

Основу конструкции данных агрегатов составляет почвообрабатывающая машина, состоящая из рамы опорных колес, рабочих органов, на которой монтируется вспомогательное оборудование для локального внесения минеральных удобрений, включающее емкость, туковывсевающий аппарат с направляющими и приводом.

Проведенные опыты по агротехническому состоянию почвы, после указанных технологических операций, имели удовлетворительные показатели по плотности, воздухопроницаемости, сдвигу почвы.

В настоящее время отечественными и зарубежными заводами предпочтение отдается выпуску комбинированных почвообрабатывающих агрегатов, позволяющих совместить две и более технологических операций, что позволяет рационально загрузить энергетическое средство, снизить себестоимость продукции растениеводства, уменьшить опасность переуплотнения почвы и улучшить экологию агроландшафтов.

Математическое моделирование наплавки в электромагнитном поле с поверхностным пластическим деформированием по параметру относительной износостойкости

Кожуро Л. М., Крутов А. В., БГАТУ, г. Минск

В современном машиностроительном и ремонтном производствах особое внимание уделяется обеспечению повышенного ресурса упрочненных и восстановленных деталей. Известно, что упрочнение и восстановление деталей экономически целесообразно, так как являются основой ресурс- и энергосбережения в народном хозяйстве. Подавляющее большинство отказов (свыше 80 %) машин обусловлено процессами изнашивания или комплексными причинами, где изнашивание играет доминирующую роль.

Состояние исследований в области нанесения износостойких покрытий в электромагнитном поле показывает, что эффективным и доступным методом является электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД), которая реализуется на простом оборудовании и позволяет наносить покрытия на упрочняемые и восстанавливаемые детали, обладающие повышенной износостойкостью, практически без термического влияния на основную массу детали.

Известно, что основной целью любого технологического процесса является обеспечение заданных характеристик качества изделия наиболее производительным путем при минимальных затратах. Отсюда вытекает необходимость в использовании двух критериев оптимальности: максимальной производительности и минимальной себестоимости. Однако в зависимости от вида и уровня оптимизации технологического процесса могут использоваться и другие критерии, объединенные в группы экономических, тех-

нико-экономических, технологических и эксплуатационных критериев.

Для получения математической модели ЭМН с ППД прочных и износостойких покрытий, по которой можно установить степень влияния технологических факторов на параметр процесса и произвести оптимизацию его режима, применили центральный композиционный ротатабельный униформ-план (ЦКРУП) второго порядка. Анализ априорной информации и проведенные исследования показали, что ЭМН с ППД достаточно полно описываются статистическими моделями второго порядка, полученными по ЦКРУП. В качестве параметра оптимизации ЭМН с ППД взяли эксплуатационный параметр – относительную износостойкость

$$\varepsilon = \frac{\Delta h_0}{\Delta h},$$

где Δh_0 – высота изношенного слоя эталона;

Δh – высота изношенного слоя исследуемого материала покрытия.

Величины Δh_0 и Δh определяются при одинаковых режимах нагружения.

Необходимо отметить, что относительная износостойкость является интегральной характеристикой для выбранной пары трения и режима ее нагружения. Она не связывает износ с процессами взаимодействия и разрушения в зоне контакта. Поэтому оптимальный режим ЭМН с ППД, определенный по относительной износостойкости, наиболее полно обеспечивает эксплуатационные характеристики покрытий.

В качестве эталона в работе была принята сталь 45 нормализованная и закаленная с нагрева ТВЧ на глубину 1,2 ...1,6 мм до 52...54 HRC. Независимыми переменными приняты основные технологические факторы режима наплавки: сила разрядного тока I , А; усилия деформирования P , Н; магнитная индукция в рабочем зазоре B , Тл; скорость подачи S , мм/об; окружная скорость образца V , м/с.

Выбор данных независимых переменных технологических факторов обусловлен тем, что, во-первых, наши исследования показали, что они оказывают наибольшее влияние на параметр процесса; во-вторых, исследования проводили на гибком производственном модуле с адаптивным управлением величиной разрядного тока и усилия деформирования, обеспечивающим стабильность процесса наплавки и постоянство всех технологических факторов.

