

далее – в бак 6 или направляется в систему подготовки известняковой суспензии.

В центрифугах гипс отделяется от воды, остаточное содержание которой не превышает 10 %, затем конвейером 18 направляется на склад. Отделенная в центрифугах вода ($pH = 4$) поступает в продувочную емкость 19 и оттуда – в нижнюю часть абсорбера.

Система подготовки суспензии известняка включает в себя бункер известняка 23 с измельчителем и бак 24 для приготовления промывочного раствора. В бак 24 подводится как свежая вода, так и вода из системы получения гипса ($pH = 4$).

Продувка системы (удаление сточных вод) осуществляется из линии после насоса рециркуляции.

Все емкости, в которых могут оказаться взвешенные вещества, снабжены перемешивающими устройствами для предотвращения образования отложений. Для предотвращения образования твердых трудноудаляемых отложений на стенках абсорбера часть мелких кристаллов гипса после центрифуги вместе с отделенной водой и непрореагировавшим известняком снова возвращаются в цикл и подается в нижнюю часть абсорбера. Эти мелкие частицы гипса, являясь центрами кристаллизации, уменьшают степень перенасыщенности промывочного раствора. Кроме того, внутренняя поверхность абсорбера постоянно орошается водой для смыва рыхлых отложений [1].

Полученный на установке гипс может быть использован для производства различных строительных материалов. Эффективность очистки газов от SO_2 может составить 90 – 95 %.

Полная стоимость установки составляет примерно 15 % от стоимости энергоблока, оборудованного сероочистной установкой. Эксплуатационные расходы электроэнергии достигают 2 % от мощности энергоблока. Потеря эксплуатационных затрат компенсируется за счет продажи гипса.

Выводы. Мокрый абсорбционный способ очистки дымовых газов от сернистого ангидрида с недорогим и недефицитным материалом в качестве сорбента может быть применен на теплоэлектростанциях, использующих в качестве топлива уголь, жидкое топливо или их смесь с максимальным содержанием серы в топливе 3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А л и е в Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. – М.: Металлургия, 2012. – 544 с.
2. К а л ы г и н В. Г. Промышленная экология: учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2010. – 432 с.

© 2014 г. А.К. Соловьев, В.О. Михеев,
П.С. Пуликов

Поступила 12 сентября 2014 г.

УДК 621.791

Г.Н. Вострецов, Т.А. Бич, Л.П. Бащенко

Сибирский государственный индустриальный университет

ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ В СРЕДЕ АЗОТА

Валки холодной прокатки работают в условиях одновременного действия остаточных, контактных, изгибающих напряжений, тепловых нагрузок и крутящего момента, поэтому рабочий слой валков должен обладать высокими прочностью, вязкостью, износостойкостью, теплостойкостью и твердостью. Наиболее полно всем этим требованиям отвечают теплостойкие инструментальные стали высо-

кой твердости, которые сочетают теплостойкость (600 – 700 °С) с высокой твердостью (HRC 63 – 68) и повышенным сопротивлением пластической деформации [1].

Таким образом, весьма актуальной задачей является разработка и применение наплавочных материалов на основе теплостойких инструментальных сталей. Причем в зависимости от конкретных условий работы валков должен разра-

бываться материал с определенными доминирующими свойствами. Например, для наплавки рабочего слоя валков холодной прокатки вольфрама и молибдена необходима высокая твердость, а для наплавки рабочего слоя валков прокатки керамической пленки – высокая износостойкость наплавленной поверхности [2].

В результате анализа условий эксплуатации прокатных валков и требований, предъявляемых к рабочей поверхности, можно сформулировать следующие основные принципы разработки наплавочных материалов:

- создание наплавленного слоя, соответствующего требованиям полного комплекса необходимых свойств (твердости, теплостойкости, износостойкости и прочности);
- оптимизация составов наплавочных материалов в зависимости от конкретных вариантов применения;
- технологичность разрабатываемых наплавочных материалов.

Целью работы является исследование влияния основных легирующих элементов на твердость наплавленного теплостойкого металла. Для достижения поставленной задачи первоначально по экспериментальным и литературным данным [1, 3] была определена область исследования, а потом с применением методов планирования эксперимента и метода крутого восхождения по поверхности отклика функцией рассчитан оптимальный состав порошковой проволоки.

