

Система создания технологической оснастки для электроискрового упрочнения поверхностей

Приведены результаты использования системы математического моделирования, которая включает математическое моделирование, разработку конструктивно-технологических предложений, оптимизацию параметров оснастки, для повышения производительности процесса электроискрового упрочнения сложных поверхностей.

Ключевые слова: система, создание, оснастка, электроискровое, упрочнение, поверхность

Повышение износостойкости нагруженных деталей пар трения (например, элементов зубчатых передач) металлургического оборудования является актуальной хозяйственной проблемой. Упрочнение поверхностей, которые имеют сложную форму (рабочие поверхности элементов зубчатых передач) возможно путём их электроискровой обработки [1, 2]. Основным недостатком такого способа является низкая производительность.

Для исследования возможностей повышения производительности электроискрового упрочнения сложных поверхностей целесообразно применить систему создания специальной технологической оснастки [3], которая включает:

- математическое моделирование (целесолагание, идеализация, формализация, идентификация, проверка адекватности);
- разработку конструктивно-технологических предложений;
- оптимизацию параметров конструктивно-технологических предложений.

Рассмотрим решение такой задачи на примере технологической оснастки для электроискрового упрочнения сложных поверхностей.

Математическое моделирование

Целесолагание. Разработать математические модели для описания особенностей электроискрового упрочнения поверхностей зубчатых профилей. Погрешность моделирования не более 15 %. Стоимость моделирования не должна превышать 4,25 % стоимости продукции, для которой используется оснастка.

Идеализация.

Примем:

- обработка осуществляется методом обкатки (огибания), при котором имитируется процесс зацепления (при этом один из элементов «зубчатой» передачи является деталью, а другой – инструментом);

- инструмент представляет собой многоэлектродную систему (в которой каждый электрод закреплён на «роторе» через переходной элемент);

- для увеличения длительности пребывания электрода в контактной зоне использованы упругие соединительные элементы с «ротором»;

- радиус кривизны поверхности, по которой происходит контакт отдельного электрода и детали, зависит от углов скрещивания осей вращения инструмента и обрабатываемой детали.

Формализация. Математическая модель (1) описывает изменение радиуса кривизны обрабатываемой поверхности в сечении торцевой плоскостью специального инструмента в зависимости от углов скрещивания осей вращения инструмента и обрабатываемой детали (выраженных через тригонометрические функции углов поворота в системах координат, связанных с обрабатываемой деталью и инструментом).

При построении математической модели произведены последовательные повороты исходной системы координат вокруг осей для более удобного описания зависимости радиуса кривизны обрабатываемой поверхности от конструктивных параметров детали и оснастки.

В результате преобразования систем координат было получено уравнение кривой, образованной пересечением поверхности зуба плоскостью, которая является торцевой поверхностью инструмента (1).

Идентификация. В полученном выражении (1) входные переменные (R , y) и параметры (α , β) описывают: α ($50 \div 90$)° – проекция угла скрещивания осей вращения инструмента и обрабатываемого колеса на осевую плоскость колеса; β ($60 \div 80$)° – проекция угла скрещивания осей вращения инструмента и обрабатываемого колеса на плоскость, перпендикулярную

$$\rho = \frac{\left\{ 1 + \left\{ -\frac{1}{\cos \alpha} \left[\sin \beta \cdot \sin \alpha - y \cdot \cos^2 \beta \cdot (R^2 - y^2 \cdot \cos^2 \beta)^{-1/2} \right] \right\}^2 \right\}^{3/2}}{\left| \frac{\cos^2 \beta \cdot R^2}{\cos \alpha} (R^2 - y^2 \cdot \cos^2 \beta)^{-3/2} \right|}, \quad (1)$$

осевой плоскости колеса и наклонённую к оси колеса под углом α ; R – радиус кривизны профиля впадины обрабатываемой детали в торцевой плоскости; y – координата рассматриваемой точки обрабатываемой поверхности в торцевой плоскости детали.

Проверка адекватности. Проверка адекватности выполнена для нескольких вариантов рабочих поверхностей зубьев дисков для рифления проволоки по критерию проверки для малых выборок [6]. Значения выходной переменной математической модели находятся в пределах граничных значений критерия (табл. 1), что подтверждает наличие адекватности.

