

Моделирование нагружения зубчатой передачи комбинированного редуктора привода прокатной клетки с использованием метода фотоупругости

М.В. Бридун, Е.В. Ошовская, В.А. Сидоров

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

Зубчатые передачи редукторов приводов современных сортовых прокатных станков испытывают переменные нагрузки, изменяющиеся в широком диапазоне, и обладают конструктивными особенностями, что влияет на их работоспособность, поэтому изучение особенностей нагружения зубчатых передач является актуальной задачей. В статье представлен опыт моделирования нагружения зубчатой передачи с использованием поляризационно-оптического метода. Приведены картины распределения напряжений в зубьях зубчатой пары с проектным и увеличенным межосевым расстоянием.

Ключевые слова: прокатная клеть, комбинированный редуктор, зубчатая передача, моделирование, нагружение, напряжения, метод фотоупругости

Основным оборудованием непрерывных сортовых прокатных станков являются прокатные клетки. В приводе прокатных клеток используются комбинированные редукторы, в конструкции которых сочетаются коническо-цилиндрические передачи, служащие для преобразования частоты вращения и крутящего момента двигателя, и шестеренные валки, передающие крутящие моменты валкам прокатной клетки. Безотказная работа комбинированных редукторов обуславливает надежность прокатных клеток.

Разнообразие прокатываемой продукции вызывает широкий диапазон изменения нагрузок, действующих на элементы редукторов – валы, зубчатые колеса, подшипники. Значения крутящих моментов и, соответственно, сил, возникающих в зубчатых зацеплениях, могут изменяться почти в 3,5 раза. Такие условия нагружения, а также наличие повышенных температур и пыли оказывает влияние на работоспособность элементов комбинированных редукторов, в частности, зубчатых передач. Кроме того, зубчатые колеса имеют геометрические особенности – зубья выполнены с коррекцией по высоте, задаваемой коэффициентами смещения и коэффициентами укорочения головки. При этом сумма диаметров делительных окружностей шестерни и колеса меньше межосевого расстояния зубчатой передачи, что вызывает смещение полюса зацепления и сказывается на распределении возникающих сил. В процессе эксплуатации также может происходить увеличение межосевого расстояния передачи в результате изнашивания подшипников и смещения валов.

Основными неисправностями зубчатых передач комбинированных редукторов являются выкрашивание и износ поверхностей зубьев, возникновение и развитие которых связано с действием контактных и изгибных напряжений, которые и выступают основными критериями работоспособности зубчатых передач. Поэтому изучение особенностей нагружения зубчатых передач комбинированного редуктора при изменении межосевого расстояния с целью разработ-

ки мероприятий по повышению их безотказности представляет практический интерес и является актуальной задачей.

В настоящее время для решения таких задач широко применяется компьютерное моделирование с помощью различных прикладных пакетов (ANSYS, Nastran, SolidWorks и др.), реализующих метод конечных элементов и позволяющих выполнять прочностные расчеты с последующей визуализацией результатов в виде картин распределения напряжений и деформаций. Однако для проверки адекватности получаемых при компьютерном моделировании результатов требуется оценка их достоверности другим методом – аналитическим расчетом или натурным экспериментом. В связи с этим авторами было принято решение на первом этапе исследований провести изучение нагружения зубчатой передачи с помощью физического моделирования.

Для исследования использован поляризационно-оптический метод (метод фотоупругости). Данный метод применяется для изучения напряженно-деформированного состояния элементов конструкций и машин на прозрачных моделях из оптически чувствительных материалов.

Исследования выполнялись с помощью поляризационной установки (рис. 1). В состав установки входят коробка с матовым стеклом 1, в которой размещаются лампы накаливания и натриевые лампы, поляризатор 2 и анализатор 4. Между поляризатором и анализатором размещается исследуемая модель 3. После прохождения лучей через анализатор формируется интерференционная картина, представляющая собой совокупность светлых и темных полос (изохром), которые являются линиями равных напряжений. Вид изохром позволяет качественно и количественно определить распределение механических напряжений в модели 3, а значит, и в реальном объекте.

