

УДК 621.787.669

ВЫБОР РЕЖИМОВ ПЛАКИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПАР ТРЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ КОПИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА ПОЛЯ ЖАТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

А.И. КАМКО

(Гомельский завод литья и нормалей),

канд. техн. наук М.А. ЛЕВАНЦЕВИЧ, канд. техн. наук В.И. ЖОРНИК

(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск)

Определены рациональные режимы формирования медного покрытия на рабочих поверхностях подвижных сопряжений механизмов копирования рельефа поля жатки зерноуборочного комбайна методом деформационного плакирования гибким инструментом. Показано, что при нанесении покрытий с помощью вращающейся металлической щетки для обеспечения качества наносимого слоя и повышения экономичности процесса плакирования следует учитывать физико-механические свойства материала-донора, геометрические параметры гибкого инструмента и режимы плакирования (натяг ворса щетки, осевая подача щетки, соотношение скоростей вращения детали и щетки).

Полученные результаты послужили основой для разработки технологического процесса нанесения медных покрытий на рабочие поверхности деталей пар трения механизмов копирования рельефа поля жатки зерноуборочного комбайна КЗС-7. Нанесение антифрикционных покрытий в сочетании с применением смазки, модифицированной углеродсодержащими наноразмерными компонентами, позволило повысить быстродействие механизмов копирования в 1,2...1,4 раза и снизить потери зерна за жаткой на 0,22...0,28 %.

Введение. Актуальной проблемой современного зерноуборочного комбайностроения является снижение потерь урожая зерна при проведении уборочных работ. Эти потери, помимо биологических, складываются из нескольких основных источников, почти половина которых составляют потери за жатвенной частью комбайна. Во многом это обусловлено недостаточно высоким быстродействием механизмов копирования рельефа поля жатки комбайна, зависящим от сил трения скольжения в подвижных сопряжениях рычажных звеньев. Расчеты показывают, что потери на трение в этих сопряжениях составляют более 35 %, что влечет за собой снижение скорости срабатывания [1].

Известно, что одним из способов снижения трения является формирование на рабочих поверхностях трущихся деталей тонких, антифрикционных покрытий [2, 3]. При этом для снижения себестоимости целесообразно использовать сравнительно недорогие, экологически чистые технологии, одной из которых является технология нанесения покрытий с помощью вращающейся металлической щетки (ВМЩ) [4 – 6]. В работах [4, 5] приведены рекомендации по выбору конструктивно-технологических параметров процесса обработки изделий с помощью ВМЩ. Основной их недостаток – отсутствие ряда важных данных (например, данных о влиянии физико-механических свойствах материалов, используемых в качестве доноров, на качество и толщину покрытий; усилия прижима материала-донора к поверхности щетки и диаметра ворса на коэффициент использования материала покрытия, и др.), что не позволяет обоснованно назначить режимы обработки.

Постановка задачи. Целью проведенных исследований являлся выбор рациональных режимов формирования покрытий на рабочих поверхностях деталей пар трения механизмов копирования рельефа почвы жатки зерноуборочного комбайна, с использованием ВМЩ, обеспечивающих требуемое качество и толщину покрытий.

Методы исследований. При обработке ВМЩ основными режимными параметрами процесса являются скорость скольжения ворса щетки по поверхности детали и материала-донора, скорость вращения детали, величина натяга (относительного сближения оси щетки с поверхностью детали), число проходов и величина осевой подачи щетки [4, 5]. При оптимальном сочетании этих параметров должны обеспечиваться требуемая сплошность и толщина сформированных покрытий. Для проведения исследований в качестве образцов использовали плоские шлифованные ($Ra = 0,32$) диски из стали 45 ($HRC = 43...45$) размером 80×5 мм и цилиндрические ролики диаметром 40 и длиной 100 мм с аналогичными характеристиками.

Формирование покрытий осуществлялось с помощью технологических модулей, представленных на рисунке 1.

