



УДК 621.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ПРИ ЗУБОДОЛБЛЕНИИ СТУПЕНЧАТЫМ ДОЛБЯКОМ

Н.М. Расулов^а, У.М. Надиров^а^а Азербайджанский технический университет, Баку, АЗ 1073, Азербайджан

Адрес для переписки: n_ugurlu@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 09.06.15, принята к печати 27.07.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-5-893-899

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Расулов Н.М., Надиров У.М. Исследование точности формирования диаметральных размеров при зубодолблении ступенчатым долбяком // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 5. С. 893–899.

Аннотация

Приводятся результаты исследования точности формирования диаметральных размеров при зубодолблении традиционным методом и с использованием ступенчатого долбяка. Проанализирована статическая технологическая размерная цепь делительного размера нарезаемых колес. Выявлено, что основная доля погрешностей зубьев колес при традиционном зубодолблении возникает за счет погрешности изготовления и установки долбяка, так как каждый зуб колеса формируется определенным зубом инструмента. Этот эффект отсутствует при зубодолблении ступенчатым долбяком, так как при этом профили всех зубьев колеса формируются наиболее удаленным от оси вращения профилем зуба инструмента. Проведен анализ погрешностей наладки, присущих вышеуказанным методам зубодолбления. Выявлено, что при зубодолблении ступенчатым долбяком, благодаря отсутствию двойных ходов инструмента, отсутствует и составляющая погрешности наладки, обусловленная погрешностями положения инструмента перед каждым двойным ходом. В результате повышается точность диаметральных размеров. Рассмотрен также механизм образования погрешностей установки инструмента и заготовки. Результаты исследования в области зубодолбления ступенчатым долбяком увязываются с результатами исследований других авторов в области традиционного зубодолбления.

Ключевые слова

зубодолбление, погрешность, инструмент, зуб, размер, наладка, эксцентриситет, установка, ступенчатый долбяк.

ACCURACY RESEARCH OF THE DIAMETRICAL SIZES FORMING AT GEAR SHAPING BY STEPPED CUTTER

N.M. Rasulov^a, U.M. Nadirov^a^aAzerbaijan Technical University, Baku, AZ 1073, Azerbaijan

Corresponding author: n_ugurlu@mail.ru

Article info

Received 09.06.15, accepted 27.07.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-5-893-899

Article in Russian

For citation: Rasulov N.M., Nadirov U.M. Accuracy research of the diametrical sizes forming at gear shaping by stepped cutter. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 5, pp. 893–899.

Abstract

The paper presents research results of forming accuracy for diametrical sizes at gear shaping with stepped cutter and the traditional method. Analysis of static technological dimensional pitch size chain of wheels being cut is performed. It was revealed that the most of transmission errors of the wheels, formed by the traditional gear-shaped cutter are caused by manufacturing and installation error of the cutter and result from the formation of each tooth of the wheel with a certain tool. This is not the case with gear shaping by step cutter since at that, the profiles of all gear teeth are formed by means of tooth profile mostly remote from the tool rotation axis. Analysis of occurrence of setting-up errors typical for the above gear shaping methods has been performed. At gear shaping with stepped cutter there are no setting-up error components. It was revealed that this fact causes the absence of errors in the tool position before its each double motion. The accuracy of diametrical sizes increases. Formation mechanism of tool installation errors and workpiece are also given and their analysis is presented. Findings in the field of gear shaping with stepped cutter comply with results of research carried out by the other authors in the field of traditional gear shaping.

Keywords

gear shaping, error, tool, tooth, size, setting-up, eccentricity, installation, stepped cutter.