Таблица 1

Варианты экспериментов	Выходная переменная модели	x_{\max}	x_{\min}
1	92,731	92,753	89,647
2	81,308	83,471	80,929
3	89,275	89,688	86,712
4	77,852	79,355	76,512

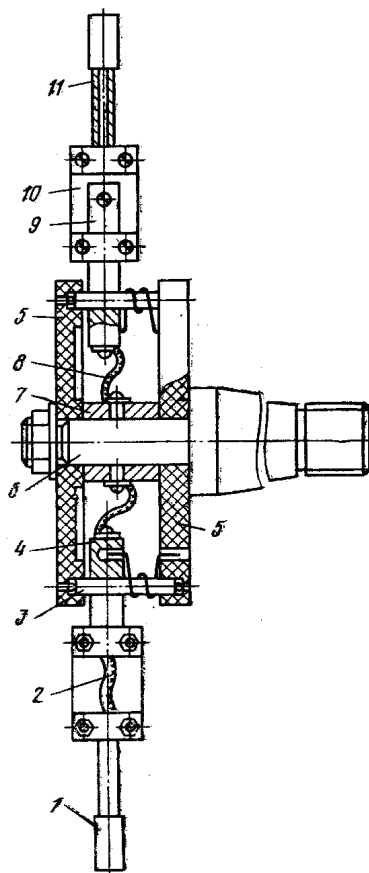
Разработка конструктивно-технологических предложений. Математическая модель позволила установить предельные значения конструктивных параметров (углов) многоэлектродного инструмента, при которых возможна эффективная обработка.

Для повышения износостойкости сложных профилей рабочих поверхностей валков периодического и сортового проката целесообразно использовать специальную технологическую оснастку в виде многоэлектродных роторных вращающихся инструментов (рисунок), позволяющих (благодаря упругости специальных переходных элементов конструкции, которые соединяют отдельные электроды с ротором) упрочнять поверхности с большими различиями размеров [3] электроискровым способом.

Оптимизация параметров конструктивно-технологических предложений. Математическая модель (1) использована для определения оптимальных значений углов, задающих взаимное положение инструмента и обрабатываемой поверхности. В качестве критерия оптимизации (2) выбрана средняя величина разностей Δ текущего значения радиуса кривизны ρ_i и постоянного значения радиуса поворота вершин электродов R_3 .

$$\Delta = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\rho_i - R_3) \Rightarrow \max. \quad (2)$$

При этом количество текущих значений радиусов кривизны определялось количеством шагов n по переменной y в пределах выделенного диапазона при принятой величине шага ($\Delta_y = 0,01$ мм). Для определения оптимальных значений углов использован известный алгоритм оптимизации [7] с применением имитационных планируемых экспериментов с математической моделью, реализованной в виде программы для ЭВМ. Для построения регрессионных полиномов проводились расчёты в соответствии



Технологическая оснастка для электроискровой обработки сложных поверхностей (многоэлектродный инструмент): 1 – электрод; 2 – упругий элемент; 3-7 – детали переходной муфты; 8 – вал ротора; 9-11 – детали крепления электрода

с матрицей планирования для областей начальных значений параметров (табл. 2) для конкретного варианта инструмента.

Построенные линейные регрессионные модели адекватны (при уровне значимости 5 %) и имеют значимые коэффициенты регрессии. В качестве исходного варианта сочетаний факторов при оптимизации

Таблица 2

Критерии оптимизации

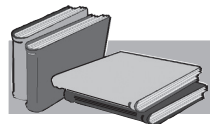
Уровни факторов	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	Δ
Верхний	60	70	
Нижний	50	60	
Интервал варьирования	5	5	
Матрица планирования	+	+	-37,374
	-	+	-51,613
	+	-	-42,207
	-	-	-54,695
Коэффициенты регрессии	1,142	0,346	
Шаг движения	5,712	1,728	
Движение по градиенту	61,000	71,000	-34,160
	66,712	72,728	-11,357
	72,423	74,456	40,179
	78,135	76,184	193,397
	83,846	77,912	1023,340
	89,558	79,641	1242,180
	95,269	81,369	1989,990

выбрана строка табл. 2, соответствующая наибольшему значению критерия.

Последовательная оптимизация проведена с установленными шагами (табл. 2). Сочетание значений углов: $\alpha = 90^\circ$; $\beta = 80^\circ$ обеспечило наибольшее значение критерия оптимизации.

