



# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

**И. А. РЯБЦЕВ, И. А. КОНДРАТЬЕВ, В. Г. ВАСИЛЬЕВ**, кандидаты техн. наук,  
**В. А. ЖДАНОВ, А. А. БАБИНЕЦ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы структура и эксплуатационные свойства наплавленного металла, предназначенного для упрочнения и восстановления прокатных валков различного назначения. Наиболее высокую теплостойкость, горячую твердость и износостойкость при трении металла по металлу при высоких температурах имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН132, однако у него самая низкая термостойкость. Наилучшую термостойкость имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН130, хотя по ряду показателей он уступает другим материалам. Металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН147, по всем показателям занимает промежуточное положение.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, прокатные валки, порошковые проволоки, наплавленный металл, микроструктура, износостойкость, термостойкость, теплостойкость

В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны порошковые проволоки ПП-АН130 (система легирования Fe–C–Cr–Mo–V), ПП-АН132 (Fe–C–Cr–W–Mo–V) и ПП-АН147 (Fe–C–Cr–Mo–Ni–V), используемые при дуговой наплавке инструментов и оснастки для горячей обработки металлов давлением, в частности, прокатных валков различного назначения [1]. В отдельных публикациях [2–4] приведены данные о структуре и некоторых свойствах металла, наплавленного этими проволоками. Однако зачастую эти испытания проводили по различным методикам и в разном объеме, поэтому не представлялось возможным достаточно объективно оценить достоинства того или иного типа наплавленного металла и дать обоснованные рекомендации по его применению. В данной статье изложены обобщенные результаты по изучению структуры металла, наплавленного этими проволоками, а также его эксплуатационных свойств, полученных при испытаниях в одинаковых условиях и по одним и тем же методикам.

Для изучения структуры и свойств наплавленного металла каждой из трех порошковых проволок в четыре-пять слоев были наплавлены заготовки, из которых вырезаны образцы для металлографических исследований, исследований теплостойкости, термостойкости, горячей твердости и износостойкости при трении металла по металлу при высоких температурах.

Известно, что структура и свойства наплавленного металла существенно зависят от скорости его охлаждения в области температур наименьшей устойчивости аустенита. Дуговая наплавка

прокатных валков, которые обычно изготавливают из углеродистых и высокоуглеродистых сталей, производится с предварительным подогревом до 300...350 °С и замедленным охлаждением в печи или термостате. Опытным путем установлено, что при наплавке без подогрева и охлаждении на спокойном воздухе скорость охлаждения наплавленных деталей составляет примерно 3,0...4,0 °С/с, а при наплавке с подогревом и замедленным охлаждением в печи или термостате — около 0,018...0,020 °С/с. Исходя из этого исследована структура наплавленного металла трех типов после нагрева до 950 °С и охлаждения — соответственно со скоростью 0,018 и 3,0 °С/с. Исследования проводили на dilatометре Шевенара, который обеспечивает охлаждение образцов с такими скоростями.

Установлено, что в металле, наплавленном порошковой проволокой ПП-АН130, при скоростях охлаждения 0,018 и 3,0 °С/с наблюдается сначала бейнитное, а затем мартенситное превращение. Отличие заключается в том, что при меньшей скорости охлаждения количество бейнита больше, а твердость наплавленного металла меньше. В итоге структура наплавленного металла этого типа при двух скоростях охлаждения состоит из мартенсита, бейнита, остаточного аустенита и карбидов (рис. 1, а, б). Твердость наплавленного металла HRC 44...47.

В металле, наплавленном порошковой проволокой ПП-АН132, при скорости охлаждения 0,018 °С/с вначале наблюдается бейнитное, после которого идет мартенситное превращение. При скорости охлаждения выше 3,0 °С/с вследствие более высокого содержания углерода и легирующих элементов (по сравнению с проволокой ПП-АН130) идет только мартенситное превращение.

