

УДК 620.178.162.42:621.793

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ СПОСОБОМ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПЛАКИРОВАНИЯ

*Леванцевич М.А.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Кукареко В.А.<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук,  
Шапарь В.А.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, Воробьев Н.А.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент  
(<sup>1</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск;  
<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Одной из важных задач обеспечения качества узлов машин является создание оптимальных свойств поверхностных слоев пар трения для заданных условий эксплуатации. В современных механизмах и машинах детали, образующие пары трения, обычно имеют модифицированные тем или иным способом рабочие поверхности. Среди широкого спектра видов дополнительной обработки поверхностей трения нанесение различных по своему назначению покрытий играет весьма существенную роль в обеспечении требуемых эксплуатационных свойств машин.

Весьма перспективным методом нанесения на поверхности трения деталей машин модифицирующих слоев с заданными эксплуатационными свойствами является сравнительно новый способ обработки, сочетающий поверхностную пластическую деформацию с одновременным нанесением покрытия, предложенный в работах [1, 2]. Достоинствами метода являются простота реализации, низкая трудоемкость, малое энергопотребление, отсутствие факторов, связанных с загрязнением окружающей среды.

Схема реализации способа представлена на рисунке 1.

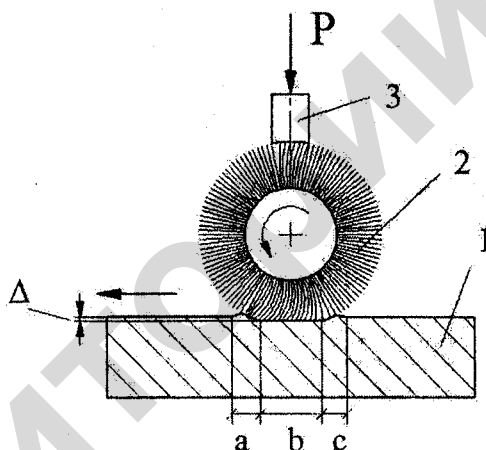


Рисунок 1 – Схема нанесения покрытия

1 – материал-донор; 2 – вращающаяся металлическая щетка; 3 – обрабатываемая деталь;  
а – участок входа; б – «охлаждение»; с – участок выхода; Δ - натяг

Комбинированная обработка поверхности детали осуществляется вращающейся металлической щеткой (ВМЩ) 2 с жестким проволочным ворсом, которая взаимодействует с деталью 1 и стержнем 3. При обработке детали стержень 3, представляющий собой материал-донор, из которого формируется покрытие, прижимается к быстровращающейся проволочной щетке 2. При этом в зоне контакта щетки 2 со стержнем 3 поверхность последнего существенно разогревается. К щетке подводится плакируемая деталь 3 и вдавливается в ворс на определенную глубину. Частички материала покрытия налипают на концы ворсинок и переносятся со стержня-донора на обрабатываемую поверхность. Ударно-скользящее воздействие металлического ворса на деталь приводит к совместной пластической деформации материалов основы и покрытия, что способствует их прочному схватыванию. На границе раздела материала покрытия и основы образуется интерметаллический слой, содержащий до 30 – 50 % материала покрытия, железо и оксиды. В процессе обработки происходит наклеп поверхности детали. При этом в поверхностном слое образуются остаточные напряжения сжатия, глубина которых зависит от конструкции

щетки, технологических режимов обработки и состояния исходной поверхности материала основы. Ворс доставляет в зону деформации материал покрытия и обеспечивают прочную адгезию наносимого материала к основе. Метод позволяет получать сплошные покрытия различной толщины из чистых металлов и сплавов, а также композиционные покрытия из разнородных металлов в виде тонкодисперсной механической смеси или (после кратковременного диффузионного отжига) в виде твердых растворов и соединений. Подготовки поверхности под нанесение покрытия, равно как и последующей дополнительной механической обработки сформированного покрытия, не требуется. Данная технология и описанное ниже оборудование позволяют получать недорогие эффективные покрытия в различных условиях, в т.ч. в организациях, связанных с техническим сервисом и ремонтом сельскохозяйственных машин и оборудования.

Поверхность основы в зоне контакта является открытой термодинамической системой, в которой протекают сложные явления самоорганизации диссипативных структур в условиях ударно-фрикционного взаимодействия ВМЦ с основой. В зависимости от вида наносимого материала толщина сформированных покрытий может достигать от 0,5 до 450 мкм.

Результаты проведенных на стендовом оборудовании испытаний образцов конструкционных материалов с покрытиями, нанесенными на поверхность способом деформационного плакирования, подтверждают его эффективность. Так, например, в результате нанесения данным способом латунных и комбинированных покрытий толщиной 5-7 мкм на стальные образцы их износостойкость, при испытаниях на машине трения с возвратно-поступательным движением, возрастала в 9...20 раз. Также установлено, что медное покрытие толщиной 2 – 3 мкм, нанесенное на образец из стали 45, повышало предел выносливости на знакопеременный изгиб на 14 %, а алюминиевое (толщиной 3 – 5 мкм) – на 20%. Повышение предела выносливости объясняется закрытием микротрещин на поверхности, а повышение износостойкости является следствием высоких антифрикционных свойств покрытия. Дополнительным фактором повышения износостойкости и сопротивления усталости являются остаточные напряжения сжатия в поверхностном слое, появляющиеся при обработке металлической щеткой.