Введение

В различных отраслях промышленности экономики широко применяются зубчатые передачи. К ним предъявляются высокие производственные и эксплуатационные требования [1, 2]. В связи с этим непрерывно совершенствуются существующие и создаются новые методы обработки зубчатых поверхностей [3–6]. Разработан процесс скоростного зубодолбления цилиндрических зубьев колес с косозубым ступенчатым долбяком [5, 7]. Его особенностью является то, что нарезание зубьев осуществляется при станочном обкатном зацеплении инструмент–заготовка. Одно из отличий скоростного зубодолбления от традиционного – участие каждого зуба ступенчатого долбяка в формировании всех зубьев колес. Особенность специального долбяка состоит в том, что его зубья расположены ступенчато, вдоль собственной оси. Для реализации рабочего процесса оси инструмента и заготовки скрещиваются под некоторым углом. При радиальном перемещении инструмента каждый зуб долбяка, зацепляясь с теоретическим зубом заготовки, перемещается в осевом направлении благодаря скрещиванию осей и осуществляет резание материала. Зуб инструмента, находящийся справа (или слева) от плоскости наклона оси долбяка, оказывается в рабочей позиции и совершает рабочее движение. Для достижения высокой точности параметров нарезанных зубьев они калибруются.

К настоящему времени разработаны теоретические основы зубодолбления ступенчатым долбяком, осуществлены его производственные испытания и получены положительные результаты. Процесс обеспечивает повышение производительности в 1,5–1,6 раза по сравнению с традиционным зубодолблением [8–12]. Однако, помимо этого, необходимы размерный анализ механизма формирования точностных параметров колес при скоростном зубодолблении и сравнение их с аналогичными результатами, полученными при традиционном зубодолблении. Для этой цели принимается, что оборудование и оснастка, применяемые для зубодолбления в сравниваемых методах обработки, имеют одинаковые степени точности, и поэтому при одинаковом механизме формирования какого-либо параметра зубьев они обеспечивают одинаковую точность этого параметра обработки.

Повышение точности обработки любой поверхности, в том числе зубчатых поверхностей, является неизменной проблемой машиностроения. Как известно, при зубодолблении формируемая зубчатая поверхность является замыкающим звеном технологической размерной цепи (ТРЦ) [7, 13]. Исходя из этого, выявление и составление ТРЦ точностных параметров зубчатых поверхностей и их анализ являются важным средством повышения точности обработки. Управление ими в необходимом направлении гарантировало бы не только высокую точность обработки, но и ее эффективность.

Целью работы является сравнительный размерный анализ колес при скоростном и традиционном зубодолблении и оценка возможной точности их параметров.

Статическая технологическая размерная цепь

Точность диаметральных размеров, особенно диаметр делительной окружности зубчатых поверхностей колес, являются основными параметрами, гарантирующими плавность и надежность их работы [2–4, 6].

При зубодолблении, как и в любом виде обработки, имеют место три типа размерных связей: статические, кинематические и динамические [7–13]. Проведем анализ и сравнение точностей диаметральных размеров наружных зубьев при их формировании традиционным и скоростным зубодолблением (ступенчатым долбяком) на примере статических ТРЦ. За критерий точности примем возможные диапазоны изменения размеров.

На точность обработки влияют многочисленные первичные факторы, такие как геометрические и кинематические неточности оборудования, погрешность изготовления и износ инструмента, погрешность наладки, упругие и тепловые деформации элементов технологической системы и т.п. [3, 6, 14–19].

Известно, что диаметральные размеры (основной, делительный и др.) формируются размерами инструмента при одинаковом влиянии на них размера наладки (межосевое расстояние колесо–инструмент). Они взаимосвязаны. В этой связи необходимо и достаточно проводить анализ точности только на примере делительного диаметра.

Статическая размерная цепь радиуса делительной окружности зубьев, нарезанных зубодолблением, имеет вид (рис. 1)

$$\bar{R} = \bar{H} + \bar{e}_1 + \bar{e}_2 + \bar{e}_3 + \bar{e}_4 + \bar{e}_5 + \bar{r}, \quad (1)$$

где R – радиус делительной окружности нарезанных зубьев; r – радиус делительной окружности долбяка; H – размер наладки; e_1 – эксцентриситет биения вспомогательной установочной базы штосселя (шпинделя) относительно оси вращения; e_2 – эксцентриситет установочной базы долбяка относительно оси шейки штосселя; e_3 – эксцентриситет рабочей поверхности (делительной окружности) долбяка относительно оси отверстия; e_4 – эксцентриситет оси отверстия (основной базы) заготовки относительно оси шейки оправки; e_5 – эксцентриситет оси шейки оправки относительно оси вращения стола (рис. 1).

