

УДК 621.9.048.4.06

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ
НА МИКРОСТРУКТУРУ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ
Ni–Cr–B–Si-ПОКРЫТИЙ**

*Докт. техн. наук, проф. СПИРИДОНОВ Н. В.,
асп. НЕРОДА М. В., канд. техн. наук СОКОРОВ И. О., инж. БАРКУН А. А.*

*Белорусский национальный технический университет,
Барановичский государственный университет,
Минский тракторный завод*

Магнитно-электрическое шлифование (МЭШ) представляет собой способ комбинированной электрофизической обработки, при котором производится совмещение микрорезания абразивными зернами с электроэрозионным воздействием на обрабатываемую поверхность при наложении на зону обработки магнитного поля [1].

Наложение магнитного поля на зону обработки сопровождается рядом изменений, происходящих как в структуре обрабатываемого материала, так и в перераспределении энергий, воздействующих на материал и его структуру. Значительные изменения происходят при комбинированном воздействии энергий электрических и магнитных полей совместно с абразивным шлифованием, которое можно считать сочетанием резания с пластическим и упругим деформированием. Подобная обработка наиболее приемлема для сталей и сплавов, имеющих повышенную износостойкость, и вязких материалов, обработка которых, особенно на финишных операциях, вызывает затруднения. К таким материалам относятся газотермические защитные покрытия.

На изменение микроструктуры обработанной поверхности оказывают значительное влияние параметры режимов обработки МЭШ: совместное механическое резание зернами шлифовального круга, разрядов технологического тока и влияние внешнего магнитного поля

[2, 3]. Действие абразивных зерен инструмента обуславливает рельеф поверхности, типичный для шлифования [4]. Непосредственное воздействие электрических разрядов формирует на поверхности следы в виде эрозионных лунок и канавок. Под действием сил магнитного поля на расплав тонкого поверхностного слоя происходит его выброс из зоны шлифования или растекание по обработанной поверхности [5].

В процессе обработки с наложением магнитного поля может происходить образование мелкодисперсных фаз в поверхностных слоях детали. Поэтому в результате рационального использования этих превращений возможно повысить физико-механические свойства материала поверхности обрабатываемых деталей, особенно работающих на износостойкость.

Важной проблемой являются дальнейшее изучение воздействия магнитных и электрических полей на обрабатываемую поверхность, микроструктуру и физико-механические свойства поверхностного слоя материалов и создание на этой базе новых комбинированных способов обработки, повышающих производительность и качество.

Объекты, оборудование и программа исследований. Обработка опытных образцов с нанесенными на них газотермическими покрытиями проводилась на модернизированном универсально-заточном станке 3Е642Е.

В качестве инструмента применялся абразивный токопроводящий круг марки ПП250×25×32–5С25СТ6КАЛ. Параметры микроструктуры определяли по фотографиям, полученным на микроскопе Stemi-2000С. Образцами служили прямоугольные заготовки с покрытиями из порошка марки ПГ-СР4, напыленным газопламенным методом без оплавления и оплавленными ацетиленовой горелкой.

Обработку поверхностей образцов производили в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Токопроводящий абразивный круг 7 через скользящий контакт 6 и обрабатываемый образец подсоединялись соответственно к отрицательному и положительному полюсам выпрямителя 3. Магнитное поле создавалось с помощью индуктивных катушек 5 и магнитопровода 8. Регулирование силы тока в цепи и магнитной индукции производилось линейными автотрансформаторами 1 и 9.