Определение твердости образцов проводили сразу после плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота и после отпуска (вторичная твердость). Режимы отпуска: температура нагрева 560 °С; время выдержки 1 час. Результаты исследования приведены на рис. 1 (здесь и далее обозначение химического элемента соответствует содержанию этого элемента).

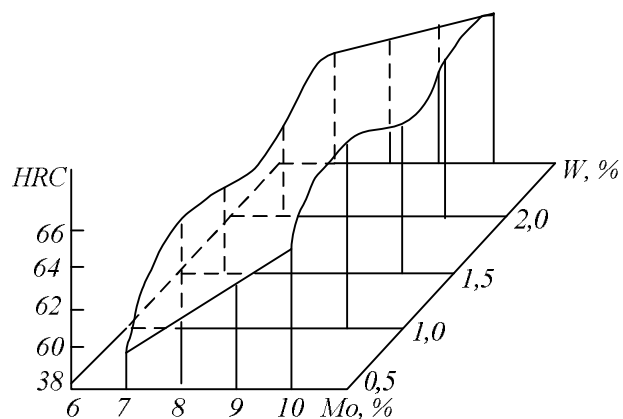


Рис. 1. Изменение вторичной твердости в зависимости от содержания вольфрама и молибдена в порошковой проволоке (содержание углерода 0,8 %)

Для оценки влияния факторов получено регрессионное уравнение

$$HRC = 42,25 \cdot 5C + 5,37W + 1,82Mo - 0,49W \cdot Mo. \quad (1)$$

В относительных координатах это уравнение можно записать в следующем виде (рис. 2):

$$\frac{\Delta HRC}{HRC} = 0,062 \frac{\Delta C}{C} + 0,026 \frac{\Delta W}{W} + 0,145 \frac{\Delta Mo}{Mo} - 0,001 \frac{\Delta W}{W} \frac{\Delta Mo}{Mo}. \quad (2)$$

Для соблюдения требования отклонения твердости от среднего значения HRC 65 в пределах $HRC \pm 1$ (рис. 2) можно варьировать соотношением значений $\Delta C/C = 25\%$, $\Delta W/W = 57\%$ и $\Delta Mo/Mo = 10\%$. По проведенным расчетам в данном диапазоне концентраций легирующих элементов в теплостойких сталях при выполнении условия сохранения твердос-

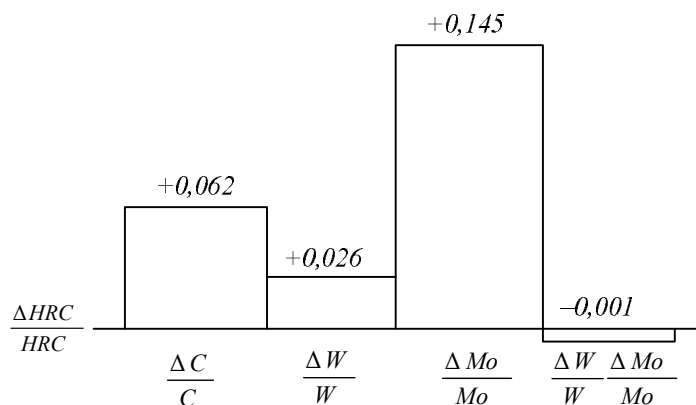


Рис. 2. Влияние отклонения содержания легирующих элементов от оптимального на изменение вторичной твердости наплавленного металла

ти вольфрама можно частично заменить молибденом

$$W = (1,1 \div 1,2) \% \text{ Mo.} \quad (3)$$

Получение качественного наплавленного металла при плазменной наплавке в защитно-легирующей газовой смеси без пор, трещин и других дефектов обеспечивается введением в шихту для производства порошковой проволоки определенных добавок. Например, фтор- и хлорсодержащие компоненты и алюминий снижают вероятность образования пор [4]. Дополнительно эти компоненты шихты могут влиять на формирование фазового состава, структуру и свойства наплавленного металла. При изменении содержания алюминия в шихте порошковой проволоки можно определить его оптимальное содержание, исходя из условия получения качественного металла с максимально возможно высокой твердостью.

В настоящей работе содержание алюминия в наплавленном металле изменяли в пределах 0 – 3,0 %, азота – в пределах 0,06 – 0,08 %. Алюминий добавляли в шихту порошковой проволоки в количестве до 6 %. Легирование азотом наплавленного металла проводили из газовой фазы в результате использования азотосодержащей защитной газовой среды.