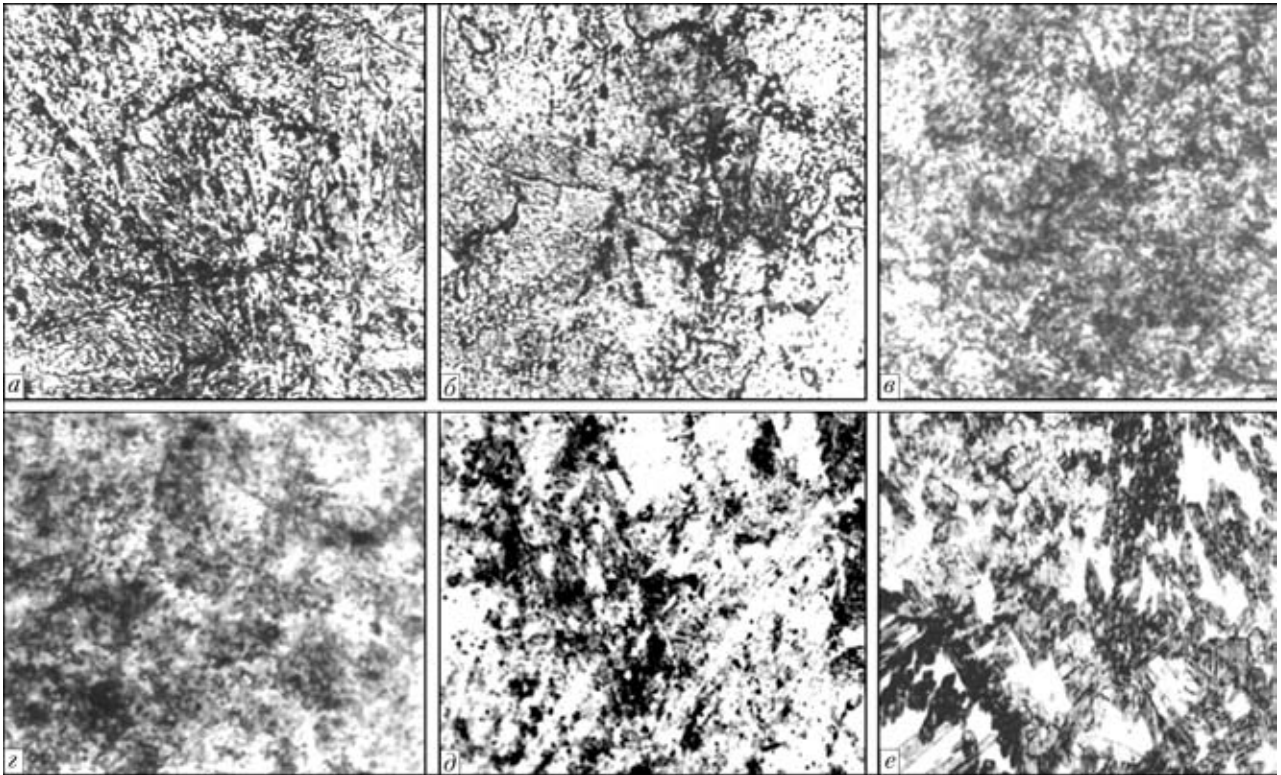


Рис. 1. Микроструктуры (X500) металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-АН130 (а, б), ПП-АН132 (в, з), ПП-АН147 (д, е): а, в, д — скорость охлаждения 3,0; б, з, е — 0,018 °C/c

Твердость наплавленного металла этого типа *HRC* 48...50, структура — мартенсит, остаточный аустенит, карбиды и небольшое количество бейнита (рис. 1, в, з).

В металле, наплавленном порошковой проволокой ПП-АН147, при данных скоростях охлаждения также наблюдается бейнитное и мартенситное превращения. Микроструктура наплавленного металла после охлаждения представляет собой мартенсит, бейнит и остаточный аустенит с карбидами (рис. 1, д, е). Твердость наплавленного металла *HRC* 46...49.

Исследованы свойства наплавленного металла трех типов.