Влияние величины натяга щетки на показатель относительной сплошности покрытия исследовали на плоских образцах. В качестве показателя относительной сплошности покрытия использовали отношение площади покрытой поверхности ко всей площади покрываемой поверхности. Сплошность покрытий определяли визуально с помощью микроскопа МИ-1 при увеличении в 200 крат. При проведении опытов

число проходов щетки относительно обрабатываемого изделия оставалось неизменным и равнялось 3; скорость скольжения ворса щетки по поверхности образца составляла 30 м/с^{-1} ; скорость вращения детали – 300 мин^{-1} . Для формирования покрытий использовали дисковую щетку с ворсом из гофрированной проволоки (ГОСТ 7372-70) диаметром 180 мм и шириной 20 мм. Диаметр и вылет ворса составляли соответственно 0,25 и 60 мм. В качестве материала-донора применяли медные прутки из литой (HV 45), отожженной (HV 38) и спеченной (HV 33) меди М1. Отжиг меди проводили в среде аммиака при температуре $800 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 ч. В этой же среде получали спеченную медь путем спекания медного порошка при температуре $920 \text{ }^\circ\text{C}$.

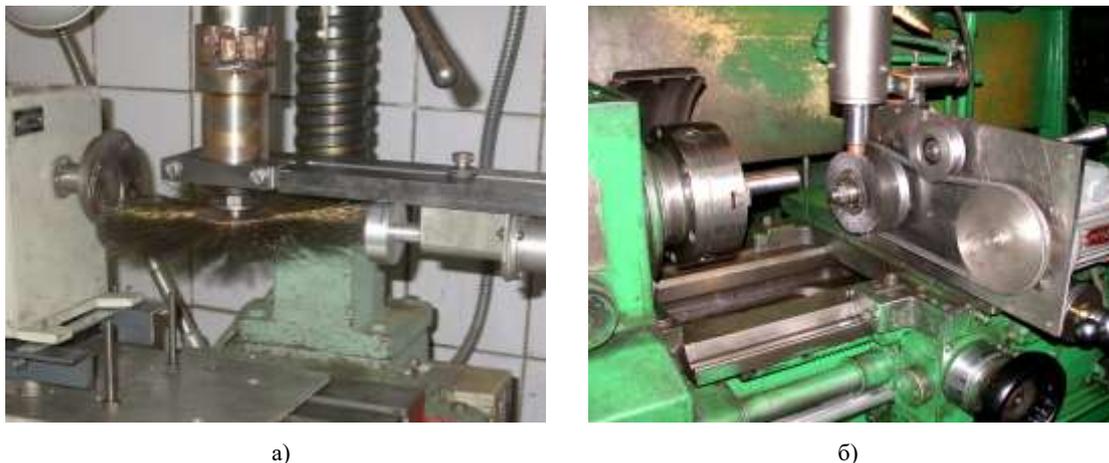


Рис. 1. Технологические модули для нанесения покрытий ВМЦ:
а – на плоские поверхности; б – на цилиндрические и фасонные поверхности

Влияние числа проходов, скорости осевой подачи щетки и соотношения линейных скоростей вращения детали и щетки на толщину сформированного покрытия исследовали на цилиндрических образцах. Для проведения опытов использовали аналогичную щетку. Формирование покрытий осуществляли при постоянном натяге, равном 1 мм, последовательно варьируя число проходов, величину осевой подачи и соотношение скоростей вращения детали и щетки. Толщину сформированного покрытия контролировали с помощью пассиметра с ценой деления 1 мкм. В качестве материала-донора использовали отожженную медь М1.

Результаты и их обсуждение. Зависимости, иллюстрирующие влияние величины натяга щетки на показатель относительной сплошности медного покрытия, представлены на рисунке 2.