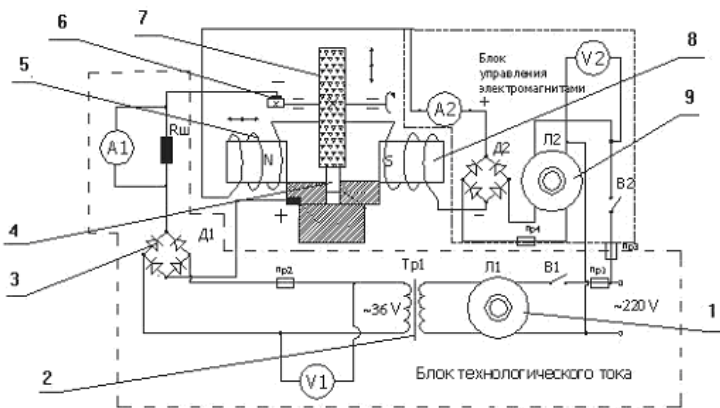


Рис. 1. Принципиальная схема магнитно-электрического шлифования

Режимы МЭШ, при которых проводилась обработка, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы МЭШ

n , мин ⁻¹	S , м/мин	I , А	t , мм	B , Тл
2000	0,12	5	0,005	0,01
3000	1,4	10	0,025	0,15
4000	2,8	15	0,05	0,2

Закономерности формирования поверхностного слоя покрытий при МЭШ определяются действием технологических режимов, а именно

технологического тока I , магнитной индукцией B , частотой вращения токопроводящего круга n , глубиной шлифования t , продольной подачей S .

При МЭШ газотермических защитных покрытий поверхностный слой подвергается значительным температурным воздействиям, которые оказывают влияние на структурный и фазовый состав покрытия и основного металла. Исследованиями установлено, что доминирующее влияние на теплообразование в зоне обработки оказывает технологический ток [6].

Исследовалось влияние различных технологических параметров МЭШ на изменение микроструктуры газотермического защитного покрытия ПГ-СР4.

На рис. 2 показана поверхность после обработки МЭШ на черновых режимах ($I = 15$ А; $B = 0,2$ Тл; $S = 1,4$ м/мин; $t = 0,05$ мм; $n = 2000$ мин⁻¹).

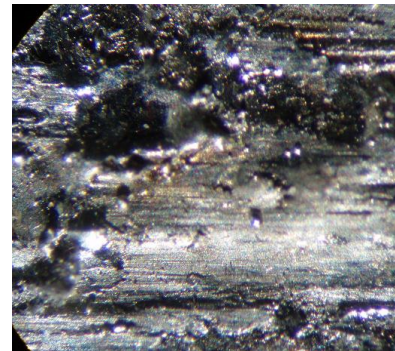


Рис. 2. Поверхность газотермического защитного покрытия после черновой обработки МЭШ, ×60

На поверхности покрытия отчетливо видны оплавленные участки, которые являются результатом термического влияния технологического тока I .

На рис. 3 показана микроструктура газотермического защитного покрытия ПГ-СР 2.

На фотографии микроструктуры газотермического защитного покрытия ПГ-СР2 до обработки видно, что покрытие имеет пористость. После обработки МЭШ покрытие имеет структуру, близкую к компактному материалу.

При магнитно-электрическом шлифовании происходит оплавление поверхностного слоя газотермического защитного покрытия, микрочастицы порошка сплавляются между собой, образуя однородную оболочку на поверхности образца. Пористость при этом уменьшается.

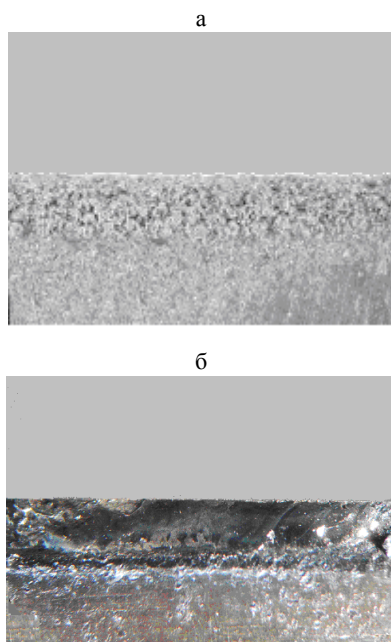


Рис. 3. Микроструктура газотермического защитного покрытия ПГ-СР2: а – до обработки; б – после обработки МЭШ, $\times 60$

В результате МЭШ технологические режимы оказывают влияние на формирование микроструктуры трех зон образца: первая зона представляет собой материал самого покрытия, вторая зона – основной материала образца, третья зона – промежуточная – расположена между первой и второй зонами (рис. 4).

