Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.ХIX, вып.1, 1975 г.

РАСЧЕТЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМЫ КОРРИГИРОВАННЫХ ЗУБЬЕВ КОЛЕС

И.П.ИВАНОВ, Н.И.ВАСИЛЬЕВ

В большинстве современных машин зубчатые передачи являются основными узлами, влияющими на работоспособность, надежность и стоимость машин. В проектировании зубчатых передач важное значение имеют расчеты их на прочность.

Обычно стремятся по возможности уменьшить модули зубчатых колес, однако в мощных агрегатах (экскаваторах, мельницах, горных комбайнах) из-за большой загруженности передач приходится предусматривать большие модули для обеспечения изломной стойкости и прочности зубьев, в результате чего передачи получаются громоздкими.

Уменьшение габаритов машин требует применения высоких твердостей рабочих поверхностей зубьев колес. При этом повышается несущая способность передач, но запасы изгибной прочности зубьев нередко получаются ограниченными, а иногда и недостаточными. Поэтому заслуживает внимание ориентация на наиболее совершенные расчетные методы и на изыскание дополнительных резервов изгибной прочности зубьев колес.

Распространенные методы расчета на прочность зубчатых передач, базирующиеся на упрощенном применении теории сопротивления материалов, уже не удовлетворяют требованиям проектирования высоконапряженных зубчатых передач. В современных прочностных расчетах зубчатых колес, как и других деталей сложной формы, находит применение гипотеза проф. А.В.Верховского [5] по определению наибольших местных напряжений зубьев с помощью ломаных сечений, позволяющая теоретически учитывать геометрические концентраторы напряжений в опасном сечении и дающая результаты, хорошо совпадающие с данными экспериментов по изломам зубьев. При этом в расчетах суммарных местных напряжений σ_M для растянутых сторон переходной кривой зубьев используются безразмерные коэффициенты

формы зубьев $Y_м$, геометрически характеризующие изгибную прочность зубьев колес:

$$\sigma_м = \frac{F_b}{m b Y_м},$$

где m – модуль; b – ширина венца, F_b – нормальное к зубу усилие.

Численные расчеты коэффициентов формы зубьев с учетом гипотезы ломаных сечений очень сложны, и некоторые геометрические способы повышения прочности зубьев, например, использование нестандартных исходных контуров, оставались неизученными.

С распространением счетно-решающей техники появилась возможность решить ряд важных задач по оптимизации и исследованию влияния параметров исходных контуров на нагрузочную способность зубчатых передач. Для выявления резервов изгибной прочности и несущей способности зубчатых передач авторами на ЭЦВМ выполнены с большой точностью расчеты коэффициентов формы зубьев при различных параметрах исходных контуров и их смещениях по зависимостям, приведенным Э.Б.Вулгаковым [2], с учетом современной гипотезы ломаных сечений.

Для проведения расчетов составлены структурная схема и программы применительно к ЭЦВМ типа "Проминь-2", "Одра-1204" и "Минск-22". Методикой расчета предусматривалось отыскание минимума функции коэффициента формы зубьев $Y_м$ от углового параметра, связанного с углом обкатки исходного производящего контура и заготовки колеса, способом наискорейшего спуска. Отработка методики расчетов производилась на ЭЦВМ "Проминь-2М" и "Одра-1204". Основные расчеты выполнены на машине "Минск-22", так как эта машина имеет возможность широкой печати в обычной табличной форме. По результатам расчетов построены графики коэффициентов формы зубьев, удобные для практического использования.

Известные исходные контуры имеют различные сочетания параметров [3]. Стандартные исходные контуры предусматриваются с радиусом скругления у корня зуба $r_i = 0{,}4m$ для цилиндрических колес (ГОСТ 13755-68) и с $r_i = 0{,}2\,m$ для конических (ГОСТ 13754-68). Возможности изготовления конических колес к тому же позволяют осуществить нарезание зубьев с плавным изменением этого радиуса. Поэтому необходимо иметь коэффициенты формы зубьев, рассчитанные для всех стандартных параметров исходных контуров, а также и для контуров модифицированных, представляющих практический интерес.