Микрорентгеноспектральный качественный и количественный анализ образцов наплавленного металла выполняли на установке «Comebaх-micro», а рентгеноструктурный – на установке ДРОН-2,0. В результате микрорент-

геноспектрального анализа установлено, что алюминий в наплавленном металле находится либо в виде соединений предположительно нитридов или комплексных оксидов металлов, либо в виде твердого раствора (рис. 3, 4). Размеры включений находятся в пределах 6 – 12 мкм, что позволяет сделать предположение об их дополнительном вкладе в процесс упрочнения наплавленного металла. Содержание алюминия в твердом растворе и во включениях определяли на площади 2×2 мкм с шагом съемки 5 мкм. Линию сканирования зонда выбирали таким образом, чтобы попало хотя бы одно крупное включение (рис. 3).

В результате исследования влияния содержания алюминия в наплавленном в азоте металле типа P2M8 установлено, что максимальный прирост вторичной твердости HRC 1,5 – 2,0 наплавленного металла достигается при содержании алюминия в порошковой проволоке до 1,0 – 1,2 % (рис. 5). Вероятно, в этом диапазоне концентраций алюминия доминируют процессы дисперсионного упрочнения. Дальнейшее увеличение содержания алюминия в наплавленном металле приводит к резкому снижению твердости после наплавки и способности металла к упрочнению при отпуске. Такое снижение твердости обусловлено увеличением количества относительно «мягкой» структурной составляющей – высокотемпературного δ -феррита (HV около 3000 МПа) [5]. Увеличение количества высокотемпературного δ -феррита приводит к уменьшению количества появляющегося при более низких

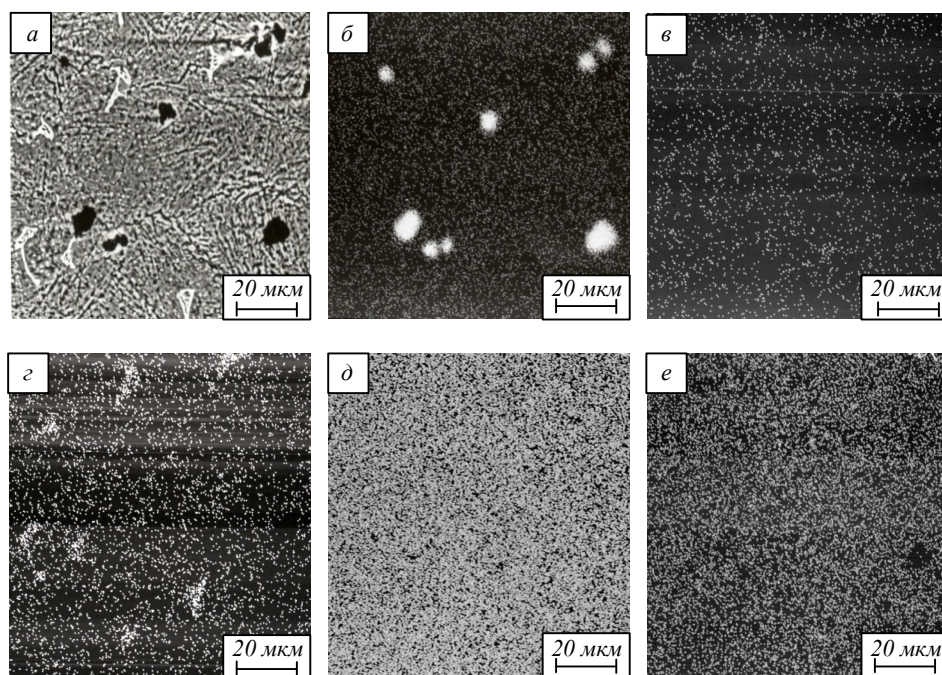


Рис. 3. Структура характерного участка, наплавленного в азоте металла типа P2M8 (а), и характер распределения на этом участке алюминия (б), вольфрама (в), молибдена (г), железа (д) и хрома (е) (электронная микроскопия)

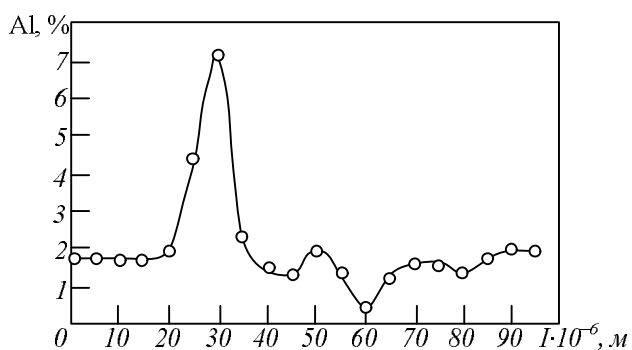


Рис. 4. Характерное распределение алюминия в микро-объеме наплавленного в азоте металла типа P2M8

