

ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ШЕЕК И ГАЛТЕЛЕЙ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

В. Н. МАТВИЕНКО, канд. техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь)

Разработан состав наплавочного материала в виде порошковой проволоки, обеспечивающий улучшенные служебные характеристики прокатных валков стана слябинг-1150. Стойкость шеек валков достигает уровня стойкости рабочей поверхности бочки.

Ключевые слова: электродуговая наплавка, порошковая проволока, наплавленный металл, шейки и галтели валков прокатных станков

Проблема сохранения на достаточно высоком уровне технико-экономических показателей работы прокатного стана слябинг-1150 ОАО «ММК им. Ильича» в первую очередь предусматривает решение главной задачи — повышение срока службы его основного рабочего инструмента — прокатных валков. В условиях наплавочного участка цеха слябинг-1150 [1] успешно решается первая часть этой задачи — упрочнение рабочей поверхности бочек валков методом электродуговой наплавки слоя металла с использованием материалов и технологий, разработанных отраслевой научно-исследовательской лабораторией ПГТУ.

Анализ стойкости валков показывает, что в большинстве случаев выход их из строя, в том числе и разрушения, происходят по шейкам, особенно в месте перехода от шейки к бочке, т. е. по галтели (рис. 1). В связи с этим необходимо разработать наплавочный материал и технологию наплавки, обеспечивающие повышение стойкости шеек до уровня стойкости рабочей поверхности бочки валка.

Поверхность шеек валка стана слябинг-1150 работает в тяжелых температурно-силовых условиях гидроабразивного изнашивания в сочетании со значительными ударными изгибающими знакопеременными нагрузками и крутящими моментами. Условия воздействия на металл абразивной и коррозионной среды, характер повреждения его поверхности определяют необходимый состав, микроструктуру, фазовое состояние и свойства наплавленного металла. Для повышения эксплуатационной стойкости шеек и галтелей необходимо осуществлять наплавку их рабочей поверхности материалами, обеспечивающими достаточно высокую прочность и пластичность как при нормальных, так и повышенных температурах; высокую

износостойкость и термостойкость наплавленного слоя наряду с коррозионной стойкостью. Разработка материала должна обеспечивать как его высокие эксплуатационные свойства, отвечающие отмеченным выше требованиям, так и технологические возможности его нанесения на поверхность шейки и галтелей электродуговой наплавкой.

Для сопротивления разрушающему воздействию абразивной среды в условиях трения металл по металлу наплавленный металл должен иметь твердую составляющую (карбиды, бориды, нитриды, интерметаллидные соединения), при этом твердые частицы карбидов и других соединений должны прочно удерживаться матрицей — основой сплава. Роль матрицы в сталях и сплавах может выполнять мартенсит, феррит, аустенит, ледебурит. В соответствии с этим классификация износостойкого наплавленного металла по структурным признакам [2] включает следующие классы: мартенситный, мартенситно-карбидный (здесь, кроме карбидов, могут присутствовать другие твердые частицы — бориды, карбонитриды, интерметаллиды и т. п.), ферритно-карбидный, аустенитно-карбидный, ледебуритно-карбидный. В табл. 1 приведена характеристика наплавленного металла различных классов.

С учетом изложенного выше, а также общепринятых рекомендаций [2, 3] на предварительном этапе исследований были отобраны наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла мартенситного, мартенситно-карбидного и аустенитно-карбидного классов. Бы-

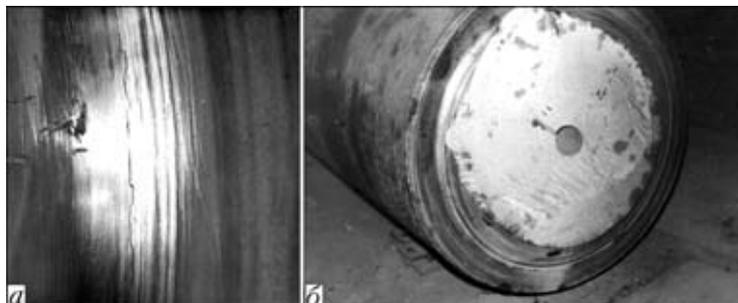


Рис. 1. Внешний вид галтельной части прокатного валка с трещиной на поверхности (а) и зоны разрушения горизонтального валка стана слябинг-1150 по галтели (б)