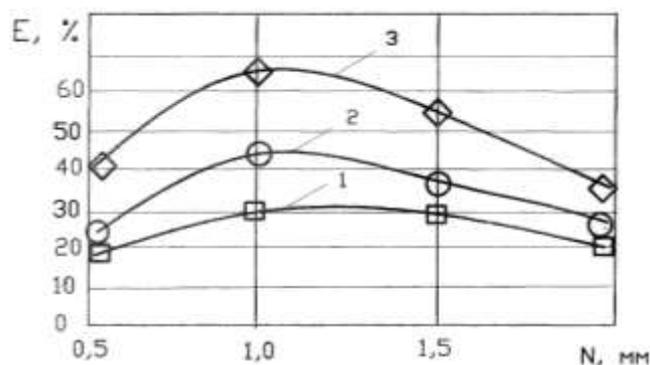


Рис. 2. Зависимость показателя относительной сплошности E покрытий из меди М1 от величины натяга при числе проходов щетки относительно поверхности детали равном 3:
1 – спеченная медь; 2 – литая медь; 3 – отожженная медь

Из графиков видно, что максимальная сплошность обеспечивается при натягах от 1,0 до 1,5 мм. Однако при использовании в качестве материала-донора отожженной меди М1 (кривая 3) показатель относительной сплошности покрытия наиболее высок и составляет около 70 %.

В качестве примера на рисунке 3 представлены рельефы поверхности образцов, полученные при различных значениях натяга щетки.

Как видно из приведенных снимков, при небольших или чрезмерных натягах сформированное покрытие не сплошное и имеет вытянутый в направлении вращения щетки островковый вид (рис. 3, б). При натягах от 1,0 до 1,5 мм сплошность покрытия достаточно высокая (рис. 3, в).

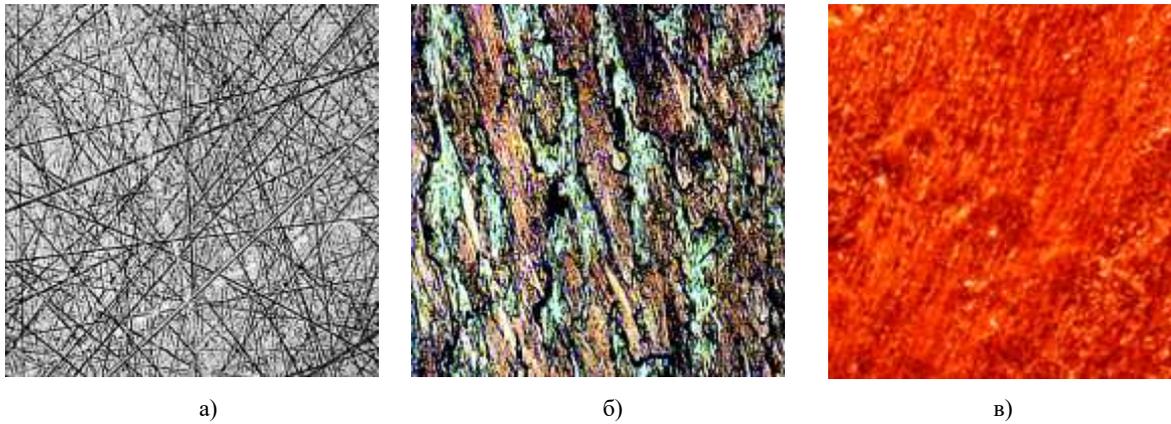


Рис. 3. Рельефы поверхности стальных образцов (ст. 45, HRC 43...45), обработанных ВМЩ при использовании в качестве материала-донора отожженную медь М1 ($\times 200$): а – исходная шлифованная поверхность; б – обработанная щеткой при натяге 0,5 мм; в – обработанная щеткой при натяге 1,0 мм

На рисунке 4 представлены зависимости, иллюстрирующие влияние числа проходов, соотношения скоростей вращения щетки и детали и скорости подачи щетки на толщину слоя медного покрытия.

