

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА, НАПЛАВЛЕННОГО ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С ШИХТОЙ ИЗ ПЕРЕРАБОТАННЫХ МЕТАЛЛОАБРАЗИВНЫХ ОТХОДОВ

И.П. ЛЕНТЮГОВ, И.А. РЯБЦЕВ

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Разработана технология переработки отходов шлифования металлорежущего инструмента с использованием электрошлакового передела, позволяющая получать лигатуру определенного химического состава. Исследована структура и износостойкость металла одинакового химического состава, наплавленного двумя опытными порошковыми проволоками. Шихта одной из проволок была приготовлена из лигатуры, полученной после переработки отходов, шихта второй была приготовлена из соответствующих ферросплавов. Исследования показали, что металл, наплавленный обеими порошковыми проволоками, имел похожие структуры и примерно одинаковую износостойкость. Установлено, что лигатура, полученная путем утилизации отходов заточного производства с успехом может использоваться в качестве шихты в наплавочных порошковых проволоках. Библиогр. 4, табл. 3, рис. 3.

Ключевые слова: металлоабразивные отходы, переработка отходов; порошковые проволоки, наплавочные материалы, структура наплавленного металла, износостойкость

Переработка отходов, которые образуются в процессе абразивной обработки металлорежущего инструмента или при скоростном шлифовании слитков высоколегированных сталей, является одним из перспективных направлений в современном промышленном производстве. Эти отходы состоят из окисленной металлической микростружки в смеси с абразивными частичками и остатками смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) [1, 2]. При этом металлическая микростружка содержит важные легирующие элементы — хром, вольфрам, ванадий, молибден и др., и их переработка и утилизация представляют интерес не только с экологической точки зрения. В частности, продукты переработки таких отходов могут использоваться в качестве шихты в наплавочных порошковых проволоках [3].

В ИЭС им. Е.О. Патона разработана технология переработки отходов шлифования металлорежущего инструмента с использованием электрошлакового передела [3]. Для избавления от СОЖ предусмотрено прокаливание металлоабразивных отходов при температуре 200...400 °С. В процессе прокаливания отходы могут окомковываться, поэтому после прокаливания необходимо выполнить измельчение образовавшихся комков. Последую-

щая магнитная сепарация позволяет отсортировать металлическую составляющую отходов.

Электрошлаковый передел металлической составляющей отходов выполняли в медном кристаллизаторе с использованием нерасходуемого графитового электрода. В результате передела получили слитки лигатуры определенного химического состава. При отработке технологии было установлено, что для обеспечения устойчивости процесса электрошлакового передела и максимального выхода качественной лигатуры удельная мощность должна составлять не менее 100 Вт/см², а скорость подачи шлама должна находиться в пределах 2...3 кг/мин.

В табл. 1 приведен химический состав отходов на каждой стадии их переработки.

Высокая концентрация кремния в отходах объясняется тем, что в них попадает карбид кремния из абразивных кругов. Предварительная магнитная сепарация отходов позволяет существенно понизить содержание кремния. После электрошлакового передела содержание кремния в лигатуре снижается до минимума. Известно, что карбид кремния может восстанавливать оксиды большинства других металлов, входящих в состав отходов, в результате чего образуется диоксид кремния, ко-

Таблица 1. Химический состав металлоабразивных отходов и полученной из них лигатуры, мас. %

| Материал | C | Si | Cr | Mo | V | W | Co | S |
|--------------------------|-----|------|-----|-----|------|------|------|-------|
| Металлоабразивные отходы | 1,8 | 15,6 | 1,4 | 0,8 | 0,85 | 5,89 | 0,32 | 0,039 |
| Отходы после сепарации | 1,7 | 8,00 | 3,2 | 1,2 | 1,00 | 8,00 | 0,30 | 0,034 |
| Лигатура | 4,9 | 0,23 | 2,7 | 2,6 | 0,63 | 9,88 | 0,20 | 0,080 |

Таблица 2. Химический состав металла, наплавленного опытными порошковыми проволоками, мас. %

| Порошковая проволока | C | Si | Cr | Mo | V | W | Co | S | Твердость |
|----------------------|------|------|------|------|-----|-----|-------|-------|-----------|
| ПП-Оп-1 | 1,68 | 0,50 | 1,52 | 0,85 | 0,2 | 3,0 | 0,13 | 0,012 | 50...52 |
| ПП-Оп-2 | 1,80 | 0,67 | 1,75 | 1,07 | 0,3 | 3,2 | следы | 0,015 | 50...53 |

торый при электрошлаковом переплаве легко удаляется в шлак.

Были проведены сравнительные исследования микроструктуры и триботехнических свойств металла, наплавленного двумя порошковыми проволоками: в шихте одной из проволок использовалась опытная лигатура, полученная из металлоабразивных отходов; шихта второй проволоки состояла из соответствующих ферросплавов. Предполагалось, что химический состав и твердость металла, наплавленного обеими типами порошковых проволок, должны быть достаточно близкими.

