

УДК 621.833; 539.3

ПРОДОЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ И СЕЛЕКТИВНАЯ СБОРКА САТЕЛЛИТОВ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ СХЕМЫ 2К-Н

д-р техн. наук В.Е. АНТОНЮК

(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, Минск);

д-р техн. наук, проф. Э.М. ДЕЧКО

(Белорусский национальный технический университет, Минск);

В.Н. РУСЕЦКИЙ

(Минский автомобильный завод)

Исследуется продольная модификация и селективная сборка сателлитов планетарных передач схемы 2К-Н. Рассмотрен конкретный пример, иллюстрирующий возможность использования снижения контактных напряжений для изготовления таких сателлитов. Приведены рекомендации по селективной сборке комплектов сателлитов планетарных передач схемы 2К-Н с использованием устройств двухпрофильного контроля с числовым программным управлением. Показано, что достигаемый результат по уменьшению максимальных контактных и изгибных напряжений за счет селективного подбора может быть использован как для повышения ресурса планетарной передачи, так и для снижения затрат при её производстве.

Использование для контроля зубчатых колес современных приборов двухпрофильного контроля с записывающими устройствами позволяют с минимальными затратами и высокой точностью без участия квалифицированного оператора обеспечить производственный контроль точности зубчатых колес на различных стадиях изготовления, значительно повысить точность и объективность контроля, расширить информационную базу для оценки качества зубчатых колес [1].

Оснащение приборов двухпрофильного контроля дополнительными программами позволяет производить статистическую обработку результатов измерения зубчатых колес и целенаправленный их отбор с требуемыми свойствами.

Требования к параметрам сателлитов планетарных передач. Преимущества планетарных передач реализуются в случае равномерности распределения нагрузки между сателлитами, и для этого широко используется плавающее звено, которое в большинстве случаев приводит к кромочному контакту и повышению контактных и изгибных напряжений. Для исключения кромочного контакта применяется продольная модификация зубьев сателлитов [2; 3]. Использование продольной модификации имеет ограничения при использовании 4-х и 5-ти сателлитных передач. На основании этих требований проведено исследование возможностей использования продольной модификации совместно с селективным подбором сателлитов по параметрам двухпрофильного контроля.

Параметры продольной модификации. Продольная модификация зуба, с одной стороны, позволяет избегать кромочного контакта при перекосе осей зубчатых колес, но с другой – приводит к уменьшению площади пятна контакта и повышению контактных напряжений. В обычных зубчатых передачах перекосы осей являются результатом погрешностей изготовления, а также деформациями конструкции всего редукторного узла. В планетарных передачах перекос осей – результат конструктивных параметров.

На рисунке 1 представлена схема смещения солнечной шестерни планетарной передачи 2К-Н из-за различия в толщине зуба сателлитов. По причине смещения солнечной шестерни происходит перекос ее оси на угол γ_1 , в результате чего солнечная шестерня по отношению к сателлитам будет находиться в положении, показанном на рисунке 2.

В работах [2; 3] приведены расчетные формулы для определения углов перекоса в зависимости от конструктивных параметров сателлитов и плавающего звена планетарной передачи схемы 2К-Н. Угол перекоса солнечной шестерни составит

$$\operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{\Delta a_{\omega}}{L}, \quad (1)$$

где $\Delta a_{\omega} = a_{\omega} - a_{\omega_{\min}}$ – наибольшее смещение оси солнечной шестерни от номинального положения в плоскости расположения оси сателлита и солнечной шестерни, равное разности номинального межосевого расстояния a_{ω} и межосевого расстояния при наибольшем сближении сателлита и солнечной шестерни $a_{\omega_{\min}}$; L – расстояние от точки поворота оси «плавающей» солнечной шестерни до точки локализации пятна контакта.