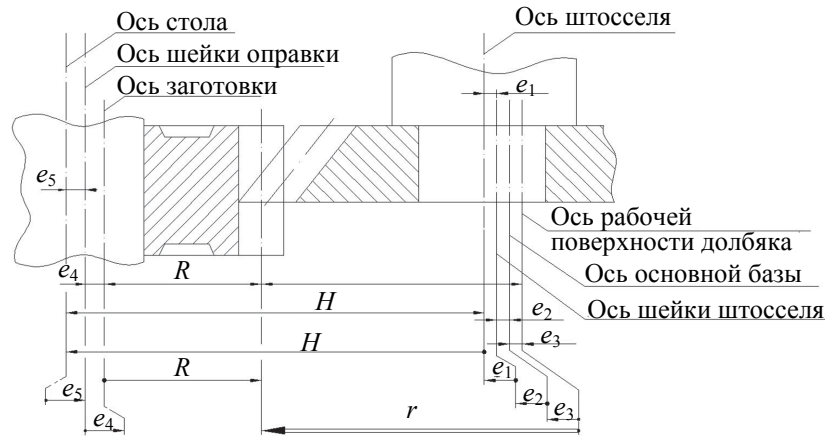


Рис. 1. Схема формирования статической размерной цепи делительной окружности при зубодолблении

Учитывая размерную цепь (1) и случайность направления ее составляющих, погрешность делительного диаметра Δd_d может быть определена как

$$\Delta d_d = 2\sqrt{\Delta H^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2 + e_5^2 + \Delta r^2},$$

где ΔH – погрешность наладки; Δr – погрешность локальных делительных радиусов зубьев долбяка, диапазон их изменения. Следовательно, на точность диаметральных размеров влияют размер инструмента r , размер наладки H и технологические параметры, определяющие точность положения режущих лезвий инструмента относительно оси базового отверстия заготовки, e_1, e_2, e_3, e_4 , и e_5 . Изменение размеров инструмента в целом и его изменения по зубьям (например, толщина зуба и т.п.) долбяка являются систематически постоянными погрешностями. Однако механизмы их влияния на точность формирования диаметральных размеров при зубодолблении традиционным методом и ступенчатым долбяком резко отличаются друг от друга. При традиционном зубодолблении каждый зуб долбяка формирует только один профиль между соседними зубьями (при $Z = Z_n$) или, в среднем, $n = Z/Z_n$ зубьев, где Z – число зубьев колеса, Z_n – число зубьев долбяка. При этом локальные погрешности, присущие каждому зубу инструмента, копируются на заготовку. На рис. 2, а, представлена схема механизма формирования погрешностей диаметральных размеров и формы при традиционном зубодолблении. Соотношение количества зубьев долбяка–колесо было принято 1:1,5 (например, количество зубьев долбяка $Z_n = 36$, колеса $Z = 54$).

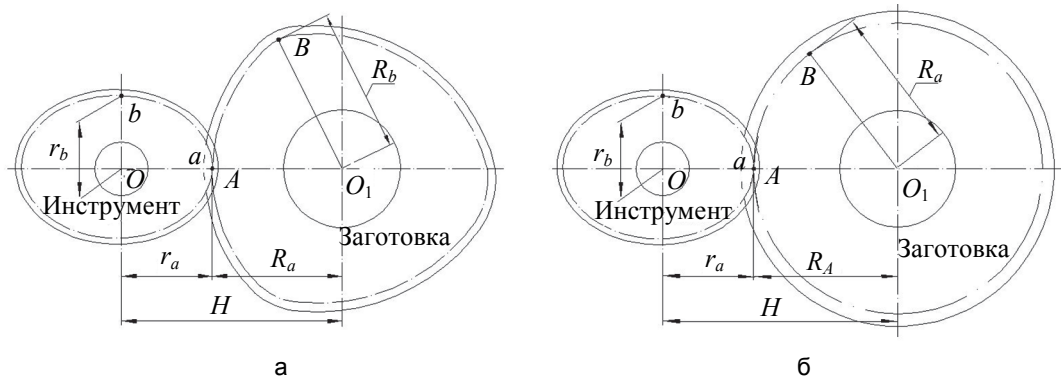


Рис. 2. Схема формирования делительной окружности при традиционном (а) и скоростном (б) зубодолблении

