

то и очень практичной: речь идет об эффективном управлении эксплуатационной работоспособностью при обеспечении требуемой безопасности наиболее ответственных – силовых систем машины, что обуславливает снижение затрат труда, средств и материалов в сферах производства и эксплуатации.

В данном докладе и предложен алгоритм управления ИУП, обеспеченный основными расчетными формулами.

Литература. 1. Библиографический список работ по трибофатике (1985-2000). (Международный координационный совет по трибофатике). Составители Т.Есева, С.Тюрин.-Гомель, 2000. -26 с. 2. Л.А.Сосновский, В.Т. Трощенко, Н.А. Махутов, Гао Ван-Чжэн, А.В. Богданович, С.С. Щербаков. Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика). – Гомель, Киев, Москва, Ухань, 2001. – 171 с. 3. Proc. of III Intern. Symposium on Tribo-Fatigue (ISTF'2000: Oct. 22-26, 2000, Beijing, China). Ed. by Gao Wanzhen and Li Jian. –Hunan University Press, China, 2000. –653 p. 4. Сосновский Л.А., Махутов Н.А. Трибофатика: износоусталостные повреждения в проблемах ресурса и безопасности машин. – Москва, Гомель: 2000. – 304 с. 5. Журков С.Н. Дилатонный механизм прочности твердых тел / Физика прочности и пластичности. – Л.Наука, 1986, С. 5-11. 6. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 455 с. 7. Трибофатика-98/99: Ежегодник. Под общ. ред Л.А. Сосновского//Вып. 1: Теория накопления износоусталостных повреждений. Под ред Н.А. Махутова/ Авт.: Л.А. Сосновский, А.В. Богданович. – Гомель: НПО «ТРИБОФАТИКА», 2000. – 60 с. 8. Сосновский Л.А. Статистическая механика усталостного разрушения. - Минск: Наука и техника, 1987. - 288 с. 9. Сосновский Л.А. Показатель безопасности и оперативная характеристика риска. – Гомель: 1991. – 16с. 10. Качество материалов и силовых систем / Авт.: Жмайлик В.А., Подобедов В.Н., Сосновский Л.А. – Гомель: 1998. – 164с.

УДК 621.923.

**П.И. Ящерицын; А.П. Ракомсин; М.И. Сидоренко;
Л.Е. Сергеев; А.М. Миронов**

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ MAO

*Физико-технический институт НАН Беларуси, Республиканское унитарное предприятие «МАЗ», Белорусский государственный аграрный технический университет
г. Минск, Беларусь*

На сегодняшний день одним из методов получения мелко модульных зубчатых колес является холодное накатывание. Данный способ позволяет сформировать точный профиль зуба.

Во время процесса прикатки обрабатываемое зубчатое колесо и инструмент – накатник, имеющий форму цилиндрического зубчатого колеса, находятся в беззазорном зацеплении [1]. В результате взаимного относительного скольжения профилей зубьев заготовки и инструмента на противоположных сторонах зуба колеса материал припуска течёт в разных направлениях. На ведомой стороне профиля зуба колеса металл перемещается от головки и ножки зуба к делительной окружности. В результате этого на делительной окружности происходит наволакивание металла – образуется выступ. На

противоположной стороне профиля зуба металл перемещается от делительной окружности к головке и ножке зуба, в результате в зоне делительной окружности появляется впадина. Вследствие течения металла в сторону головки зуба наружный диаметр обрабатываемого колеса увеличивается (образуется рогообразный нарост). Различный характер деформаций и течения металла на обеих сторонах зубьев создают трудности в получении симметричного профиля зуба колеса. Чтобы получить удовлетворительные результаты, вводят различную коррекцию на каждой стороне зуба накатника, однако полностью устранить рогообразный наплыв не возможно.

Оптимальным способом решения данной задачи является обработка наружного диаметра зубчатого колеса шлифованием после закалки. Вследствие шлифования образуется множество заусенцев и прижогов, что требует последующей финишной обработки. На сегодняшний день для этой цели применяются [2]: притирка, зубохонингование, электрохимическая обработка. Обладая рядом достоинств, данные способы имеют и не решенный комплекс проблем: постоянный монтаж – демонтаж притирочной системы (привод, относительное расположение); постоянная замена притирочной массы; необходимость утилизации отработанного абразива; длительность процесса; высокая квалификация рабочего; высокая стоимость инструмента; экологическая вредность процесса.

