

**С. А. Матвиенков, Э. Н. Шебаниц, А. В. Мурашкин, С. В. Форман, В. В. Климанчук, А. Н. Лукьянчиков**

ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», Группа Метинвест

## Наплавка рабочих и опорных валков с применением керамического флюса И-КФ-45 — 65 на ММК им. Ильича

*Разработана и внедрена технология электродуговой наплавки ленточным электродом с применением керамического легирующего флюса. Износостойкость наплавленных валков значительно превышает уровень серийных.*

**Ключевые слова:** прокатные валки, наплавка, ленточный электрод, керамический легирующий флюс, износостойкость

Наплавка крупных листопрокатных валков из средне- и высокоуглеродистых марок стали в условиях комбината им. Ильича применялась с начала 50-х годов. Тогда же были сформулированы основные требования к технологии наплавки валков: механическая обработка (проточка) под наплавку с обязательным удалением дефектных мест, предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 350-500 °С. Учитывая значительную толщину наплавленного слоя (до 35-70 мм) и массу наплавленного металла (до 6 т и более), разработали способы высокопроизводительной многоэлектродной наплавки с использованием проволоки-катанки большого диаметра [1].

С вводом в эксплуатацию в 2001 г. на ЛПЦ-1700 наплавочного участка была подготовлена и освоена технология наплавки стальных рабочих валков с применением ленточного электрода на основе малоуглеродистой и легированной ленты и флюсов марок АН-60 и ЖСН. Производство легированной ленты оказалось весьма трудоемким технологическим процессом, в котором был задействован практически весь основной передел комбината. Выплавка стали и получение литого слитка (ФСЛЦ), прокатка, термообработка и порезка сляба-заготовки 145×1080 мм в условиях толстолистового стана 4500, производство г/к рулонов толщиной 3,2 мм для подката ЦХП, получение х/к полосы толщиной 1 мм за 2 переката и три отжига, порезка низкопластичного металла на ленту 1×30 мм на АКР, делают данную технологию высокочрезвычайно затратной и малоэффективной.

В 2007 г. был предложен новый метод наплавки прокатного и механического оборудования, с применением ленты 08 КП и керамического флюса И-КФ, производство которого освоили в условиях химико-металлургической фабрики (ХМФ) комбината. Дифференцированная твердость по высоте наплавленного слоя обеспечивается маркой флюса, которая гарантирует изменение не более ± 2 ед. Шора от заданного индекса флюса. Отличительная особенность новой технологии – использование в качестве расходного электрода дешевой малоуглеродистой ленты 08КП, произведенной в цехе холодного проката (ЦХП) комбината.

Флюс изготавливают на действующем оборудовании участка по производству сварочных электро-

дов, с максимальным использованием уже имеющихся технологических решений.

При разработке керамических флюсов главной задачей был подбор такого состава, который обеспечит бы стабильность и качество наплавленных слоев металла. Особое внимание уделялось составам образующихся при наплавке шлаков, свойства которых определяют не только технологические свойства (шлакоотделение), но и качество поверхности самого наплавленного металлического слоя [2].

Состав керамического флюса приведен в табл. 1.

Таблица 1

### Качественный (долевой) состав керамического флюса

Компоненты*	Содержание, %
Шлакообразующие:	
– магнезит	14-20
– глинозем	18-25
– плавиковошпатовый концентрат	20-25
– полевого шпата	7-10
Итого шлакообразующих компонентов:	70
Металлические:	
– железный порошок	10-25
– углеродистый феррохром	1-7
– металлический хром	3-15
– феррованадий	0,3-1,5
– ферромolibден	1-5
Итого легирующих компонентов:	8-20
Итого металлических компонентов:	30
Твердость металла при использовании, HSc	44-66

\*Содержание отдельных компонентов согласно патенту № 88239 «Керамичний флюс для зносостійкого наплавлення»

Для данного типа керамического флюса характерно наличие железного порошка для повышения содержания углерода, металлического хрома, углеродистого феррохрома, феррованадия и ферромolibдена для легирования расплава металла в сварочной ванне. Причем индекс твердости имеет значение от 45 до 65 единиц HSc при наплавке малоуглеродистым электродом.