При зубодолблении традиционным методом изменяющиеся (из-за погрешности изготовления и установки инструмента, а также из-за его неравномерного износа) по зубьям локальные радиусы инструмента r_i формируют изменяющиеся радиусы колеса R_i . Точка зуба инструмента a с радиусом r_a формирует точку (зуб) A колеса с радиусом R_A , точка (зуб) инструмента b с радиусом r_b – точку (зуб) B колеса с радиусом R_B , и т.п. Таким образом, погрешность – разница диаметральных размеров зубьев инструмента Δr – впрямую входит в диаметральную точность обработки:

$$\Delta r = r_{\max} - r_{\min},$$

где r_{\max} – локальный радиус делительной окружности зуба, наиболее удаленного от оси вращения долбяка; r_{\min} – локальный радиус делительной окружности зуба, наименее удаленного от оси вращения долбяка.

При зубодолблении ступенчатым долбяком каждый зуб долбяка участвует в формировании каждого зуба колеса (рис. 2, б). Все профили между зубьями (противоположные профили соседних зубьев) формируются либо зубом инструмента с наибольшей толщиной, либо левым режущим лезвием одного и

правым режущим лезвием другого зуба. При этом немаловажное значение имеет и удаленность от оси вращения. Таким образом, как показано на рис. 2, б, наиболее удаленная (с учетом фактической толщины зуба) от оси вращения точка a инструмента формирует все зубья колеса, в том числе точку (зуба) A с радиусом R_A , точку B с радиусом R_B и т.д., где $R_A = R_B$. Исходя из этого, погрешности диаметральных размеров Δd_r , порождаемые погрешностями локальных радиусов и толщин всех зубьев при традиционном зубодолблении, при скоростном зубодолблении заменяются погрешностями радиуса и толщин только одного, формирующего, зуба. Существенно сужается диапазон изменения погрешностей зубьев колеса, порождаемых погрешностями изготовления и установки инструмента, $\Delta d_r = 0$. В результате все нарезанные зубы колеса обладают равными погрешностями диаметральных размеров и толщин. Ясно, что эти погрешности легко устранимы, если их учесть при наладке технологической системы. Таким образом, при зубоформировании ступенчатым долбяком влияние погрешностей изготовления и установки инструмента на точность обработки сводятся к минимуму.

Погрешности установки инструмента и заготовки

Погрешность установки инструмента определяет величину и направление эксцентриситета и углового поворота оси установочного элемента (отверстие, наружный конус и т.п.) инструмента относительно оси вращения. Погрешность установки заготовки определяет величину и направление эксцентриситета и углового поворота оси установочного элемента (отверстие, шейка и т.п.) заготовки относительно собственной оси вращения. По механизму влияния на точность формирования параметров, в том числе диаметральных размеров нарезанных зубьев, погрешности установки заготовки и инструмента можно разделить на две группы:

1. порождаемые эксцентриковым расположением элементов составляющих частей технологической системы, обладающих размерными связями с формируемым параметром;
2. порождаемые угловыми относительными отклонениями элементов составляющих частей технологической системы.

