

МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МЕТАЛООБРОБКА

УДК 621.833

Маргуліс М.В.*

ВЫЯВЛЕНИЕ И РАСЧЁТ ИСХОДНОГО (ЗАМЫКАЮЩЕГО) ЗВЕНА ПРИ РАЗМЕРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ СИЛОВОЙ ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

В статье на основе анализа специфики функционирования ВЗП под нагрузкой выявлено исходное (замыкающее) звено совокупности основных звеньев в плоскости волнового зацепления (генератор - волновое зацепление). Получены зависимости для расчёта составляющих его элементов, предельных значений и допуска.

Ключевые слова: волновая зубчатая передача, волновое зацепление, размерно-функциональный анализ, боковой зазор в зацеплении, расчёт бокового зазора.

Маргуліс М.В. Виявлення та розрахунок початкової (замикаючої) ланки при розмірно-функціональному аналізі силової хвильової зубчастої передачі. У статті на основі аналізу специфіки функціонування ХЗП під навантаженням виявлена початкова (замикаюча) ланка сукупності основних ланок у площині хвильового зачеплення (генератор – хвильове зачеплення). Отримані залежності до розрахунку складових його елементів, граничних значень і допуску.

Ключові слова: хвильова зубчаста передача, хвильове зачеплення, розмірно-функціональний аналіз, боковий зазор в зачепленні, розрахунок бокового зазору.

M.V. Margulis. Determination and estimation calculation of an initial (final) link at the size-functional analysis of a power harmonic drive (PHD). On the basis of the analysis of specificity of functioning PHD under loading the initial link of set of the basic (final) links in a plane of wave gearing (the generator – harmonic drive) was revealed. Dependences for calculation of elements making it, limiting values and the admission were obtained.

Keywords: harmonic drive, wave gearing, size-functional analysis, lateral backlash in gearing, calculation of a lateral backlash.

Постановка проблемы. Минимизация себестоимости машиностроительных изделий связана с размерно-функциональным анализом их массогабаритных параметров и необходимой точности их изготовления. Поэтому данная проблема актуальна.

Анализ последних исследований и публикаций. Для силовых волновых зубчатых передач в научных публикациях данный вопрос не освещён, что и явилось причиной написания данной статьи в связи с её актуальностью.

Цель статьи – выявление исходного (замыкающего) звена в совокупности основных звеньев в плоскости волнового зацепления (жёсткое и гибкое зубчатые колеса и узел генератора волн) и расчёт необходимой точности на основе специфики кинематики волнового зацепления, выявленной скоростной киносъёмкой.

Изложение основного материала. Важным этапом проектирования основных несущих звеньев передаточных механизмов является размерно-функциональный анализ [1, 2]. Он позволяет на стадии разработки оценить рациональность принятой конструкции и назначить функционально необходимую точность основных звеньев ВЗП. Это в свою очередь минимизирует себестоимость изготовления этих звеньев и изделия в целом. При составлении размерной цепи рассматриваемых звеньев ответственным элементом является выявление исходного (замыкающего) звена. Его величина и предельные размеры (допуск размера) практически определяют необходимую точность изготовления всех составляющих звеньев и себестоимость их изготовления.

* д-р техн. наук, профессор, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