При новой технологии наплавки химический состав

металла является основным фактором обеспечения износостойкости наплавленного слоя. Введение в сварочную ванну хрома обеспечивает рост карбидной эвтектики и увеличение доли особо твердых карбидов типа  $M_7C_3$ . Введение молибдена и ванадия позволяет увеличить предел текучести и ударной вязкости наплавленного слоя металла, повысить твердость, износостойкость, уменьшает склонность к абразивному износу и наряду с хромом повышает содержание карбидных эвтектик типа  $M_7C_3$ ,  $MC$ ,  $M_2C$ . [3]

Долевой состав флюса подобран таким образом, чтобы одновременно сочетать как защитные, так и легирующие функции. Наличие в составе молибдена, хрома и ванадия обеспечивает содержание этих элементов в наплавленном металле в такой степени, что в качестве основного расходного электрода можно применять ленточный электрод из стали 08КП. Твердость полученных композиций наплавленного металла приведена в табл. 2.

Таблица 2

**Твердость металла, наплавленного с помощью керамических флюсов типа И-КФ и ленточного электрода из стали 08кп\***

Марка флюса	Твердость, HSD
И-КФ-45Ж	42-48
И-КФ-50Ж	48-53
И-КФ-55Ж	53-58
И-КФ-60Ж	58-63
И-КФ-65Ж	63-68

Примечание: твердость наплавленного металла определяется содержанием металлического хрома в шихте

### Применяемое оборудование

В условиях ЛПЦ-1700 наплавка валков и другого металлургического оборудования проводится на современном оборудовании, оснащено всем необходимым для качественного проведения технологического процесса двумя установками.

В состав оборудования входят: наплавочная установка; термическая печь для нагрева валков и их термообработки; термостат для длительного вылеживания валков после отпуска; бункер для хранения керамического флюса; печь для прокатки керамического флюса.

Общий вид установки приведен на рис. 1.

### Технология наплавки прокатных валков

Технологический процесс электродуговой наплавки включает в себя ряд операций, качественное выполнение которых значительно влияет на уровень обеспечения заданных параметров – твердости и сплошности наплавленного слоя, а следовательно, и износостойкости. Качество наплавленного металла на бочку валка обеспечивается выполнением комплекса подготовительных мероприятий, предшествующих самому процессу наплавки [4].

К наплавке допускают валки, прошедшие неразрушающий ультразвуковой и капиллярно-цветной метод контроля бочки, шеек и особенно галтельевых переходов шейка-бочка. Контроль необходим для

выявления кольцевых и радиальных трещин усталостно-силового характера. Однородность наплавленного слоя зависит от качества наплавочных материалов. Флюс перед применением подвергают высокотемпературной обработке (прокалке) при температуре 300-400 °С.

При эксплуатации рабочих горизонтальных валков обжимной клетки, работающих в реверсивном режиме, для исключения влияния анизотропии свойств и структуры применяется послойная дифференцированная наплавка по образующей бочки. Большое значение имеет более полное использование полученного слоя. Заданная толщина наплавки составляет не более 20-25 мм (на диаметр 40-50 мм). Наплавленный слой может использоваться многократно, после восстановления износа проточкой. Возможно повторное использование в производстве ранее наплавленных валков после полного удаления отработанного наплавленного металла до основного и последующей повторной наплавки.

Если наплавляется только бочка валка, то подогрев перед наплавкой производят на установке путем дифференцированной подачи газа, а подогрев валков, наплавляемых по бочке и шейкам, осуществляют в термической электропечи. В обоих случаях температуру поверхности поддерживают на уровне 300-380 °С и выше.

Качественные показатели электродуговой наплавки зависят также от подбора энергосиловых параметров наплавки, которые приведены в табл. 3.

Скорость наплавки и шаг наплавки практически одинаковы и могут меняться в узких пределах для обеспечения геометрических размеров сварочного валика (глубина проплавления основного металла, ширина, толщина, степень перекрытия двух сопряженных валиков). Для обеспечения дифференцированного (плавного) перехода от основного металла к износостойкому слою применяют керамические флюсы: для буферного слоя – И-КФ-45Ж, далее – И-КФ-50Ж – 55Ж и выше. В качестве расходного электрода применяют ленту 08КП.



Рис. 1. Наплавочная установка отделения листа ЛПЦ-1700, где 1 – установка для наплавки; 2 – электропечь для подогрева и термической обработки валков; 3 – термостат для замедленного охлаждения валков; 4 – емкость для хранения керамического флюса; 5 – печь для прокатки керамического флюса

**Параметры режима наплавки ленточными электродами (постоянный ток обратной полярности) с использованием керамических флюсов И-КФ-45Ж – 65Ж**

Тип ленты	Тип флюса	Ток наплавки, А	Напряжение наплавки, В	Скорость наплавки, м/ч	Шаг наплавки, мм
08кп	И-КФ-45Ж	520-580	28-32	14-16	20-25
	И-КФ-50Ж	550-620	28-32	14-16	20-25
	И-КФ-55Ж	570-650	28-32	14-16	20-25
	И-КФ-60Ж	600-670	28-32	14-16	20-25
	И-КФ-65Ж	620-680	28-32	14-16	20-25
20X4-МФБ	И-КФ-45Ж	570-630	26-30	14-16	20-25
	И-КФ-50Ж	600-650	26-30	14-16	20-25
	И-КФ-55Ж	650-700	26-30	14-16	20-25
	И-КФ-60Ж	700-750	26-30	12-14	20-25
	И-КФ-65Ж	730-780	26-30	12-14	20-25

Основным условием для исключения сварочно-термических напряжений в материале вала является скорость охлаждения готового изделия, которая должна составлять не более 25 °С/ч, что позволяет обеспечить микроструктуру ферритно-бейнитного типа, и исключить возможное охрупчивание мартенсита. Фактически в условиях электропечи в теплое время года обеспечивается скорость охлаждения 3-4 °С/ч. Валки, прошедшие низкотемпературный отпуск, вылеживаются в условиях термостата от 3 до 5 суток. Наплавку шеек выполняют по индивидуальной схеме, с применением наплавочных материалов, обеспечивающих требуемую твердость.

Для наплавки шеек, бандажей, тремов рабочих и опорных валков, а также зон неактивного рабочего слоя бочек валков с целью восстановления требуемых геометрических размеров применяют наплавочную ленту из низкоуглеродистой марки стали 08кп в композиции с керамическим флюсом И-КФ-45Ж – 55Ж. При наплавке шеек стальных рабочих и опорных валков минимизируется размер зоны термического влияния (ЗТВ) у галтелевого перехода между поверхностями бочки и шейки вала. Для этого наплавку производят на максимально возможном расстоянии от зоны галтелевого перехода. Проплавление зоны галтелевого перехода не допускается.

Решение о производстве повторной наплавки шеек рабочих и опорных валков (особенно ОВ малых черновых клетей) принимают после проведения неразрушающего контроля с учетом суммарной наработки на данном валке. По данной технологии также производят тонкостенную наплавку применяющегося в цехе механического оборудования, имеющего форму цилиндра. Основными критериями качества наплавленного металла на шейках считаются: обеспечение уровня твердости рабочего слоя не менее чем на серийном валке; отсутствие поверхностных дефектов и концентраторов напряжения (пор, трещин, газовых пузырей, шлаковых и неметаллических включений), приводящих к трещинам и выкрашиванию наплавленного металла [5].

После наплавки рабочие и опорные валки подвергаются термообработке в электрической термической печи по следующим режимам: нагрев со ско-

ростью не более 25 °С/ч; температура нагрева до 480 ± 10 °С/ч; выдержка в течение 30-45 ч, из расчета 3,0-3,5 ч на 100 мм диаметра вала; охлаждение вала в печи со скоростью не более 25 °С/ч; температура вала после извлечения из печи должна быть не выше 80°.

После термообработки в электропечи валок укладывают в термостат на 3-5 суток для вылеживания. Температура остывания не должна превышать 25 °С.

При разработке технологии наплавки валков с применением новых наплавочных материалов производилась опытная наплавка образцов металла, и определялись физико-механические свойства в состоянии наплавки (без проведения дополнительной термообработки).

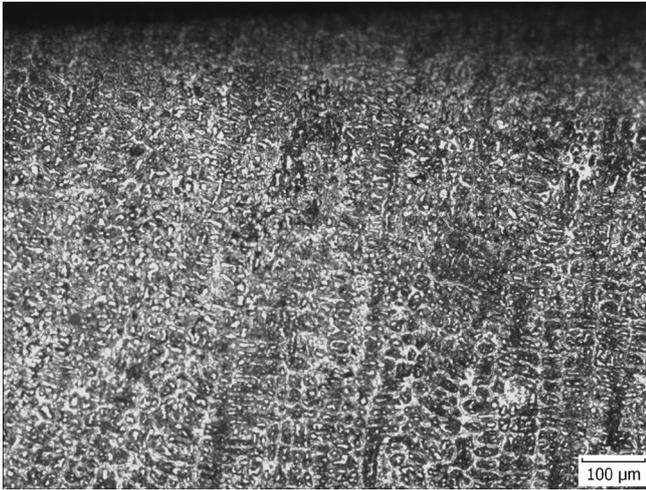
Качественные показатели опытного наплавленного металла в композиции 08КП и 100 % И-КФ-65Ж следующие: твердость составляет 44-47 единиц по Роквеллу, HRC, или 60-64 единиц по Шору, HSD; химический состав металла приведен в табл. 4.

Таблица 4

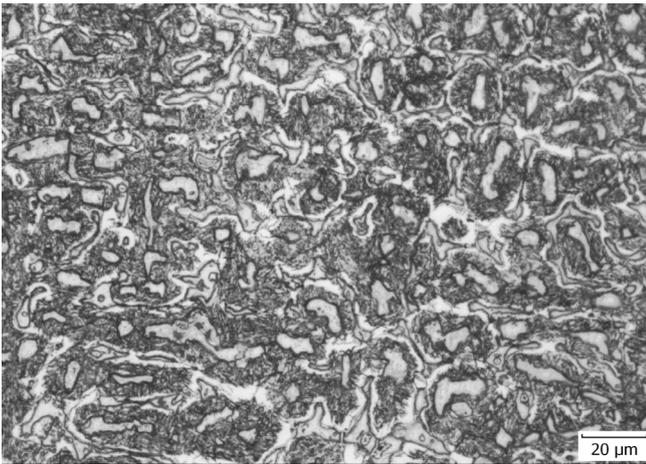
**Химический состав наплавленного металла (содержание основных легирующих элементов, %)**

Химический элемент	Содержание, %
C	0,470
Mn	1,290
Si	0,640
Cr	9,670
V	0,810
Mo	2,350
S	0,011
P	0,032

При наплавке с использованием ленточного электрода из низкоуглеродистой марки стали 08кп в композиции с керамическим флюсом И-КФ-45Ж – 65Ж структура наплавленного металла представляет собой мартенсит, аустенит и карбиды. Она представлена на рис. 2 при 100- и 500-кратном увеличении. Профиль износа наплавленного опытного вала показан на рис. 3.

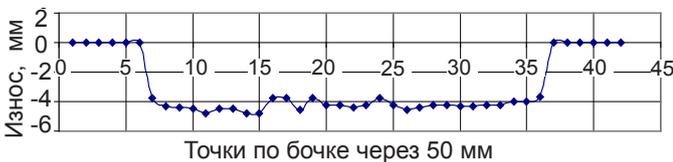


а



б

**Рис. 2.** Структура наплавленного металла с применением ленты 08 КП (а) и флюса И-КФ-65Ж (б), 100 %

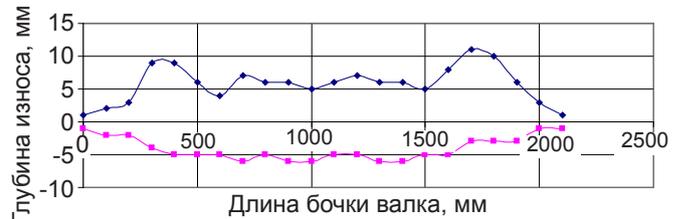


**Рис. 3.** Профиль выработки валка с экспериментальной наплавкой

Основной составляющей данной технологии является использование дешевого не дефицитного ленточного электрода из малоуглеродистой стали 08КП и керамического флюса, позволяющего оперативно изменять его свойства при производстве путем изменения долевого состава отдельных компонентов и влиять на качество жидкого металла в сварочной ванне применением флюса различных индексов твердости. Применение наплавленных рабочих валков показало существенный рост удельной износостойкости на 1 мм рабочего слоя по сравнению с серийными валками производства НКМЗ. Этот показатель может составлять (в зависимости от клетки, в которой валок используется) от 50 до 150 тыс. т на 1 мм, что выше среднего значения для серийных валков в 1,2-3,5 раза.