**Теплостойкость.** Это способность стали сохранять при нагреве рабочей кромки в процессе эксплуатации структуру и свойства, необходимые для деформирования или резания. Теплостойкость штамповых сталей обычно характеризуется температурой двухчасового отпуска, после которого твердость составляет *HRC* 40 [5]. Для исследования теплостойкости изготовлено по девять образцов каждого типа наплавленного металла размерами 15×20×20 мм. Сначала образцы подвергали двухчасовому отпуску при температурах в интервале 200...700 °C. После остывания наплавленную поверхность образцов шлифовали и определяли твердость (рис. 2).

Установлено, что все типы наплавленного металла характеризуются достаточно высокой теплостойкостью — 630...650 °C. Однако наилуч-

шую теплостойкость имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН132. Характер кривой у него такой же, как и у металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-АН130. Отличие заключается лишь в том, что снижение твердости у этого типа наплавленного металла начинается при более высоких температурах отпуска.

У всех трех типов наплавленного металла отмечается небольшое увеличение твердости в результате отпуска в температурном интервале 500...550 °C. Эффект вторичного твердения наблюдается вследствие распада остаточного аустенита с образованием мартенсита и карбидов, что и ведет к увеличению твердости.

**Износостойкость при трении металла по металлу при повышенных температурах.** Известно, что в процессе горячей обработки металлов и сплавов (прокатка, ковка, штамповка) удельное давление металла на инструмент может быть весьма значительным и по некоторым данным достигает 300...500 МПа. В очаге деформации всегда имеет место скольжение металла в результате его вытяжки, что наряду с высокими удельными давлениями приводит к износу рабочей поверхности инструмента при трении металла по металлу при повышенных температурах. Поэтому определение износостойкости наплавленного металла в этих условиях имеет важное значение.

К основным параметрам испытаний относят величину удельного давления на испытываемый об-

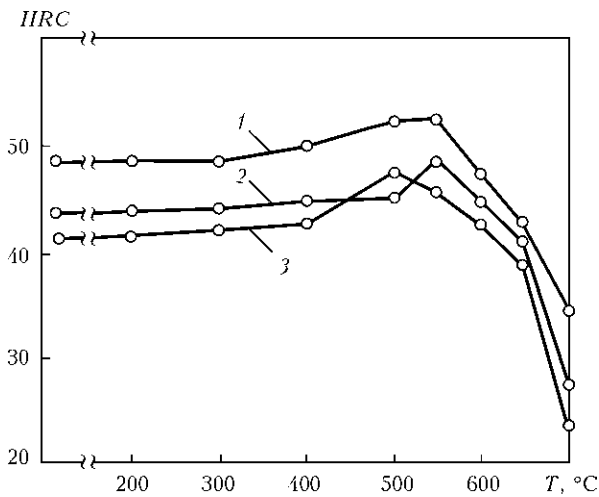


Рис. 2. Зависимость твердости металла, наплавленного различными порошковыми проволоками, от температуры отпуска: 1 — ПП-АН132; 2 — ПП-АН147; 3 — ПП-АН130

разец, температуру нагрева и охлаждения образца, скорость относительного перемещения трущихся элементов (скорость трения), вид материала истирающего кольца. Лабораторные испытания на износ при трении металла по металлу при повышенных температурах по схеме кольцо – плоскость проводили на универсальной испытательной установке [6]. Для этого из наплавленных заготовок изготавливали образцы размерами 40×10×17 мм, толщина наплавленного слоя при этом составляла 8...10 мм. Во время испытаний образец наплавленной плоскостью прижимали к вращающемуся кольцу-контртелу, которое нагревали газовой горелкой. Кроме того, образец совершает возвратно-поступательные перемещения в вертикальной плоскости, скользя по поверхности вращающегося кольца-контртела. Условия испытаний следующие: нагрузка 800 Н (удельное давление около 100 МПа); скорость вращения

кольца-контртела 30 об/мин; амплитуда колебаний образца в вертикальной плоскости 20 мм, частота колебаний 62 мин<sup>-1</sup>; температура образца в зоне истирания 600 °С; время испытаний 1 ч. В качестве контртела использовали кольца диаметром 120 мм из стали 45.

