,08	0,38	0,4	12,2	11,6	1,0	2,0	-	0,3	0,6	-
Б02	0,12	0,36	0,43	12,4	12,3	1,3	2,6	-	0,34	0,8	сл.
Б03	0,1	0,4	0,41	13,8	13,1	1,8	3,8	-	0,36	1,3	сл.
Б04	0,14	0,35	0,42	14,5	14	2	3,4	-	0,36	1,4	сл.
Б05	0,12	0,42	0,44	14	12,4	2,6	4,6	-	0,45	1,8	сл.
А1	0,14	0,6	0,73	13,2	12,6	-	3,8	0,32	-		-
А2	0,12	0,66	0,7	13,7	14,8	-	8,6	0,48	-	1,68	-

Для проведения исследований проводили наплавки порошковыми проволоками составов, указанных в табл. 1 в медный водоохлаждаемый кокиль диаметром 35 мм и высотой 420 мм под флюсом АН-60. Режим наплавки: $I_{св} = 500$ А, $U_{д} = 36$ В. Полученные образцы наплавленного металла проходили предварительную подготовку путем проковки до получения

образцов сечением 20×20 мм и последующей закалки от температуры 1250 °С с нагревом в соляной ванне и последующим охлаждением в масле. Указанные образцы исследовали на ударную вязкость a_n (KCU) и твердость (HRC). Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Порошковыми проволоками составов, указанных в табл. 2 также были проведены наплавки по описанной выше методике. Эти образцы также были испытаны на ударную вязкость a_n (KCU) и твердость (HRC). Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Как видно из табл. 6, замена порошка молибдена в чистом виде порошком ферромolibдена существенно не влияет на твердость (HRC) наплавленного металла, однако повышается ударная вязкость a_n (KCU) при содержании порошка ферромolibдена до 10 %. Дальнейшее повышение содержания ферромolibдена до 12 % приводит к снижению ударной вязкости a_n (KCU).

В рассмотренных составах порошковых проволок (Б01–Б05) текучесть шихтовых материалов, их перемешивание, распределение компонентов в объеме шихты и заполнение порошковой проволоки существенно улучшались по сравнению с базовыми составами (А1 и А2), также улучшается формирование наплавленного металла, однако наблюдаются единичные поры.

Таблица 5

Твердость, ударная вязкость и качество металла, наплавленного под флюсом АН-60

Условная марка	Качество валика				a_n , МДж/м ²	HRC
	Поры	Трещины	Формирование	Отделимость шлака		
А1	един	нет	хорош.	хорош.	$\frac{0,8 - 1,0}{0,9}$	42
А2	един	нет	удовл.	хорош.	$\frac{0,7 - 0,9}{0,8}$	40

Таблица 6

Твердость, ударная вязкость и качество металла, наплавленного под флюсом АН-60

Условная марка	Качество валика				a_n , МДж/м ²	HRC
	Поры	Трещины	Формирование	Отделимость шлака		
Б01	нет	нет	отлич.	отлич.	$\frac{2,4 - 2,6}{2,5}$	40
Б02	нет	нет	отлич.	отлич.	$\frac{1,9 - 2,1}{2,1}$	40
Б03	нет	нет	отлич.	отлич.	$\frac{2,0 - 2,2}{2,1}$	41
Б04	нет	нет	отлич.	отлич.	$\frac{2,1 - 2,3}{2,2}$	42
Б05	нет	нет	отлич.	отлич.	$\frac{2,1 - 2,3}{2,2}$	42

Основной причиной образования пор в наплавленном металле является насыщение металла газами и их выделение при кристаллизации в результате снижения растворимости. Так, например, могут протекать реакции образования CO, H₂, H₂O, OH, N₂, которые нерастворимы в металле. Поэтому они могут вызвать образование газовых пузырьков в наплавленном металле или шве. Для предупреждения пористости наплавленного металла необходимо существенное снижение концентрации азота, водорода и водяного пара в атмосфере дуги, а также торможение реакции образования CO, H₂, H₂O, OH, N₂ в процессе кристаллизации металла.

Ранее было установлено [10], что главной причиной образования пор в наплавленном металле является растворимость водорода. При этом в составе шихты порошковых проволок содержится большое количество порошков, полученных электролитическим способом, являющихся основными источниками поступления водорода в зону дуги и крупнокапельного переноса электродного металла. Снизить растворимость водорода в жидком металле можно уменьшением его доступа в зону сварки за счет очистки свариваемых кромок и проволоки от водородсодержащих веществ, например, ржавчины и прокалики шихтовых материалов и флюса для снижения содержания влаги. Еще один способ снижения содержания водорода в наплавленном металле это снижение его парциального давления в атмосфере дуги при разбавлении другими газами и связывании водорода в HF, нерастворимый в стали [10; 11; 12].