Таблица 1. Характеристика наплавленного металла различных классов

№ п/п	Тип наплавленного металла	Структурный класс	Относительная трудоемкость механической обработки
1	30ХГСА	Мартенситный	1,0
2	18Х6ГМФС	Мартенситно-карбидный	1,6
3	25Х7ГМФС	» »	1,7
4	12Х12Г12СФ	Аустенитно-карбидный	1,7
5	Х20Н10Г6	» »	1,7

ли проведены металлографические исследования, испытания на износо-, термостойкость, твердость при нормальных и повышенных температурах, сопротивляемость образованию кристаллизационных трещин при наплавке.

Для изготовления образцов производили четырех-, пятислойные наплавки на пластины толщиной 40 мм из стали 50* с предварительным подогревом до температуры 300...350 °С. Износостойкость наплавленного металла оценивали на установке с возвратно-поступательным движением тела трения из стали Р18. Температура тела трения составляла 400 °С, удельное давление 14,7 МПа, скорость перемещения тела трения 11,2 м/мин, время испытания 1 ч [4]. Твердость металла при повышенных температурах замеряли на образцах размерами 6Х3Х40 мм, вырезанных из наплавленного металла, при пропускании по ним тока. Температуру образца во время нагрева и охлаждения фиксировали с помощью приваренной к образцу хромель-копелевой термопары [4]. Термостойкость наплавленного металла определяли путем кратковременного пропускания тока через участок наплавленного металла с последующим быстрым охлаждением его струей проточной воды [4]. Количество циклов теплосмен «нагрев–охлаждение» оценивали до появления видимой трещины. Испытание наплавленного металла на стойкость против образования кристаллизационных

трещин производили по методике, предусматривающей принудительный изгиб плоского образца (по схеме чистого изгиба) в процессе наплавки, благодаря чему в кристаллизующемся наплавленном металле возникают растягивающие напряжения [4]. Показателем технологической стойкости против образования кристаллизационных трещин являлась максимальная критическая скорость деформации, при которой в наплавленном металле еще отсутствуют трещины. Результаты испытаний наплавленного металла представлены в табл. 2.

Металл мартенситного класса может быть получен при наплавке средне- или высокоуглеродистой сталью (например, проволоками Нп-35, Нп-65Г, Нп-30ХГСА и др.). Конечная структура и свойства такого металла определяются в основном содержанием в нем углерода и температурно-временными условиями (режимом и технологией) наплавки. Из низко- и среднеуглеродистых материалов наиболее широкое распространение для наплавки шеек валков получил металл 30ХГСА, структура которого показана на рис. 2. Такой металл достаточно технологичен — в широком диапазоне изменения параметров режима практически не склонен к образованию трещин, имея достаточно высокий показатель технологической прочности (табл. 2), хорошо поддается механической обработке, благодаря высокой пластичности хорошо сопротивляется действию ударных нагрузок. Однако ввиду относительно невысокой твердости (в связи с малым содержанием углерода) и отсутствия в структуре твердых упрочняющих частиц (карбидов) износостойкость среднеуглеродистого наплавленного металла мартенситного класса невысока (табл. 2) и находится на уровне износостойкости термически упрочненных конструкционных сталей. Поэтому металл 30ХГСА при наплавке прокатных валков в основном применяется только в качестве промежуточных слоев (так называемых подслоев).