Погрешности установки заготовки проявляют себя как эксцентриситет оси установочных отверстий заготовки относительно оси вращения стола $e_{3г}$ и отклонением этих же осей от параллельности $\varphi_{3г}$. Погрешность $e_{3г}$ порождается погрешностями эксцентриситета установочной шейки оправки относительно оси вращения e_4 и эксцентриситета оси установочной базы заготовки относительно оси шейки e_5 . Погрешность $\varphi_{3г}$ порождается отклонениями от параллельности оси шейки оправки к оси вращения φ_5 и отклонением от параллельности оси отверстия заготовки к оси шейки φ_4 . Влияние обоих видов погрешностей на точность формируемых параметров зубьев носит случайный характер. Исходя из изложенного,

$$e_{3г} = \sqrt{e_4^2 + e_5^2}; \quad \varphi_{3г} = \sqrt{\varphi_4^2 + \varphi_5^2}.$$

Необходимо отметить, что параметры $e_{3г}$ и $\varphi_{3г}$ взаимосвязаны и взаимокompенсируемы, а их значения зависят от гарантированного зазора между сопрягаемыми поверхностями оправки и заготовки δ , при этом их наибольшие значения равны соответственно

$$e_{4max} = \delta \text{ при } \varphi_4 = 0; \quad \varphi_{4max} = \arctg \frac{\delta}{L} \approx \frac{\delta}{L} \text{ при } e_4 = 0,$$

где L – длина сопрягаемых поверхностей шейки-заготовки. При установке какой-либо заготовки одновременно появление максимальных значений e_{4max} и φ_{4max} исключено, так как при этом должно соблюдаться следующее условие:

$$\sqrt{e_4^2 + (\varphi_4 \cdot L)^2} \leq \delta.$$

Погрешность установки инструмента проявляет себя как эксцентриситет оси рабочей поверхности инструмента относительно оси вращения штосселя $e_{и}$ и отклонение этих же осей от параллельности $\varphi_{и}$. Погрешность $\varphi_{и}$ порождается отклонениями от параллельностей оси установочной шейки штосселя относительно оси вращения φ_1 и оси установочной базы инструмента относительно оси шейки φ_2 . Направления рабочего хода инструмента относительно оси вращения заготовки φ_3 , $e_{и}$ и $\varphi_{и}$ определяются следующими зависимостями:

$$e_{и} = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2}; \quad \varphi_{и} = \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2 + \varphi_3^2}.$$

Погрешность установки инструмента является систематически постоянным фактором, влияющим одинаково на все детали, обрабатываемые при одной установке инструмента. Погрешности установки заготовки и инструмента являются источниками образования погрешностей всех нормированных параметров точности нарезаемых зубьев.

Хорошей базой для сравнения точностей формообразования при зубодолблениях традиционным и скоростным методами служат результаты экспериментальных исследований расчлененных кинематических погрешностей при зубодолблении, проведенных под руководством д.т.н. Н.Н. Маркова (рис. 3) [16]. Исследования расчлененных кинематических погрешностей осуществлены при долблении зубьев тради-

ционным методом на колесах с количеством зубьев $Z = 75$ долбяком с количеством $Z_n = 25$. Таким образом, одному обороту заготовки соответствовали три оборота инструмента. Цикличность передачи (или копирования) собственных погрешностей изготовления и установки инструмента на заготовки равнялась трем. Соответственно, систематически постоянная часть изменения размера параметра профиля зубьев в радиальном направлении с любым угловым положением $\alpha_1 = \alpha_2 = 120^\circ$ выражает в определенном масштабе влияние погрешностей расположения формирующих зубьев инструмента относительно его оси вращения. На рис. 3, а, эта часть определяется примерно величиной $(R_1 - R_2)$ (где R_1 и R_2 – наибольший и наименьший локальные радиусы зубьев в пределах центрального угла колеса, равного 120°). Помимо вышеуказанных, на расчлененные кинематические погрешности влияют отклонения от совпадения технологических осей базирования колес при зубодолблении и при измерении на контрольном приборе. Оба эти параметра связаны с величинами зазоров между вспомогательными базами установки и основной базой колеса.