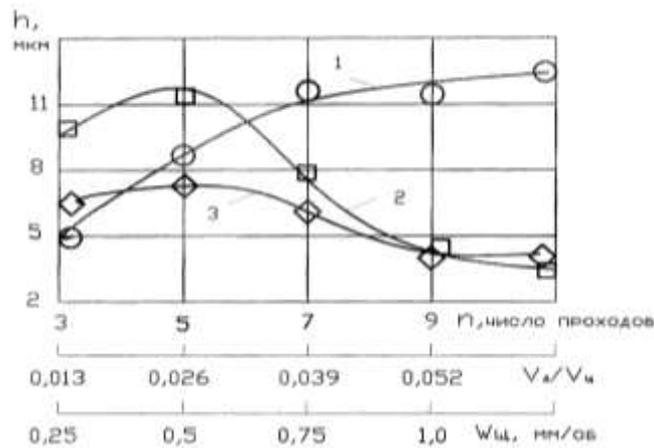


Рис. 4. Экспериментальные зависимости толщины медного покрытия h от числа проходов щетки (1), соотношения скоростей вращения детали и щетки (2) и скорости осевой подачи щетки (3)

Из приведенных графиков видно, что интенсивный рост толщины слоя медного покрытия происходит в течение первых 5...7 проходов (кривая 1). Последующее увеличение числа проходов практически не влияет на увеличение толщины покрытия.

Неоднозначно также влияние на толщину покрытия и соотношения скоростей вращения детали и щетки. В интервале значений от 0,013 до 0,038 толщина сформированного медного покрытия находится в пределах 8...12,5 мкм (кривая 2). При дальнейшем увеличении соотношения скоростей толщина сформированного слоя снижается примерно до 4 мкм и остается неизменной.

Важным технико-экономическим показателем процесса деформационного плакирования гибким инструментом является коэффициент использования материала донора $k_{и}$, который определяется как отношение прироста массы покрытия ΔM_n к убыли массы донора ΔM_0 , рассчитываемых на основании результатов взвешивания стержня-донора и детали до и после нанесения покрытия.

На рисунке 5 представлена зависимость коэффициента использования материала донора от диаметра ворса $d_{вр}$ вращающейся щетки при различных удельных нагрузках прижатия стержня-донора к щетке, под которыми принято считать отношение усилия прижатия стержня-донора P к ширине щетки: $H_{щ}$ ($\Delta P = P/H_{щ}$).

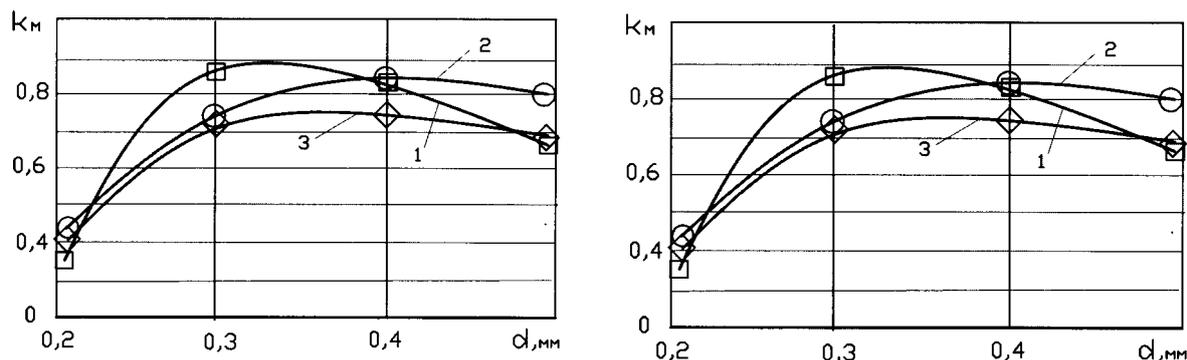


Рис. 5. Зависимости коэффициента использования материала-донора от диаметра ворса щетки при различных удельных нагрузках прижатия материала-донора к щетке: 1 – 20 Н/см; 2 – 40 Н/см; 3 – 60 Н/см

Исследования проводились для случая нанесения слоя меди М1 на поверхность стали 45 за 7 проходов при соотношении скоростей детали и щетки $V_d/V_{щ} = 0,013$, натяге $N = 1,0$ мм, осевой подаче щетки $W_{щ} = 0,75$ мм/об.