Для предупреждения пор при наплавке порошковой проволокой под флюсом в состав шихты проволоки можно вводить фтористые соединения, связывающие водород в HF, например, кремнефтористый натрий (Na_2SiF_6) [12], который уже при 450°C начинает диссоциировать с образованием SiF_4 и при этом эффективно защищает наплавленный металл. Как показали расчеты [13], образование фтористого водорода происходит главным образом взаимодействием водорода с тетрафторидом кремния по реакциям:



Для снижения порообразования при наплавке рассматриваемыми составами порошковых проволок были проведены исследования по определению оптимального содержания Na_2SiF_6 в шихте проволоки. Для этого в состав шихты вводили Na_2SiF_6 в пределах 0,35–1,3 %. Порошковые проволоки изготавливали по описанной выше технологии. Для исследований были взяты условные марки порошковых проволок А1 и А2, составы шихты которых приводились в табл. 1. Наплавка образцов выполнялась под флюсом АН-60 на указанных выше режимах. Критерием оценки проволоки на склонность к образованию пор служило дозирование количества порошкообразной воздушно-сухой ржавчины в граммах на 100 мм длины валика [14]. Результаты опытов приведены в табл. 7. Как видно из табл. 7, при содержании в порошковой проволоке до 0,4 % Na_2SiF_6 в наплавленном металле наблюдаются единичные поры, которые исчезают, при содержании Na_2SiF_6 выше 0,5 %. Поэтому оптимальным содержанием кремнефтористого натрия в порошковой проволоке было принято 0,5–1,1 %. При содержании Na_2SiF_6 в порошковой проволоке выше 1,1 % снижался коэффициент заполнения.

Таблица 7

Влияние содержания Na_2SiF_6 в порошковой проволоке на пористость наплавленного металла

Марка проволоки	Количество Na_2SiF_6										
	0,35	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
А1	поры	поры	нет	поры	нет						
А2	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры	ед. поры

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования установили, что стабильность дугового процесса, отделимость шлаковой корки и отсутствие дефектов в наплавленном металле были получены при наплавке под флюсом АН-60. При этом получался хорошо сформированный валик с металлическим блеском, без пор, трещин, прилипших частичек и других дефектов.

Механические свойства металла, наплавленного опытными порошковыми проволоками, обеспечиваются под флюсом АН-60. При этом металл шва обладает твердостью 40–42 HRC и ударной вязкостью $a_n = 2–2,5$ МДж/м² непосредственно после наплавки.

Исследованиями установлено, что замена порошка молибдена порошком ферромolibдена до 10 % существенно улучшает текучесть шихтовых материалов, их перемешивание, распределение компонентов в объеме шихты и заполнение порошковой проволоки, при этом существенно не изменяется твердость наплавленного металла, но повышается ударная вязкость. Повышение содержания ферромolibдена до 12 % снижает ударную вязкость.

Установлено, что оптимальным содержанием кремнефтористого натрия в опытной порошковой проволоке является 0,5–1,1 %. При этом в наплавленном металле не наблюдается появление пор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геров В. В. Влияние модификации поверхности на статические и циклические характеристики мартенситно-старяющей стали: дис. канд. техн. наук : 05.16.01 / Владимир Владимирович Геров. – М. : Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, 2003. – 183 с. : ил.
2. Алехин В. П. К вопросу об аномальности механических свойств поверхностных слоев / В. П. Алехин, О. В. Гусев, М. Х. Шоршоров // В кн. : Усталость металлов и сплавов. – М. : Наука, 1971. – С. 48–53.
3. Соколов Г. Н. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей: научная монография / Г. Н. Соколов, В. И. Лысак. – Волгоград : ВолгГТУ «РПК» Политехник», 2005. – 284 с. – ISBN – 5-230-04625-2.
4. Гордань Г. Н. Характер разупрочнения наплавленного металла при импульсном термосиловом воздействии / Г. Н. Гордань, Г. Н. Соколов, Ф. Д. Кащенко // Автоматическая сварка. – 1988. – № 10. – С. 59–62.
5. Соколов Г. Н. Свойства наплавленного металла системы Fe-Cr-Mo-C для наплавки инструментов для деформирования сталей / Г. Н. Соколов // Автоматическая сварка. – 1996. – № 5 – С. 53–54.
6. Соколов Г. Н. Влияние соотношения хрома, молибдена и углерода на структуру и свойства наплавленного металла системы Fe-Cr-Mo-C / Г. Н. Соколов // Сварочное производство. – 2000. – № 11. – С. 3–5.
7. Износостойкость наплавленного металла типа углеродистых и хромомарганцевых сталей в условиях сухого трения скольжения металла по металлу / В. Д. Кузнецов, Д. В. Степанов, В. А. Маковой, Я. П. Черняк «Автоматическая сварка». – 2013. – № 6. – С. 44–47.
8. Волков Д. А. Разработка и оптимизация состава порошковой проволоки и выбор флюса для наплавки железо-кобальт-молибденовых сплавов / Д. А. Волков, А. Д. Кошевой, В. К. Заблоцкий, Д. М. Голуб, В. К. Землякова // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА. – 2012. – № 3 (28). – С. 94–99.
9. Исследование и разработка сварочных материалов и технологии для получения биметаллического слоя с заранее известными свойствами : отчет о НИР (промежуточ.) : / Донбасская государственная машиностроительная академия ; рук. Макаренко Н.А. ; исполн.: Гринь А. Г. [и др.] – К., 2013. – 61 с. – № ГР 0109U007793. – Инв. № 0213U005786
10. Фрумин И. И. Образование пор в сварных швах и влияние состава флюса на склонность к порам / И. И. Фрумин, И. В. Кардо, В. В. Подгаецкий // «Автоматическая сварка». – 1949. – № 10.
11. Подгаецкий В. В. Поры, включения и трещины в сварных швах / В. В. Подгаецкий. – К. Техника, 1970. – 236 с., с ил.
12. Походня И. К. Поры в сварных швах / И. К. Походня. – М. : «Машиностроение», 1972. – 256 с.
13. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И. И. Фрумин. – Х. :Металлургздат, 1961. – 421 с.
14. Фрумин И. И. Легирование наплавленного металла при износостойкой наплавке / И. И. Фрумин. – К. :Изд-во АН УССР, 1957.