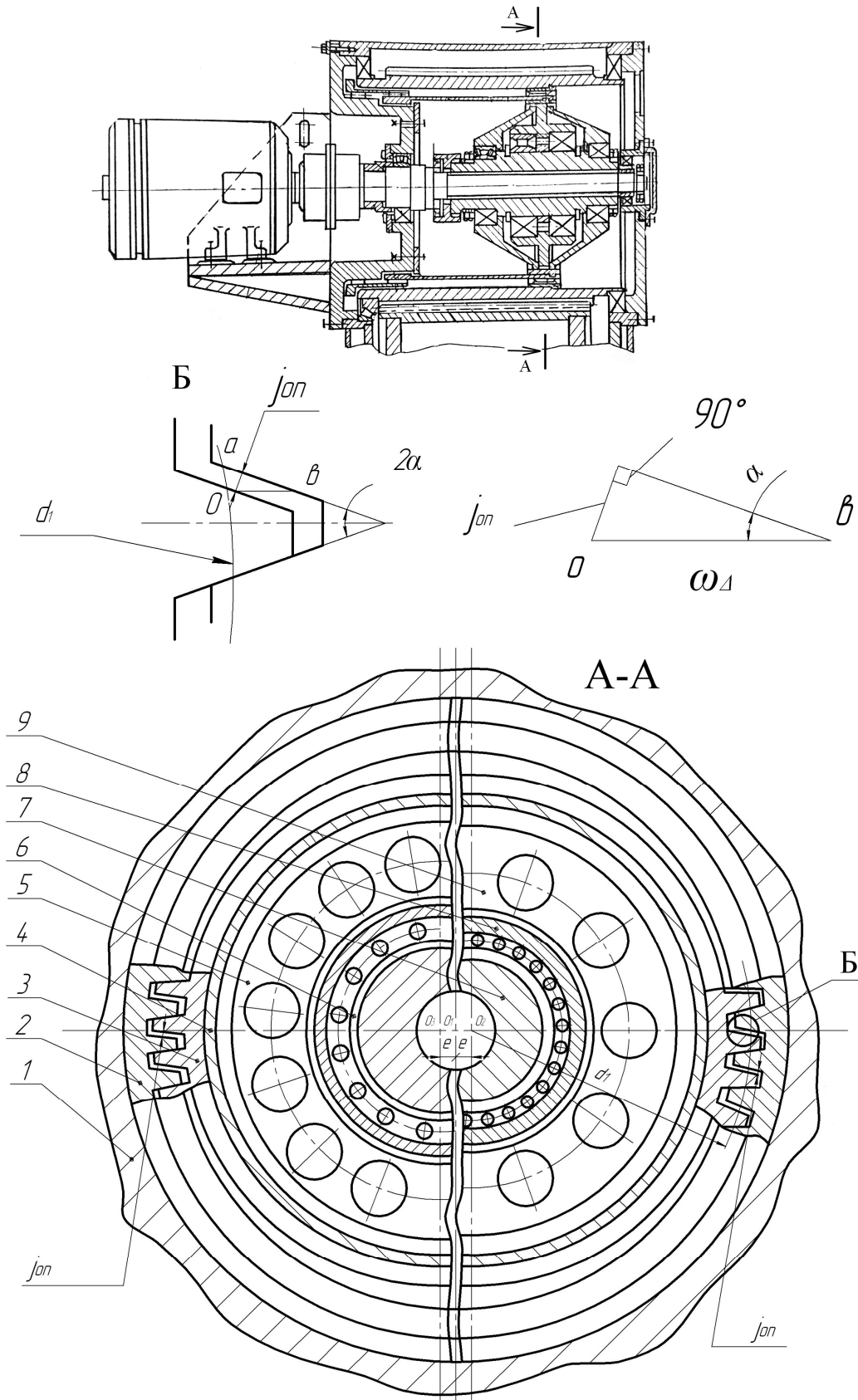


Рис. 1 – Поперечный разрез волновой зубчатой передачи в плоскости генератора привода конвертора:

1 – корпус; 2 – жёсткое колесо; 3 – гибкое колесо; 4 – проставочное колесо; 5 – диск средний; 6 – подшипник; 7 – вал эксцентриковый; 8 – подшипник; 9 – диск крайний

При экспериментальных стендовых исследованиях основных характеристик ряда высококомпонентных ВЗП посредством скоростной киносъёмки [3] нами было установлено следующее. В начальный момент работы ВЗП под нагрузкой, в связи с овалообразной формой генератора волн (ГВ), деформирующего гибкое зубчатое колесо (ГЗК), зубья последнего входят в зубья жёсткого зубчатого колеса (ЖЗК) в районе большой полуоси (см.рис.1) и начинают передавать вращающий момент 20-25% парами зубьев. Затем в течение трёх-четырёх минут за счёт депланации ГЗК число пар зубьев увеличивается до 42-45% от всего их количества. То есть, в начальный момент работы часть пар зубьев ГЗК, лимитирующего ВЗП по прочности, работают в тяжёлых условиях, что должно учитываться при их разработке. Это может привести к трещинообразованию из-за больших изгибных напряжений во впадинах зубьев ГЗК, а также к большим контактными напряжениям на их рабочих поверхностях. Необходимо отметить, что кинематика волнового зацепления (ВЗ) отлична от неволнового, так как она характеризуется не перекатыванием зубьев со скольжением, а последовательным входом и выходом зубьев ГЗК в (из) зубьев ЖЗК (после их контакта).

Таким образом, для исключения трещинообразования во впадинах и пластического деформирования ВЗ необходимо минимизировать боковой зазор в ВЗ и тем самым время его выбора с целью обеспечения максимального числа одновременно контактирующих пар зубьев, передающих нагрузку.

На рис. 1 показан разрез ВЗП в плоскости ГВ-ВЗ и ожидаемый боковой зазор после сборки ВЗП j_{on} , определяемый как

$$j_{on} = \omega_{\Delta} \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где ω_{Δ} - действительная радиальная деформация ГЗК;
 α - угол профиля исходного контура зубьев.

