

КОМПЛЕКСНЕ ПОЄДНАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА НОВИХ СПОСОБІВ ЗУБОНАРИЗАННЯ – РЕЗЕРВ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ВЕЛИКИХ МОДУЛІВ

© Литвиняк Я.М., Грицай І.Є., 2012

Наведено характеристику та обґрунтування комплексного застосування під час виготовлення зубчастих коліс з великими модулями нового способу радіально-колового формоутворення зубців дисковою фрезою і традиційного зубонарізання стандартною черв'ячною фрезою для виконання відповідно чорнового та чистового переходів зубооброблення, що забезпечує підвищення продуктивності, дотримання вимог точності зубчастих коліс та підвищення технологічної гнучкості.

Description and ground of the combined application of new and traditional method of treatment of gear-wheels is resulted. The new or traditional methodes of treatment are representing a disk milling cutter wich continuously rotating of gear-wheel or worm milling cutter. A new method is utillized for draft treatment of gear-wheel. A traditional method is for eventual treatment of geares. Exactness and productivity are providing.

Постановка проблеми. Сучасне транспортне, важке та загальне машинобудування для забезпечення зростаючих експлуатаційних характеристик певних виробів потребують застосування зубчастих передач, які відповідають підвищеним вимогам щодо точності, навантажувальної здатності, зносостійкості, шуму, металомісткості. Експлуатаційні показники зубчастих коліс, які пов'язані з їх точністю, досягають на операціях зубонарізання, які виконують здебільшого із застосуванням черв'ячних фрез. Операція зубофрезерування визначає техніко-економічні показники технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс завдяки значній тривалості та найвищій вартості використовуваних зуборізальних інструментів, що особливо проявляється під час виготовлення великомодульних зубчастих коліс, зокрема транспортних засобів, таких, як наприклад, локомотиви залізничного транспорту. Застосування на локомотиворемонтних підприємствах на операції зубофрезерування традиційних, черв'ячних фрез, переважно вітчизняного виробництва, для обробки зубчастих коліс з матеріалів, які мають порівняно високу твердість, спричиняє інтенсивне зношування згаданих фрез, що спонукає до зниження режимів обробки, а відтак збільшення тривалості операції, що зрештою супроводжується зростанням собівартості зубообробки. Застосування черв'ячних фрез із вставними або напаяними твердосплавними зубцями загалом не вирішує цієї проблеми, оскільки у цьому випадку інструмент належить до категорії унікальних, що відразу відображається у його ціні, а його експлуатація потребує не тільки порівняно високих коштів для підтримання їх у робочому стані, але й вимагає для цього висококваліфікованих, відповідальних кадрів. Підводячи підсумок, можна констатувати, що розроблення, обґрунтування та впровадження перспективних технологічних процесів зубообробки великомодульних коліс належать до актуальних напрямів розвитку відповідних галузей машинобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Альтернативними використовуваним черв'ячним фрезам можуть бути дискові фрези, за допомогою яких реалізується перспективний спосіб радіально-колового зубонарізання під час неперервного обертання заготовки на універсальних зубофрезерних верстатах з додатковим нескладним їх оснащенням [1–4]. Незважаючи на переваги згаданого способу (висока продуктивність, низька вартість інструменту, оснащення та експлуатації)

він не може бути застосований для забезпечення кінцевої точності великомодульних зубчастих коліс рухомого залізничного транспорту, яка відображається у жорстких технічних вимогах до регламентованих параметрів точності евольвентних зубців. Згадані вимоги стосуються тільки кінцево виготовлених зубчастих коліс і загалом не встановлюють вимог до точності і профілю зубців на проміжних операціях або переходах зубообробки, хоча саме останні істотно впливають на технологічну собівартість. Отже, слід сподіватися на покращання техніко-економічних показників технологічного процесу виготовлення великомодульних зубчастих коліс внаслідок раціонального поєднання переваг нового способу зубонарізання застосовуваному на проміжних стадіях обробки зубців, і традиційного зубофрезерування, яке використовується тільки для забезпечення кінцевої точності зубчастого колеса.

Формулювання мети досліджень. Розроблення науково-технічних рекомендацій щодо обґрунтованого комплексного застосування способу радіально-колового формоутворення дисковими інструментами та кінцевого профілювання черв'ячними фрезами великомодульних зубчастих коліс, зокрема зубчастих коліс рухомого складу залізничного транспорту.

