

УДК 621:321

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСУРСА СИСТЕМЫ ПРИВОДА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА КОМБАЙНА КАК ФУНКЦИЯ КАЧЕСТВА ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Сивер Л.Н. доцент, Гончар И.А. инж.,
Донецкий государственный технический университет

Исследована зависимость ресурса системы привода комбайна от качества изготовления силовых элементов редуктора

It is investigated the dependence of road header drive system resource on workmanship of gear box power elements.

Увеличение мощности и вращающего момента электродвигателя привода исполнительного органа вызывает рост нагруженности при создании высокопроизводительных комбайнов (в том числе и со стреловидным исполнительным органом) и снижение их ресурса до капитального ремонта. Около 60% зубчатых колес по данным дефектации приходит в негодность из-за повреждений, полученных уже при первом межремонтном сроке эксплуатации комбайна.

Зубчатые передачи выходят из строя в основном вследствие поломок зубьев и разрушения поверхностного слоя, обусловленных местной концентрацией напряжений.

Опасная местная концентрация напряжений появляется у оснований зубьев при резком изменении их толщины. Повышение напряжений у поверхности выкружек приводит к поломкам зубьев в результате снижения статической прочности или сопротивления усталости. Поломка зубьев из изотропного материала начинается с возникновения трещины, которая идет от поверхности зуба в зоне растяжения к противоположной поверхности. При тонком ободе или воздействии на него дополнительных напряжений трещина распространяется в ободе в радиальном направлении. В зубьях с упрочненным слоем возможно появление трещин и в сердцевине.

Контакт зубьев происходит по площадкам с небольшими размерами, поэтому на площадках возникают значительные контактные напряжения. При кратковременных перегрузках эти напряжения могут снизить статическую прочность вследствие пластических деформаций сжатия или разрушения твердого поверхностного слоя. Так как контактные напряжения многократно меняются во времени, то про-

исходит усталостное разрушение поверхностных слоев. Рост усталостных трещин и их ориентирование в материале зубьев зависят от нормальных контактных напряжений, сил трения, возникающих при скольжении зубьев, и свойств смазочного материала.

В соответствии с существующими теориями прочности под действием всестороннего сжатия даже хрупкий материал становится пластичным и «течет» в направлении действия сил трения. По мере удаления от поверхности напряжения в зоне контакта быстро уменьшаются, поэтому пластические перемещения материала происходят в слое небольшой толщины. Силы трения отклоняют направление движения трещин от нормалей к поверхности. При этом в зоне отстающих поверхностей ножек зубьев трещины распространяются в неблагоприятном направлении, при котором зубья с трещинами входят в зону контакта заполненными смазочным материалом. При сжатии материала зуба наличие СМ способствует росту трещин. В зоне опережающих поверхностей вершин зубьев направление сил трения противоположное. До входа в зону контакта трещины сжимаются, и СМ выдавливается из них, поэтому усталостному выкрашиванию подвержены обычно ножки зубьев, причем разрушение происходит в первую очередь вблизи полюсной линии, где действуют наибольшие силы трения. В связи с этим расчет зубьев на контактную выносливость в большинстве случаев проводят по напряжениям в точках полюсной линии. Так как на усталостное разрушение существенно влияют силы трения, то с увеличением окружной скорости зубчатых колес коэффициент трения уменьшается, что приводит к росту предельных контактных напряжений, а следовательно, и ресурса передач, выраженное числом циклов до разрушения.

Анализ дефектации зубчатых колес показывает, что при $Z < 17 \dots 20$ или неблагоприятных параметрах зацепления выкрашивание наблюдается и на других участках поверхности зубьев при значительных скоростях скольжения. Увеличение удельного скольжения высоконагруженных передач создает условия для резкого кратковременного локального повышения температуры, также снижающего сопротивление усталостному разрушению. В связи с этим для таких передач желательно проверять контактную прочность и в других характерных фазах зацепления.