При размерном анализе в плоскости ГВ-ВЗ в качестве исходного (замыкающего) звена будет параметр j_{on} , а для линейной размерной цепи соответственно – величина ω_{Δ} (1). Из изложенного следует, что величина j_{on} должна быть минимально возможной после сборки ВЗП, обеспечивающей нормальное функционирование ВЗ. Минимальный ожидаемый боковой зазор j_{minon} включает в себя следующие составляющие элементы:

$$j_{minon} = j_{nm} + j_{ncm} + j_{nuc} + j_{n\omega_1}, \quad (2)$$

где j_{nm} - составляющая j_{minon} , компенсирующая температурную деформацию зубчатых венцов ГЗК и ЖЗК, исключаящую интерференцию головок зубьев при входе в ВЗ;

j_{ncm} - составляющая j_{minon} , обеспечивающая размещение масляной плёнки в ВЗ, рекомендуемая как [4];

j_{nuc} - составляющая j_{minon} , компенсирующая погрешности изготовления и сборки звеньев ВЗП в плоскости ГВ-ВЗ;

$j_{n\omega_1}$ - составляющая j_{minon} , компенсирующая радиальную деформацию и перекосящую ГЗК при сборке ВЗП.

$$j_{nm} = \omega_e [\alpha_{p1}(t_1 - 20^\circ C) - \alpha_{p2}(t_2 - 20^\circ C) \cdot 2 \sin \alpha], \quad (3)$$

где ω_e - принятая радиальная деформация ГЗК; α_{p1} и α_{p2} - коэффициенты линейного расширения материалов ГЗК, ЖЗК и корпуса ВЗП; t_1 и t_2 – предельные температуры нагрева ГЗК, ЖЗК и корпуса ВЗП;

$$j_{ncm} = (0,005...0,01) \cdot m \text{ (мм)},$$

где m – модуль ВЗ;

$$j_{nuc} = \sqrt{2(f_{p\beta})^2 + 2(F_{\beta})^2 + (f_x \cdot \sin \alpha)^2 + (f_y \cdot \cos \alpha)^2}, \quad (4)$$

где $f_{p\beta}$ и f_{β} - верхнее предельное отклонение основного шага ВЗ и допуск на направление зубьев на ГЗК и ЖЗК, принимаемые по ГОСТ 1643-81;

f_x и f_y - допуски на непараллельность и перекосящую осей сопрягаемых ГЗК-ЖЗК при сборке

ВЗП, принимаемые по ГОСТ 1643-81;

$$j_{n\omega_1} = \Delta\omega'_e \cdot \sin \alpha + (f_{xq} \cdot \cos \alpha), \quad (5)$$

где $\Delta\omega'_e$ - верхнее предельное отклонение принятой радиальной деформации ГЗК при сборке для рассматриваемых силовых ВЗП (с учётом их эксплуатационных исследований рекомендуется значение $\Delta\omega'_e$ принимать в пределах: $\Delta\omega'_e = (0,08...0,1)m$ при $m \approx (1,0...3,0)$ мм);

f_{xq} - допуск на перекос образующей ГЗК при принятом значении ω_e для сборки ВЗП, определяемый как

$$f_{xq} = (bq / 2 \cdot \lg) \cdot \omega_e, \quad (6)$$

где bq и lg - ширина зубвенца и длина ГЗК.

Величина максимального ожидаемого бокового зазора в ВЗ - j_{maxon} при передаче предельно допустимой нагрузки T_{max} определяется с учётом уменьшения глубины захода зубьев ГЗК ВВЗ, определяемой составляющей $j_{n\omega_2}$, включающей и окружное закручивание (перекос) зубьев ГЗК. Составляющая $j_{n\omega_2}$ определяется как

$$j_{n\omega_2} = \Delta\omega''_e \cdot \sin \alpha + f_{yq} / \cos \alpha, \quad (7)$$

где $\Delta\omega''_e$ - допуск на увеличение принятой радиальной податливости ВЗП в плоскости ГВ-ВЗ при T_{max} , определяемый как

$$\begin{aligned} \Delta\omega''_e &= F_{rmax} \cdot (\omega_k + \omega_{ГВ}), \\ F_{rmax} &= 0,182 \cdot T_{max} / R_b, \end{aligned} \quad (8)$$

где R_b - радиус делительной окружности ЖЗК;

ω_k и $\omega_{ГВ}$ - радиальные податливости корпуса и генератора ВЗП при T_{max} , определяемые как [4] (рекомендуемые значения $\Delta\omega''_e = (0,06...1,2)m$ при $m \approx (1,0...3,0)$ мм);

f_{yq} - допуск на окружной перекос зубьев ГЗК при T_{max} , определяемый как

$$f_{yq} = T_{max} \cdot bq / 2\pi \cdot G \cdot R_q^3 \cdot t_{np},$$

где R_q , G и t_{np} - соответственно радиус срединной поверхности ГЗК, модуль упругости второго рода и приведенная толщина зубвенца ГЗК.