Постоянными факторами в опытах были следующие: размер зерен ферропорошка $\Delta = 315/250$ мкм; рабочий зазор $\delta = 1,8$ мм; удельный расход ферропорошка $q = 3,2 \cdot 10^{-3}$ г/(с·мм²); удельный расход рабочей жидкости $g = 0,4 \cdot 10^{-3}$ дм³/(с·мм²); диаметр шарика накатника из стали ШХ 15, равный 6,5 мм.

В качестве ферропорошка использовали композицию Fe – 6,5 % Cr, а рабочей жидкости - 5 %-й водный раствор Syntilo R4 фирмы Castrol Industrial.

Условия проведения экспериментов по матрице ЦКРУП второго порядка представлены в табл.

Таблица

Уровни факторов	Условия опытов				
	Технологические факторы				
	P, Н	I, А	B, Тл	S, мм/об	Y, м/с
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
0	1000	100	0,8	0,30	0,080
+1	1250	120	1,0	0,42	0,091
-1	750	80	0,6	0,18	0,069
+α	1500	140	1,2	0,54	0,102
-α	500	60	0,4	0,06	0,058

Обработку полученных данных производили с помощью пакета прикладных программ MATHCAD PLUS 6.0 и MATHEMATICA 2.2, работающих в среде Windows.

Экспериментальные исследования проводили на образцах из стали 45, представляющих собой кольца с наружным диаметром 40 мм, внутренним – 16 мм и высотой 12 мм. Образцы подвергали нормализации и обрабатывали до шероховатости поверхности Ra = 12,5 мкм.

В работе износостойкости покрытий, полученных ЭМН с ППД, изучалась в условиях гидроабразивного изнашивания при трении скольжения на машине для испытаний материалов на трение и износ 2070 СМТ-1 по схеме «вал-колодка» линейным методом.

Колодка из чугуна ХТВ имела высоту 10 мм, что позволило сохранять измерительную базу, так как по краям образца оставались цилиндрические ленточки. Измерение образцов производили в двух взаимноперпендикулярных плоскостях по двум сечениям, используя оптический длинномер ИЗВ-1, точность измерения каждого составляла 0,001 мм.

Для ускорения процесса изнашивания использовали масляно-абразивную смесь (масло индустриальное 20, содержащее 2 % карбида бора, зерна последнего составляли 4...5 мкм), которую в количестве 40 мл заливали в камеру для масла. При этом для каждой партии испытываемых образцов использовали свежую порцию смеси.

Образцы после наплавки покрытий шлифовались до шероховатости поверхности Ra=0,63 мкм. Затем они прирабатывались с колодкой. Окончание приработки определяли по стабилизации момента трения пары, регистрируемого аппаратурой машины.

Режим испытаний соответствовал условиям работы деталей сельскохозяйственных машин, для которых характерна скорость скольжения до 2,5 м/с и удельная нагрузка 3 МПа. Испытывали партии по пять образцов.

Математическая модель, определяющая зависимость относительной износостойкости покрытия $Y = \varepsilon$ от технологических факторов В, I, В, S, V в нормированном виде соответственно X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 имеет следующий вид:

$$Y = \varepsilon = 2,3 + 0,28X_1 + 0,12X_2 + 0,22X_3 - 0,13X_4 - 0,08X_5 + \\ + 0,21X_1X_2 - 0,17X_1X_3 - 0,37X_1X_4 + 0,11X_1X_5 + \\ + 0,19X_2X_3 + 0,78X_2X_4 - 0,16X_2X_5 + 0,22X_3X_5 - \\ - 0,18X_4X_5 - 0,38X_1^2 - 0,14X_2^2 - 0,15X_3^2 - 0,11X_4^2 - 0,10X_5^2.$$

Проверка воспроизводимости опытов по критерию Кохрена при доверительной вероятности 0,95 показала, что гипотеза воспроизводимости опытов принимается. Выявлено, что не все коэффициенты регрессии значимы с 90%-й доверительной вероятностью по критерию Стьюдента. Также установлено, что модель адекватна при 5%-м уровне значимости по критерию Фишера.

