

УДК 621. 791.75

Гринь А. Г., Дудинский А. Д., Марков О. Е.

ЭЛЕКТРОДЫ С АЛИТИРОВАННЫМ СТЕРЖНЕМ ДЛЯ НАПЛАВКИ

Одной из основных задач предприятий, занимающихся обработкой металлов, является повышение надежности и долговечности обрабатывающего оборудования и инструмента. Ресурс работающих в условиях переменного температурно-силового воздействия наплавленных прошивных пуансонов, матриц для горячего прессования труб, прессовых штампов и других тяжело нагруженных инструментов, деформирующихся нагретые до 500...700⁰С медные заготовки, определяется преимущественно износостойкостью при-контактных слоев наплавленного металла [1]. В настоящее время для изготовления инструмента горячего деформирования применяют материалы, которые условно можно разделить на две группы.

К первой группе относятся сплавы с карбидным упрочнением: 7Х3М, 25Х5ФМС, 30Х2В8Ф, 40Х12В4К2Ф, 4Х4МВ3Ф, 5Х2ВМНФ и др. [1–3]. При наплавке на такой инструмент теплостойких хромовольфраммолибденовых сплавов, имеющих структуру легированного мартенсита с распределенными карбидами, под действием переменного температурно-циклического воздействия в поверхностном слое наплавленного металла образуется диффузионная зона, где происходит распад мартенсита и коагуляция карбидов, что уменьшает твердость и ускоряет износ [5].

Вторая группа включает сплавы, для которых характерно образование твердых растворов высокой прочности с интерметаллидным упрочнением: 03Н15К9М5ТЮ, 04Н18М4К1110Х28К64В4Г2С, 10Х9К3В2МФБР, 02Х9К3В2МФБР и др. [4, 5]. Изготовленный из этих сплавов инструмент первоначально имеет относительно низкую твердость, а последующий отпуск обеспечивает повышение эксплуатационных характеристик. Сплавы этой группы достаточно перспективны по своим свойствам, в то же время дефицитность и высокая стоимость основных легирующих элементов ограничивает их применение.

Независимо от типа металла его рабочая поверхность изнашивается, и в этом случае необходима его реновация. На отечественных и зарубежных предприятиях применяют различные методы восстановления и повышения долговечности инструмента: термическую и химико-термическую обработку (ХТО), металлизацию, электродуговую наплавку, получившую наибольшее распространение. Для повышения долговечности таких изделий решающим фактором является упрочнение рабочей поверхности.

Первоначальной причиной разрушения прошивных штампов и пресс-шайб являются окислительный и абразивный износ, растрескивание поверхностного слоя. Для сопротивления первичной стадии разрушения, металл поверхностного слоя инструмента, должен иметь карбиды, интерметаллиды, а также хром и алюминий, обеспечивающие сопротивление слоя металла окислению при высоких температурах.

Применение для упрочнения штампов ХТО (алитирования или хромоалитирования) обеспечивает наличие тонкого упрочняющего слоя толщиной до 0,3мм, что недостаточно для повышения долговечности инструмента при окислительном и абразивном износе.

Применение дуговой наплавки позволяет получить упрочняющий слой практически неограниченной толщины, но при этом не всегда возможно добиться требуемых свойств упрочняемого слоя.

Повысить технологичность и эффективность процесса упрочнения инструмента можно, применив наплавку по алитированному слою или электродами с алитированным стержнем [6, 7].

В данной работе с целью обеспечения жаростойкости наплавленного металла исследовали наплавки, полученные электродами с алитированным стержнем.

При наплавке теплоустойчивых сталей электрод должен быть легирован элементами, обеспечивающими необходимую жаропрочность, стойкость против коррозии при высоких температурах и окалинообразования, а также хорошую раскисленность наплавленного металла. По этой причине наплавку теплоустойчивых сталей осуществляют электродами с фтористокальциевым покрытием, основой которого является мрамор $CaCO_3$ и плавиковый шпат CaF_2 . Раскисление металла сварочной ванны достигается за счет введения в состав покрытия ферросилиция, ферротитана, алюминия, а также за счет имеющихся в сварочной проволоке элементов-раскислителей – кремния и марганца. Наиболее сильным раскислителем является алюминий, который образует амфотерный окисел Al_2O_3 . Учитывая, что введение чистого алюминия в обмазку электродного покрытия без его окисления практически невозможно, авторами [6, 7] было предложено ввести алюминий в электрод путем алитирования стального стержня. Известно [8], что при этом примерно 40% от нанесенного алитированного слоя (0,2...1мм) составляет чистый алюминий, защищенный от дальнейшего окисления тонкой оксидной пленкой, устойчивой до 1100°C. Газовая защита обеспечивается диссоциацией мрамора.