С учётом изложенного величина j_{maxon} определяется как

$$j_{maxon} = j_{minon} + (j_{n\omega_2} - j_{n\omega_1}) + (T_{H_1} + T_{H_2}) \cdot 2 \sin \alpha, \quad (9)$$

где T_{H_1} и T_{H_2} - допуски на дополнительные смещения исходных контуров (режущих инструментов) E_{HS} и E_{Hi} , соответственно при нарезании зубьев ГЗК (наружных) и ЖЗК (внутренних), определяемых по ГОСТ.

Тогда допуск на исходное (замыкающее) звено - ожидаемый боковой зазор T_{jon} определяется как

$$T_{jon} = j_{maxon} - j_{minon} = (j_{n\omega_2} - j_{n\omega_1}) + (T_{H_1} + T_{H_2}) \cdot 2 \sin \alpha. \quad (10)$$

Величина T_{jon} фактически определяет значения допусков размеров основных звеньев силовых ВЗП при их размерно-функциональном анализе, что было подтверждено при создании ряда высокомоментных тяжело нагруженных ВЗП для приводов конвертора, миксера, роторного экскаватора и других [5].

Для вновь разрабатываемых волновых передач с промежуточными телами качения целе-

сообразно выполнить размерно-функциональный анализ с учётом специфики их функционирования.

Выводы

1. Приведён методический подход к выявлению исходного (замыкающего) звена при размерно-функциональном анализе силовых ВЗП.
2. Получены расчётные зависимости для определения предельных значений и допуска исходного (замыкающего) звена совокупности основных звеньев ВЗП, определяющих необходимую точность и трудоёмкость их изготовления.

Список использованных источников:

1. Маргулис М.В. Размерно-функциональный анализ тяжело нагруженных высокомоментных зубчатых передач // Вестник машиностроения. – 1985. Вып.8. – С. 11-15.
2. Исследование основных характеристик приводов с волновыми передачами конвертора и миксера. Отчёт о НИР // Ждановский металлургический институт. Руков. М.В. Маргулис. № 29079824. – Жданов, 1982. – 115 с.
3. Маргулис М.В. Создание и исследование механизма поворота с волновой зубчатой передачей для мощных роторных экскаваторов и отвалообразователей: Дисс. канд. техн. наук. – М., 1972. – 167 с.
4. Маргулис М.В. Основы расчёта и методология создания высокомоментных волновых зубчатых передач для приводов тяжёлых машин: Дисс. докт. техн. наук. - Ленинград, 1991. – 435 с.
5. Маргулис М.В. Пути совершенствования приводов машин различного назначения // Вестник Приазов. гос. техн. ун-та: Сб. науч. тр. – Мариуполь, 2004. – Вып.№10. – С. 133-138.

Рецензент: В. И. Капанов
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 31.03.2010

УДК621.923.74

Бурлакова Г.Ю.¹, Бурлаков В.И.²

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В КВАЗИПОСТОЯННОМ ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

В статье показаны преимущества виброцентробежной обработки, сочетающей вибрационную обработку незакрепленных деталей в абразиве с наложением поля квазипостоянных центробежных сил, обеспечивающее доминирование процесса микрорезания.

Ключевые слова: виброцентробежная обработка, квазипостоянное поле центробежных сил, абразив, микрорезание.

Бурлакова Г.Ю., Бурлаков В.И. Особливості процесу вібраційної обробки деталей у квазіпостійному полі відцентрових сил. У статті показані переваги вібровідцентрової обробки, яка об'єднує вібраційну обробку незакріплених деталей у абразиві з накладенням поля квазіпостійних відцентрових сил, забезпечуючи домінування процесу мікро різання.

Ключові слова: вібровідцентрова обробка, квазіпостійне поле відцентрових сил, абразив, мікро різання.

G.Yu. Burlakova, V.I. Burlakov. Properties of the process of vibration treatment of parts in quasi-constant field of centrifugal forces. Advantages of vibro-centrifugal treatment, combining oscillation treatment of unfixed parts in an abrasive with imposition

¹ ст. преподаватель, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

² канд. техн. наук, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь