Н.Г. Шемшурова, В.Г. Антипанов, Е.П. Киселева

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ

В статье рассмотрены способы упрочнения прокатных валков. Представлена характеристика некоторых технологических методов обработки поверхностного слоя прокатных валков. Описаны технология и результаты борирования элементов валков профилегибочных станов. Представлены результаты исследования перспективного метода упрочнения – с помощью детонационно-газового напыления.

Ключевые слова: прокатные валки, способы упрочнения, борирование, напыление, детонационно-газовое покрытие.

Валки являются основным инструментом прокатных станов. Качество проката, его эксплуатационные свойства во многом зависят от износоустойчивости, шероховатости и других характеристик валкового инструмента. Поэтому большое внимание уделяют вопросам повышения их износосто йкости.

Существуют различные технологии обеспечения заданных параметров поверхностного слоя валков и повышения их износостойкости [1,2].

Технологические показатели и физико-механические параметры поверхности после обработки валков приведены в таблице 1.

На профилегибочном стане 1-4×50-300 завода «Запорожсталь» (Украина) используют способ *электроискрового восстановления валков* [3]. Этот способ основан на периодическом возбуждении искрового разряда между обрабатываемой деталью (катодом) и обрабатывающим электродом (анодом), материал которого переносится в плазменном состоянии на катод, насыщаясь компонен-

тами среды. В результате на обрабатываемой поверхности образуется слой, обладающий высокой износостойкостью.

Таблица 1

Характеристика некоторых технологических методов обработки поверхностного слоя прокатных валков [1]

Метод обработки	Шероховатость поверхности R_a, мкм	Толщина модифицированного слоя, мм	Степень упрочнения, %	Максим. напряжение σ, МПа	Точность обработки / твердость
Поверхностное пластическое деформирование					
Дробеметная обработка (дробеструйная)	1,6-0,04	0,2-1,5	20-40	200-750	Сохраняется
Ультразвуковая ППД	1,25-0,32	0,05-1,5	10-40	200-500	Сохраняется
Накатывание	1,25-0,04	0,1-0,5	20-50	500-700	Сохраняется
Выглаживание алмазное	1,25-0,04	0,01-0,3	10-60	500-700	Сохраняется
Поверхностная термическая обработка					
Закалка с нагревом ТВЧ	Не изменяется	0,2-10,0	-	900-800	Не сохраняется / HRC 40-70
Закалка с нагревом ТПЧ	Не изменяется	0,5-20,0	-	900-800	Не сохраняется / HRC 40-70
Химико-термическая обработка					
Цементация	Не изменяется	1-10	-	400-800	Не сохраняется / HRC 60-70
Борирование	Не изменяется	0,35-10	-	-	Не сохраняется / 225-385 HV
Хромирование	Ухудшается	0,2-0,02	-	-	Не сохраняется / 100-200 HV
Лазерная обработка					
Термообработка (легирование)	Ухудшается	1×10^{-2} (1×10^{-1})	-	-	Не сохраняется

Установлено, что электроискровое восстановление валков профилегибочного стана обеспечивает повышение их износостойкости в 1,8-2,0 раза.

Одним из действенных способов повышения срока службы валков является *диффузионное борирование*. Насыщение поверхности валков бором повышает их твердость и износоустойчивость в условиях абразивного изнашивания, жаростойкость и стойкость против коррозии. Существуют несколько приемов борирования [4]: в порошкообразных смесях (твердофазное); в жидкой среде; газовое; электролитическое.

При выборе метода борирования руководствуются его технологичностью, удобством осуществления процесса в промышленных условиях, экономической рентабельностью.

Борирование в порошкообразных смесях позволяет проводить насыщение поверхности изделий сложной конфигурации. При правильном выборе боросодержащей шихты получают качественные плотные покрытия необходимой глубины за сравнительно короткое время, хотя скорость насыщения при этом несколько ниже, чем в жидкой ванне. Использование в качестве боросодержащей смеси карбида бора с бурой (84 % B_4C и 16 % $Na_2B_4O_7$) позволяет получать равномерное и достаточно плотное покрытие. Метод не требует сложного оборудования (нагревательная печь и цементационный ящик) и специальных защитных мероприятий, легко осуществляется в производственных условиях.

Наибольший практический интерес представляет для борирования карбид бора (B_4C) или смесь карбида бора с бурой (84 % B_4C и 16 % $Na_2B_4O_7$). Последняя смесь предпочтительнее. При этом чем больше суммарная поверхность частиц, то есть чем они мельче, тем интенсивнее идет реакция и выше скорость насыщения [5].

В МГТУ им. Г.И.Носова выполнили твердофазное борирование бандажа валков профилегибочного стана (ПГС) 1-4х50-300 в порошке карбида бора. Работа выполнена под руководством д.т.н., проф. С.А. Тулупова и д.т.н., проф. А.Н. Завалищина.

Предварительно опыты проводили на плоских образцах из стали марки 9Х, которые укладывали в цилиндрический контейнер и заполняли его боросодержащим порошком с добавлением фторопласта в качестве активатора. Перед загрузкой в печь контейнер закрывали асбестовой прокладкой, на которую засыпали песок и наносили размельченную силикат-глыбу, выполняющую роль герметического плавного затвора. Температуру нагрева варьировали от 900 до 1000^0С. Контроль температуры осуществляли с помощью платиновой термопары. Борирование в карбиде бора происходило в результате взаимодействия B_4C с B_2O_3, содержащимся в техническом карбиде бора в количестве 2-3 весовых процента. При этом имело место восстановление B_2O_3 карбидом бора до B_2O_2 с выделением активного бора $B_2O_2 \rightarrow B_2O_3 + (B)_{Fe}$, что обусловливает процесс насыщения стали бором.

Контейнер с образцами охлаждали на воздухе. После чего плавный затвор разрушали и бандаж извлекали из контейнера. Такая технология отличается простотой, достаточно высокой скоростью борирования, хорошей воспроизводимостью и может быть легко внедрена в промышленное производство, имеющее стандартное термическое оборудование. Следует отметить, что карбид бора не спекается, поэтому облегчается извлечение обрабатываемых деталей и возможно повторное использование шихты. Многократное ее использование (до 20 раз) ведет к незначительному снижению активности. В связи с этим данный процесс экономически выгоден.

После охлаждения образцов изготовили шлифы, протравили их в азотной кислоте и определили глубину борированного слоя (табл. 2) Исследование показало:

– с повышением температуры скорость нарастания толщины борированного слоя растет;

– с увеличением времени выдержки наблюдается рост глубины слоя.

Таблица 2

Влияние условий борирования стали марки 9Х на глубину слоя

Время выдержки, час.	Глубина борированного слоя, мкм, при температурах, ^{0}С		
	900	950	1000
2	22,4	39,2	95,0
4	44,8	55,8	156,0
6	45,9	63,0	164,0
8	134,4	140,0	-

Временное сопротивление разрыву полученных образцов составило 21,0 кН/мм^2. Структура боридных слоев имеет характерное игольчатое строение; на образце, борированном при температуре 1000^{0}С, иглы достигают больших размеров – до 112 мкм. Также имеется в наличии «переходная зона» с отличной от сердцевины структурой, обогащенная углеродом и бором. Ее образование объясняется вытеснением углерода из зоны боридов и увеличением за счет этого его концентрации под боридным слоем. Наблюдения показали, что характер строения переходной зоны оказывает существенное влияние на работоспособность боридного слоя, на прочность связи его с основным металлом, на распределение внутренних напряжений и развитие усталостных явлений. Наилучший слой получается при борировании в течение 8 часов при температуре 950^{0}С: достаточно глубокий, не очень хрупкий, с высокой плотностью и твердостью ($\sigma_в$ = 21,7 кН/мм^2).

Для борирования выбраны цилиндрические элементы нижнего валка для формовки швеллерного профиля 80х50х4,0 мм, которые имели радиальный износ при профилировании 0,2-0,4 мм. Был изготовлен контейнер, цилиндрический корпус которого выполнен из жаропрочной стали. На данное устройство получен патент [6].

Борирование проводили в электропечи сопротивления СНО 3Х52/10И2. Температуру контролировали с помощью платиновой термопары, выводы ко-

торой соединены с потенциометром КСП3П. Режим борирования: температура 980^0С, время выдержки 7 час.

Проведено опытное профилирование швеллерного профиля 80х50х4,0 мм из стали марки Ст3пс на ПГС 2-8х100-600 ОАО «ММК». Сравнение результатов замера износа элементов валков, закаленных по обычной технологии и борированных после профилирования 750 т швеллера, показало, что стойкость борированных элементов валков была выше в 4,5 раза. При последующей обработке валков борированный слой толщиной до 0,15-0,17 мм не влияет на режим работы режущего инструмента (незначительно увеличивается время) при переточке бандажа (для ПГС 1-4х50-300).

В последнее время появилось много публикаций по различным способам напыления износостойких покрытий на валки прокатных станов.

Газопламенное напыление. Порошковый материал подается в пламя ацетилен-кислородной горелки, расплавляется и переносится сжатым воздухом на поверхность изделия, где, остывая, формирует покрытие. Метод прост в освоении и применении, может применяться как в ручном, так и в автоматизированном режиме. С помощью газопламенного напыления наносят износостойкие и коррозионно-стойкие покрытия из железных, никелевых, медных, алюминиевых, цинковых сплавов, баббитовые покрытия подшипников скольжения, электропроводные покрытия, электроизоляционные покрытия (рилсан), декоративные покрытия.

Плазменное напыление – процесс нанесения покрытия на поверхность изделия с помощью плазменной струи. В высокотемпературную плазменную струю подаётся распыляемый материал, который нагревается, плавится и в виде двухфазного потока направляется на подложку. При ударе и деформации происходит взаимодействие частиц с поверхностью основы или напыляемым материалом и формирование покрытия. Плазменная обработка позволила упрочнять поверхность конструкционных материалов. Плазменное напыление позволяет создавать новые композиционные материалы и покрытия, которые не могут быть получены другими методами.

Напыление с оплавлением – метод, позволяющий получать плотные износостойкие коррозионностойкие покрытия с высокой адгезией. Напыление покрытий выполняют установками газопорошкового напыления из самофлюсующихся металлических порошков.

Одним из современных методов повышения износостойкости прокатных валков является *детонационно-газовое напыление* – процесс нанесения покрытий на поверхность детали путем напыления порошкообразного материала продуктами сгорания, возникающими в результате направленного взрыва газовой смеси, при котором химическая энергия газов периодически освобождается в форме детонационных волн [7].

Метод позволяет получать наивысшее качество покрытий по сравнению с альтернативными способами напыления (газопламенное, плазменное) – практически беспористые покрытия с высоким уровнем адгезии с материалом основы, позволяет улучшать и даже полностью изменять поверхностные свойства деталей, получать заранее прогнозируемые свойства поверхности.

Для повышения износостойкости рабочих валков дрессировочной клети агрегата непрерывного горячего цинкования (АНГЦ) мы предлагаем наносить износостойкое покрытие детонационным методом, так как известно, что детонационно-газовое напыление наиболее эффективно увеличивает ресурс работы деталей машин и механизмов, работающих в условиях повышенных нагрузок, интенсивного изнашивания, воздействия высоких температур и агрессивных сред. Наносимый слой имеет твердость 1390 $HV_{0,3}$, что позволяет увеличить срок службы прокатных валков в 1,5-2,0 раза и тем самым значительно снизить себестоимость производимой продукции.

В Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК» в настоящее время проводятся исследования детонационного напыления на ролики листоправильных машин. Мы предлагаем аналогичное покрытие наносить на валки дрессировочной клети АНГЦ.

Для исследования процессов детонационного напыления выбрали основные факторы, влияющие на качество покрытия: расстояние от среза ствола

пушки до поверхности детали и скорость движения напыляемых частиц. Первоначально напыление проводили на стекло, качество покрытия определяли визуально с помощью микроскопа, на профилографе и измеряли микротвердость покрытия. Напыление на стекло позволяет увидеть границу раздела, глубину проникновения напыляемых частиц. А с помощью микротвердомера определили твердость покрытия в выбранной точке.