Более высокую твердость и износостойкость по сравнению с металлом мартенситного класса

Таблица 2. Результаты испытаний наплавленного металла

Вид испытания	30ХГСА	18Х6ГМФС	25Х7ГМФС	12Х12Г12СФ	Х20Н10Г6
Износостойкость, мг	85,6...90,2	42,4...46,3	28,6...32,1	25,2...28,9	33,7...35,4
Термостойкость, количество циклов	1710...1830	1850...1980	1320...1450	1510...1640	840...970
Твердость (HRC) металла при температуре, °С:					
20	26...30	40...44	47...50	33...36	30...34
500	18...21	28...31	33...36	29...32	24...27
Технологическая прочность (скорость деформации), мм/мин	17,6...18,2	8,6...9,3	7,1...7,5	10,8...12,4	9,5...10,1
Примечание. В табл. 2, 3 приведены результаты 3...5 испытаний или замеров.					

* В работе принимали участие К. К. Степнов, А. И. Олдаковский.

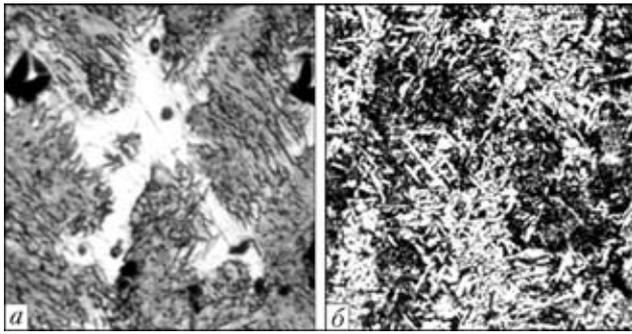


Рис. 2. Микроструктура наплавленного металла 30XГСА (X320): а — многопроходная наплавка проволочным электродом (феррит + перлит, HV 200); б — однопроходная наплавка ленточным электродом (мартенсит, троостит, бейнит, HV 400)

имеет металл мартенситно-карбидного класса. Известны модификации экономнолегированных сплавов системы Fe–C–Cr–Mo–V типа X5MФ — 25X5ФМС, получаемых наплавкой порошковой проволокой [5], и сплавов 18X6ГМФС, 20X7ГФМ, 25X7ГМФС, получаемых наплавкой низкоуглеродистыми проволоками или лентами под легирующим керамическим флюсом ЖСН-5 [6]. Такой металл при многопроходной наплавке с предварительным подогревом имеет структуру высокоотпущенного мартенсита — сорбита + карбиды (рис. 3). Он характеризуется сочетанием достаточно высоких значений твердости, износо-, термо- и трещиностойкости (см. табл. 2), что предопределило широкое применение этих экономнолегированных материалов для упрочнения рабочей поверхности бочки прокатных валков станков горячей прокатки.

Вместе с тем эти сплавы, как и описанные выше, не являются коррозионно- и кавитационно-стойкими в условиях гидроабразивного изнашивания, характерного для эксплуатации шеек валков стана слябинг-1150. Поэтому применение этих материалов для наплавки шеек нерационально. С этих позиций весьма перспективно применение наплавленного металла аустенитно-карбидного класса.

Аустенитная матрица имеет ряд преимуществ по сравнению с мартенситной или ферритной. Прежде всего аустенит имеет более высокую вязкость и прочность, чем феррит, что способствует,

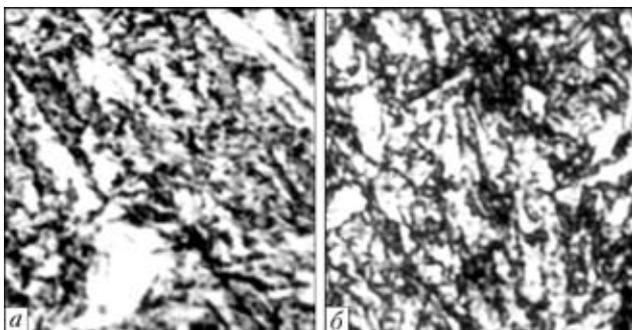


Рис. 3. Микроструктура (X500) сплава системы Fe–C–Cr–Mo–V наплавленного металла: а — 18X6ГМФС; б — 25X7ГМФС

с одной стороны, лучшему удержанию частиц твердой фазы, а с другой — общему повышению износостойкости, особенно при ударно-абразивном изнашивании. Кроме того, аустенит может быть полностью или частично неустойчивым (нестабильным) и в процессе пластической деформации претерпевать превращение в мартенсит (так называемый мартенсит деформации), что приводит к дополнительному повышению износостойкости. Другим важным эксплуатационным свойством аустенитного наплавленного металла является наиболее высокая коррозионная стойкость по сравнению со всеми другими структурными классами.