В связи с возрастающими требованиями к повышению качества и производительности процесса обработки деталей машин всё больше ощущается необходимость применения новых способов финишных операций. Одним из таких методов является магнитно-абразивная обработка (МАО) [3]. Сущность МАО при обработке по схемам с механическим приводом заключается в том, что обрабатываемой поверхности детали или порошок с магнитными и абразивными свойствами, помещённым в магнитное поле, сообщают принудительное движение относительно друг друга. Съём металла осуществляется в результате силового воздействия порошка на поверхность детали и указанных относительных движений. Обрабатываемая деталь 1 (рис. 1) помещается между полюсными наконечниками 2 электромагнита с некоторыми зазорами δ , в которые подается ферро – абразивный порошок (ФАП). Механическим приводом детали сообщаются вращательные и осциллирующие вдоль оси движения. Силами магнитного поля зерна порошка удерживаются в рабочих зазорах, прижимаются к поверхности детали и производят её обработку.

Достоинства МАО: полная механизация шлифовально – полировальных операций, позволяющая повысить производительность труда в 3 – 5 раз по сравнению с существующими методами поштучной абразивной обработки; применение дешевого магнитно – абразивного порошка, снижающее в 2 – 3 раза затраты на абразивный инструмент; нет необходимости в жесткости системы СПИД и др.

Для прерывистой поверхности распределение магнитного потока во многом носит характер неопределенности. Это связано со стремлением магнитного потока осуществить свое прохождение по энергетически выгодному участку магнитной цепи. Поскольку магнитная индукция является плотностью магнитного потока и его основной силовой характеристикой, то знание ее распределения в рабочей зоне при МАО позволит спрогнозировать процесс финишной обработки зубчатых колес. Проблема МАО зубчатых колес заключается в сложности обработки переменного по разности величин диаметра окружностей их выступов и впадин. Это связано с тем, что по мере удаления от проводника с током, вокруг которого согласно закона Ампера поле, последнее ослабевает. Падение напряженности поля, являющейся его силовой характеристикой, приводит соответственно к уменьшению давления ФАП на обрабатываемую поверхность, а в конечном итоге и снижению съема материала. В связи с изложенным выше возникает задача оптимального применения данного метода с целью полного использования тех-

нологических возможностей МАО. Как указывалось, например, выше именно наличие модуля $m \leq 2,5$ мм практически ограничивает финишную обработку зубчатых колес методом зубохонингования [1], а по данным [5], магнитное поле, проникающее в паз, затухает на глубине, примерно равной его ширине. Следовательно, чем меньше модуль зубчатого колеса, тем эффективнее происходит процесс съема материала обрабатываемого изделия, несмотря на переменность величин диаметров выступов и впадин при использовании МАО. Кроме того, положительным фактором данного процесса служит наличие эвольвентного профиля контура зуба (его условно можно считать трапециидальным), что увеличивает эффективность доступа ФАП в зону обработки и повышает ее качество. Второе важное условие заключается в том, что острая кромка представляет собой концентратор магнитного потока и именно здесь будет наибольшая плотность этого потока. образуется магнитное

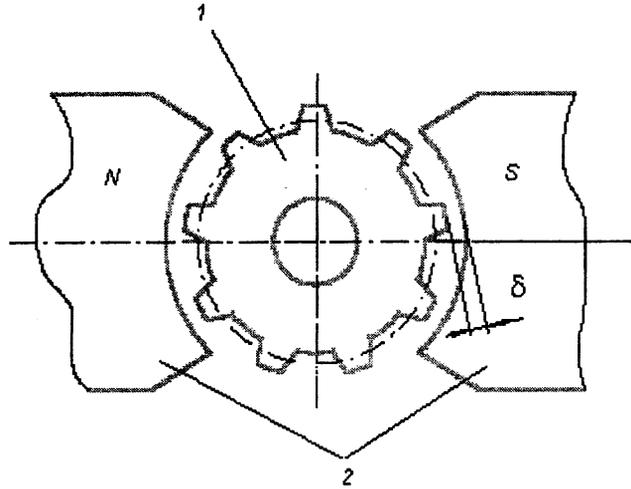


Рис. 1 Схема магнитно-абразивной обработки зубчатых колес.