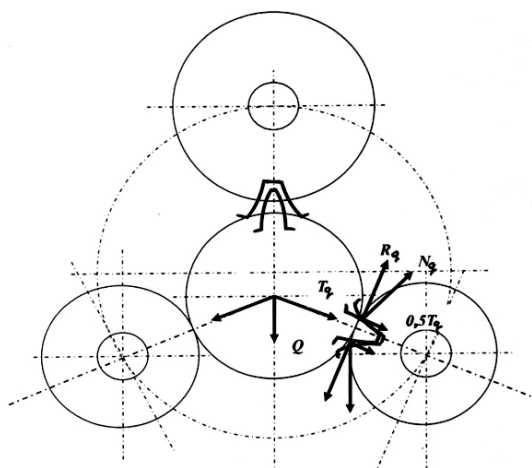


Рис. 1. Смещения солнечной шестерни из-за различия в толщине зуба сателлитов

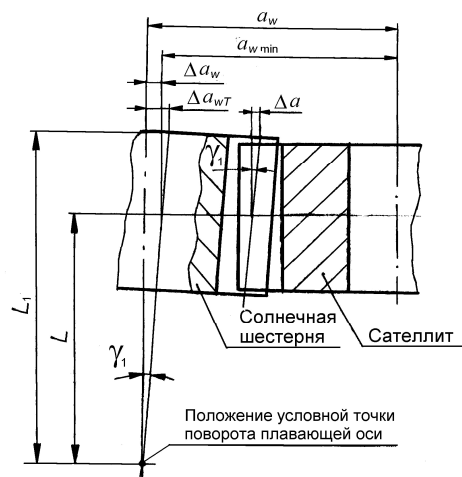


Рис. 2. Перекос зуба солнечной шестерни из-за различия в толщине зуба сателлитов

Значение межосевого расстояния при наибольшем сближении сателлита и солнечной шестерни $a_{\omega_{\min}}$ связано зависимостью с толщиной зуба сателлита:

$$a_{\omega_{\min}} = \frac{m(z_1 + z_2) \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \cos \alpha_{\omega}} \quad (2)$$

Здесь

$$\text{inv} \alpha_{\omega} = \frac{S_{n1\min} + S_{n2\min} - \pi m}{m(z_1 + z_2)} + \text{inv} \alpha,$$

где $S_{n1\min}$ – минимальная толщина зуба по дуге делительной окружности солнечной шестерни; $S_{n2\min}$ – минимальная толщина зуба по дуге делительной окружности сателлита.

Таким образом, для уменьшения угла перекоса солнечной шестерни из-за различия в толщине зуба сателлитов необходим селективный подбор их комплектов, для реализации которого наиболее эффективным вариантом может быть использование контроля сателлитов по колебанию измерительного межосевого расстояния в двухпрофильном зацеплении с измерительным колесом на межцентромерах с ЧПУ и записывающим устройством.

На рисунке 3 представлена уточненная схема измерительного межосевого расстояния при двухпрофильном контроле [4].

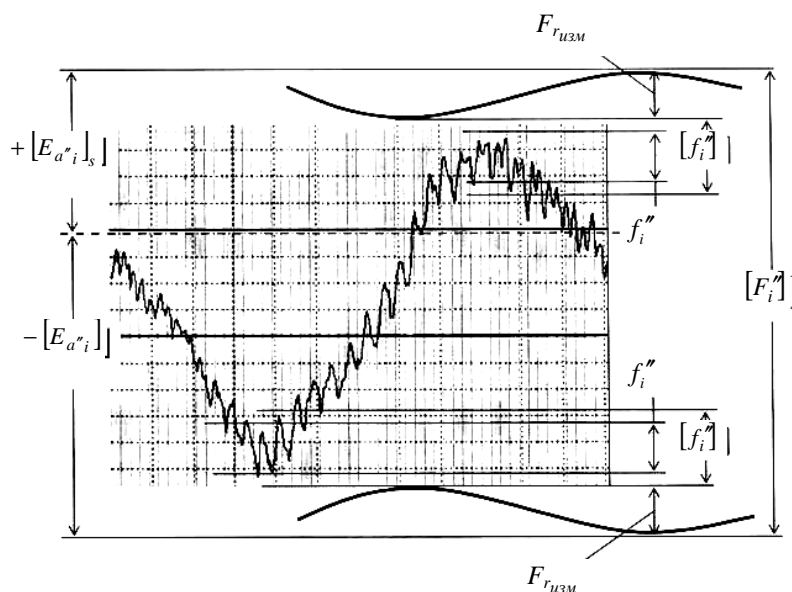


Рис. 3. Схема измерительного межосевого расстояния

С учетом уточненной схемы измерительного межосевого расстояния (ИМР) определяется количество групп спутников для селективного подбора и параметры ИМР для каждой группы спутников.

Определяем суммарный интервал ИМР для всех спутников:

$$E = [E_{a's}] + [E_{a'i}] , \quad (3)$$

а также количество групп спутников для селективного подбора по колебанию ИМР за оборот с округлением до меньшего целого значения

$$n = \frac{E}{F_i''} , \quad (4)$$

где F_i'' – допуск на колебание ИМР за оборот.

Верхнее и нижнее предельные отклонения ИМР для каждой из групп определяются исходя из сохранности соотношения интервала ИМР и колебания ИМР за оборот колеса.

Для каждой группы интервал ИМР определяется как

$$E_n = \frac{E}{F_i''} \cdot [F_i''] , \quad (5)$$

и в зависимости от количества групп происходит распределение суммарного интервала E .