На основании литературных данных [6–8] можно сделать предположение о том, что сварочные материалы должны обеспечивать определенное количество алюминия в шве для обеспечения его жаростойкости.

Для проверки предположения были изготовлены электроды с алитированным стержнем, для чего стержни из проволоки Св-08А диаметром 3мм, длиной 300мм алитировали в порошковой смеси [8], состоящей из 49% порошка алюминия, 49% Al_2O_3 и 2% NH_4Cl , в соответствии с планом эксперимента типа 2². Значимыми факторами химико-термической обработки приняты: температура алитирования (T , °C) и продолжительность этой обработки (t , мин). Установлено влияние режимов обработки образцов на изменение толщины диффузионного слоя, содержащего продукты ХТО. Режимы алитирования, результаты измерений, а также изображение структур алитированных слоев после теплового и химического травления представлено в табл. 1.

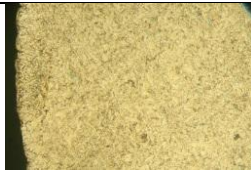
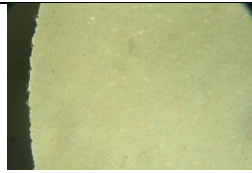



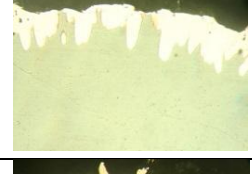
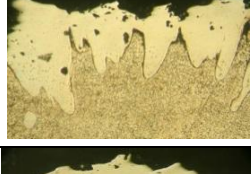
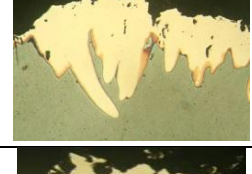
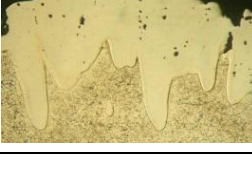

В процессе ХТО происходит насыщение металла алюминием. Наличие алюминия в смеси создает на поверхности металла равномерный слой алюминида. Проведенные исследования показали, что алитирование, проведенное в механической смеси алюминия при температуре 600°C, не образует диффузионного слоя (образцы 1 и 2), что подтверждает также значение микротвердости на уровне 1300 МПа по сечению стержня. Обработка при температуре выше 700°C в течение 60 мин позволяет получить диффузионный слой, толщиной более 0,2 мм, обогащенный алюминием и его соединениями с железом.

Микротвердость повышается до 8500 Мпа, при этом после насыщения на поверхности стержней формируются слои, содержащие алюминиды $FeAl$, $FeAl_2$ и Fe_2Al_5 . Эти фазы обеспечивают насыщение металла достаточным количеством алюминия для обеспечения удовлетворительной жаростойкости. Диффузионное насыщение поверхности металла алюминием обеспечивает однородность состава и механических свойств по сечению образца на толщину (0,3...0,55) мм. Алюминий обеспечивает формирование покрытий со специальными свойствами за счет образования интерметаллидных фаз с уникальным сочетанием твердости, коррозионной стойкости и жаростойкости. Выдержка образца от 60 до 120 мин обеспечивает наличие стабильного диффузионного слоя по сечению стержня. С увеличением параметров алитирования – температуры алитирования и времени выдержки – увеличивается глубина алитированного слоя (табл. 1). Получено уравнение регрессии, адекватно отражающее данные эксперимента:

$$y = 0,25 + 0,1x_1 + 0,17x_2 + 0,03x_1x_2 \quad (1)$$

Таблица 1

Структуры алитированных слоев после теплового и химического травления, полученные в результате алитирования стержней на различных режимах

№	T, °C (X ₁)	Время, мин. (X ₂)	Глубина алитированного слоя, мм	Структура после химического травления, X100	Структура после теплового травления, X100
1	600	30	0,001		
2	600	120	0,0013		
3	700	75	0,2		
4	800	30	0,32		
5	800	120	0,55		

На стержни, полученные при указанных режимах ХТО, методом окунания наносили обмазку фтористо-кальциевого типа, а также для сравнения на стержни без алитированного слоя. В процессе нанесения обмазки фиксировали толщину наносимого слоя. После полного высыхания обмазки и прокали электродов выполняли наплавку на стальную пластину из низкоуглеродистой стали. Наплавка выполнялась на режимах: ток наплавки 120...130 А, напряжение на дуге 20...22 В, полярность обратная, источник питания – ВД 301. При наплавке опытными электродами № 3,4,5 зафиксировано хорошее зажигание, стабильность дуги, незначительное разбрызгивание электродного металла, хорошее формирование наплавленного валика, незначительная чешуйчатость наплавки, что характерно также для электрода, не подвергнувшегося ХТО. Аналогичные показатели для электродов 1 и 2 имеют худшие показатели, что обусловлено изменением фазового состава алюминия на поверхности стержня в недостаточном количестве.