Термическое или химико-термическое упрочнение поверхностного слоя материала зуба повышает сопротивление усталостному контактному разрушению. В таких случаях возможно возникновение

усталостных трещин и в сердцевине зуба под упрочненным слоем (или в самом слое). Увеличение размеров трещин обычно происходит вдоль этого слоя, который затем растрескивается с отделением частиц. Этот процесс разрушения называют отслаиванием. По мере удаления от поверхности напряжения «рассеиваются» по объему и главные напряжения σ_3 уменьшаются. Касательные напряжения τ_k , действующие в направлении нормали к поверхности, сначала быстро возрастают, затем снижаются, причем максимума касательные напряжения достигают на глубине, часто совпадающей с границей упрочненного слоя. Эти напряжения и могут быть одной из причин сдвигов в материале и появления глубинных трещин.

Несмотря на использование при изготовлении и эксплуатации проходческих комбайнов большого числа мероприятий по повышению несущей способности элементов системы привода рабочего органа (применение легированных сталей, химико-термическое упрочнение, корригирование, модификация продольного профиля зубьев и др.), этот вопрос является весьма актуальным [1].

Одним из резервов повышения несущей способности элементов системы привода стреловидного исполнительного органа проходческих комбайнов является снижение контактных и изгибных напряжений зубьев путем повышения точности их изготовления и сборки системы привода (редуктора).

Это дает возможность повысить производительность и долговечность комбайнов в среднем на 20-25% для существующего парка металлорежущего оборудования завода-изготовителя.

Анализ существующих методов обработки зубчатых колес позволяет утверждать, что технология их изготовления зависит от большого числа факторов, основные из которых следующие [2]:

1. Форма зубчатого колеса, влияющая на выбор оборудования и построение технологического процесса обработки заготовки, а также на выбор технологических баз.

2. Форма и расположение зубчатого венца, влияющие на выбор метода зубообработки и технологических баз на этих операциях и являющиеся показателями технологичности детали.

3. Особенности зубообработки в зависимости от формы зубьев (прямые, косые) и модификации (продольная и профильная).

Так как окончательной зубообработкой до закалки невозможно обеспечить заданную точность колеса, его конструкция позволяет выполнение отделочной зубообработки лезвийным твердосплавным

инструментом или зубошлифованием. По сравнению с зубошлифованием обработка лезвийным инструментом обеспечивает более высокие свойства поверхностного слоя зубьев, более производительна, требует меньше места для выхода инструмента за торец венца, позволяет обрабатывать крупные колеса в сборе с валом или ступицей, но точность обработки лезвийным инструментом не выше 6-й степени (ГОСТ 1643-81). Зубошлифование обеспечивает 3-6-ю степень точности, однако не позволяет изготавливать колеса составной конструкции со ступицей, препятствующей установке колеса в сборе на зубошлифовальном станке.

4. Механические свойства материала заготовки. Так как невозможно достичь заданные механические свойства металла термическим упрочнением заготовки до ее черновой обработки проводят промежуточную термическую обработку в процессе механической обработки (до чистовых токарных операций), что увеличивает цикл и трудоемкость изготовления деталей.

5. Характер и значение деформаций зубчатого колеса в процессе термической обработки, являющиеся одним из основных показателей технологичности. Статистические оценки позволяют выразить деформацию зубчатых колес при термической обработке через относительную размерную деформацию зубчатых колес, не изменяющую их формы (ε_p), и относительную деформацию, изменяющую форму колес (ε_ϕ). Размерная деформация представляет собой изменение размеров зубчатого колеса по окружности выступов, шагу зубьев, длине общей нормали. Деформирование формы заключается в нарушении формы зубчатых колес: окружность превращается в овал с диаметрами $d_a'_{\min}$ и $d_a'_{\max}$, цилиндр d_a превращается в конус с диаметрами $d_a''_{\min}$, $d_a''_{\max}$, причем

$$\Delta d_a = d_a'_{\max} - d_a'_{\min} = d_a''_{\max} - d_a''_{\min} = \varepsilon_\phi d_a$$

Уменьшение деформации достигается рациональным режимом термической обработки, применением отпуска перед цементацией, зубокалиброванием, закалкой в штампах рациональной конструкции, применением технологических конструкций, приспособлений для базирования колеса по зубчатому венцу при отделке базовых поверхностей, а также корректировкой параметров нарезания зубчатого венца для компенсации деформаций при термообработке с учетом поправочных коэффициентов на материал зубчатого колеса.