Напыление производили амперитом 517. Использовали пропан-бутановую смесь (от 15 до 28%) с кислородом, количество которого варьировали в пределах 22-28%. Порошок транспортировался аргоном (от 10 до 50%), частота выстрелов равна 2,6 в секунду. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерения микротвердости

Микротвердость, МПа					
Белая зона			Черная зона		
количество выстрелов					
1	5	10	1	5	10
12839	12839	13916	8762	16520	10510
7120	8574	-	8047	13916	11029
8955	8393	-	4746	-	-
5706	-	-	10264	7882	12508
9362	7882	-	5916	7882	-

Вид напыленной поверхности приведен на рис. 1.

В результате исследования установили, что на качество напыления влияют такие факторы, как режим работы пушки; скорость напыляемых частиц; стехиометрический состав газовой смеси, из-за которого качество покрытия снижается; распределение порошка в стволе пушки.



Рис. 1. Напыленная поверхность

К недостаткам метода можно отнести низкую производительность метода – за один «выстрел» получается покрытие толщиной 6 мкм (производительность установки 2-4 выстрела в секунду, рабочая толщина покрытия 0,25-0,30 мм). Из-за большого шума (до 140 дБ) оборудование для детонационного напыления приходится устанавливать в камере со звукоизолирующими стенами.

В результате проведенных испытаний не достигнуто необходимое упрочнение покрываемой поверхности при использовании карбидовольфрамового порошка.

Известен способ обработки роликов листоправильной машины, который включает предварительную подготовку поверхности ролика путем обдува его под давлением чугунной дробью фракции 180-200 мкм и нанесение двухслойного упрочняющего покрытия методом газодетонационного напыления. При этом внутренний слой покрытия наносят из порошка карбида вольфрама фракции 55-65 мкм с получением толщины внутреннего слоя 15-25 мкм, а внешний слой наносят из порошка меди с примесями не более 0,6% с получением толщины внешнего слоя 8-10 мкм. Использование абразивного обдува (кварцевым песком) подготавливаемой поверхности, а также применение при этой операции чугунной дроби фракцией менее 180 и более 200 мкм вызывало многочис-

ленные случаи отслаивания покрытия при его испытаниях на прочность сцепления с основой [8].

Поэтому данные исследования следует продолжить, варьируя коэффициенты трения и различные наносимые порошки.

Библиографический список

1. Производство и эксплуатация валков на металлургическом предприятии. Т.3. Обработка, восстановление и упрочнение валков / В.Ф.Рашников, А.А.Гостев, Н.Н.Огарков и др. Магнитогорск: МГТУ, 1999. С. 11-52.

2. Производство и эксплуатация валков на металлургическом предприятии. Т.4. Валковый инструмент для производства гнутых профилей / М.Ф.Сафронов, В.Г.Антипанов, Г.С.Гун, Н.Г.Шемшурова и др. Магнитогорск: МГТУ, 1999. С. 10-14.

3. Щекин В.М. Электроискровое восстановление валков профилегибочных станов // Гнутые профили проката: Отрасл. сб. науч. тр. Харьков: УКРНИИМет, 1980. Вып.8. С. 94-98.

4. Глухов В.П. Боридные покрытия в железе и сталях. Киев: Наукова думка, 1970.

5. Повышение стойкости валков и ужесточение режимов профилирования на профилегибочных станах ЛПЦ-7 ММК: Отчет по научно-исследовательской работе / Науч. руководит. С.А.Тулупов, отв. исполнит. Н.Г.Шемшурова. № гос. регистрации 80038210. Магнитогорск: МГМИ, 1981. 60 с.

6. Пат. 2395618 РФ. Устройство для борирования элементов профилегибочных валков / В.Г. Антипанов, В.Л. Корнилов, Н.Г. Шемшурова // БИМП. 2010. №21. С. 635.

7. Киселева Е.П. Исследование влияния детонационного напыления на стойкость прокатных валков // Актуальные вопросы развития науки: сб. статей

Международной научно-практической конф. (14 февраля 2014, г. Уфа). В 6 ч. Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. Ч.1 / отв. ред. А.А. Сукиасян. С. 72-74.

8. Пат. 2347008 РФ. Способ обработки ролика листоправильной машины / В.Г.Антипанов, В.Л.Носов, В.Л.Корнилов, Г.А.Куницын // БИПМ. 2009. №5. С. 942-943.