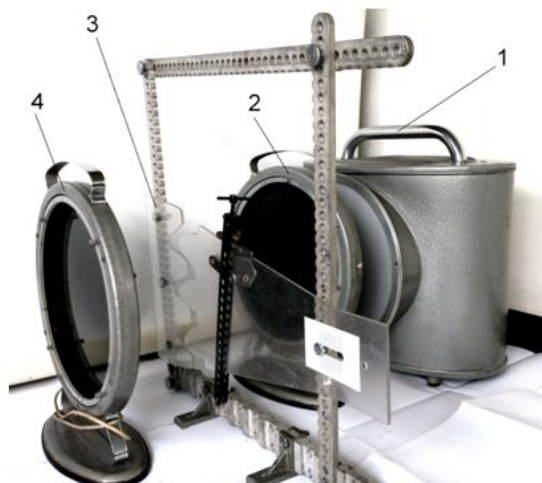


Рисунок 1 – Общий вид поляризационной установки

Из фотоупругого материала (органическое стекло) в масштабе 2:1 были изготовлены модели фрагментов зубчатой шестерни и колеса тихоходной передачи комбинированного редуктора. Модель колеса закреплялась неподвижно, модель шестерни закреплялась с возможностью поворота и нагружалась крутящим моментом. Модель шестерни выполнена с возможностью изменения межосевого расстояния зубчатой передачи в диапазоне $\pm 3\%$ от проектного зна-

чения. Получаемые в поле анализатора картины изохром фотографировали с последующим качественным анализом распределения напряжений. На рис. 2 приведены фотографии картин распределения напряжений в зубьях модели зубчатой передачи для условий, соответствующих проектному и увеличенному значению межосевого расстояния.

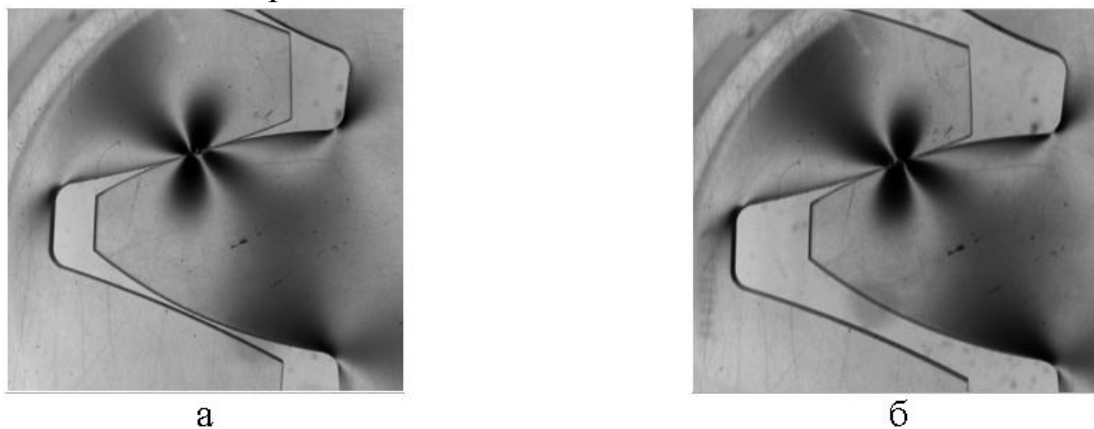


Рисунок 2 – Изохромные полосы в моделях зубчатой передачи при проектном (а) и увеличенном (б) межосевом расстоянии

На фотографиях видно, что при увеличении межосевого расстояния зубчатой передачи напряжения в зубьях распределяются практически одинаково. Изохромные полосы в контактирующих зубьях моделей колеса и шестерни имеют симметричное расположение относительно линии зацепления. Наиболее темные полосы, соответствующие максимальным напряжениям, наблюдаются в зоне контакта, возле скруглений оснований ножек зубьев, а также на боковой поверхности ножки зуба шестерни. Средняя часть ножки зуба нагружена менее интенсивно, головка зуба свободна от изохром. При увеличении межосевого расстояния зона контакта зубьев перемещается ближе к их вершинам, а площадь нагруженной средней части зуба возрастает. Представленные картины изохромных полос наглядно показывают места образования трещин – скругление основания ножки зуба и изнашивания – зона контакта зубьев.

На следующем этапе исследований полученные качественные картины распределения напряжений будут проверены компьютерным моделированием с помощью прикладного пакета ANSYS, который позволит получить также количественные оценки нагружения зубчатой передачи комбинированного редуктора привода прокатной клетки, необходимые для определения критериев работоспособности.

Кроме того нанесение повреждений в виде трещин и зон выкрашиваний на зубьях моделей шестерни и колеса, выполненных из фотоупругого материала, в соответствии с фактическими повреждениями реальных деталей редукторов обеспечит при использовании поляризационно-оптического метода возможность наглядного изучения процесса развития таких дефектов, позволит корректировать исходные параметры и принятые допущения при компьютерном моделировании, а также использовать установленные закономерности при прогнозировании фактического ресурса и поддержании безотказности зубчатого зацепления.