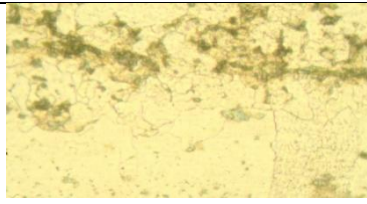
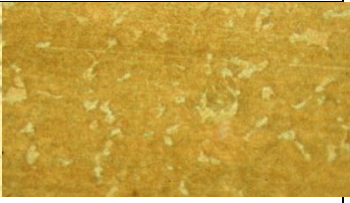
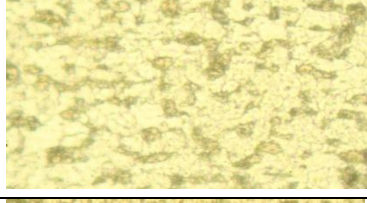

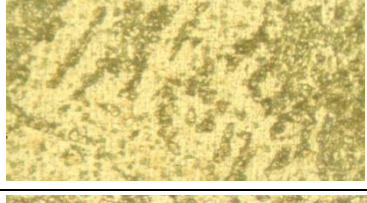
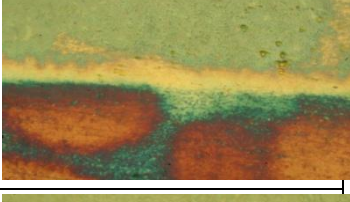

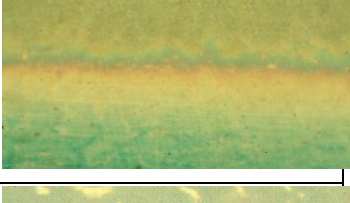
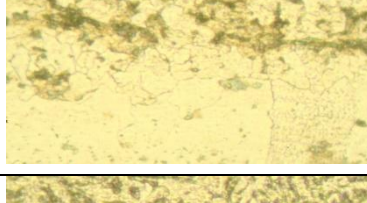
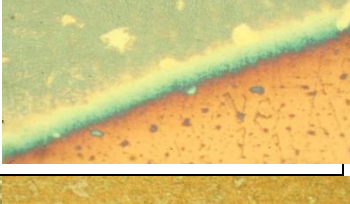
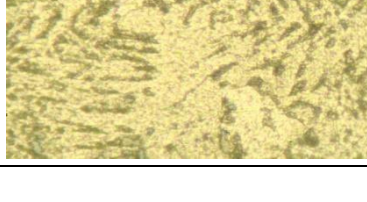

При наплавке на пластину происходит перемешивание основного металла с электродным. В результате перемешивания жидкого металла и металлургических процессов, на стадии сварочной ванны, происходит равномерное насыщение наплавленного слоя раствором алюминия и его соединениями. Сравнение микрошлифов металла, наплавленного электродами с алитированным стержнем и без алитирования, показало существенную разницу (табл. 2). Структура основного металла феррито-перлитная, микротвердость которой 150...180 Н100. В переходной зоне феррито-перлитная с микротвердостью 140 – 170 Н100 в образцах 1 и 2. Для образцов 3,4,5 характерна переходная зона с микротвердостью 200...240 Н100, что соответствует микротвердости перлита, в состав которого входит фер-

рит, насыщенный алюминием. Структура поверхностного слоя наплавного валика состоит из твердого раствора алюминия в Fe_α. Твердый раствор алюминия в наплавленном металле имеет высокую микротвердость 300...330 Н100, что связано с растворением алюминия в Fe_α.

Для определения места расположения фаз в структуре упрочненного слоя применяли тепловое травление путем нагрева полированного микрошлифа в камерной печи при 400°C в течение 30 мин и охлаждения на воздухе. Наплавленный металл и зона сплавления в первом случае имеют характерный окрас после теплового травления (табл. 2). Анализ наплавленного металла после теплового травления показал, что в случае алитирования стержней с выдержкой 30 мин алитированный слой небольшой толщины в процессе расплавления смешался с основным металлом. В результате сформировалась неоднородная структура. Можно предположить, что такой слой должен обладать пониженной жаростойкостью из-за недостаточной концентрации в нем алюминия.