Из представленных графиков видно, что по мере увеличения диаметра ворса от $d_{np} = 0,20$ мм коэффициент эффективности использования материала донора сначала возрастает, а при достижении $d_{np} = 0,30...0,40$ мм его значения начинают снижаться. Можно предположить, что при малом диаметре ворса ($d_{np} = 0,20...0,25$ мм) за единичное касание ворса снимается малый объем расплавленного в зоне контакта материала-донора, который в процессе переноса на поверхность детали быстро остывает на ворсе за счет процессов теплопередачи и конвективного теплообмена, в результате чего доля материала-донора, адгезионно оседающая на поверхности детали, невелика ($k_m = 0,35...0,45$). При использовании ворса диаметром $d_{np} = 0,30...0,40$ мм отношение убывания массы донора к приросту массы покрытия увеличивается до значений $k_m = 0,72...0,89$ благодаря, по-видимому, более сбалансированному соотношению процессов разогрева материала-донора при трении ворса и охлаждения элементарных объемов снимаемого со стержня материала на стадии их транспортировки на поверхность детали. При диаметре ворса более $d_{np} = 0,4$ мм наблюдается снижение эффективности использования материала донора, возможно, за счет появляющихся процессов механического срезания нерасплавленных объемов материала-донора, их слабого сцепления с ворсом из-за отсутствия смачивания и, естественно, потерей части материала при переносе вращающимся инструментом. Величина удельной нагрузки прижатия стержня-донора к щетке в исследованном диапазоне ($\Delta P = 20...60$ Н/см) не оказывает столь существенного влияния. В то же время максимальные значения коэффициента k_m были получены при удельной нагрузке прижатия ΔP , составляющей 20...40 Н/см.

Исследование взаимосвязи коэффициента использования материала-донора (медь М1) от величины скорости осевой подачи щетки для диаметра ворса $d_{np} 0,30$ мм при фиксированных значениях числа проходов ($n = 5$), соотношении скоростей детали и щетки $V_d/V_{щ} = 0,013$ и натяге $N = 1,0$ мм показало, что наибольшие значения коэффициента использования материала-донора ($k_m = 0,71...0,89$) наблюдаются при осевой подаче, равной $W_{щ} = 0,75$ мм/об (рис. 6). Объяснение этому факту может быть дано на основе рассмотрения физики процесса переноса материала донора на поверхность детали:

- разогрев поверхности донора и детали за счет фрикционного взаимодействия с ворсом щетки;
- сьем расплавленных элементарных объемов материала-донора при механическом и адгезионно-молекулярном взаимодействии ворса щетки с поверхностью стержня;
- транспортировка частиц расплавленного материала ворсом вращающейся щетки к поверхности детали;
- адгезионное схватывание частиц материала донора с разогретой поверхностью детали и последующее их застывание на этой поверхности.

При этом для малых скоростей осевого перемещения щетки ($W_{щ} = 0,25$ мм/об) наблюдается одновременное протекание процессов осаждения частиц материала-донора на поверхность детали и частичного их удаления следом набегающим ворсом при повышенном тепловыделении на поверхности детали и неполной кристаллизации осевших частиц. Вследствие этого значения коэффициента использования материала-донора составляют $k_m = 0,48...0,50$. При высоких скоростях осевой подачи щетки ($W_{щ} = 1,25$ мм/об) нет достаточного разогрева поверхности детали, что может оказывать отрицательное влияние на прочность сцепления расплавленных частиц материала донора с ней и снижать скорость роста толщины покрытия.

