

УДК 621.9.04:621.833.38

ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЇ ЧЕРВ'ЯЧНОЇ ФРЕЗИ ІЗ ПОДІЛЕНИМ ЗА ВИСОТОЮ ПРОФІЛЮ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ РЕЙКИ НА ГЕОМЕТРІЮ ЧЕРВ'ЯЧНОГО КОЛЕСА

О. І. Попова, М. І. Попова

Кіровоградський національний технічний університет

просп. Університетський, 8, м. Кіровоград, 25006, Україна. E-mail: olga_10@bigmir.net

Експериментально підтверджено та теоретично доведено підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс для передач з угнутих профілем витка черв'яка шляхом застосування нових черв'ячних фрез із поділенням на три частини за висотою профілем інструментальної рейки. Зроблено висновки про результати проведених досліджень. Встановлено, що колесо яке нарізано новою фрезою має менше розсіяння значень відхилення вихідного контуру, відхилення профілю зуба черв'ячного колеса, відхилення кроку зуб'ів, накопиченої похибки кроку, радіального биття та відхилення діаметра впадини та відповідає сьомому ступеню точності, а колесо, яке нарізано фрезою із заборним конусом, належить до восьмого ступеня точності, при чому колесо, яке нарізане стандартною фрезою за ГОСТ 9324 із радіальною подачею належить до дев'ятого ступеня точності. Це доводить, що розроблені фрези більш точні за стандартні.

Ключові слова: черв'ячна фреза, черв'ячне колесо, інструментальна рейка.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНОЙ ФРЕЗЫ С РАЗДЕЛЕННЫМ ПО ВЫСОТЕ ПРОФИЛЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ РЕЙКИ НА ГЕОМЕТРИЮ ЧЕРВЯЧНОГО КОЛЕСА

О. И. Попова, М. И. Попова

Кировоградский национальный технический университет

просп. Университетский, 8, г. Кировоград, 25006, Украина. E-mail: olga_10@bigmir.net

Експериментально підтверджено і теоретично доказано підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс для передач з вогнутим профілем витка черв'яка шляхом застосування нових черв'ячних фрез з розділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки. Сделаны выводы о результатах проведенных исследований. Установлено, что колесо, нарезанное новой фрезой, имеет меньшее рассеивание значений отклонения выходного контура, отклонение профиля зуба червячного колеса, отклонение шага зубьев, накопленной погрешности шага, радиального биения и отклонения диаметра впадины и соответствует седьмой степени точности, а колесо, нарезанное фрезой с заборным конусом, относится к восьмой степени точности, причем колесо нарезанное стандартной фрезой по ГОСТ 9324 с радиальной подачей относится к девятой степени точности. Это доказывает, что разработанные фрезы более точные, нежели стандартные.

Ключевые слова: червячная фреза, червячное колесо, инструментальная рейка.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. В машинобудуванні показники якості виробів тісно пов'язані з точністю обробки деталей машин. У сучасних галузях промисловості та машинобудуванні питання підвищення точності як окремих механізмів, так і виробів у цілому, має велике значення і є актуальним.

При розробці сучасних металорізальних верстатів проблема підвищення точності як окремих механізмів, так і верстата в цілому більш загострюється, коли виникає потреба в підвищенні довговічності, навантажувальної здатності та точності роботи черв'ячного колеса черв'ячної передачі, яка входить до ланок цих механізмів.

Особливий науковий і практичний інтерес представляє застосування для вузлів металорізальних верстатів черв'ячних передач з угнутих профілем витків черв'яка. Такі передачі відомі своєю високою навантажувальною здатністю, що може практично в два рази перевищувати відповідний показник черв'ячних передач з черв'яками типу ZA та ZI. Проте розповсюдження в промисловості черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка не отримали внаслідок низки технологічних складностей виготовлення. Ці складності пов'язані з використанням спеціального зуборізного інструмента для формоутворення поверхонь витків черв'яка та зубців черв'ячного колеса, що призводить до низької технологічності таких передач у цілому. Крім того, ці черв'ячні передачі мають високу чутливість до

похибок виготовлення, складання та деформацій під навантаженням. Такі передачі мають більш високі технічні характеристики ніж відомі, проте точність їх виготовлення недостатня для застосування у верстатобудуванні. Особливістю розглянутої черв'ячної передачі з угнутих профілем витка черв'яка є те, що для обробки черв'ячного колеса використовується стандартний інструмент, а шліфувальне коло одночасно обробляє обидві сторони западини витка черв'яка.

Черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка, що синтезовані на основі другого способу Олів'є, мають низку суттєвих недоліків, обумовлених самим способом. Черв'ячні фрези для обробки черв'ячних коліс таких передач повинні бути точною копією черв'яка, тобто бути спеціальними, а у відповідному верстатному зачепленні реалізується як робоче зачеплення, так і умови складання передачі. Це приводить до низької технологічності передачі в цілому. Крім того, як й інші зубчаті передачі, утворені за другим способом Олів'є, вони також мають високу чутливість до похибок виготовлення, складання та деформацій під навантаженням.

Тому більший науковий та практичний інтерес викликають черв'ячні передачі з угнутих профілем витка черв'яка, що синтезовані на основі способу жорсткої не конгруентної виробної пари, запропонованому в роботі [1]. Позитивною особливістю цього способу є те, що один з інструментів для ме-

ханічної обробки ланок черв'ячної передачі можна обирати вільно.

У загальному випадку верстатного зачеплення гвинтова поверхня черв'яка може мати перемінний крок в осьовому перерізі. Проте реальні черв'ячні фрези за цим стандартом виготовляються на базі архімедова черв'яка з нульовим переднім кутом. Відомо, що для обробки бронз рекомендовані передні кути 15–17 градусів, тобто нульовий передній кут призводить до значних вібрацій під час обробки, та значного зменшення періоду стійкості інструмента. Зменшення періоду стійкості, в свою чергу, вимагає більш частих заточувань. Враховуючи суттєве збільшення вібрацій та те, що виткі фрези затиловані по архімедовій спіралі похибка механічної обробки, що викликана інструментом та процесом різання є дуже значною, тобто на тому ж верстаті з цією схемою формоутворення для підвищення точності механічної обробки є необхідність дослідити інструмент та процес різання на предмет зменшення похибок.

Застосування стандартних черв'ячних фрез за ГОСТ 9324 класу точності AA та AAA з підвищеними габаритними розмірами на обробці черв'ячного колеса відбивається негативно, оскільки збільшення діаметру черв'ячної фрези призводить до збільшення міжосьової відстані у відповідному верстатному зачепленні та суттєвого ослаблення зубців через більший об'єм видаленого металу.

Відомий зубонарізний інструмент [2, 3], що складається із двох черв'ячних фрез, внаслідок необхідності переналагодження зубофрезерного верстата на різні міжосьові відстані для першого і другого проходу має суттєвий недолік, що зменшує досяжну точність обробки. Необхідність переналагодження суттєво збільшує трудомісткість процесу і вносить похибки у відносно положення першої та другої черв'ячної фрези, що потім впливає на точність оброблюваного зубчастого колеса.

Одні черв'ячні передачі з угнутим профілем витка черв'яка мають ряд особливостей, вплив яких на точність механічної обробки черв'ячних коліс необхідно досліджувати. Тому дослідження, спрямовані на підвищення точності механічної обробки черв'ячного колеса черв'ячної передачі з угнутим профілем витка черв'яка є актуальними.

Метою даної роботи є підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс для передач з угнутим профілем витка черв'яка.

Наукова новизна. Вперше теоретично доведено і експериментально підтверджено необхідність та доцільність підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс шляхом застосування нових черв'ячних фрез із поділенням на три частини за висотою профілем інструментальної рейки.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Пропонується скористатися розділенням профілю рейки нормального початкового контуру по висоті на три частини між фрезами для трьох послідовних проходів, причому у фрези для першого проходу зубці відповідають профілю ніжки зубців рейки нормального початкового контуру, а зубці фрези для третього проходу відповідають головці зубців про-

філю нормального початкового контуру. При цьому черв'ячна фреза з поділенням профілем по висоті на три частини інструментальної рейки одночасно містить розташовані на одній гвинтовій поверхні зубці для першого, другого та третього проходу з однаковим діаметром западин та різними зовнішніми діаметрами [4, 5].