Наиболее предпочтительным является математический путь решения задачи. Это дает общие формулы для расчета магнитного поля в зоне обработки и возможности получения картины этого поля, что приводит к оценке потенциала процесса МАО. Данное исследование производится в области между поверхностями полюса электромагнитной системы (ЭМС) и зубчатой поверхностью колеса плоскости Z. Ее можно представить в виде четырехугольника ABCD (рис. 2). Отображение этого четырехугольника на полуплоскость Q при использовании интеграла Кристоффеля – Шварца в общем виде выглядит следующим образом

$$Q = C \int_{Q_0}^Q (Q-a)^{\alpha_1-1} (Q-b)^{\alpha_2-1} (Q-c)^{\alpha_3-1} (Q-d)^{\alpha_4-1} + C_1 \quad (1)$$

где d, b, c, d – координаты вершин четырехугольника ABCD;

$C; C_1; Q_0$ – произвольные постоянные;

$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4$ – углы при вершинах четырехугольника ABCD (в долях π).

Решение для данного случая после ряда преобразований имеет вид [4]:

$$\frac{P}{2\delta} = \frac{1}{\delta} \left\{ \begin{aligned} & \left[\text{Ln}(1-\beta) - \alpha \text{Ln}(\alpha\beta-1) + \frac{1}{2} \left[\frac{\alpha \text{Ln}(1+\alpha\beta+\alpha^2\beta^2)}{\text{Ln}(1+\beta+\beta^2)} \right] + \sqrt{3} * \right] \\ & * \left(\alpha \text{arctg} \frac{2+\alpha\beta}{\sqrt{3}\alpha\beta} - \text{arctg} \frac{2+\alpha\beta}{\sqrt{3}\beta} \right) \end{aligned} \right\} + \frac{\sqrt{3}}{2} (1-\alpha) \quad (2)$$

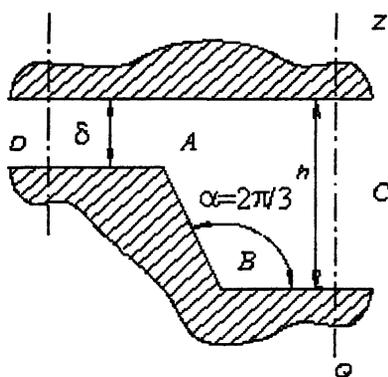


Рис. 2 Рабочая зона зубчатого контура колеса при MAO с условием $\alpha = 2\pi/3$.

где P – шаг зубчатого колеса, мм;

β – зазор между полюсом ЭМС и диаметром вершин зубчатого колеса, мм;

$\alpha = \frac{h}{\delta}$, h – глубина паза, мм;

Из выражения (2) следует, что минимальное значение относительной индукции

$$\beta = \frac{B}{B_{\max}} = \sqrt[3]{\frac{Q+1}{Q+\alpha^3}};$$

$$\beta = \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

При $h = 0$ (гладкая цилиндрическая поверхность), $\beta = 1$, а если $h \neq 0$, то зависимость $\beta_{\min} = f(\alpha)$ имеет вид гиперболы (рис. 3). Задаваясь значениями относительной индукции β и подставляя их в уравнение (2), выявляются соответствующие значения $\frac{P}{2\delta}$ при разных β . Приводя данные показатели применительно к реальному зубчатому колесу (диаметры окружности вершин и впадин, модуль зацепления и т. д.) и магнитному полю (магнитная индукция), можно определить наиболее приемлемые условия обработки и установить возможности процесса MAO для получения необходимых его качества и производительности. На рис. 3 приведена зависимость $\beta = f\left(\frac{P}{2\delta}\right)$ при значении $\alpha = 120^\circ$ (трапециидальный зуб), что наиболее отвечает форме рабочего контура зубчатого колеса.