В таблице приведены значения параметров ИМР для селективного подбора из 2-х групп.

Параметры ИМР для селективного подбора спутников

Группы спутников	Параметр ИМР			
	$[F_i'']_n$	$[f_i'']_n$	$[E_{a's}]_n$	$[-E_{a'i}]_n$
2-1	$[F_i'']$	$[f_i'']$	$[E_{a's}]$	$[E_{a's}] - E_n$
2-2			$E_n + [-E_{a'i}]_n$	$[-E_{a'i}]_n$

Для оценки влияния селективного подбора спутников по толщине зуба за счет селективного подбора по верхнему и нижнему предельным отклонениям ИМР на работоспособность планетарной передачи можно воспользоваться расчетом продольной модификации [3], позволяющим определять углы перекаса солнечной шестерни относительно спутников при изменяющейся толщине зуба.

При использовании предлагаемого варианта селективного подбора из двух групп перекас в зацеплении «солнечная шестерня – спутник» уменьшается на 0,016 мм на длине зуба. По стандартному расчету контактной и изгибной прочности зацепления «солнечная шестерня – спутник» будет обеспечено снижение контактных напряжений на 9 %, изгибных – на 4 % [4].

Достижимый результат по уменьшению максимальных контактных и изгибных напряжений за счет селективного подбора может быть использован как для повышения ресурса передачи, так и для снижения затрат при производстве планетарной передачи.

Рассмотрим на конкретном примере возможность использования снижения контактных напряжений на 9 % для изготовления спутников планетарных передач. Марки стали 20Х2Н4А и 20ХН3А широко используются для изготовления спутников планетарных передач. Стоимость одной тонны стали 20Х2Н4А составляет 65 000 российских рублей, стали 20ХН3А – 52 300 российских рублей.

Допускаемые контактные напряжения для зубчатых колес из стали 20Х2Н4А – 936,4 МПа, из стали 20ХН3А – 922,3 МПа.

В результате несложных расчетов можно определить, что для замены стали 20Х2Н4А на 20ХН3А требуется снизить нагрузочные контактные напряжения на 1,5 % и получить выигрыш снижении цены на 24 %.

Таким образом, за счет селективной сборки можно снизить нагрузочные контактные напряжения на 9 % при требуемых 1,5 % и получить снижение цены используемой стали на 24 % без снижения ресурса и надежности планетарной передачи. При массе заготовки на один спутник около 8 кг и их годовом выпуске 40 000 штук годовая потребность составляет 320 тонн, и при экономии на цене по 12700 российских рублей на одной тонне получаем экономию 4 064 000 российских рублей, или около 80 тысяч долларов США.

Заключение. Приведены расчетные зависимости и рекомендации по селективной сборке комплектов сателлитов планетарных передач схемы 2К-Н с использованием устройств двухпрофильного контроля с ЧПУ. Селективная сборка комплектов сателлитов планетарных передач схемы 2К-Н проводится по толщине зуба за счет подбора комплектов сателлитов по верхнему и нижнему предельным отклонениям ИМР, в результате достигается повышение ресурса передачи или снижение затрат при производстве планетарной передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонюк, В.Е. Возможности современных средств двухпрофильного контроля зубчатых колес / В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2009. – № 8. – С. 101–105.
2. Антонюк, В.Е. Возможности модификации профиля при изготовлении зубчатых колес мобильных машин / В.Е. Антонюк, В.Н. Русецкий // Материалы, технология и оборудование в производстве, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х т. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – Т. II. – С. 141–144.
3. Антонюк, В.Е. Программный расчет продольной модификации цилиндрических зубчатых колес / В.Е. Антонюк [и др.] // Материалы, технология и оборудование в производстве, ремонте и модернизации машин: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. – Новополоцк: ПГУ, 2009. – С. 137–141.
4. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – ГОСТ 21354-87. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 93с.

Поступила 19.06.2015

LENGTHWISE EASING RELIEF AND SELECTIVE ASSEMBLY OF THE SATELLITES SETS OF PLANETARY GEARS SCHEME 2K-H

V. ANTONJUK, E. DECHKO, V. RUSETSKY

Lengthwise easing relief and selective assembly of the satellites sets of planetary gears scheme 2k-h is studied. A specific example illustrating the use of reducing contact stress for the manufacture of satellites is considered. The recommendations on the selective assembly of the satellites sets of planetary gears schemes H-2K with using of the devices of two-profile control with numerical control are given. It is shown that the achieved results on reduction of maximal contact and bending stresses due to selective recruitment can be used as a resource to improve the planetary gear and to reduce over-expenditure during its manufacture.