Для фрез із поділенням по висоті профілем інструментальної рейки модулем 3 мм можна назначати передні кути до 20°, так як їх точність співпадає з точністю стандартних фрез, а працездатність підвищена за рахунок раціональної геометрії. При цьому технологія виготовлення таких фрез не потребує застосування спеціальної криволінійної правки за точного та затилувального шліфувального круга, яка використовується для забезпечення необхідної точності стандартних фрез.

Фрези з поділенням профілем на три частини по висоті інструментальної рейки завдяки конструкції мають передній додатній інструментальний кут, що значно покращує геометрію вершинної різальної кромки в кінематичній системі координат. Також незначно зростає задній кут на бічній різальній кромці для точок, які знаходяться ближче до ніжки зуба фрези до 1,5°. Зміна кутів залежно від кута повороту фрези навколо своєї вісі та кількості чисел зубів колеса, що нарізується аналогічно стандартним фрезам тому, що вектор результуючої швидкості змінюється однаково, як для стандартних фрез, так і для фрез нової конструкції. Тому розроблені фрези з поділенням профілем інструментальної рейки мають більш раціональну геометрію різальної частини ніж у стандартних фрез.

Враховуючи результати теоретичних досліджень [4, 5] для порівняльних лабораторних випробувань була запропонована нова конструкція фрези з поділенням по висоті профілем інструментальної рейки $t=3$ мм, $Z=12$, $d_a=58,5$ мм (рис. 1), що відповідає класу точності А. Черв'ячна фреза з забірним конусом $t=3$, $Z=9$, $d_a=58,5$ мм, що відповідає класу точності AA. Фреза класу точності А ГОСТ9324 $t=3$, $Z=10$, $d_a=90$ мм.



Рисунок 1 – Черв'ячна фреза з поділенням по висоті на три частини профілем інструментальної рейки $t=3$ мм, $Z=12$, $d_a=58,5$ мм

В результаті експериментів було нарізано колесо $t=3$ мм, $Z_k=43$ із бронзи О5Ц5С5 ГОСТ613 кожною фрезою (рис. 2).



Рисунок 2 – Отримані в результаті експериментів черв'ячні колеса

Колесо № 1 нарізано черв'ячною фрезою з забірним конусом методом тангенціальної подачі за два проходи.

Колесо № 2 нарізано черв'ячною фрезою з забірним конусом методом тангенціальної подачі за один прохід.

Колесо № 3 нарізано черв'ячною фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки методом тангенціальної подачі за один прохід.

Колесо № 4 нарізано черв'ячною фрезою ГОСТ 9324 методом радіальної подачі.

Колеса нарізувалися в умовах виробництва на зубофрезерному верстаті мод. 5К32А.

Режими різання вибиралися відповідно до прийнятих на виробництві, а саме:

- а) стандартна фреза ГОСТ 9324:
- оберти шпинделя $n=112$ об/хв;
 - швидкість різання $V=40$ м/хв;
 - радіальна подача $S=0,2$ мм/об;

б) фреза з поділенням профілем по висоті інструментальної рейки та фреза з забірним конусом:

- оберти шпинделя $n=160$ об/хв;
- швидкість різання $V=40$ м/хв;
- тангенціальна подача $S=1,7$ мм/об.

При промислових випробуваннях проводився по елементний контроль зубчастих коліс. Для оцінки точності зубчастих коліс використовували:

- за показником кінематичної точності – накопичена похибка кроку F_{pr} ; похибка кроку F_p .
- за показником плавності роботи – похибка

профілю зуба f_f ;

– за показником плями контакту – похибка на прямку зуба F_β .

По елементний контроль зубчастого колеса проводився на вимірювальній машині Karl Zeiss CONTURA G2.

На кожному колесі було виміряне відхилення вихідного контуру F_α , мкм та відхилення профілю зуба черв'ячного колеса f_f , мкм, відхилення кроку зуб'їв f_p , мкм, накопичена похибка кроку черв'ячного колеса F_p , мкм, радіальне биття черв'ячного колеса F_n , мкм, діаметр впадини черв'ячного колеса D_f , мм.

Виміряне відхилення вихідного контуру F_α складає (рис. 3):

- черв'ячного колеса № 1 лівої сторони – 438 мкм, правої сторони – 522 мкм;
- черв'ячного колеса № 2 лівої сторони – 531 мкм, правої сторони – 625 мкм;
- черв'ячного колеса № 3 лівої сторони – 422 мкм, правої сторони – 527 мкм;
- черв'ячного колеса № 4 лівої сторони – 532 мкм, правої сторони – 594 мкм.

Відхилення профілю зуба f_f :

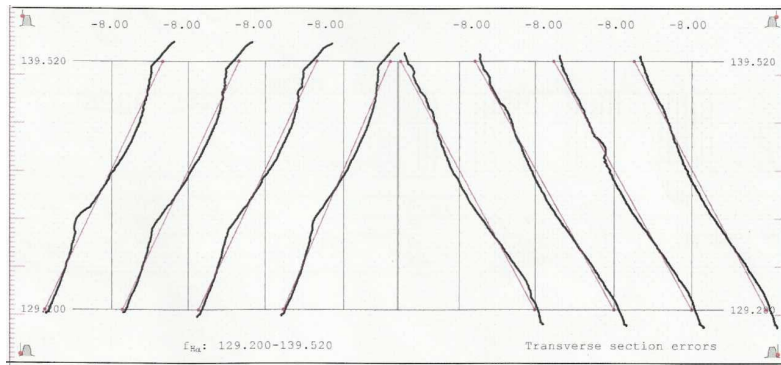
- черв'ячного колеса № 1 лівої сторони – 67 мкм, правої сторони – 58 мкм;
- черв'ячного колеса № 2 лівої сторони – 50 мкм, правої сторони – 68 мкм;
- черв'ячного колеса № 3 лівої сторони – 21 мкм, правої сторони – 36 мкм;
- черв'ячного колеса № 4 лівої сторони – 56 мкм, правої сторони – 58 мкм.

Вимірювальне загальне відхилення профілю зуба черв'ячного колеса № 3 майже в 2 рази менше ніж відхилення профілю черв'ячного колеса № 2, № 1 та № 4. Виміряне відхилення кроку зуб'їв f_p складає:

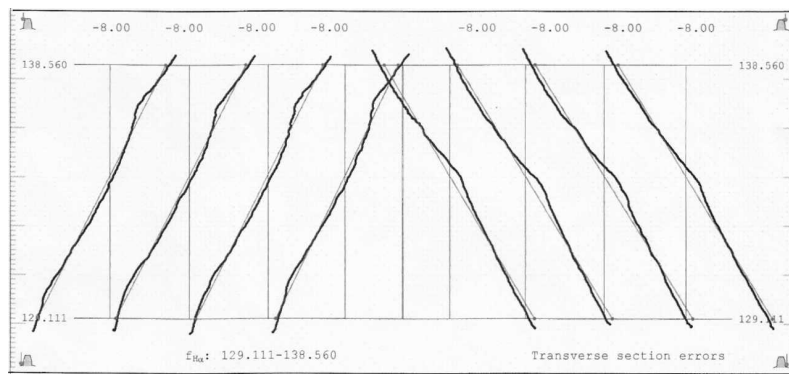
- черв'ячного колеса № 1 лівої сторони – 21 мкм, правої сторони – 21 мкм;
- черв'ячного колеса № 2 лівої сторони – 24 мкм, правої сторони – 22 мкм;
- черв'ячного колеса № 3 лівої сторони – 15 мкм, правої сторони – 23 мкм;
- черв'ячного колеса № 4 лівої сторони – 32 мкм, правої сторони – 28 мкм.