Известны составленные исследователями [1,4] графики коэффициентов формы зубьев для исходных контуров с углом профиля $\alpha = 20^0$, высотой головки зуба $h_a = m$ при радиальном зазоре $c = 0{,}25\,m$ и радиусе скругления у корня зуба $r_i = 0{,}38\,m$, а также для некоторых модифицированных исходных контуров [~1,2] с углом профиля, равным 25 и 28^0.

Для исходного контура по ГОСТ 13755-68 нет данных о коэффициентах формы зубьев при $r_i = 0{,}4\,m$ и с $c = 0{,}25\,m$, поэтому необходимы расчеты при этих параметрах контура. Увеличение радиуса r_i при стандартном исходном контуре повышает изгибную прочность зубьев, однако за-

висимость влияния радиуса на изгибную прочность сложная и рассчитанных значений коэффициентов формы зубьев с такими параметрами нет.

Учитывая наибольшее использование исходных контуров при профильном угле $\alpha = 20^{\circ}$ и высоте головки зуба $h_a = m$ по ГОСТ 13755–68 с $r_i = 0{,}4\,m$, по ГОСТ 13754–68 с $r_i \geqslant 0{,}2\,m$ и возможность повышения изгибной прочности увеличением радиуса r_i до полного скругления впадины, на рис. 1 и 2 даны графики рассчитанных нами коэффициентов

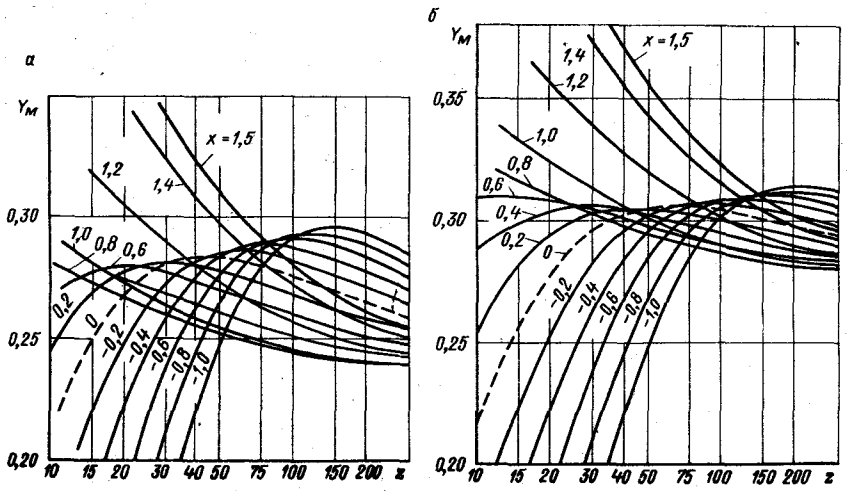


Рис. 1. Коэффициенты Y_M формы зубьев по местным напряжениям при параметрах реечного исходного контура с $\alpha = 20^{\circ}$; $h_a = m$: а – $r_i = 0{,}2\,m$; $c = 0{,}2\,m$; б – $r_i = 0{,}3\,m$; $c = 0{,}19736\,m$

формы зубьев колес соответственно при радиусах исходных контуров 0,2; 0,3; 0,4 и $0{,}44847\,m$ с учетом коррекции и приложения нагрузки к вершинам зубьев. Для случая приложения нагрузки не к вершинам зубьев, а на некоторой высоте, можно скорректировать приведенные значения коэффициентов формы зубьев по соотношениям [4,6], выведенным для контуров с $r_i = 0{,}38\,m$.