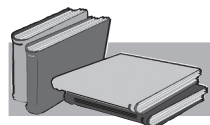
Использование системы создания оснастки, которая включает: математическое моделирование (целе-

полагание, идеализацию, формализацию, идентификацию, проверку адекватности); разработку конструктивно-технологических предложений; оптимизацию параметров конструктивно-технологических предложений, позволяет эффективно решать практические задачи создания технологической оснастки для электроискрового упрочнения сложных поверхностей, повышения производительности и качества обработки.



ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 1. – 694 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. А. Н. Малова – М.: Машиностроение, 1972. – Т. 2. – 568 с.
3. Ясев А. Г. Комплексный метод совершенствования технологической оснастки процессов обработки деталей металлургических машин / А. Г. Ясев // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Дніпропетровськ: Системні технології, 2007. – Т. 10. – С. 68-82
4. Механизация электроэрозионного упрочнения зубчатых профилей / В. Н. Морозенко, С. П. Лапшин, В. А. Мартыненко, А. Г. Ясев // Электронная обработка материалов. – 1989. – № 4. – С. 84-87.
5. А.с. 1340953 СССР. Способ электроэрозионного упрочнения зубчатых колес / В. Н. Морозенко, В. А. Мартыненко, С. П. Лапшин и др. – Оpubл. 1987. Бюл. № 36.
6. Ясев А. Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении / А. Г. Ясев. – Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. – 237 с.
7. Ясев А. Г. Применение методов оптимизации технологических процессов // Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общей редакцией Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах: «Оптимизация технологических процессов в машиностроении» - Одесса: ОНПУ, 2004. – Т. 8. – 509 с.



REFERENCES

1. Reference book of machine technologist-builder. / Under a release of A. G. Kosilova and R. K. Mesheriakova. – M.: Engineering, 1972. – V. 1. – 694 s.
2. Reference book of machine technologist-builder. / Under a release of A.N. Malova. – M.: Engineering, 1972. – V. 2. – 568 s.
3. Yasev A. G. Complex method perfections of the technological rigging for processes of treatment details of metallurgical machines // Modern problems of metallurgy. Scientific works. Volume 10. Dnepropetrovsk: System technologies, 2007. – P. 68-82.
4. Mechanization of electro-erosive work-hardening toothed profiles / V. N. Morozenko, S. P. Lapshin, V. A. Martunenko, A. G. Yasev // Electronic treatment of materials. 1989. – № 4. – P. 84-87.
5. A.s. 1340953 USSR. Method of electro-erosive work-hardening toothed wheels / V. N. Morozenko, V. A. Martunenko, S. P. Lapshin and others. – Published 1987. Bul. № 36.
6. Yasev A. G. Accordance of mathematical models and technological processes in metallurgy and engineering / A. G. Yasev. – Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL. 2001. – 237 s.
7. Yasev A. G. Application methods of optimization technological processes / A. G. Yasev // Physical and mathematical theory of processes treatment of materials and technology of engineering / Under a common release of F. V. Novikov and A. V. Yakimov. In 10 volumes.: «Optimization of technological processes in engineering» – Odessa, ONPU, 2004. – V. 8. – 509 s.

Анотація

Ясев А. Г., Лапшин С. П., Мартиненко В. А.

Система створення технологічного оснащення для електроіскрового зміцнення поверхонь

Наведено результати використання системи математичного моделювання (яка включає математичне моделювання, розробку конструктивно-технологічних пропозицій, оптимізацію параметрів оснастки) для підвищення продуктивності процесу електроіскрового зміцнення складних поверхонь.

Ключові слова

система, створення, оснастка, електроіскрове, зміцнення, поверхонь

Results of using system of mathematical modeling (which includes mathematical modeling, development constructive-technological offers, optimization parameters of rigging) for the increase of the electrospark work-hardening process of difficult surfaces productivity are shown.

Оформление рукописи для опубликования в журнале "Металл и литьё Украины":

Материалы для публикации необходимо подавать в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер страницы А4, книжная ориентация, шрифт – Arial, 10, междустрочный интервал – 1,5. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- аннотации (на русском, украинском и английском языках);
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) научной статьи: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом).
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть чёрно-белыми, чёткими, контрастными, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например - [1]).