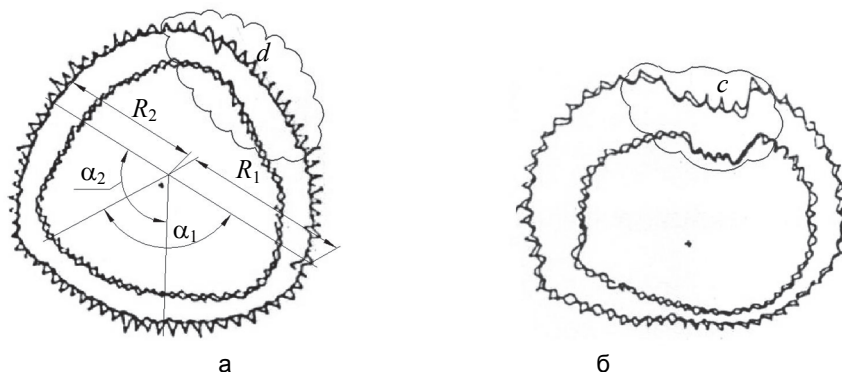


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований расчлененных кинематических погрешностей при зубодолблении: традиционным (а) и скоростным (б) методами

Таким образом, свойственные традиционным методам зубодолбления погрешности, связанные с погрешностями изготовления и установки инструмента, отсутствуют при зубодолблении ступенчатым долбяком, так как при этом профили всех зубьев колеса формируются наиболее удаленным от оси вращения профилем зуба инструмента.

При зубодолблении зубьев традиционным зубодолблением наличие зоны смыкания служит очагом порождения зональных погрешностей параметров, особенно при низкой жесткости зубодолбежного станка (рис. 3, б, участок с). Только в этой области реализуется второй проход долбяка, плавно уменьшается глубина резания до минимума. Даже для одного из двух последних обрабатываемых зубьев она равняется лишь остаточной глубине резания, связанной с упругими отжатиями элементов технологической системы. С уменьшением глубины резания уменьшается сила резания и уменьшаются упругие отжатия системы инструмента и заготовки. Углубление зубьев долбяка на заготовку больше по сравнению с оставшимися частями колеса. Образуется зональная погрешность обработки. Подобные погрешности характерны даже для колес, нарезанных на зубодолбежном станке с высокой жесткостью (рис. 3, а, участок d).

Скоростное зубодолбление осуществляется при непрерывном станочном зацеплении инструмент–заготовка с радиальной подачей инструмента, т.е. зона смыкания отсутствует. В связи с этим подобные погрешности не характерны для зубодолбления ступенчатым долбяком.

Погрешности наладки

Среди многочисленных технологических операций зубодолбление имеет наиболее сложную систему наладок. При традиционном зубодолблении реализуются три вида наладки для обработки партии деталей: наладка на размер H для обработки партии деталей; автоматическая наладка для нарезания зубьев на каждой заготовке внутри партии деталей; автоматическая наладка на размер после каждого двойного хода долбяка. При нарезании зубьев зубодолблением погрешность наладки образуется суммой погрешностей, допущенных при этих трех видах наладки. Учитывая, что их направления совпадают, общую погрешность наладки можно определить как сумму ее составляющих:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3, \quad (2)$$

где ΔH_1 – погрешность, порождаемая погрешностью наладки для нарезания зубьев для партии заготовок (рис. 4); ΔH_2 – погрешность, порождаемая погрешностями наладки–подачи инструмента для нарезания зубьев на единицу заготовки; ΔH_3 – погрешность, порождаемая погрешностями подачи инструмента на рабочую позицию перед каждым двойных ходом.

Слагаемое ΔH_1 является систематически постоянно действующим фактором для партии деталей, который одинаково и по величине, и по направлению влияет на точность всех нарезаемых зубьев колес.

Если обработка большого количества колес ведется несколькими инструментами, тогда влияние этого фактора на точность обработки носит случайный характер.

Слагаемое ΔH_2 носит случайный характер для каждой заготовки. Теоретическим центром группировки для партии деталей является номинальное значение ΔH_1 (рис. 4).