В качестве износостойкого наплавленного металла аустенитно-карбидного класса для наплавки прокатных валков и роликов машин непрерывного литья заготовок успешно применяется хромомарганцевованадиевый сплав 12X12Г12СФ [3, 4], структура которого показана на рис. 4, а результаты испытаний приведены в табл. 2. Для наплавки коррозионностойкого слоя металла используются также аустенитные проволоки (Св-08X21Н10Г6, Св-08X20Н9Г7Т, Св-07X25Н13, Св-10X20Н15 и др.) с содержанием никеля до 18...20 %, что делает эти материалы дорогими и дефицитными. Экономически целесообразно заменить в наплавленном металле аустенитного класса никель элементами, обеспечивающими требуемую структуру и сочетание его свойств. Предложен ряд хромомарганцевых сталей [7, 8], предназначенных для замены хромоникелевых сплавов. Установлено [9], что хромоникелевый и хромомарганцевый аустенит по многим свойствам близки, а в отношении теплостойкости хромомарганцевый аустенит превосходит хромоникелевый. Более высокая способность хромомарганцевого аустенита к упрочнению сильнее проявляется при повышенных температурах (если последние не превышают порога рекристаллизации). В связи с

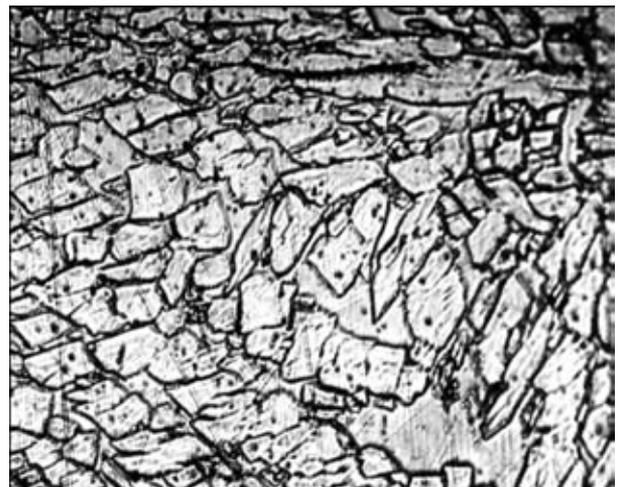


Рис. 4. Микроструктура (X320) наплавленного металла аустенитно-карбидного класса 12X12Г12СФ

этим содержание марганца в таких сплавах ограничивается 10...15 %, т. е. тем минимальным количеством, которое обеспечивает получение стабильной аустенитной структуры [7, 9].

Оптимальным содержанием хрома в указанных хромомарганцевых сплавах является 10...13 %, что обеспечивает высокие износостойкость и термостойкость сплава вследствие выделения в структуре металла тугоплавких и твердых карбидов хрома. Этот элемент препятствует росту зерна сплава, увеличивает устойчивость переохлажденного аустенита. Кроме того, содержание хрома в указанных концентрациях позволяет сохранить твердость сплава при высоких температурах на достаточном высоком уровне [10], при большей концентрации хрома (свыше 13 %) сплав становится чувствительным к отпускной хрупкости, что может привести к отколам наплавленного слоя в процессе его эксплуатации.

Содержание углерода должно быть не более 0,10 %, в противном случае существует опасность образования хрупкой составляющей σ -фазы в процессе длительной эксплуатации изделия при высоких температурах [7–10].