температурах аустенита. Таким образом, снижение вторичной твердости (рис. 5, а, кривая 2) при увеличении содержания алюминия в твердом растворе более 0,8 – 1,0 % связано с увеличением количества δ -фазы вместо α -фазы. В этом случае процессы разупрочнения доминируют над процессами дисперсионного упрочнения и процессами упрочнения, связанными с мартенситным превращением аустенита при отпуске на вторичную твердость.

В результате исследования были разработаны составы порошковых проволок на основе теплостойких инструментальных сталей высокой твердости для плазменной наплавки в защитно-легирующей среде азота (см. таблицу). Разработанные порошковые проволоки использованы при плазменной наплавке в защитной среде азота прокатных валков (рис. 6).

Выводы. Установлена регрессионная зависимость между содержанием углерода, вольфрама, молибдена и алюминия и вторичной твердостью наплавленного в среде азота теплостойкого металла. Исходя из условия сохранения высокой твердости наплавленного металла, вольфрам в порошковой проволоке можно заменить молибденом в соотношении $Mo/W = 1,0/(1,1 \div 1,2)$. Оптимальным с точки зрения получения максимальной вторичной твердости при плазменной наплавке в среде азота является содержание алюминия в наплавленном металле в пределах 0,8 – 1,0 %

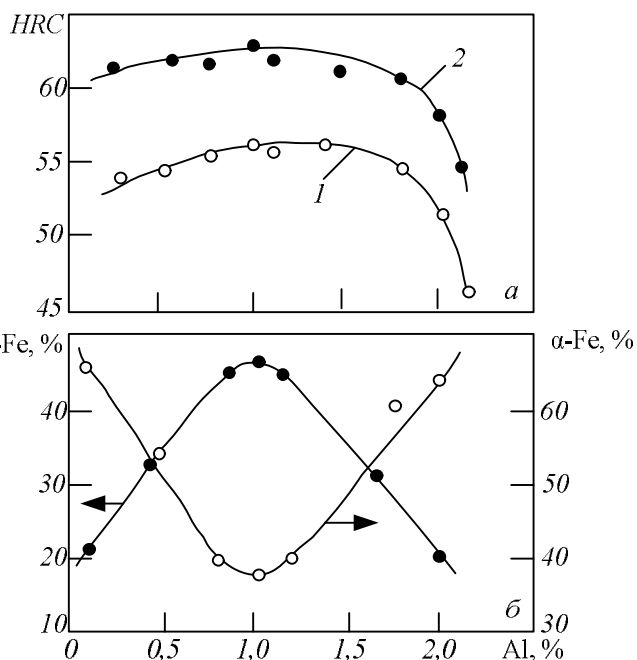


Рис. 5. Влияние содержания алюминия в наплавленном металле типа P2M8 на его твердость (а) после наплавки (1) и после отпуска (2) и фазовый состав (б)

(около 2,0 % в порошковой проволоке). Разработаны составы порошковых проволок для плазменной наплавки теплостойкими инструментальными сталями и наплавлены опытные партии прокатных валков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
2. Малюшин Н.Н., Зубков Н.С. Анализ работоспособности наплавленных рабочих валков стана холодной прокатки // Изв. вуз. Черная металлургия. 1989. № 10. С. 62 – 65.
3. Пат. РФ № 2492982. Шихта порошковой проволоки / Козырев Н.А., Вострецов Г.Н., Шурупов В.М. Вострецова Т.Г. Заявл. 05.03.2012 г. Опубл. 20.09.2013 г.