Для выполнения этой задачи из металлоабразивных отходов, которые образуются при заточке инструментов из стали Р6М5, по описанной выше технологии была выплавлена лигатура, химический состав которой приведен в табл. 1.

Полученную лигатуру раздробили, измельчили и ее порошок использовали в качестве шихты в опытной порошковой проволоке с условным наименованием ПП-Оп-1. Этой проволокой под флюсом АН-26 были наплавлены образцы и проведен химический анализ наплавленного металла (табл. 2). По результатам химического анализа изготовили вторую опытную порошковую проволоку, шихта которой была приготовлена из ферросплавов (ПП-Оп-2). Химический состав металла, наплавленного этой проволокой под флюсом АН-26, также приведен в табл. 2.

Образцы для исследований микроструктуры были вырезаны из заготовок (сталь Ст3), наплавленных в четыре слоя опытными порошковыми проволоками ПП-Оп-1 и ПП-Оп-2. Структуру наплавленного и основного металла выявляли путем химического травления в 4 %-м спиртовом растворе азотной кислоты (HNO_3).

Исследования проводили на микроскопах «Neophot-32» и «Polyvar». Микротвердость металла измеряли на микротвердомере М-400 фирмы «Лесо» при нагрузке 100 г. Исследования вели в соответствии с ГОСТ 5639–82 «Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна» и ГОСТ 1778–70 «Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений». Цифровое изображение микроструктур получено при помощи камеры «Olympus».

Структура металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Оп-1 с шихтой из лигатуры, в центре наплавленного слоя представляет собой мартенсит с крупными и мелкими иглами различной травимости и остаточный аустенит (рис. 1, а). Твердость мартенсита $HV1$ — 542...606, твердость остаточного аустенита $HV1$ — 442...525. У верхнего края количество остаточного аустенита не намного увеличивается, размер иголок мартенсита несколько уменьшается (рис. 1, б). Твердость мартенсита $HV1$ — 530...542, а остаточного аустенита $HV1$ — 464...498. Твердость структурных составляющих по всей высоте наплавленного слоя отличается незначительно. При этом характерная структура литого металла также сохраняется по всей высоте наплавленного слоя.

Структура металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Оп-2 с шихтой из ферросплавов, примерно такая же, как и у металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Оп-1. В центре наплавленного слоя структура состоит из мартенсита и остаточного аустенита (рис. 2, а), иглы мартенсита имеют крупный размер. Твердость мартенсита $HV1$ — 542...606, аустенита $HV1$ — 442...468. У верхнего края наплавленного слоя структура мельче (рис. 2, б), твердость мартенсита $HV1$ — 514...572, аустенита $HV1$ —

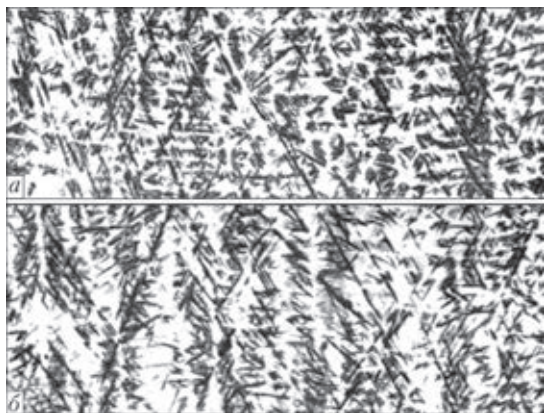


Рис. 1. Микроструктура ($\times 400$) металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Оп-1: а — в центре наплавленного слоя; б — у верхней кромки

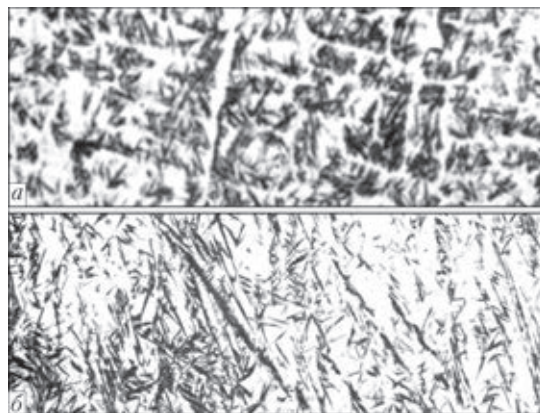


Рис. 2. Микроструктура ($\times 400$) металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Оп-2: а — в центре наплавленного слоя; б — у верхней кромки