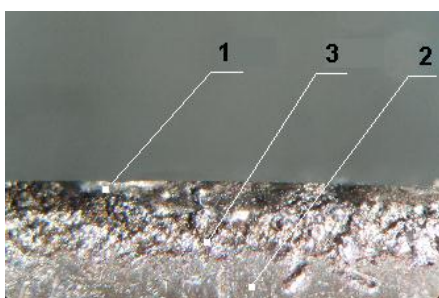


Рис. 4. Зоны влияния технологических режимов МЭШ, $\times 60$

Первая зона испытывает значительные температурные воздействия. Тепловой поток, возникающий от действия технологического тока и механической энергии вращающегося токопроводящего абразивного круга, распространяется к центру образца в зону 2. Различные коэффициенты теплопроводности основного материала образца и материала покрытия оказывают влияние на процесс охлаждения, в ре-

зультате чего возникает изменение микроструктуры газотермического защитного покрытия.

На рис. 5 показана поверхность покрытия ПГ-СР4, обработанная МЭШ при следующих режимах: $I = 5$ А; $B = 0,15$ Тл; $S = 2,8$ м/мин; $t = 0,005$ мм; $n = 4000$ мин⁻¹. Шероховатость поверхности находится в пределах $Ra = 0,44-0,57$ мкм.



Рис. 5. Микротрещина на поверхности покрытия ПГ-СР4 после обработки МЭШ, $\times 1000$

На поверхности покрытия явно видны микротрещина и электроэрозионные лунки, образовавшиеся за счет действия технологического тока и сил резания при МЭШ. Микротрещины на поверхности покрытия являются негативным явлением, поэтому требуются изучение и оптимизация технологических режимов МЭШ.

Электроэрозионные лунки различной формы показаны на рис. 6.

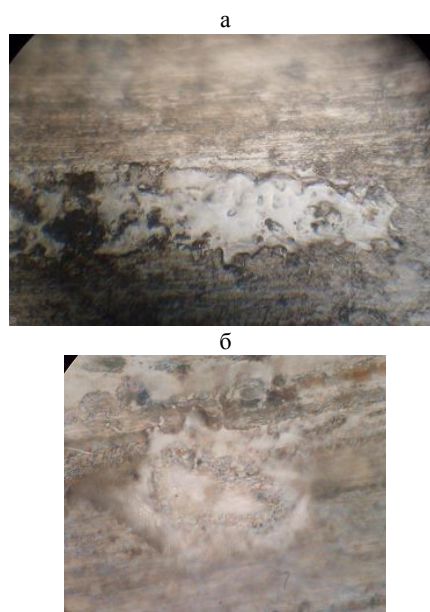


Рис. 6. Электроэрозионные лунки на поверхности покрытия ПГ-СР4 после МЭШ, $\times 1000$

Электроэрозионные лунки на поверхности покрытия образуются в процессе МЭШ за счет действия технологического тока и магнитной индукции. В процессе резания образовавшаяся микростружка замыкает цепь «электрод – инструмент – поверхность покрытия», в результате образуется контактный мостик, который под действием технологического тока разогревается, происходит микроразряд и на поверхности образуется электроэрозионная лунка (рис. 6б). На размеры и форму лунки оказывают влияние магнитная индукция, частота вращения токопроводящего абразивного круга, глубина резания и продольная подача.

При влиянии магнитной индукции на контактный мостик происходит его смещение в направлении действия электромагнитной силы. В результате этого образуется поперечный след (рис. 6а). Аналогичный след образуется в направлении вращения токопроводящего абразивного круга.