Точність зубчастих коліс при вимірюванні накопиченої похибки кроку показує, що черв'ячне колесо № 3 приблизно в 1,5–2 рази точніше за колеса № 1, № 2, № 4.

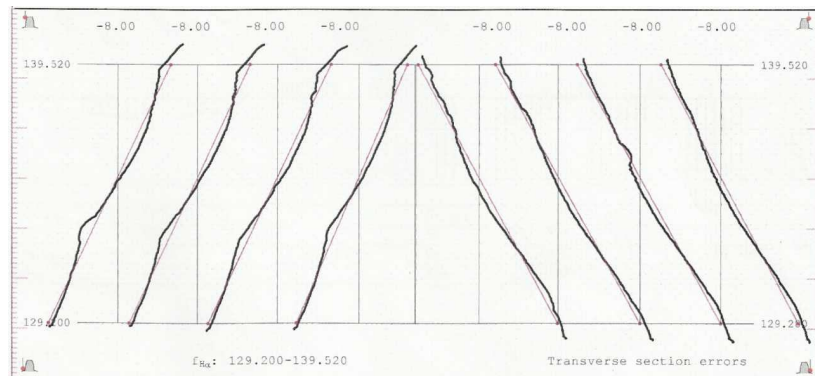
Виміряне радіальне биття F_n складає: черв'ячного колеса № 1 – 200 мкм; черв'ячного колеса № 2 – 134 мкм; черв'ячного колеса № 3 – 195 мкм; черв'ячного колеса № 4 – 415 мкм.



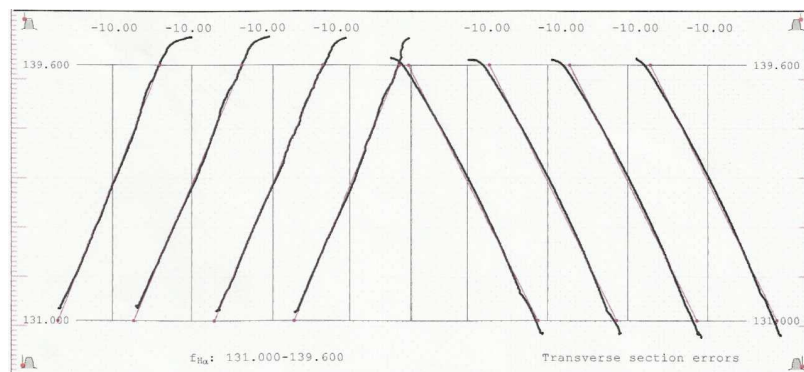
а



б



в



г

Рисунок 3 – Діаграма відхилення вихідного контуру F_{α} , мкм і відхилення профілю зуба черв'ячного колеса f_b , мкм, яке оброблено: а) черв'ячною фрезою із забірним конусом за два проходи; б) черв'ячною фрезою із забірним конусом за один прохід; в) черв'ячною фрезою ГОСТ 9324 методом радіальної подачі; г) черв'ячною фрезою з поділенням на три частини профілем інструментальної рейки

На рис. 4 показано вплив кількості поділення профілю по висоті інструментальної рейки фрези та кількості проходів при обробці на накопичену похибку кроку черв'ячного колеса F_p .

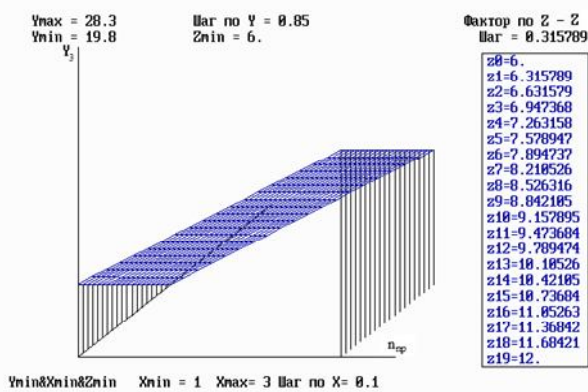


Рисунок 4 – Вплив параметрів процесу різання на накопичену похибку кроку F_p черв'ячного колеса

Встановлено, що для зменшення F_p профіль інструментальної рейки необхідно ділити на три частини по висоті, а кількість проходів цієї фрези зменшити до одного.