Слагаемое ΔH_3 – погрешность установки режущего зуба инструмента перед каждым рабочим ходом – также имеет случайный характер для каждого рабочего прохода инструмента. Оно является основным источником образования погрешностей эвольвентного профиля зубьев. Теоретическим центром группирования этих погрешностей является номинальное значение ΔH_2 (рис. 4). Исходя из этого, одним из направлений повышения точности эвольвентного профиля может служить уменьшение диапазона изменения ΔH_3 .

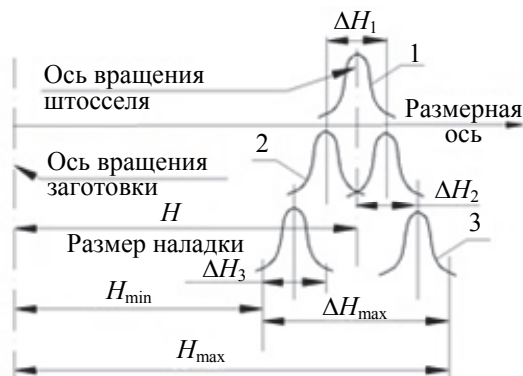


Рис. 4. Схема формирования общей погрешности наладки при зубодолблении

Следовательно, слагаемые погрешности наладки ΔH_1 и ΔH_2 влияют на точность диаметральных размеров зубчатых поверхностей по деталям, в целом, а ΔH_3 – по зубьям и даже по отдельным участкам их рабочих поверхностей. При нарезании зубьев ступенчатым долбяком отсутствуют двойные ходы инструмента. В этом случае ΔH_3 отсутствует, $\Delta H_3=0$. Тогда погрешность наладки равна

$$\Delta H' = \Delta H_1' + \Delta H_2', \quad (3)$$

где $\Delta H_1'$ и $\Delta H_2'$ – погрешности наладки для нарезания зубьев на партии и на единицу заготовки при зубодолблении ступенчатым долбяком соответственно.

Сравнивая выражения (2) и (3), можно констатировать, что при эквивалентном уровне организации технологических процессов погрешность наладки при нарезании зубьев ступенчатым долбяком существенно меньше, чем при нарезании традиционным зубодолблением, $\Delta H' < \Delta H$.

Таким образом, исходя из вышеизложенного, при формировании зубьев ступенчатым долбяком по сравнению с традиционным зубодолблением исключаются погрешности:

- диаметральных размеров зубьев, связанных с погрешностями изготовления и установки инструмента, $\Delta d_r = 0$;
- связанные с наладкой положения долбяка перед каждым двойным ходом инструмента, $\Delta H_3=0$;
- связанные со «смыканием» при нарезании зубьев.

Значит, количественное значение уменьшения подобных погрешностей зависит от организации сравниваемого традиционного метода зубонарезания [14]. Естественно, что нивелирование первичных погрешностей, исключение составляющих суммарной погрешности обуславливают повышение точности обработки соответствующим образом. Это подтверждается и результатами экспериментальных исследований [7, 8].

Заключение

При зубодолблении ступенчатым долбяком противоположные профили соседних зубьев формируются либо зубом инструмента с наибольшей толщиной, либо левым режущим лезвием одного и правым режущим лезвием другого зуба, наиболее удаленного от оси вращения инструмента; влияние погрешности изготовления и установки инструмента на точность обработки доводится до минимума. Погрешности диаметральных размеров зубьев, связанных с погрешностями изготовления и установки инструмента, равняются нулю, $\Delta d_r=0$.

Скоростное зубодолбление осуществляется при непрерывном станочном зацеплении с радиальной подачей инструмента, отсутствует зона смыкания при нарезании зубьев, имеющая место при традиционном зубодолблении. Погрешности обработки, связанные со смыканием, не характерны для зубонарезания ступенчатым долбяком.

Отсутствие двойных ходов при скоростном зубодолблении обуславливает отсутствие погрешностей, связанных с многочисленными подачами инструмента на рабочую позицию перед каждым прохо-

дом, исключается соответствующая составляющая погрешности наладки, $\Delta H_3=0$. Метод обработки обеспечивает высокую точность зубонарезания по сравнению с традиционным методом зубодолбления.

