

времени измельчения наблюдается постепенное снижение скорости износа. Значительно меньший износ и более высокая стабильность геометрических размеров рабочего органа из стали 51ХФА предполагает и меньший намол материала пружины в объем готового продукта.

Исследование (см. рисунок 3) по определению кинетики намола материала рабочего органа и камеры мельницы были исследованы с учетом методики ГСО 3257-85, предназначенной для определения процентного содержания магнитного материала (Fe) в пробах. Применяемый прибор «Магнит-704» обеспечивает точность измерений в диапазоне от 0,004 до 2,0 % (Fe) при доверительной вероятности 0,95.

Из рисунка 3 видно увеличение процентного содержания железа от времени обработки, в пробе песчано-цементной смеси составляет в среднем 0,0028 % в час для стали 51ХФА и 0,004 % для стали 65Г, а удельный износ, только рабочего органа  $q_{\text{м}}$  для таких сталей был соответственно 0,065 и 0,11 кг/т.

По сравнению с другими мельницами, с аналогичной производительностью по классу минус 63 мкм, в пружинных мельницах намол фурнитуры от 2 до 10 раз меньше. Данный характер кинетики намола возможен при минимальном трении мелющих тел по материалу загрузки. При более значительном удельном намоле материала рабочего органа, из-за малости массы пружинного рабочего органа долговечность последнего, по критерию абразивного износа была бы минимальной и неприемлемой даже для лабораторного оборудования.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Благодарный В. М.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Передаточный механизм привода, состоящий из зубчатых передач, опор, валов, муфт и т.п., т.е. механических элементов, представляет собой механическую систему (МС).

Как свидетельствуют испытания и эксплуатация, причинами отказов МС являются отказы одного, двух, реже - нескольких элементов системы, которые оказываются наиболее слабыми по сравнению с другими. Поэтому при прогнозировании надежности МС вполне приемлемой оказы-

вается концепция слабого элемента; задача определения надежности МС сводится к задаче определения надежности слабого элемента. Слабыми элементами МС являются элементы, которые обладают худшими характеристиками работоспособности по сравнению с другими, находятся в наиболее тяжелых условиях функционирования.

Характеристика работоспособности элемента - это обобщенный показатель, зависящий от множества факторов, определяющих состояние элемента (нагруженности, скорости и точности перемещения, воздействия окружающей среды, внешних и внутренних свойств элемента, характеристик материала, связей с другими элементами и т.п.).

Приняв за нормативное значение характеристику работоспособности  $X_n$  элемента, обеспечивающего работоспособность МС, будем сравнивать характеристики работоспособности  $X_i$  остальных элементов МС с этим значением. Те элементы, у которых  $X_i < X_n$ , будут отнесены к предпочтительно слабым элементам, в основном они определяют надежность системы.

Оценка работоспособности элементов осуществляется на основе принципов системного подхода: целостности, связанности и существенности.

В общем случае МС декомпозируется на подсистемы и элементы. Простейший элемент состоит из одной кинематической пары или звена. Элементы МС связаны между собой. Связи элементов делятся на активные и пассивные.

При анализе МС первоначально рассматривается ее модель в виде структуры системы без учета особенностей элементов. Это позволяет на первом этапе исследования ограничить объем информации только теми данными, которые характеризуют лишь структуру МС. Каждый элемент характеризуется структурной значимостью, определяемой количеством и качеством связей элемента с другими.

Модель МС представляется в виде графа  $G(X, R)$ , где  $X$  - множество составляющих его вершин - элементов МС, а  $R$  - множество связей между вершинами. В множество вершин  $X$  графа МС включается особая вершина  $X_0$ , обозначающая окружающую среду, под которой можно принимать также взаимодействие рассматриваемой МС с другими системами.

Структурная модель МС записывается в виде конечной квадратной матрицы смежности  $R^n = \|r_{ij}\|_{n \times n}$ , где  $n$  - число вершин графа  $G$ , а элемент  $r_{ij}$  матрицы  $R^n$ , стоящий на пересечении  $x_i$  строки с  $x_j$  столбцом, определяет

число дуг, принадлежащих вершинами  $x_i$  и  $x_j$ . Определение структурной значимости элемента производится путем сложения элементов матрицы  $R^n$  по строкам.

Следующим этапом исследования является анализ функционирования МС и элементов. МС представляется в виде модели, целевая функция которой выражается

$$\{F_2, \omega_2, 3\Pi_2\} = u\{F_1, \omega_1, 3\Pi_1\}$$

при ограничениях

$$P_c(t) \geq [P(t)], \quad t \geq [t]$$

где  $F$  - сила,  $\omega$  - скорость,  $3\Pi$  - закон перемещения,  $u$  - передаточная функция; индексы 1 и 2 принадлежат соответственно входу и выходу МС;

$[P(t)]$  и  $[t]$  - заданные значения вероятности безотказной работы и ресурса МС;  $P_c(t)$  - вероятность безотказной работы и ресурс слабого элемента.