Скорость трения в экспериментах составляла 20...22 м/мин, что отвечает наиболее применяемым в промышленности режимам при горячей деформации металлов. Истирающее кольцо нагревали газокислородным пламенем. Благодаря строго определенному расходу горючего газа и кислорода температуру истирающего кольца поддерживали постоянной — 950...980 °С, а температуру кольца периодически контролировали с помощью оптического пирометра.

Результаты испытаний на износ при трении металла по металлу при повышенных температурах приведены на рис. 3, а. Наименьший износ имел металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН132, наибольший — порошковой проволокой ПП-АН130. Лучшую износостойкость наплавленного металла первого типа, по-видимому можно объяснить более высоким содержанием углерода и легирующих элементов и его более высокой теплостойкостью и твердостью.

**Термостойкость.** Это важнейшее свойство, которое характеризует устойчивость наплавленного металла против образования трещин разгара при многократном повторении циклов нагрев-охлаждение. Как правило, долговечность инструментов для горячей деформирования металлов в первую очередь зависит от этого свойства [1, 7, 8].

Методика испытаний на термостойкость должна предусматривать оптимальные размеры и форму наплавленного образца; температуру и скорости его нагрева и охлаждения, близкие к этим

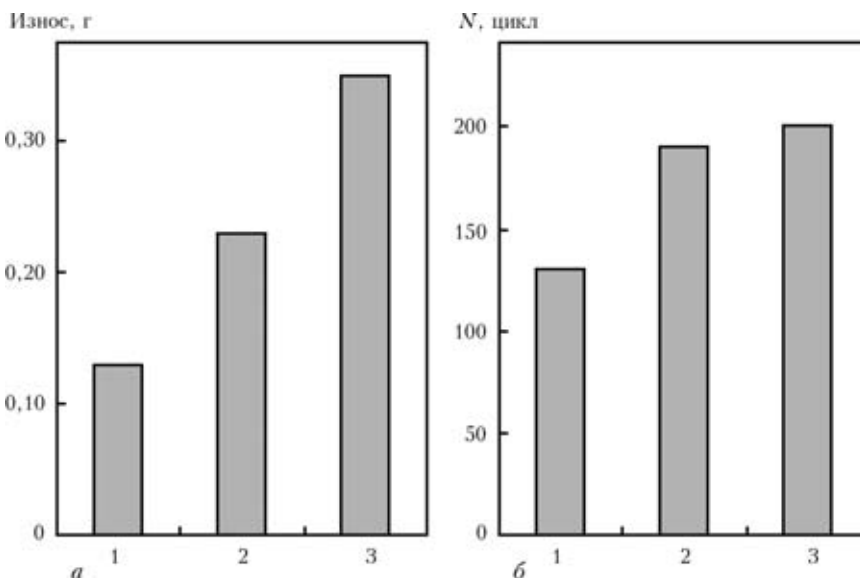


Рис. 3. Износ при трении металла по металлу при повышенных температурах (а) и термостойкость (б) металла, наплавленного различными порошковыми проволоками: 1 — ПП-АН132; 2 — ПП-АН147; 3 — ПП-АН130

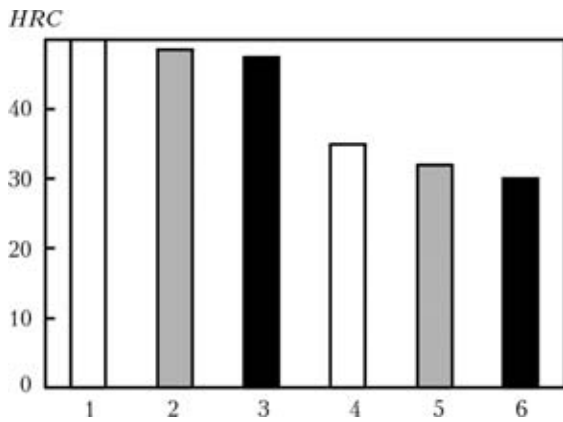


Рис. 4. Твердость металла, наплавленного различными порошковыми проволоками, при температурах 20 (1–3) и 600 °С (4–6): 1, 4 — ПП-АН132; 2, 5 — ПП-АН147; 3, 6 — ПП-АН130