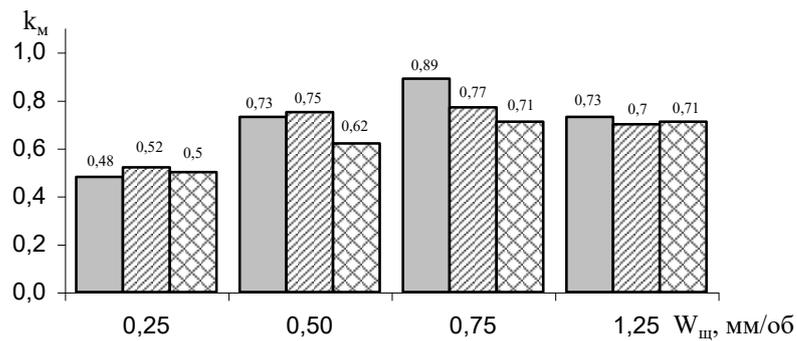


Рис. 6. Влияние скорости осевой подачи щетки на коэффициент использования материала донора:

■ 20 Н/см ▨ 40 Н/см ▩ 60 Н/см

На основе проведенных исследований разработан типовой технологический процесс нанесения антифрикционного износостойкого медного покрытия методом деформационного плакирования с его последующим модифицированием при трибомеханической обработке в присутствии пластичной смазки, содержащей наноразмерные твердые компоненты. Этот процесс применим для нанесения покрытия на рабочие поверхности гаммы деталей шарнирных сопряжений механизмов копирования жаток.

Стендовыми, лабораторно-полевыми и эксплуатационными испытаниями установлено, что нанесение антифрикционных покрытий на рабочие поверхности шарнирных сопряжений по разработанной технологии в сочетании с использованием модифицированной наноразмерными компонентами смазки позволяет в 1,3...1,4 раза повысить скорость срабатывания механизмов копирования. Благодаря этому отклонения от установленной высоты среза стеблестоя снизились с 21 до 12 %, а потери зерна за жаткой уменьшились с 0,78 до 0,52 %.

Выводы. При формировании медных покрытий на рабочих поверхностях деталей пар трения механизмов копирования с использованием ВМЩ в качестве материала-донора целесообразно использовать отожженную медь М1. В этом случае за 5...7 проходов щетки и натяге 1,0...1,3 мм образуется качественное покрытие толщиной 10...12 мкм. При этом соотношение линейных скоростей вращения детали и щетки следует устанавливать в пределах 0,02...0,03, скорость осевой подачи – 0,5...0,75 мм/об, удельную нагрузку прижатия материала-донора – 20...40 Н/см. Указанные режимные параметры процесса плакирования могут обеспечить значения коэффициента использования материала покрытия на уровне 80...90 %.

Полученные результаты послужили основой для выбора рациональных режимов формирования медных покрытий на деталях пар трения механизмов копирования рельефа поля жатки зерноуборочного комбайна КЗС-7. В сочетании со смазкой, модифицированной углеродсодержащими наноконпонентами, скорость срабатывания механизмов копирования повысилась в 1,2...1,4 раза, а усредненные потери зерна за жаткой снизились на 0,22...0,28 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камко, А.И. Разработка методов расчета механизмов продольного и поперечного копирования рельефа поля жаткой комбайна / А.И. Камко, В.А. Шуринов // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. – № 4. – С. 61 – 69.
2. Киричек, А.В. Повышение эффективности упрочняющих технологий / А.В. Киричек // Справочник. Инженерный журнал. – 2004. – № 3. – С. 15 – 20.
3. Гаркунов, Д.Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
4. Белевский, Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом / Л.С. Белевский. – Магнитогорск: Лицей РАН, 1996. – 231 с.
5. Анцупов, В.П. Технологические основы получения биметаллических изделий плакированием гибким инструментом: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Анцупов; Магнитогорская горно-металлург. акад. им. Г.И. Носова. – Магнитогорск, 1997. – 43 с.
6. Леванцевич, М.А. Повышение эксплуатационных свойств трибосопряжений нанесением покрытий металлическими щетками / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, В.Г. Зольников // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. – № 1. – С. 67 – 72.

Поступила 07.06.2007