Содержание основных легирующих элементов в наплавленном теплостойком металле

Марка	Содержание (среднее) элементов, %						HRC	
	C	W	Mo	Cr	V	Al	после наплавки	вторичная
ПП-P0M8	0,85	–	8,5	4,0	0,4	2,0	57	60 – 62
ПП-P2M8	0,85	1,5	8,5	4,0	0,4	2,0	56	63 – 65
ПП-P6M5	0,8	6,0	5,0	4,0	0,4	2,0	56	64 – 66

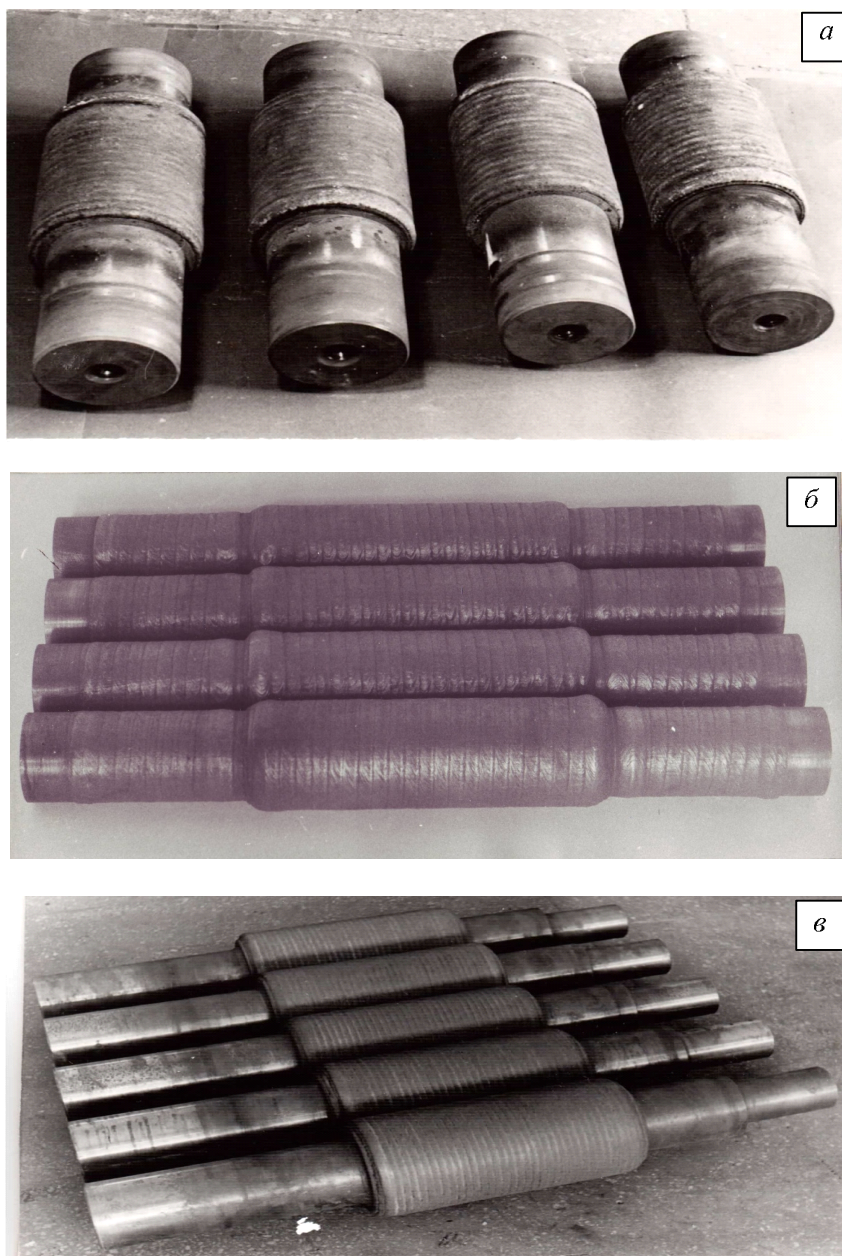


Рис. 6. Напавленные детали:

a – валки для прокатки керамической пленки; *б* – напавленные рабочие валки стана 4/55-200 холодной прокатки электро-технической стали; *в* – валки холодной прокатки стана «425»

4. В о с т р е ц о в Г.Н., К о з ы р е в Н.А., В о с т р е ц о в а Т.Г. Восстановительная плазменная наплавка теплостойкими инструментальными сталями деталей металлургического оборудования. – В кн.: Сб. докладов 14-й Международной научно-практической конференции. – Санкт-

Петербург: изд. Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та, 2012. С. 37 – 41.

5. М е с ь к и н В.С. Основы легирования стали. – М.: Металлургия, 1964. – 684 с.

© 2014 г. Г.Н. Вострецов, Т.А. Бич,
Л.П. Бащенко
Поступила 9 сентября 2014 г.