показателям для наплавливаемых деталей и т. д. Для оценки термостойкости материалов, используемых для наплавки инструментов для горячего деформирования металлов, образец должен иметь достаточную массу, чтобы в процессе его поверхностного нагрева был обеспечен градиент температур и напряжений, имитирующий натурные условия.

Испытания на термостойкость наплавленного металла проводили на установке для комплексной оценки свойств наплавленного металла [6]. Для этого из наплавленных заготовок вырезали образцы размером 30×40×40 мм, наплавленную поверхность образцов шлифовали. Образец устанавливали в державку испытательной установки шлифованной поверхностью вверх, которую нагревали газопламенным резаком. Равномерный нагрев получали на пятне нагрева диаметром 15...20 мм. Нагрев продолжали 11 с, охлаждение мощной струей воды — 8 с. После стабилизации условий испытания максимальная температура образца в пятне нагрева составляла 650...700, при охлаждении — 60...80 °С. Термостойкость оценивали по количеству циклов нагрев-охлаждение поверхности наплавленного образца до появления сетки разгара, видимой невооруженным взглядом (рис. 3, б).

Лучшую термостойкость имел металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН130, несколько уступал ему металл, наплавленный проволокой ПП-АН147. Хуже была термостойкость у металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-АН132.

Как известно [5], на термическую усталость отрицательно влияет структурная неоднородность сталей: присутствие карбидных (интерметаллидных) избыточных фаз, необходимых для повышения тепло- и износостойкости. Термостойкость начинает заметно снижаться, если их количество превышает 10...12 %. По-видимому, этим можно объяснить пониженную термостойкость металла,

наплавленного порошковой проволокой ПП-АН132.

**Горячая твердость.** В условиях эксплуатации инструмента для горячего деформирования металла большое значение имеет твердость металла при повышенных температурах (горячая твердость). Сопротивляемость износу материала зависит от его противостояния пластической деформации, т. е. твердости при повышенных температурах и способности материала длительно сохранять твердость. Как правило, высоким сопротивлением износу при повышенных температурах характеризуются стали, содержащие молибден, вольфрам, хром, ванадий, при этом исходная твердость при комнатной температуре не имеет большого значения.

Исследована горячая твердость наплавленного металла выбранных типов. Нагрев образцов проводили в специальном индукторе в вакууме, замеры твердости — при нагрузке 1 кг, выдержка под нагрузкой 60 с. Как указывалось в работе [7], температура прокатных валков в очаге деформации составляет 600...650 °С, поэтому горячую твердость наплавленного металла определяли при этой температуре и для сравнения при 20 °С (рис. 4).

Наплавленный металл всех трех типов имеет примерно одинаковую твердость при комнатной температуре. Твердость при высокой температуре различается в большей степени: металл, наплавленный проволокой ПП-АН132, имеет твердость на уровне HRC 35; проволокой ПП-АН147 — HRC 32; проволокой ПП-АН130 — HRC 30.

Таким образом, наилучшую термостойкость, горячую твердость и износостойкость при трении металла по металлу при высоких температурах имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН132, однако у него самая низкая термостойкость. Наилучшую термостойкость имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН130, хотя по другим эксплуатационным свойствам он уступает двум другим типам наплавленного металла. Металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН147, по всем эксплуатационным показателям занимает промежуточное положение.

