

## **Исследование наплавляемости диффузионно-легированного бором сплава на основе стружки из быстрорежущей стали Р6М5**

Магистрант Приходько Н.А.  
Научный руководитель - Щербаков В.Г.  
Белорусский национальный технический  
университет  
г. Минск

Целесообразность применения металлических отходов в виде дробы либо стружки, образующихся в процессе различных металлургических и машиностроительных операций, для изготовления специальных сплавов, используемых при формировании износостойких покрытий, работающих при различных условиях эксплуатации, подтверждается литературными данными [1–3]. В настоящее время достаточно подробно исследовано и изучено использование диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов из металлических отходов при восстановлении и упрочнении деталей машин, особенно для изделий, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания. Авторы [1–3] считают, что необходимо не назначать ранее разработанные сплавы из ограниченного, а в ряде случаев устаревшего перечня серийно выпускаемых, а изготавливать ограниченные партии сплавов формирующие покрытия с необходимыми эксплуатационными свойствами. Однако, данные сплавы имеют ограниченное использование при формировании износостойких покрытий наплавкой токами высокой частоты (ТВЧ). Это связано с наличием тугоплавкой боридной оболочки на каждой частице сплава.

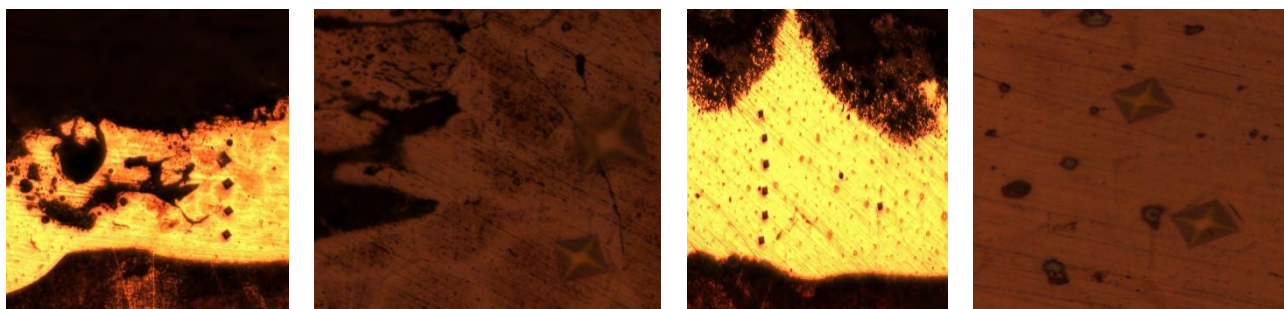
Анализ литературных данных и собственные исследования [1–5], позволили изучить влияние предварительного электродугового оплавления диффузионно-легированной бором стружки из стали Р6М5 на наплавляемость при формировании износостойких защитных покрытий с помощью индукционной наплавки. Предположено, что предварительное электродуговое оплавление борированной стружки сформирует в структуре сплава области с эвтектической структурой, обладающей более низкой температурой плавления, что в свою очередь будет способствовать ускорению процесса расплавления и повысит наплавляемость сплава при индукционной наплавке.

Для исследования были выбраны отходы производства в виде стружки из стали Р6М5, образующиеся при механической обработке проката. Для ДЛ использовали карбид бора ( $B_4C$ ). Насыщение стружки бором проводили на специальной установке [6]. Концентрация бора составляла 10 % масс. от массы насыщаемой стружки. Температура обработки –  $900 \pm 20$  °С, продолжительность – 1 час. Предварительное электродуговое оплавление борированной стружки Р6М5 проводили на установке с двумя графитовыми электродами [7] с силой тока 150 А. Наплавляемость ДЛ сплавов, подвергнутых электродуговому оплавлению, анализировали на металлических пластинах из низкоуглеродистой стали (Ст 2). Индукционную наплавку борированной и оплавленной стружки проводили на установке ФТИ-40/10-50 [8]. Продолжительность наплавки контролировали с помощью пирометра «Compact» CTLaser-2МН-CF4.

Установлено, что после диффузионного насыщения стружки Р6М5 бором формируется диффузионный слой толщиной 40...60 мкм. Микротвердость слоя составляет 12 000...16 000 МПа. Микротвердость в сердцевине стружки после насыщения сохраняется в интервале 4 000...6 000 МПа. После оплавления микротвердость на поверхности борированной стружки снижается до 8 000...9 000 МПа, а в сердцевине незначительно возрастает до 6 000...8 000 МПа, что косвенно свидетельствует о частичном оплавлении диффузионного слоя в процессе электродугового оплавления.

При индукционной наплавке диффузионно-легированной стружки Р6М5 до и после электродугового оплавления формируются защитные слои толщиной 0,9...1,2 мм (Рисунок 1), с микротвердостью по сечению слоя равной 7 500...8 200 МПа. Пористость у слоя,

полученного из стружки без оплавления, составляет около 15...20 %, а после оплавления не превышает 1...2 %, что свидетельствует о лучшей наплавляемости сплава.



а) б) в) г)  
Рисунок 1. Микроструктура слоя, полученного индукционной наплавкой из диффузионно-легированной бором стружки Р6М5 без (а-б) и после (в-г) электродугового оплавления: а, в:  $\times 200$ , б, г:  $\times 1000$

Таким образом, установлено, что предварительная обработка диффузионно-легированной бором стружки из стали Р6М5, заключающаяся в электродуговом оплавлении с силой тока 150 А позволяет повысить наплавляемость сплава при индукционной наплавке, за счет образования локальных участков с эвтектической структурой сплава и формировать износостойкие покрытия толщиной 0,9...1,2 мм с минимальной пористостью и микротвердостью 7 500...8 200 МПа.

#### Список использованных источников

1. Пантелеенко, Ф.И. Самофлюсующиеся диффузионно-легированные порошки на железной основе и защитные покрытия на них / Ф.И. Пантелеенко. – Минск: УП Технопринт, 2001. – 300 с.
2. Ворошнин, Л.Г. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО / Л.Г. Ворошнин, Ф.И. Пантелеенко, В.М. Константинов. – Изд. 2-е. – Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 2001. – 148 с.
3. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко [и др.]; под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
4. Щербаков, В.Г. Диффузионно-легированные сплавы из металлических отходов производства с пониженной температурой плавления для формирования износостойких покрытий индукционной наплавкой токами высокой частоты / В.Г. Щербаков // Литье и металлургия. – 2016. – № 4. – С. 89–95.
5. Приходько, Н.А. Сплавы из металлических отходов производства для наплавки токами высокой частоты / Н.А. Приходько; научн. рук. В.Г. Щербаков // Новые материалы и технологии их обработки: сборник научных работ XX РСНТК, 17 – 18 апреля 2019 года / Белорусский национальный технический университет, Механико-технологический факультет. Материаловедение в машиностроении. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 34–36.
6. Вращающаяся электрическая печь для химико-термической обработки сыпучего материала: пат. ВУ 15412 / В.М. Константинов, О.П. Штемпель, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 28.02.12.
7. Установка для обработки металлического порошка: пат. ВУ 10051 / В.М. Константинов, В.Г. Дашкевич, В.Г. Щербаков. – Оpubл. 30.04.2014.
8. Константинов, В.М. Многофункциональная научно-исследовательская установка индукционного нагрева сталей и сплавов / В.М. Константинов и [др.] // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск: БНТУ, 2015. – Вып. 36 – С. 255–262.