Профиль износа парных валков обжимной клетки (один серийный, второй наплавленный) представлен на рис. 4.

На наплавочном участке ЛПЦ-1700 за время его



**Рис. 4.** Профиль выработки парных горизонтальных валков обжимной клетки (серийный и наплавленный композицией: лента 08кп и флюс И-КФ-60 . Прокат – 526 тыс. т.)

работы с декабря 2001 г. освоена наплавка всех типов рабочих и опорных валков, а также большинства имеющегося типа механического оборудования. К примеру, наплавленные ролики моталок с применением флюса И-КФ в условиях ЛПЦ-1700 имеют стойкость к износу в 1,5-1,8 раза выше тех, которые наплавлены в УГМ с применением порошковой проволоки типа ПП и флюса АН-60.

### *Экономические показатели применения электродуговой наплавки ленточным электродом*

За 2001-2011 гг. на 2-х наплавочных участках ЛПЦ-1700 восстановлено: 297 прокатных валков (в том числе 183 шеек), 67 ед. механического оборудования. За этот период вес наплавленного оборудования составил более 6,9 тыс. т.

Создание участка наплавки валков на стане 1700 позволило получать за счет восстановления только прокатных валков годовой экономический эффект, эквивалентный стоимости 8 новых валков. По итогам 2009 г. подтвержденный экономический эффект составил 4,6 млн. грн., в 2010 г. – 4,35.

Описанная в статье технология защищена Патентами Украины на полезную модель № 39163 «Спосіб відновлення прокатних валків і механічного устаткування циліндричної форми методом електродугового наплавлення під флюсом» и на изобретение № 88239 «Керамічний флюс для зносостійкого наплавлення».

### **Выводы**

Восстановление и упрочнение рабочих и опорных валков методом электродуговой наплавки с применением ленточного электрода из стали 08 КП и керамического флюса И-КФ обеспечивает качество наплавленного металла не ниже уровня ранее применявшихся материалов.

Удельная износостойкость наплавленного металла выше серийных валков в 1,2-3,5 раза.

Экономическая эффективность технологического процесса обеспечивается наличием качественных наплавочных материалов собственного производства.

При восстановлении геометрических размеров шеек рабочих и опорных валков положительный эффект заключается в полном использовании имеющегося рабочего слоя валка.

Рост стоимости энергоносителей существенно не влияет на рост удельной стоимости наплавленного металла.

Имеются технические предпосылки для освоения технологии восстановления шеек чугуновых валков.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка. – М.: Машиностроение, 1988 г. – С. 8, 47.
2. Петров Г. Л. Сварочные материалы. – Л.: 1972 г. – С. 222.
3. Лифшиц Л. С., Гринберг Н. А., Куркумели Э. Г. Основы легирования наплавленного металла. – М.: Машиностроение, 1969 г. – С. 103.
4. Китаев А. М., Китаев Я. А. Дуговая сварка. – М.: Машиностроение, 1983 г. – С. 223.
5. Рябцов И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. – Киев: Экотехнология, 2004 г. – С. 128.

### Анотація

*Матвієнков С. А., Шабаниць Е. М., Климанчук В. В., Форман С. В., Мурашкін О. В., Лук'янчиков О. В.*

**Наплавлення робочих та опорних валків із застосуванням керамічного флюсу И-КФ-45 — 65 на ММК ім. Ілліча**

*Розроблено та впроваджено технологію електродугового наплавлення стрічковим електродом із застосуванням керамічного легувального флюсу. Зносостійкість наплавлених валків значно перевищує рівень серійних.*

### Ключові слова

*прокатні валки, наплавлення, стрічковий електрод, керамічний легувальний флюс, зносостійкість*

### Summary

*Matvienkov S., Shebanits E., Murashkin A., Forman S., Klimanchuk V., Lukyanchikov A.*

**Working and bearing rolls overlaying using ceramic flux I-KF-45 — 65 at «Ilyich Iron & Steel Works»**

*Electric arc overlaying technology with tape electrode using ceramic alloying flux is developed and implemented. Overlaid rolls wear resistance is considerably higher than serial rolls wear resistance level.*

### Keywords

*forming rolls, overlaying, tape electrode, ceramic alloying flux, wear resistance*