## Выводы

1. Исследования микроструктуры металла, наплавленного порошковыми проволоками ПП-АН130, ПП-АН132 и ПП-АН147, показали, что при имитации термического цикла дуговой наплавки прокатных валков (предварительный подогрев и замедленное охлаждение после наплавки) структура всех трех типов наплавленного металла состоит из мартенсита, бейнита, остаточного аустенита и карбидов в различном соотношении. У всех трех типов наплавленного металла отмечается небольшое увеличение твердости в результате отпуска в



температурном интервале 500...550 °С. Вторичное твердение происходит вследствие распада остаточного аустенита с образованием мартенсита и карбидов, что и ведет к увеличению твердости.

2. Исходя из свойств наплавленного металла, порошковую проволоку ПП-АН130 можно рекомендовать для наплавки валков блюмингов и слябингов и черновых клетей листовых и штрипсовых станов, в которых происходит деформация металла, нагретого до наиболее высоких температур. Порошковую проволоку ПП-АН132 целесообразно использовать для наплавки прокатных валков предчистовых и чистовых клетей, в которых деформация металла идет при относительно невысоких температурах и нет необходимости в высокой термостойкости наплавленного металла, а более существенную роль играют его износостойкость и горячая твердость. Порошковую проволоку ПП-АН147, которая имеет наиболее благоприятное сочетание всех эксплуатационных свойств, можно рекомендовать для нап-

лавки тяжело нагруженных валков черновых клетей трубо- и сортопрокатных станов.

1. *Рябцев И. А., Кондратьев И. А.* Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования. — Киев: Екотехнология, 1999. — 62 с.
2. *Кондратьев И. А., Лазаренко Ю. Н.* Опыт применения порошковой проволоки большого диаметра для механизированной наплавки // Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавочные материалы. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1978. — С. 12–14.
3. *Повышение срока службы и стойкости прокатных валков методами наплавки / И. И. Фрумин, Г. В. Ксендзык, И. А. Кондратьев, П. В. Гладкий // Черн. металлургия. — 1986. — Вып. 7. — С. 11–19.*
4. *Рябцев И. А., Кусков Ю. М., Кондратьев И. А.* Дуговая и электрошлаковая наплавка валков прокатных станов // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 7–10.
5. *Геллер Ю. А.* Инструментальные стали. — М.: Металлургия, 1983. — 527 с.
6. *Рябцев И. И., Черняк Я. П., Осин В. В.* Блочная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. — 2004. — № 1. — С. 18–20.
7. *Фрумин И. И.* Автоматическая электродуговая наплавка. — Харьков: Металлургиздат, 1961. — 421 с.
8. *Тылкин М. А.* Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. — М.: Металлургия, 1971. — 608 с.

Structure and service properties of the deposited metal designed for strengthening and reconditioning of various-purpose rolling rolls have been studied. Metal deposited with PP-AN132 flux-cored wire has the highest heat resistance, hot hardness and wear resistance at metal-on-metal friction at high temperatures; however, it has the lowest thermal stability. Metal deposited with PP-AN130 flux-cored wire has the highest thermal stability, although it is inferior to other materials as to other indices. Metal deposited with PP-AN147 flux-cored wire takes an intermediate position by all the indices.

Поступила в редакцию 18.01.2010

## НАНОТВЕРДОСТЬ И СОВРЕМЕННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ

Международная научно-техническая  
и научно-методическая конференции

10–11 октября 2010

г. Харьков ХНАДУ (ХАДИ)

### Тематика конференции:

- ✓ актуальные проблемы определения нанотвердости материалов
- ✓ современные технологии получения и методы исследования наноструктурных слоев и покрытий
- ✓ использование нанотехнологий для повышения конструктивной прочности деталей машин
- ✓ нанотехнологии в содержании инженерных и специальных дисциплин, методические особенности их преподавания
- ✓ конструкционные функциональные наноматериалы (методы исследования и результаты)

По вопросам участия в конференции,  
опубликования докладов обращаться по тел. (057) 700-38-75; (057) 707-37-29;  
E-mail: [mvi@knadi.kharkov.ua](mailto:mvi@knadi.kharkov.ua)