Проведенные исследования позволили определить, что максимально возможным значением α , при котором осуществляется процесс MAO, является диапазон 4 – 6. Преобразовав, $\frac{P}{2\delta}$ как $\frac{\pi m}{2\delta}$ и подставляя данный диапазон, можно варьируя показателями m и δ , произвести прогнозирование обработки мелко модульных зубчатых колес методом MAO.

На основании вышеизложенного были проведены исследования, направленные на оценку технологических возможностей метода MAO при обработке мелко модульных зубчатых колес ($m = 1,5$ мм). Шестерни имели косой зуб, $\beta = 12^\circ$, материал – сталь 40X ГОСТ 4543 – 71, 40 – 44 HRC₃, оборудование – СФТ 2.150.00.00.000 производства ФТИ НАН Беларуси, ферроабразивный порошок – Fe - TiC – 15% ТУ 38.59011 76 – 91., 3% водный раствор. Параметры и режимы обработки: величина магнитной индукции, $B = 1$ Тл; скорость резания, $V_p = 0,15$ м/с; амплитуда осцилляции, $A = 1,5$ мм; коэффициент заполнения рабочего зазора, $K_z = 1$; величина рабочего зазора, $\delta = 1$ мм. Основная задача обработки методом MAO заключалась в скругления фасок зубчатого контура

колес и устранении заусенцев, образованных предшествующей операцией шлифования по наружному диаметру деталей. Результаты проведенных исследований показали высокую эффективность процесса МАО.

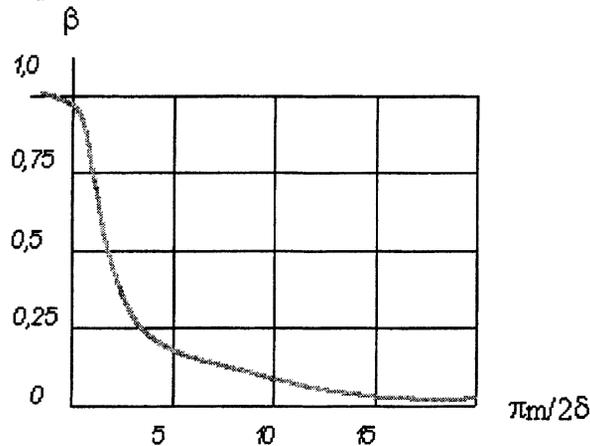


Рис.3 Распределение относительной индукции β в пазу зубчатого колеса при $\alpha = 2\pi/3$.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что в качестве высокоэффективного метода финишной обработки мелкозубчатых колес выступает процесс МАО, позволяющий получить требуемые эксплуатационные характеристики этих деталей.

Литература. 1. Производство зубчатых колёс; Справочник / С. Н. Калашников, А. С. Калашников, Г. И. Коган и др. : Под. общ. ред. Б. А. Тайца М.: «Машиностроение», 1990. – 464 с. 2. Г. И. Коган «Отделка зубчатых колёс» 2 – е изд. Перераб. МАШГИЗ Москва 1962. – 118 с. 3. Сакулевич Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки. – Мн.: Наука и техника, 1981. – 328 с. 4. Скрузитис К. Э. Расчет магнитного поля зубчатого ротора. – Бесконтактные электрические машины, II, Изд. АН Латв. ССР, 1962.. – 320 с. 5. Брынский Е. А., Данилевич Я. Б., Яковлев В. И. электромагнитные поля в электрических машинах. – Л.; Энергия, 1979. – 176 с.

УДК 658.516:658.562

В.Н. Корешков, Н.А. Кусакин, В.Л. Соломахо

МЕХАНИЗМ СОГЛАСОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МЕЖДУНАРОДНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ

Госстандарт Республики Беларусь

Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Гармонизация государственных стандартов с международными в настоящее время стала базовым принципом стандартизации, поскольку эквивалентные стандарты не создают скрытых препятствий на пути международной торговли. Это нашло отражение в Соглашениях по техническим барьерам в торговле (ТБТ) и санитарным и фитосанитарным нормам (СФС) Всемирной торговой организации (ВТО), согласно которым член ВТО должен перенести акцент с разработки национальных стандартов на применение международных. Разработку национальных стандартов следует осуществ-