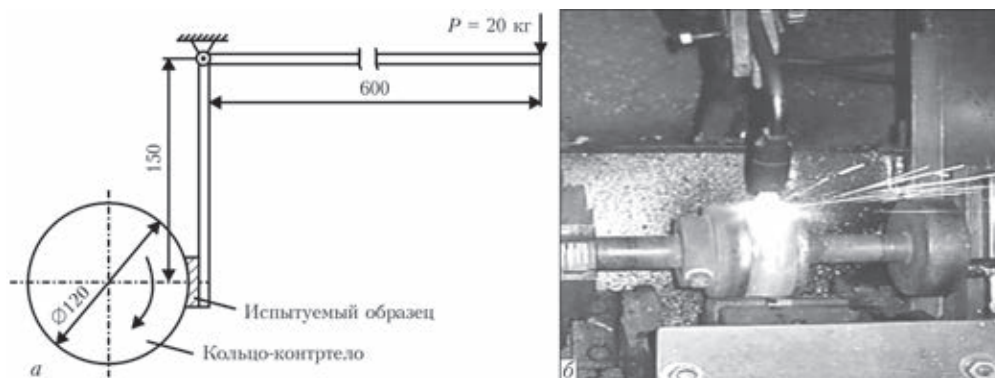


Рис. 3. Принципиальная схема (а) и процесс испытания износостойкости при трении металла по металлу при повышенных температурах (б)

416...442. И в этом случае твердость структурных составляющих по высоте наплавленного слоя отличается незначительно. Она также близка к твердости структурных составляющих металла, наплавленного порошковой проволокой ПП-Оп-1.

В обоих типах наплавленных образцов обнаружены поры в нижнем слое наплавленного металла. При этом в образце, наплавленном порошковой проволокой ПП-Оп-2, пор больше и они крупнее. То же касается неметаллических включений, количество и размер которых изучали на полированных нетравленных образцах. В исследованных образцах обнаружены сульфиды и окисульфиды, оксиды и шлаковые включения мелких размеров. Количество неметаллических включений больше в образце, наплавленном порошковой проволокой ПП-Оп-2. По-видимому, использование в качестве шихты лигатуры, полученной электрошлаковым переплавом, позволяет уменьшить количество неметаллических включений в наплавленном металле.

Износостойкость обоих типов наплавленного металла исследовали при сухом трении металла по металлу по схеме «вал (кольцо) — плоскость» при высоких температурах (рис. 3, а, б). Испытания проводили на установке для комплексных исследований свойств наплавленного металла [4]. Соотношение плеч рычажного механизма при грузе в 20 кг (рис. 3, а) обеспечивает прижим образца к истирающему кольцу с усилием, равным 800 Н.

Удельное давление при этом составляет примерно 100 МПа, что соответствует тому давлению, которое испытывает инструмент для горячего деформирования в производственных условиях. Нагрев истирающего образец кольца производится газовым резаком. Температура на поверхности образца в зоне контакта около 650 °С.

Для проведения испытаний опытными порошковыми проволоками ПП-Оп01 и ПП-Оп-2 в пять-шесть слоев были наплавлены темплеты, из которых изготавливали образцы размером

Таблица 3. Износостойкость наплавленных образцов и контактирующих с ними контртел при трении металла по металлу при высоких температурах

| Порошковая проволока | Потеря массы, г/км | |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | наплавленного образца | контртела из стали 45 |
| ПП-Оп-1 | 0,0454 | 2,3905 |
| ПП-Оп-2 | 0,0509 | 2,5064 |

40×10×17 мм. Толщина наплавленного слоя после механической обработки составляла 8...10 мм.

Испытания на изнашивание при трении металла по металлу при повышенных температурах проводили при следующих условиях: нагрузка 800 Н; скорость вращения кольца-контртела 30 об/мин; амплитуда колебаний образца в вертикальной плоскости 20 мм, частота колебаний 62 мин⁻¹; температура образца в зоне истирания 600...650 °С; время испытаний 1 ч. В качестве контртела использовали кольца диаметром 120 мм из закаленной стали 45. Результаты испытаний (средние значения по трем испытанным образцам) приведены в табл. 3.

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, износостойкость образцов, наплавленных опытными порошковыми проволоками, и контактирующих с ними тел находится на одном уровне. Таким образом, лигатура, полученная путем утилизации отходов заточного производства, с успехом может использоваться в качестве шихты в наплавочных порошковых проволоках.

1. Китарисов С.С., Падалко О.В. Ресурсосберегающий и природный потенциал порошковых материалов и технологий: реализация в сфере переработки вторичных ресурсов // Порошковая металлургия. – 1993. – № 6. – С. 1–4.
2. Габриелов И.П., Керженцева Л.Ф. Свойства порошка, полученного из металлоабразивных отходов быстрорежущей стали // Там же. – 1985. – № 9. – С. 133–136.
3. Металлоабразивные шлифовальные отходы, методы их переработки и опыт применения в наплавочных материалах / И.П. Лентюгов, И.А. Рябцев, Ю.М. Кусков, О.Г. Кузьменко // Автом. сварка. – 2008. – № 9. – С. 43–48.
4. Рябцев И.И., Черняк Я.П., Осин В.В. Блочно-модульная установка для испытаний наплавленного металла // Сварщик. – 2004. – № 1. – С. 18–20.

Поступила в редакцию 10.04.2015