Таблица 2

Микротвердость и структура образцов «наплавленный металл – переходная зона» после теплового и химического травления

№ образца	Микротвердость, Н ₁₀₀ Мпа (наплавка - переходная зона - основной металл)	Структура после химического травления X100	Структура после теплового травления X100
1	229, 206, 170		
	187, 195, 215		
	191, 158, 144		
2	273, 206, 223		
	170, 170, 148		
	138, 170, 148		
3	234, 254, 223		
	244, 234, 234		
	127, 180, 173		
4	273, 291, 270		
	223, 180, 206		
	167, 142, 127		
5	319, 277, 366		
	273, 290, 273		
	206, 167, 170		
6	157, 173, 180		
	213, 194, 227		
	167, 176, 147		

Известно [8], что после алитирования в течение двух часов в поверхностном слое присутствуют структуры, содержание алюминия в которых превышает 30%. Можно предположить, что такое количество алюминия при сплавлении с малоуглеродистым металлом в процессе наплавки должно обеспечивать получение сплава, содержащего долю алюминия, достаточную для обеспечения высокой жаростойкости. При алитировании стержней по режимам 3, 4, 5 обеспечивает надежную защиту наплавленного металла от окисления. Благодаря этому при плавлении на поверхности наплавки образуется оксидная пленка Al_2O_3 , препятствующая образованию окислов железа.

Исследования показывают, что во всех случаях после наплавки структура поверхностного слоя наплавленного валика состоит из твердого раствора алюминия в Fe_α . Это должно обеспечивать высокую жаростойкость наплавленного слоя.

Между основным металлом и наплавленным слоем существует переходная зона, представляющая собой по структуре перлит, в состав которого входит феррит, обогащенный алюминием.

Можно утверждать, что механизм процесса наплавки электродом с алитированным стержнем заключается в следующем: плавящийся стержень и основной металл образуют сварочную ванну, где происходит растворение значительного количества алюминия, его равномерное распределение в расплавленном виде по сечению наплавки за счет активного перемешивания жидкого металла. Как показали эксперименты, независимо от режима ХТО стержней, происходит насыщение их поверхности алюминием, что положительно сказывается на распределении соединений алюминия в наплавленном металле. В исследуемых пределах содержания алюминия наплавленные валики трещин не имели.

ВЫВОДЫ

1. Алитирование стержней при температуре выше $700^\circ C$ способствует увеличению алитированного слоя за счет диффузии алюминия вглубь сечения, расширяет зоны и разновидности алюминидов, при этом снижается концентрация алюминия в поверхностном слое.

2. В процессе наплавки электродами с алитированными стержнями происходит насыщение наплавленного металла алюминием и соединениями в результате растворения в нем богатых алюминием фаз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ причин износа рабочих втулок при прессовании заготовок из медно-никелевых сплавов / А.Г. Гринь, В.А.Пресняков, И.А. Бойко, С.М. Волков. – Мир техники и технологий. – 2013. – № 3. – С. 34–37.
2. Новая сталь 5Х2ВМНФ (Дн-32) для штампового инструмента горячего деформирования / Тишарев С.И. [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. – №6. – С. 14–18.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1975 – 584 с.
4. Козлов П. А. Структура, механические свойства и жаропрочные характеристики сталей 10Х9К3В2МФБР и 02Х9К3В2МФБР / П. А. Козлов, В. Н. Скоробогатых, И. А. Щенкова // Научные ведомости БелГУ. Серия: Математика. Физика. – 2011. – №11.
5. Фрумин И.И. Современные типы наплавленного металла и их классификация. Теоритические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл / Под ред. И.И. Фрумина. – Киев – ИЭС имю Е.О. Патона – 1977 – С.3–11.
6. Пат. 42534 Україна МПК. Електрод для дугового зварювання / Гринь О.Г., Заблоцький В.К., Шимко В.Ш., Гринь В.О., В23К 35/30 (2006.01). – № и200901083 ; заявл. 11.02.2009 ; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13. – 2 с.
7. Пат. 100695 Україна МПК. Спосіб виготовлення покритих електродів для зварювання / Гринь О.Г., Дудинський О.Д., (В23К 35/02 (2006.01)). – № и201500172 ; заявл. 12.01.2015 ; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15. – 2 с.
8. Заблоцький В.К. Особенности влияния алитирования на структуру и свойства стали 10 / В.К. Заблоцький, А.И. Шимко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – X., 2005. – №6. – С.33–36.