Хромомарганцевые сплавы, предназначенные для износостойкой наплавки стальных деталей, работающих в условиях повышенных температур, циклических теплосмен в сочетании с высокими удельными давлениями, рекомендуется [11] легировать ванадием и титаном, упрочняющими твердый раствор и оказывающими влияние на дисперсность и скорость упрочнения карбидных частиц при длительных тепловых выдержках. Образуя устойчивые карбиды и уменьшая их растворимость в сплаве, эти элементы способствуют повышению термической стойкости, жаро- и износостойкости сплава, значений критических точек, что весьма важно для металла, работающего в условиях многократных теплосмен. Кроме того, такие тугоплавкие карбидные соединения выполняют роль модификаторов, эффективно измельчая первичную структуру сплава и тем самым повышая технологическую прочность металла в процессе его кристаллизации [12]. Титан обеспечивает также хорошее раскисление и дегазацию сплава, получение плотной и мелкой первичной микроструктуры и излома литой стали [13].

При разработке состава наплавленного металла для упрочнения шеек прокатных валков и порошковой проволоки за основу взят низкоуглеродистый хромомарганцевый сплав типа 09X11Г12 с дополнительным легированием ванадием, титаном, алюминием, а также микродобавками циркония.

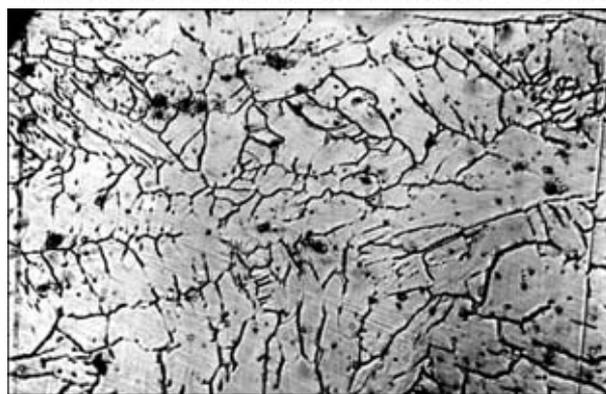


Рис. 5. Микроструктура (X500) металла, наплавленного опытной проволокой ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ

Для получения наплавленного металла указанного типа разработан состав порошковой проволоки ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ. Легирование осуществляется путем введения в шихту соответствующих металлических порошков и ферросплавов. Алюминий, добавленный в металл в небольших количествах (0,10...0,20 %), существенно измельчает его структуру благодаря образующимся высокодисперсным частицам оксидов алюминия и тем самым повышает стойкость сплава против образования кристаллизационных трещин в процессе наплавки. Эту же роль играет микролегирование металла цирконием.

Результаты лабораторных испытаний металла, наплавленного опытной порошковой проволокой под плавным флюсом АН-60, приведены в табл. 3. Химический состав металла, наплавленного опытной проволокой ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ, следующий, мас. %: 0,07...0,09 С; 10,8...11,2 Cr; 11,6...11,8 Mn; 1,9...2,1 V; 0,13...0,15 Al; 0,01 Ti; 0,01 Zr. Процесс наплавки характеризовался высокими сварочно-технологическими свойствами: стабильным горением сварочной дуги, удовлетворительным формированием наплавленного металла и хорошей отделимостью шлаковой корки,

Таблица 3. Результаты испытаний металла, наплавленного опытной проволокой ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ под флюсом АН-60 и проволокой Св-08ГА под флюсом ЖСН-5

Вид испытания	Марка наплавочного материала	
	ПП-09X11Г12Ф2ЮЦТ	Св-08ГА + ЖСН-5
	Тип наплавленного металла	
	09X11Г12Ф2ЮЦТ	20Х6ГМФС
Износостойкость, мг	20,6...24,1	37,4...41,6
Термостойкость, количество циклов	1760...1910	1670...1750
Твердость (HRC) при температуре, °С:		
20	32...34	39...41
500	28...30	31...33
Технологическая прочность (скорость деформации), мм/мин	15,9...16,3	9,1...10,4

отсутствием трещин, пор, несплавлений и других дефектов. Микроструктура наплавленного металла отличается равноосностью и состоит из аустенита, по границам зерен которого расположены карбиды (рис. 5).