Целевая функция МС определяет ее показатели функционирования. Каждый показатель, входящий в комплексный показатель функционирования элемента, определяется как отношение действительного значения параметра  $\delta_i$  к его нормированному значению  $\delta_{нi}$ . Совокупность показателей функционирования характеризует элемент с разных сторон с точки зрения участия в функционировании системы, поэтому комплексный показатель функционирования представляет собой объединение частных показателей. Учитывается продолжительность работы элемента в соответствующем режиме работы относительным коэффициентом, принадлежность элемента разным подсистемам весовым коэффициентом.

Структура и связи элементов МС оцениваются с помощью функциональной значимости элемента (ФЗЭ). Определение ФЗЭ производится путем преобразования структурного графа  $G$  в функциональный  $G'$ . При этом в качестве графа  $G'$  берется множество ребер графа  $G$ , а в качестве ребер графа  $G'$  взято множество вершин графа  $G$ . Таким образом, функциональный граф состоит из множества вершин, где каждая вершина является функцией перехода, и из множества ребер, где каждое ребро есть элемент системы.

Для определения показателей ФЗЭ производится численный анализ структурного и функционального графов МС, для чего вершинам и ребрам графов предаются соответствующие веса. В качестве весов ребер функционального графа  $G'$  служат комплексные показатели функциони-

рования элементов. Составляется матрица смежности функционального графа  $G'$ , ранг любой  $i$ -й вершины графа определяется по матрице смежности путем сложения комплексных показателей связанных между собой элементов.

Записывается матрица смежности структурного графа, в качестве элементов которой подставляют значения рангов вершин функционального графа.

Сумма элементов в каждой строке матрицы соответствует функциональной значимости элементов.

С целью уменьшения времени и объема расчетов последующей оценки работоспособности элементов, а также в соответствии с концепцией слабого элемента формируется группа функционально значимых элементов, т.е. таких элементов, у которых показатели ФЗЭ наибольшие. Элементы, попавшие в группу функционально значимых, подвергаются анализу для определения характеристик работоспособности. Назначается «стандарт», т.е. элемент с нормативными значениями критериев работоспособности. Слабый элемент из числа функционально значимых элементов определяется по следующему условию

$$\forall \left| \vec{\theta} \right| \left\{ \max \left( \left| \vec{\theta} \right| - \left| \vec{\theta} \right| \right) < 0 \right\} \Leftrightarrow \left| \vec{\theta} \right| \in C$$

где  $C$  - множество слабых элементов.

Если рассчитать функционально значимые элементы по критериям работоспособности не удастся, то используются для их оценки работоспособности абсолютные и косвенные информативные параметры. Информативные параметры проверяются по критериям достаточности, существенности и некоррелированности. Для всех параметров по каждой кинематической паре и звену определяются коэффициенты близости. Сумма коэффициентов близости по всем параметрам является характеристикой работоспособности элемента. По величинам характеристик работоспособности элементы выстраиваются в ряд приоритетности. Элемент, занимающий первое место в этом ряду, является предположительно слабым, он должен в первую очередь быть подвергнут тщательному анализу и расчетам, и если надо, то ускоренным испытаниям для оценки его работоспособности.

После определения надежности слабых элементов производится оцен-

ка надежности всей МС методами схемной (структурной) надежности для трех типов систем: с последовательным, параллельным и смешанном соединением элементов.

## ТЕХНОЛОГИЯ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИГЛ

*Божкова О. В.*

*Могилевский машиностроительный институт*

Иглы для промышленных и бытовых швейных и трикотажных машин, выпускаемые в странах СНГ, не соответствуют мировому уровню качества. Острота игл, чистота поверхности, состояние ушка для нити - все эти параметры ниже зарубежных. Поэтому отечественные иглы не могут быть использованы в импортных машинах, у которых частота ударов иглы составляет от 12 до 18 тысяч в минуту, у отечественных машин частота ударов иглы не более 6 тысяч в минуту [1].

Повысить качество отечественных игл можно путем организации высококачественной финишной обработки. Эффективная и качественная финишная обработка, сочетающая процессы шлифования и полирования одновременно, может быть достигнута с помощью магнитно-абразивного способа обработки.

Особенностью магнитно-абразивной обработки является то, что этот процесс является мягким, упругим, не допускающим прижогов поверхности. Это очень важно для такой детали, как игла, которая обладает очень малыми геометрическими размерами в поперечном сечении и невысокой жесткостью. При использовании магнитно-абразивной обработки повышается качество поверхности: снимаются заусенцы, мелкие царапины и задиры, повышается чистота поверхности, снижается волнистость, повышается острота вершины иглы. За счет интенсивного действия абразивных частиц изменяется микроструктура поверхностного слоя, повышается твердость и износостойкость поверхности.

Для более качественного и эффективного шлифования и полирования игл при магнитно-абразивной обработке (МАО) необходимо обеспечить возможность контакта абразивных частиц с обрабатываемой поверхностью иглы в различных направлениях [2]. Чем больше направлений относительного движения частиц и детали, тем в большем количестве мест частицы контактируют с обрабатываемой поверхностью иглы, при этом множество частиц касается обрабатываемой поверхности своими граня-