Аналіз отриманих діаграм показує, що точність профілю зубчастих коліс вище для коліс спряжених з фрезою з поділенням профілем інструментальної рейки. Стандартна фреза ГОСТ 9324 утворює найбільше відхилення у нарізаного колеса на головці зуба, максимальна загальна похибка профілю обробленого колеса становить 67 мкм, це пов'язано з відсутністю криволінійної правки круга при виготовленні такої фрези. Для фрез із поділенням профілем інструментальної рейки найбільша загальна похибка профілю колеса утворена огранкою профілю і складає 21 мкм, тому що фреза спроектована таким чином, щоб похибка профілювання була менша за стандартні фрези. За вимірними значеннями профіль зубчастого колеса, що нарізався новими фрезами в 2–3 рази точніше за профіль тих коліс, що нарізалися стандартними фрезами.

Підвищення точності обробки черв'ячного колеса відбувається завдяки тому, що:

- черв'ячна фреза з поділенням профілем по висоті на три частини інструментальної рейки одночасно містить розташовані на одній гвинтовій поверхні зубці для першого, другого та третього проходу з однаковим діаметром западин та різними зовнішніми діаметрами, обробка черв'ячного колеса здійснюється з одного встановлювання, що забезпечує підвищення точності обробки;

- черв'ячна фреза з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки для обробки черв'ячних коліс методом тангенціальної подачі має:

- 1) число зубців в 1,8–2,2 рази вище за відповідний параметр, що рекомендується для стандартних черв'ячних фрез відповідно до ГОСТ 9324;

- 2) задні кути на вершинному ріжучому лезі, що

близькі до оптимальних значень 7–9°, рекомендованих для обробки бронзових вінців черв'ячних коліс;

- 3) задні кути на бокових ріжучих лезах мінімальні у фрези для третього проходу і знаходяться в межах 2,31–4,53°, що є прийнятним.

Крім того, затилування та заточування зубців самої фрези здійснюється також з одного встановлювання, що забезпечує підвищення точності виготовлення, зменшення трудомісткості виготовлення та експлуатації інструмента.

Виявлена позитивна залежність процесу механічної обробки черв'ячного колеса від кількості частин поділення профілю по висоті інструментальної рейки черв'ячної фрези N , що за іншими рівними умовами, зі збільшенням N відбувається перерозподіл припуску між проходками та змінюється схема усунення металу із западин між зубцями колеса, яке нарізується; внаслідок цього зменшується кількість проходів фрези $n_{пр}$, що призводить до зменшення огранки зуба колеса; відхилення вихідного контуру правої та лівої сторони зуба черв'ячного колеса зменшується, що підвищує точність обробки колеса.

Також виявлено суттєвий вплив кількості зубців черв'ячної фрези на відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса при механічній обробці методом тангенціальної подачі.

Встановлено, що для підвищення точності механічної обробки черв'ячного колеса кількість зубців фрези з поділенням профілем на три частини по висоті інструментальної рейки дорівнює 12.

Виявлено суттєвий негативний вплив кількості проходів черв'ячної фрези на відхилення кроку зуб'їв черв'ячного колеса правої сторони при механічній обробці методом тангенціальної подачі.

Виявлено суттєвий позитивний вплив на відхилення кроку зуб'їв черв'ячного колеса поділення профілю по висоті інструментальної рейки черв'ячної фрези.

Виявлено суттєвий негативний вплив кількості проходів черв'ячної фрези на накопичену похибку кроку черв'ячного колеса лівої сторони при механічній обробці методом тангенціальної подачі.

ВИСНОВКИ. Встановлено, що відхилення кроку зуб'їв черв'ячного колеса обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки за один прохід методом тангенціальної подачі в 1,3–2,1 рази менше, ніж відхилення кроку зуб'їв черв'ячного колеса обробленого іншими черв'ячними фрезами.