Так как технология термообработки анализируемых колес нестабильна и колеблется химический состав стали (одной марки), ста-

бильность деформации резко падает, отношение деформаций одинаковых деталей в разных партиях достигает двух, а при крайне неблагоприятных условиях изменяется даже знак деформации.

6. Габаритные размеры зубчатых колес, влияющие на выбор типов зубообрабатывающих станков и инструментов, а также на достижимую точность обработки венца и на способы установки колес на станках. Установку таких колес необходимо производить с выверкой биения относительно оси вращения стола (рабочего шпинделя) с помощью индикатора.

Для выбора методов обработки зубчатых колес должны учитываться определенные признаки предмета производства, в состав которых входят характеристики обрабатываемой заготовки и готовой детали. Анализ показал, что наиболее важные среди них: вид и размеры обрабатываемых поверхностей, вид материала, твердость обрабатываемого материала, точность обработки, характеристики шероховатости, физико-механические характеристики поверхностного слоя.

Помимо рассмотрения названных признаков при выборе методов обработки зубчатых колес учитываются интегральные характеристики, описывающие более общие свойства материала обрабатываемых заготовок. К таким характеристикам относится обрабатываемость материала – одно из важнейших технологических свойств, характеризующих совокупность качества металлов, которые определяют производительность процесса обработки, и следовательно, себестоимость продукции. Обрабатываемость зависит от химического состава и структурного состояния металлов, определяемого способом получения заготовки, термообработки и др.

Кроме допустимой скорости резания, для оценки обрабатываемости материала используются показатели интенсивности износа инструмента (преимущественно для черновых операций), качества обрабатываемой поверхности (для чистовых операций) и возникающих силы резания и температуры, которые определяют долговечность отдельных частей станка, степень деформации инструмента и детали, а также дают представление о количестве энергии, расходуемой при обработке.

Каждый метод обработки имеет определенную область рационального использования. Выход из этой области по показателям обрабатываемости материала, обеспечения требуемого качества поверхности и другим показателям приводит к нарушению процесса обработки.

Для механической обработки резанием основными факторами, определяющими критические условия, являются: соотношение прочностных характеристик инструментального и обрабатываемого материала (предел прочности при изгибе и сжатии, ударная вязкость); параметры износостойкости и красностойкости (теплостойкости) инструментального и обрабатываемого материала.

Выбор и построение технологических процессов обработки зубчатых колес для условий производства горношахтного оборудования (проходческих комбайнов) связан с определением области их использования в качестве предварительных или окончательных методов обработки. При этом на этапе постановки задачи поиска технологий возникает необходимость выявления характеристик исходного качества заготовки и требуемых характеристик, которые должны быть обеспечены при использовании выбираемого метода обработки. Изменение характеристик качества изделия на протяжении всего технологического процесса может быть описано с учетом явления технологической наследственности. Общие закономерности, характерные для этого явления при формировании точности, качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей, установлены [3].

Анализ существующих технологических процессов обработки зубчатых колес показал, что они могут характеризоваться как процессы качественного и количественного изменения объектов производства. При этом многие характеристики качества поверхности, точности и формы заготовки могут переходить – наследоваться от одной операции к другой. При такой постановке общую структуру технологического процесса можно представить как сложную многомерную систему, в которой на вход поступают различные характеристики заготовки, а на выходе обеспечивается соответствующий набор характеристик готовой детали. Эти преобразования определяются действием совокупности технологических факторов для каждой операции технологического процесса.

Список источников:

1. Бойко Н.Г., Сивер Л.Н. Математическая модель напряженно-деформированного состояния зуба цилиндрического прямозубого колеса /Изв.вузов. Горный журнал.- 1988.-№4
2. Сивер Л.Н. Математическая модель и алгоритм структурной оптимизации технологических процессов изготовления зубчатых колес /Научные труды: Межвузовский сборник(по направлению «Инженерная механика») – Луцк;Луцкий индустриальный институт, - 1996. – 200 с.
3. Яцерицин П.Я. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей.-Минск: Наука и техника, 1971.-256 с..