Анализ полученной модели показывает, что технологические факторы по-разному влияют на параметр оптимизации и, кроме того, зависимость параметра от технологических факторов носит экстремальный характер. Обусловлено это совместным действием электрической, магнитной, тепловой и механической энергий при формировании покрытий в электромагнитном поле с ППД.

С учетом уровня значимости исследуемые факторы можно расположить в порядке убывания их влияния на параметр оптимизации в следующий ряд:

$$Y = \varepsilon : P \rightarrow B \rightarrow S \rightarrow I \rightarrow V.$$

Видно, что на относительную износостойкость наибольшее влияние оказывает усилие деформирования P. Затем в порядке убывания значимости следует магнитная индукция B и скорость продольной подачи S. Замыкает ряд сила разрядного тока I и окружная скорость образца V.

С ростом усилия P увеличивается глубина и степень деформации и, следовательно, твердость покрытия. Значение магнитной индукции B в рабочей зоне влияет на жесткость цепочек зерен ферропорошка и совместно с I определяет время существования электрического разряда. Очевидно, что значение I, задавая количество теплоты, подводимой в зону наплавки, определяет фазовые и структурные превращения в покрытии и основе, а также глубину диффузии элементов ферропорошка в материал основы. Особую роль при формировании рельефа поверхности играют формообразующие движения S и V, связанные с перекрытием площадок при деформировании поверхности и поглощением тепла деталью.

По полученной математической модели ЭМН с ППД ферропорошка Fe – 6,5% Cr с применением ЭВМ получен следующий оптимальный режим процесса:

$$P = 1000 \text{ Н}; I = 100 \text{ А}; B = 0,9 \text{ Тл}; S = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}; V = 0,08 \text{ м/с}.$$

Известно, что одним из важных показателей качества процессов формирования рабочих поверхностей трения при любых технологических схемах являются стабильность и воспроизводимость неизменных эксплуатационных свойств изделий. В этой связи значительный интерес вызывает дисперсия данных испытаний износостойкости покрытий, полученных на оптимальном режиме ЭМН с ППД ферропорошка Fe – 6,5% Cr.

Анализ результатов испытаний износостойкости покрытий (обрабатывалась партия образцов в количестве 50 штук) показал, что разброс экспериментальных данных не превышает 12%, что свидетельствует об устойчивости и стабильности процесса ЭМН с ППД, который обеспечивает толщину покрытия в пределах 0,50 ... 0,52 мм.

Совершенствование процесса обкатки двигателей внутреннего сгорания

Андруш В. Г., БГАТУ, г. Минск

В известном стенде для обкатки двигателя внутреннего сгорания о ходе приработки судят по величине механических потерь, когда длительность приработки задается в зависимости от момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала в контрольных точках при определенной частоте вращения.

Момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала существенно зависит от температуры обкатываемого двигателя (рис.1). Эта зависимость, аппроксимируя ее методом наименьших квадратов, может быть описана

$$\text{простой формулой вида: } M_c = a + bT + cT^2 \quad (1)$$

где M_c – момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала обкатываемого двигателя; T – температура обкатываемого двигателя; a, b, c – постоянные коэффициенты, для двигателя Д-65Н при частоте вращения 800 мин^{-1} $a = 110,1$; $b = -1,47$; $c = 7,95 \cdot 10^{-3}$.

Поддерживать определенную температуру двигателя с высокой точностью на протяжении всей обкатки очень сложно, даже применяя специальное оборудование в связи с изменяющимися режимами приработки, окружающей температурой, охлаждающей жидкостью и т.д. Для того, чтобы не ожидать достижения определенной температуры обкатываемого двигателя и сократить общее время обкатки, уменьшив время измерения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала в контрольных точках, в стенде для обкатки двигателя внутреннего сгорания (рис.2) измеряют дат-