Викладення основного матеріалу досліджень. Головна зубчаста передача (модуль 10 мм) колісних пар локомотивів, наприклад, електровоза ВЛ40, складається із шестерні (матеріал сталь 20ХНЗА, 17 зубців, кут нахилу $19^{\circ}22'12''$, профіль зубців евольвентний модифікований, після цементації, гартування і відпуску твердість робочих поверхонь зубців HRC 59) та колеса (матеріал аналог сталі 45, 81 зубець, кут нахилу $24^{\circ}37'12''$, профіль зубців евольвентний модифікований, після термообробки твердість HB 2800...3200 МПа). Згадані зубчасті колеса на локомотиворемонтному підприємстві повністю виготовляють із поковки та виливки. Існуючі технологічні процеси виготовлення включають зубофрезерну операцію, що здійснюється на зубофрезерних верстатах мод. 5К328. Для зменшення величини врізання і перебігу черв'ячної фрези зубофрезерування виконується у двох шестернях (колесах) одночасно, які встановлюються одна на одну. На зубофрезерних операціях використовуються однозахідні черв'ячні фрези із сталі Р6М5 діаметром 170 мм завдовжки 180 мм з кількістю різальних гребінок – 10. Зубофрезерна операція на локомотиворемонтному підприємстві включає три основні переходи, а саме: чорнове зубофрезерування (глибина фрезерування 14 мм), півчистове зубофрезерування (глибина – 7 мм), чистове зубофрезерування (глибина – 2,5 мм). Чистове фрезерування – кінцева стадія обробки зубців. Поздовжня подача після чорнового і напівчистового зубофрезерування становить 1,4 мм/об, а після чистового – 0,7 мм/об. Частота обертання черв'ячної фрези незмінна і дорівнює 40 хв^{-1} .

Основна особливість зубофрезерної операції полягає у тому, що період стійкості черв'ячних фрез безпосередньо пов'язаний з основним часом технологічного переходу. Тобто черв'ячна фреза знімається із зубофрезерного верстата і підлягає загостренню згідно з окремою технологічною операцією, на що витрачається близько 30 хв. Недоцільність технологічної заміни інструмента під час нарізання зубчастого вінця пояснюється тим, що така заміна фактично завжди супроводжується браком, оскільки фактично надзвичайно важко, встановити іншу черв'ячну фрезу так, щоб її виток з необхідною точністю був розташований у міжзубцевих западинах нарізаних зубчастих коліс. Протягом усього періоду обробки двох шестерень (коліс) черв'ячна фреза тричі загострюється. Одна черв'ячна фреза підлягає загостренню 12 разів, що дає змогу здійснити повну обробку загалом 8-ми шестерень чи коліс, тобто на одну пару коліс припадає три загострення. Вартість черв'ячної фрези, що належить до одного обробленого зубчастого колеса, становить близько 1250 грн.

Фактичний період стійкості черв'ячної фрези для чорнового, напівчистового та чистового зубонарізання дорівнює у хвилинах відповідно 430, 400 та 738. Період стійкості відповідає нормативному (720 хв) тільки для чистового зубонарізання, а для двох перших переходів значно менший від нього. Загальний штучно-калькуляційний час зубофрезерної операції (обробка двох зубчастих коліс) становить понад 31,6 год, або 3,95 зміни тривалістю 8 год. Крім того, допоміжний час займає майже 14 % від штучно-калькуляційного часу. Такий стан справ відображений у

фактично повному граничному завантаженні усіх існуючих на підприємстві зубофрезерних верстатів і спонукає до пошуку шляхів зменшення тривалості зубообробки.

Загальний аналіз структури часу зубофрезерної операції показав, що сумарний основний час чорнового та півчистового зубофрезерування становить близько 43,8 % від штучно-калькуляційного часу і у 1,12 раза більший від основного часу чистового зубофрезерування. Крім того, частка основного часу чорнового зубофрезерування у сумарному основному часі зубофрезерної операції становить майже 27 %. Це вказує на простий шлях зниження працемісткості зубофрезерної операції – об'єднання чорнового та півчистового зубофрезерування в одному технологічному переході, що навіть за існуючих режимів різання уможливило сподіватися на 25 % зниження сумарного основного часу обробки. Застосовувати для цього існуючі черв'ячні фрези недоцільно, оскільки внаслідок значної глибини різання і виникаючих значних зусиль різання, стійкість інструмента значно знизиться, що не приведе до очікуваного позитивного результату. Розв'язати поставлену задачу можна лише завдяки застосуванню нових інструментів і способів зубонарізання.