Встановлено, що накопичена похибка кроку черв'ячного колеса лівої сторони, обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки за один прохід методом тангенціальної подачі в 1,1–1,2 рази менше, ніж черв'ячного колеса обробленого іншими черв'ячними фрезами.

Встановлено, що відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса обробленого фрезою з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки, обробленого за один прохід методом тангенціальної подачі в 1,1–1,26 рази менше, ніж

відхилення вихідного контуру черв'ячного колеса обробленого іншими черв'ячними фрезами.

Встановлено, що колесо яке нарізано новою фрезою відповідає сьомому ступеню точності, а колесо, яке нарізано фрезою із забірним конусом належить до восьмого ступеня точності, при чому колесо, яке нарізане стандартною фрезою ГОСТ 9324 із радіальною подачею належить до дев'ятого ступеня точності. Це доводить, що розроблені фрези з поділіним по висоті профілем на три частини інструментальної рейки більш точні за стандартні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Niemann G., Heyer E. Untersuchungen an Schneckengetrieben, VDI, 1953, vol. 6, pp. 147–157.
2. Грицай І.С. Прогресивний спосіб двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процесу //

Проблемы создания новых машин и технологий: Науч. труды Кременчугского государственного политехнического университета. – 2001. – Вып. 1 (10). – С. 418–422.

3. Hidake K. Nakae M. Studies on the Wear of Hob.-Bull, JSME, 1983, vol. 26, pp. 453–460.

4. Ковришкін М.О., Садченко О.І. Підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка // Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. – Одесса: ОНПУ, 2008. – Вып. 1/2008 (29). – С. 63–67.

5. Ковришкін Н.А., Садченко О.І. Инструментальное обеспечение для изготовления червячных колес червячных передач с вогнутым профилем витка // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2008. – Вып. 29. – С. 69–76.

INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE HOB WITH A HEIGHT-SPLIT PROFILE OF THE TOOL RACK ON THE GEOMETRY OF A WORM-WHEEL

O. Popova, M. Popova

Kirovohrad National Technical University

prosp. Universitetsky 8, Kirovohrad, 25006, Ukraine. E-mail: olga_10@bigmir.net

The authors have proved experimentally and grounded theoretically the accuracy increase in mechanical treatment of worm-wheels for the gears with concave profile of a worm gear due to application of new worm hobs with a tool rack profile split in three parts height along. The research results are presented in the paper. It is established that the worm-wheel cut by a new milling cutter shows less dissipation in values of output circuit deviation, profile deviation of a worm-wheel tooth, teeth pitch deviation, accumulated pitch error, radial runout, and root diameter deviation. Such a worm-wheel relates to the 7th degree of accuracy, while the worm-wheel cut by a cutter with taper lead has the 8th degree of accuracy. Moreover, the wheel that was cut by the standard cutter of GOST 9324 with radial infeed has the 9th degree of accuracy. The above-mentioned facts prove that the developed cutters are more accurate than the standard ones.

Key words: hob, worm-wheel, tool rack.

REFERENCES

1. Niemann, G., Heyer, E. (1953), Untersuchungen an Schneckengetrieben, VDI, vol. 6, pp. 147–157.
2. Hrytsaj, I. (2001), "Progressive method of the two-transitional cutting of cylindrical gear-wheels by worm milling cutters and analysis of dynamics of the process", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 1, pp. 418–422.
3. Hidake, K., Nakae, M. (1983), "Studies on the Wear of Hob", Bull, JSME, vol. 26, pp. 453–460.
4. Kovryshkin, N.A., Sadchenko, O.I. (2008), "Increasing the accuracy of machining worm gear wheels

with a concave profile of a worm", *Scientific and practical collection on engineering and natural sciences*, Odesa Polytechnic University, iss. 1 (29), pp. 63–67.

5. Kovryshkin, N.A., Sadchenko, O.I. (2008), "Instrumental support of production of the worm-wheels for the worm-gears with concave thread", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 29, pp. 69–76.

Стаття надійшла 24.01.2014.