Для сравнения в табл. 3 приведены результаты испытаний металла типа 20Х6ГМФС, наплавленного под флюсом ЖСН-5 проволокой сплошного сечения Св-08ГА, используемых при наплавке бочки прокатных валков.

Проанализировав результаты лабораторных испытаний (табл. 2, 3), можно отметить, что металл, получаемый при наплавке опытной порошковой проволокой, имеет улучшенные служебные характеристики, что было подтверждено последующей промышленной наплавкой шеек и галтелей валков стана слябинг-1150. Результаты эксплуатации наплавленных валков показали увеличение их работоспособности в 1,3...1,5 раза. Обеспечено повышение стойкости шеек до уровня стойкости рабочей поверхности бочки вала. Наплавка галтелей порошковой проволокой позволила устранить образование трещин и разрушение валков по этой зоне.

Выводы

1. Для повышения стойкости шеек и галтелей прокатных валков стана слябинг-1150 разработан состав наплавочного материала, для получения которого изготовлена опытная партия порошковой проволоки.

2. Металл, получаемый при наплавке опытной порошковой проволокой, имеет улучшенные служебные характеристики, что было подтверждено результатами эксплуатации наплавленных валков стана слябинг-1150, которые показали увеличение

их работоспособности в 1,3...1,5 раза. Обеспечено повышение стойкости шеек до уровня стойкости рабочей поверхности бочки вала.

1. *Повышение долговечности стальных валков прокатных станов ОАО «ММК им. Ильича»* / В. Н. Матвиенко, К. К. Степнов, С. В. Гулаков и др. // *Металлур. оборудование*. — 2005. — № 2. — С. 39–42.
2. *Самотугин С. С., Лещинский Л. К., Соляник Н. Х.* Структура и характер разрушения сварных соединений, наплавленных и упрочненных материалов. — Мариуполь: ПГТУ, 1996. — 179 с.
3. *Тылкин М. А.* Справочник термиста ремонтной службы. — М.: Металлургия, 1981. — 648 с.
4. *Об оценке основных свойств металла для наплавки прокатных валков* / Б. И. Носовский, Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, А. И. Олдаковский // *Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла* / Под ред. И. И. Фрумина. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. — С. 85–98.
5. *Фрумин И. И., Кондратьев И. А.* Порошковая проволока ПП-25Х5ФМС для наплавки прокатных валков // *Автомат. сварка*. — 1968. — № 10. — С. 56–58.
6. *Повышение работоспособности прокатных валков наплавкой слоя с изменяющейся по длине бочки износостойкостью* / Л. К. Лещинский, С. В. Гулаков, Б. И. Носовский и др. // Там же. — 1978. — № 3. — С. 57–62.
7. *Богачев И. Н., Егорова В. Ф.* Структура и свойства железомарганцевых сплавов. — М.: Металлургия, 1973. — 295 с.
8. *Малинов Л. С., Малинов В. Л.* Марганецсодержащие наплавочные материалы // *Автомат. сварка*. — 2001. — № 8. — С. 34–37.
9. *Химушин Ф. Ф.* Хромомарганцовистые стали аустенитного и аустенитно-ферритного типа // *Тр. ВИАМ*. — 1965. — № 32. — С. 24–26.
10. *Химушин Ф. Ф.* Жаропрочные стали и сплавы. — М.: Металлургия, 1964. — 118 с.
11. *Меськин В. С.* Основы легирования стали. — М.: Металлургиздат, 1964. — 214 с.
12. *Лахтин Ю. М., Леонтьева В. М.* Материаловедение. — М.: Машиностроение, 1980. — 493 с.
13. *Конторович И. Е.* Термическая обработка стали и чугуна. — М.: Металлургиздат, 1950. — 681 с.

Composition of a surfacing material in the form of flux-cored wire has been developed, providing improved service properties of the rolls of Slabbing-1150 mill. Resistance of the roll necks is on the level of that of the working surface of the roll barrel.

Поступила в редакцию 10.03.2006