Підвищення техніко-економічних показників зубофрезерної операції обробки великомодульних коліс запропоновано здійснити поєднанням процесу радіально-колового зубонарізання та традиційного методу нарізання зубців черв'ячними фрезами, які застосовуються відповідно на переходах чорнового і чистового зубофрезерування. На переході чистового фрезерування черв'ячна фреза забезпечує отримання потрібних параметрів точності зубчастих вінців коліс, які регламентовані відповідними технічними вимогами. Після чорнового зубонарізання дискова фреза, яка реалізує спосіб радіально-колового зубонарізання з верстата, знімається, а на її місце встановлюється стандартна черв'ячна фреза. Заготовки зубчастих коліс залишаються закріпленими на столі верстата. Для зменшення допоміжного часу зміна частоти обертання інструментів не здійснюється (частота обертання змінюється зміною зубчастих коліс коробки приводу зубофрезерного верстата).

В основу розроблюваного нового процесу радіально-колового нарізання вінців зубчастих коліс покладено використання дискового багатозубцевого інструмента (фрези) для прорізання міжзубцевих западин у колесах. Нарізання зубців відбувається в умовах безперервного ділення на універсальному зубофрезерному верстаті, у якому черв'ячна фреза замінена дисковим інструментом. Налагодження кінематичних ланцюгів зубофрезерного верстата залишається незмінним і відповідає досягнутому для одновиткової черв'ячної фрези. Формоутворення зубців колеса забезпечується завдяки попередньому, зафіксованому зміщенню (ексцентриситету) геометричної осі дискового інструмента стосовно його кінематичної осі обертання у зубофрезерному верстаті. Величина ексцентриситету залежить від модуля і кута профілю нарізаного зубця колеса. Усе це загалом визначає універсальність способу – однією дисковою фрезою, у відповідний спосіб спрофільованою, можна нарізати колеса будь-якого модуля і кількості зубців, здійснивши попереднє нескладне дооснащення зубофрезерного верстата. Процес радіально-колового зубонарізання має необхідні ознаки для успішного застосування на чорнових переходах. Такий висновок ґрунтується на конструкції розробленої спеціальної збірної дискової фрези (діаметр фрези – 140 мм, кількість зубців – 16), яка має необхідну жорсткість і передбачає застосування змінних твердосплавних пластин, наприклад, Т15К6. У такому інструменті заміні підлягають лише твердосплавні зубці, які закріплюються у постійному корпусі фрези навіть на зубофрезерному верстаті.

У запропонованому варіанті технологічного маршруту глибина фрезерування на переході чорнового та чистового зубонарізання становить відповідно 2 та 0,25 м. Для зменшення величини подачі на один зубець дискової фрези передбачений додатковий пришвидшувальний пристрій, який надає додаткового руху різання інструменту. Рух різання не пов'язаний кінематично із рухом ділення верстата. Пришвидшувальний пристрій дає змогу збільшити частоту обертання дискової фрези у 6 разів стосовно частоти обертання шпинделя зубофрезерного верстата. Частота обертання шпинделя верстата прийнята постійною і дорівнює 40 хв^{-1} , враховуючи оптимальну стійкість черв'ячної фрези на переході чистового фрезерування, яка досягнута для швидкості різання $21,3 \text{ м/хв}$. Швидкість різання дискової фрези становить $105,5 \text{ м/хв}$ (частота обертання – 240 хв^{-1}), що також дає змогу забезпечити високу стійкість фрези з одночасним підвищенням точності отриманого профілю зубців колеса та зниженням сили різання. Зменшення сили різання спонукає

збільшити величину осьової подачі до величини, близької до нормативної і рекомендованої для чорнового нарізання зубців. Отже, для чорнового зубонарізання дисковою фрезою запропоновано встановити величину поздовжньої подачі – 2,5 мм/об, а для чистового зубонарізання черв'ячною фрезою залишити її попередньою – 0,7 мм/об. На 1 зубець дискової фрези колова подача дорівнює 0,32 мм/зуб, а радіальна подача – 0,42 мм/зуб. За таких режимів різання період стійкості дискової фрези, оснащеної твердосплавними пластинами Т15К6, становить близько 200 хв. Дослідження показали, що стійкість дискової спеціальної твердосплавної фрези, яка може бути також виражена довжиною оброблених зубців коліс для цієї величини зношування, може бути збільшена за умови зменшення шляху різання (залежить від частоти обертання), тобто зменшення шляху тертя задньої поверхні вздовж обробленої поверхні та кількості циклів навантаження ділянок різального ребра, а також за рахунок виконання різальної частини зубця з оптимальними геометричними параметрами для навантаження з ударами кожного зубця фрези, тобто для переривчастого різання.