Расчетами была выявлена зона на исходном контуре, в которой находятся точки, участвующие в образовании опасных сечений зубьев по гипотезе ломаных сечений (в диапазонах чисел зубьев $z = 18 \div 100$ и коэффициентов смещения исходного контура $x = -1 \div 1{,}5$). Оказалось, что при $r_i = 0{,}4\,m$ уменьшение радиального зазора (за счет сокращения высоты скругленного участка исходного контура) вплоть до $0{,}12\,m$ не изменяет положения опасного сечения зуба и не влияет на коэффициент формы зубьев. Таким образом, в расчетах коэффициентов формы зубьев в известном диапазоне можно пользоваться условным радиальным зазором без учета срезаемой зоны исходного контура, что сокращает математические выкладки. Это обстоятельство особенно важно для расчетов коэффициентов

формы зубьев с использованием теории упругости [6] при подборе функций комплексного переменного, конформно отображающих контуры зубьев на плоскость. Отсюда также вытекает возможность без отрицательного влияния на прочность зубьев уменьшения некоторой части высоты исходного контура при $r_i = r_{i\,max}$ на участке скругления, что благоприятно для образования стружки при фрезеровании зубьев колес и важно для малозубых венцов, нарезаемых на валах.

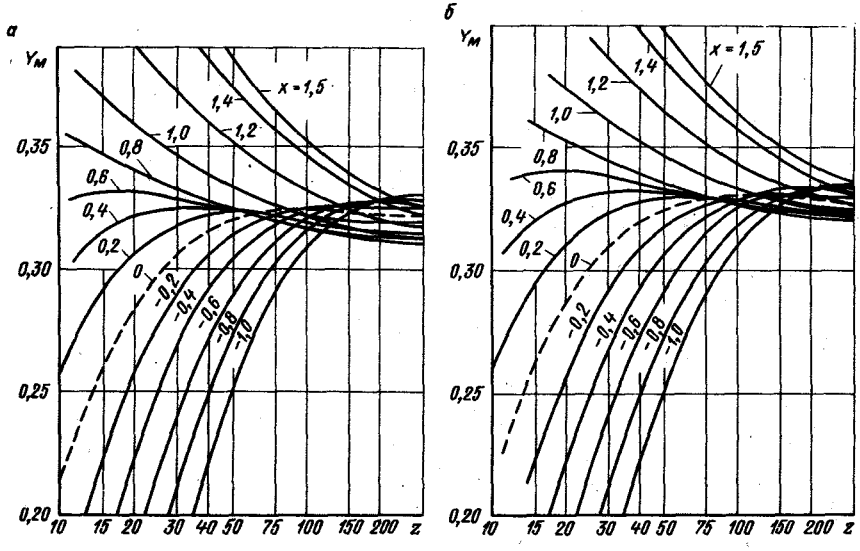


Рис. 2. Коэффициенты Y_{M_0} формы зубьев по местным напряжениям при параметрах реечного исходного контура с $\alpha = 20°$; $h_a = m$: а – $r_i = 0{,}4m$; $c = 0{,}25m$; б – $r_i = 0{,}44847m$; $c = 0{,}29509m$

На базе полученных результатов расчетов проведены исследования ряда свойств зацепления. Например, установлены некоторые аналитические связи составляющих коэффициента торцового перекрытия с другими качественными показателями равносмещенных передач при различных коэффициентах смещения, что упрощает их анализ и синтез по заданным условиям.

Литература

1. Волженская А.М., Левшин Э.Г. Расчет на изгиб зубьев передач. Минск, ИТК АН БССР, 1970.

2. Булгаков Э.Б. Высоконапряженные зубчатые передачи. М., "Машиностроение", 1969.

3. Г о л о в а н о в Н.Ф., Г и н з б у р г Е.Г., Ф и р у н Н.Б. Зубчатые и червячные передачи. Справочник. Л., "Машиностроение", 1967.

4. К у д р я в ц е в В.Н. Зубчатые передачи. М.-Л., Машгиз, 1957.

5. Определение напряжений в опасных сечениях деталей сложной формы. М., Машгиз, 1958. Авт.: А.В.Верховский, В.П.Андронов, О.К.Луганова, В.И.Чевкинов.

6. У с т и н е н к о В.Л. Напряженное состояние зубьев цилиндрических прямозубых колес. М., "Машиностроение", 1972.