В процессе МЭШ при больших величинах технологического тока на поверхности покрытия образуется оксидная пленка (рис. 7). Химический состав пленки требует дальнейших исследований.

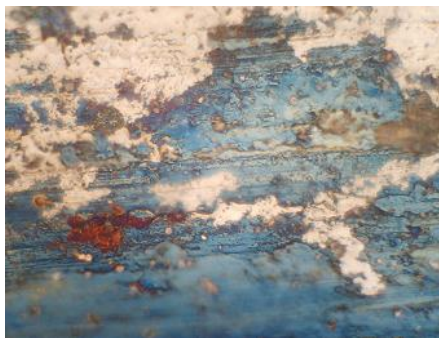


Рис. 7. Оксидная пленка на поверхности покрытия после МЭШ

ВЫВОДЫ

В процессе исследования микроструктуры поверхности газотермического защитного покрытия ПГ-СР4 были сделаны следующие выводы:

1. Электрофизические параметры процесса МЭШ оказывают существенное влияние на из-

менение микроструктуры поверхностного слоя покрытий.

2. Рекомендуемые технологические режимы МЭШ покрытия ПГ-СР4, обеспечивающие требуемое качество поверхности, имеют следующие значения: черновая обработка ($I = 10\text{--}15\text{ А}$; $V = 0,15\text{--}0,2\text{ Тл}$; $S = 1,4\text{ м/мин}$; $t = 0,05\text{ мм}$; $n = 2000\text{ мин}^{-1}$); чистовая обработка ($I = 2,5\text{--}5,0\text{ А}$; $V = 0,15\text{--}0,20\text{ Тл}$; $S = 2,8\text{ м/мин}$; $t = 0,005\text{ мм}$; $n = 4000\text{ мин}^{-1}$).

3. При возрастании технологического тока свыше 20 А на поверхности газотермического защитного покрытия образуются микротрещины.

4. При увеличении значения технологического тока от 30 до 60 А на поверхности покрытия образуются микротрещины и оксидная пленка.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нерода, М. В.** Оптимизация режимов магнитно-электрического шлифования упрочненных поверхностей деталей / М. В. Нерода // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр.; под ред. Б. М. Хрусталева. – Минск, 2007. – Вып. 22. – С. 37–42.
2. **Дмитриченко, Э. И.** К вопросу о механизме разрушения обрабатываемой поверхности при магнитно-электрическом шлифовании / Э. И. Дмитриченко, М. П. Кульгейко, Е. Э. Дмитриченко // 5-я НТК проф.-препод. состава, под ред. М. В. Голуба. – Брест: БПИ, 1998. – Ч. 1. – 54 с.
3. **Шулев, Г. С.** Исследование обрабатываемости упрочненных поверхностей деталей машин контактным магнитно-электрическим способом / Г. С. Шулев, Э. И. Дмитриченко // Машиностроение: респ. межвед. сб. – Минск, 1985. – Вып. 10. – 145 с.
4. **Дмитриченко, Э. И.** Особенности формирования микрогеометрии поверхности при магнитно-электрическом шлифовании / Э. И. Дмитриченко, М. П. Кульгейко, Е. Э. Дмитриченко // Материалы. Технологии. Инструменты. – Гомель: ИММС НАНБ, 2000. – № 3. – 74 с.
5. **Дмитриченко, Э. И.** Разработка и исследование процесса магнитно-электрического шлифования деталей машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Э. И. Дмитриченко; Моск. автомобилестроит. ин-т. – М., 1991. – 17 с.
6. **Спиридонов, Н. В.** Теплофизические особенности процесса магнитно-электрического шлифования газотермических защитных покрытий / Н. В. Спиридонов, М. В. Нерода // Вестник БНТУ. – 2008. – № 3. – С. 26–29.

Поступила 20.01.2009