Порівняльні техніко-економічні показники варіантів зубофрезерної операції

Показники		Попередній варіант	Новий варіант
Зубчасте колесо – модуль, мм / кількість зубців		10 / 81	10 / 81
Загальна довжина обробки (два колеса на одній оправці), мм		220	220
Частота обертання, хв ⁻¹ :	шпинделя верстата	40	40
	черв'ячної фрези	40	40
	дискової фрези (додатковий привід)	-	240
Глибина різання, мм :	чорновий перехід	14	20
	півчистовий перехід	7	-
	чистовий перехід	2,5	2,5
Поздовжня подача, мм/об:	чорновий перехід	1,4	2,5
	півчистовий перехід	1,4	-
	чистовий перехід	0,7	0,7
Подача на 1 зубець фрези :	черв'ячна фреза –	3,14	0,33
	колова подача, мм/зуб		
	дискова фреза –		
	колова подача, мм/зуб		
Основний час обробки (два колеса), хв:	радіальна подача, мм/зуб	41	0,42
	чорновий перехід		
	півчистовий перехід		
	чистовий перехід		
Допоміжний час, хв		400	-
		738	738
Штучно-калькуляційний час обробки (два колеса), хв		220	87
Період стійкості інструментів, хв		1898	974
черв'ячною фрезою – чорнове	черв'ячною фрезою – чорнове	431	-
	півчистове	400	-
	чистове	738	738
	дискова фреза (чорнове)	-	240
Кількість зубчастих коліс оброблюваних одним інструментом (до повної заміни інструмента)	черв'ячна фреза	8 (4 пари)	24 (12 пар)
	дискова фреза		
Вартість інструменту віднесена до одного зубчастого колеса, грн.	черв'ячна фреза	-	10 (5 пар)
	дискова фреза		
	разом		
		1250	417
		-	28
		1250	445

Основний час на переході чорнового зубонарізання дисковою фрезою двох зубчастих коліс становить близько 40 хв, а на переході чистового зубонарізання залишився незмінним – 738 хв.

Штучно-калькуляційний час на виконання зубофрезерної операції загалом становить 16,22 год з врахуванням часу загострення черв'ячної фрези після виконання чистового переходу. За штучно-калькуляційним часом тривалість запропонованої операції зубообробки виявилась у 1,95 раза меншою від існуючої, що дасть змогу фактично у 2 рази підвищити продуктивність на зубофрезерних верстатах, тобто кількість оброблюваних на одному зубофрезерному верстаті зубчастих коліс можна збільшити удвічі. Період стійкості твердосплавних зубців дає змогу до їх заміни здійснити обробку однією дисковою фрезою на чорновому переході 10 зубчастих коліс (5 пар). На переході чистового зубонарізання однією черв'ячною фрезою до повної її заміни можна обробити 24 колеса (12 пар). Тоді відносна вартість черв'ячної фрези, що належить до одного зубчастого колеса, дорівнює близько 417 грн., а вартість дискової спеціальної фрези, що належить до одного зубчастого колеса, – 28 грн. Отже, тільки за рахунок зменшення відносних витрат на інструменти собівартість обробки одного зубчастого колеса може бути зменшена майже у 2,8 раза, а з урахуванням незмінності корпусу дискової фрези відносні витрати на інструмент включатимуть тільки вартість змінних твердосплавних пластин. Узагальнені показники зубонарізання великомодульних коліс згідно з запропонованим технологічним процесом відображені у таблиці.

Заміну дискової фрези на черв'ячну фрезу пропонується здійснювати за допомогою простого регульовального пристрою, який встановлюється разом із згаданими інструментами на шпindelній оправці зубофрезерного верстата і дає змогу швидко і доволі точно встановити або дискову фрезу у площині міжосьового перпендикуляра або черв'ячну фрезу стосовно міжзубцевих западин нарізаного зубчастого колеса.

Висновки Комбіноване поєднання традиційного зубонарізання черв'ячною фрезою на чистовому переході з новим способом радіально-колового формоутворення дисковою фрезою на чорновому переході операції зубофрезерування великомодульних коліс дає змогу забезпечити передбачену технічними вимогами їх точність, а також удвічі підвищити продуктивність на одному зубофрезерному верстаті та зменшити майже втричі відносні витрати на зуборізальні інструменти, що належать до одного зубчастого колеса.

1. Литвиняк Я.М. Підвищення ефективності операцій виготовлення циліндричних евольвентних зубчастих коліс радіальним формоутворенням зубців / Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 642: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 18–24. 2. Литвиняк Я.М. Інструментальне забезпечення отримання евольвентного профілю зубців циліндричних коліс способом радіально-колового формоутворення / Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 679: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 14–21. 3. Литвиняк Я.М. Розрахунок параметрів дискових інструментів для радіально-колового нарізання зубчастих вінців циліндричних зубчастих коліс // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 702: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – С. 24–31. 4. Литвиняк Я.М. Нарізання зубців зубчастих коліс заданого профілю дисковим інструментом за допомогою копіювального пристрою способом радіально-колового формоутворення // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 701: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 61–69.