Литература

1. Елисеев Ю.С., Нежурин Н.П. Деформации и погрешности в зацеплениях и их роль в работе зубчатой передачи // Вестник машиностроения. 1999. № 8. С. 28–31.
2. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач / Под общ. ред. В.Е. Старжинского, М.М. Кане. СПб.: Профессия, 2007. 832 с.
3. Артамонов В.Д. Технологические основы повышения эффективности зубонарезания цилиндрических колес с продольной модификацией зубьев: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.07, 05.02.08. Тула, 2011. 456 с.
4. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес. М.: Машиностроение, 2004. 480 с.
5. Расулов Н.М., Расулов Р.С. Способ формообразования зубьев зубчатых колес косозубым долбяком. Патент РФ №2064377. Бюл. 1996. № 21.
6. Производство зубчатых колес: Справочник / Под общ. ред. Б.А. Тайца. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 464 с.
7. Расулов Н.М. Технология машиностроения. Повышение эффективности обработки сложных поверхностей вращения. Баку: Элм, 1997. 134 с.
8. Расулов Н.М., Гусейнов Г.Р., Надиров У.М. Особенности формирования прямых зубьев цилиндрических колес ступенчатым долбяком // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 1 (89). С. 170–176.
9. Расулов Н.М., Надиров У.М., Гусейнов Г.Р. Некоторые основные параметры косозубого ступенчатого долбяка // Вестник ВСГУТУ. 2014. № 2. С. 33–39.
10. Расулов Н.М., Расулов Р.С., Надиров У.М. О нарезании зубьев со специальным долбяком. Проектирование и производство // Материалы 7-ой Международной конференции. Анкара, Турция, 1996. С. 399–410 [на турец. яз.]
11. Расулов Н.М., Надиров У.М., Амирасланов П.А. О точности по диаметру нарезанных специальным долбяком зубчатых поверхностей // Ученые записки. Азербайджанская государственная нефтяная академия, Баку. 1995. № 1. С. 60–64.
12. Расулов Н.М., Надиров У.М., Гусейнов Г.Р. Анализ точности зубодолбления // Механикамашиностроение (Баку). 2003. № 4. С. 55–57. [на азерб. яз.]
13. Расулов Н.М. Управления технологическими размерными связями и эффективность обработки деталей машин // Техника машиностроения. 2003. № 3. С. 18–22.
14. Борисов А.А., Боровский Г.В., Вычеров В.А., Гречишников В.А., Негинский Е.А. Производство и эксплуатация современного режущего инструмента. М.: ИТО, 2011. 104 с.
15. Колев К.С., Горчаков Л.М. Точности обработки и режимы резания. Изд. 2-е. М.: Машиностроение, 1976. 144 с.
16. Марков Н.Н., Чжан Надиюм, Ван Шаозун. Анализ точности зубодолбления цилиндрических зубчатых колес при измерении расчлененной кинематической погрешности // Вестник машиностроения. 1994. № 3. С. 31–32.
17. Справочник инструментальщика / Под общ. ред. И.А. Ординарцева. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.
18. Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Металлорежущие инструменты. Справочник конструктора. Минск: Новое знание, 2009. 1039 с.
19. Тарапанов А.С., Харламов А.С. Управление процессом зубодолбления. М.: Машиностроение, 1999. 128 с.

Расулов Нариман Могбил	– доктор технических наук, профессор, профессор, Азербайджанский технический университет, Баку, АЗ 1073, Азербайджан, nariman.rasulov@yahoo.com
Надиров Угурлу Магоммед	– кандидат технических наук, доцент, доцент, Азербайджанский технический университет, Баку, АЗ 1073, Азербайджан, n_ugurlu@mail.ru
Nariman M. Rasulov	– D.Sc., Professor, Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, AZ 1073, Azerbaijan, nariman.rasulov@yahoo.com
Ugurlu M. Nadirov	– PhD, Associate professor, Associate professor, Azerbaijan Technical University, Baku, AZ 1073, Azerbaijan, n_ugurlu@mail.ru