Себестоимость нанесенных щеткой покрытий, значительно ниже, чем покрытий сформированных с использованием широко распространенных технологий. В качестве примера, в таблице 1 приведены сравнительные данные по себестоимости покрытий, сформированных с использованием различных технологий.

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели различных способов нанесения покрытий [2]

Техничко-экономические показатели	Наплавка механизированная				Электролитическое хромирование	Плазменное напыление	Деформационное плакирование
	под слоем флюса	вибродуговая	плазменная	индукционная			
Производительность, кг/ч	2,54	1,46	5,0	6,0	0,39	4,5	2,0
Потери материала, %	25	20	15	10	89	20	до 10
Расход материала на 1 м <sup>2</sup> при расчетной толщине слоя 2 мм с учетом потерь, кг/м <sup>2</sup>	20,8	19,5	18,35	17,3	141,8	19,5	17,3
Трудоемкость обработки 1 м <sup>2</sup> , ч/м <sup>2</sup>	8,2	13,4	3,67	2,88	364,2	4,33	8,2
Удельный расход энергии, кВт·ч/кг	30,7	52,1	7,6	25,0	95,8	20,0	1,1
Относительные затраты на обработку 1 м <sup>2</sup> поверхности	16,2	17,3			29,5		1,0

Деформационное плакирование поверхностных слоев гибким инструментом, при котором нанесение покрытия происходит с одновременным упрочнением поверхностного слоя, может быть перспективным способом повышения коррозионной стойкости элементов технологического оборудования химической промышленности.

Проведены исследования коррозионной стойкости образцов плакирующих слоев из никеля Н-1 и хрома Х00, которые могут служить основой перспективных покрытий деталей, предназначенных для работы в агрессивных средах. Плакирующие слои толщиной 5 – 8 мкм наносились на пластину, изготовленную из закаленной стали У8 ( $HV=7800$  МПа). Из пластины с нанесенным покрытием вырезались образцы размерами  $10 \times 10 \times 1,5$  мм.

Для нанесения покрытий использовалась технологическая установка, показанная на рисунке 2. Применялась ВМЩ шириной 20 мм, диаметром 180 мм и вылетом ворса 70 мм. Параметры процесса: частота вращения плакируемой детали – 170 об/мин; скорость скольжения ворса щетки относительно детали – 35...40 м/сек; величина натяга (относительное сближение оси щетки с поверхностью диска) – 1... 3 мм. Сила, с которой прутки из материала-донора прижимался к ВМЩ, составляла 20...40 Н.

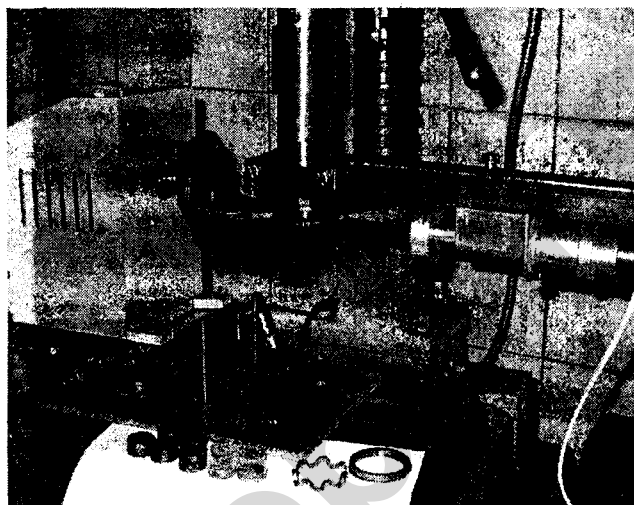


Рисунок 2 – Технологическая установка для формирования антифрикционных покрытий гибким инструментом на поверхности плоских деталей типа диск

Среда, в которой испытывались образцы, представляла собой 1Н водный раствор органической уксусной кислоты  $CH_3COOH$ , которая широко применяется в химической промышленности при синтезе различных веществ, в частности, при получении синтетических волокон. Общее время испытаний образцов перечисленных выше материалов составило более 450 ч. Испытания проводились при комнатной температуре.

Результаты испытаний показали повышение коррозионной стойкости образцов с никелевым покрытием в 2 – 3 раза, а с хромовым покрытием в 5 – 6 раз, по сравнению с образцами без покрытия. Полученные данные хорошо согласуются с имеющимися в литературе сведениями о коррозионной стойкости монолитных никеля и хрома в кислых средах [3].

#### Литература

- 1 Белевский, Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом / Л.С. Белевский. – Магнитогорск: Лицей РАН, 1996. – 231 с.
- 2 Анцупов, В.П. Технологические основы получения биметаллических изделий плакированием гибким инструментом: автореф. дис. д-ра техн. наук / В.П. Анцупов; Магнитогорская горно-металлургическая академия им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 1997. – 43 с.
- 3 Туфанов, Д.Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей и чистых металлов: Справочник / Д.Г. Туфанов. – М.: Металлургия, 1990.