

$$P_1 = \frac{M_2 \cdot n_2}{9550 \cdot \eta}, \text{кВт} \quad (9)$$

2.3 В таблицах паспорта или каталога найдите значение мощности двигателя, соответствующее требуемой мощности. При этом $P_{дв} \geq P_1$. Мощность двигателя, указанная в паспорте, как правило, относится к продолжительному режиму S1. Для двигателей применяемых в условиях режимов, отличных от режима S1, в частности S2 и S3 для двигателей типоразмера 132 и меньше, возможно повышение мощности по сравнению с мощностью в режиме S1, определяемое по формуле:

$$P_{дв} = \frac{P_1}{f_m}, \text{кВт} \quad (10)$$

где f_m – поправочный коэффициент, учитывающий относительную продолжительность включения, приведенный в таблице 2.

Таблица 2

Обозначение коэффициента	Режим работы S2			Режим работы S3		
	Продолжительность цикла, мин			Продолжительность включения, %		
	10	30	60	25	40	60
f_m	1,35	1,15	1,05	1,25	1,15	1,1

2.4 В соответствии с требуемой частотой вращения выходного вала выберите из паспорта или каталога мотор-редуктор.

Игнорирование учета реальных режимов работы привода при выборе изделия по каталогам иномарок может привести к значительным ошибкам, сопровождающимся отказами и разрушениями приводной техники при эксплуатации.

Список литературы: 1. Редукторы и мотор-редукторы общемашиностроительного применения. Методика выбора в зависимости от режимов нагружения. – М., 1986. – 48с. 2. SEW-EVRODRIVE. Мотор-редукторы. Каталог А3. D01. 2008. – 786с. 3. BONFIGLIOLI RIDUTORI. Каталог. 2008. – 402с. 4. YILMAZ. REDUKTOR. General kataloque. 2008. – 785с.

Поступила в редакцию 16.03.10

І.С. ГРИЦАЙ, д.т.н., професор, зав. кафедри ТМБ НУ "Львівська політехніка"
Я.М. ЛИТВИНЯК, к.т.н., доцент кафедри ТМБ НУ "Львівська політехніка"

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ВИРОБНИЦТВА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПОЄДНАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА НОВИХ СПОСОБІВ ФОРМОУТВОРЕННЯ

Приведены характеристика и обоснование комплексного использования при изготовлении цилиндрических зубчатых колес с большими модулями для выполнения черновой и чистовой зубообработки для нового способа радиально-окружного формообразования зубьев дисковой фрезой с непрерывной обкаткой и традиционного зубофрезерования стандартной червячной фрезой, что обеспечивает повышение эффективности производства зубчатых колес.

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

Актуальність проблеми. Процес зубонарізання модульними черв'ячними фрезами, як основний метод виготовлення циліндричних зубчастих коліс, належить до складних і витратних. Ця теза особливо справедлива для великомодульних коліс та твердих матеріалів заготовок, які виготовляють за 2-4 проходи. Для економії коштів на інструмент підприємства замість фрез, споряджених твердосплавними пластинами використовують фрези зі швидкорізальних сталей, які мають невисокі різальні властивості та обмежений період стійкості. Ефективність цього процесу можна підвищити з допомогою комбінованого способу формування зубців коліс.

Зміст розробки та її технічні можливості. На кафедрі технології машинобудування НУ "Львівська політехніка" вже протягом тривалого часу розробляють новий спосіб виготовлення зубчастих коліс, в основі якого – використання для формоутворення тонкої дискової (відрізної) багатозубчастої фрези. Нарізання зубців та формування робочих профілів відбувається в умовах обкочування, як і в черв'ячному зубофрезеруванні, на звичайному зубофрезерному верстаті, що випускається серійно. Особливість формоутворення – у зміщенні кінематичної та геометричної осей інструменту на верстаті (ексцентриситет), що, одночасно з обертанням фрези забезпечує кінематику формоутворення. Універсальність способу полягає в тому, що зміна величини ексцентриситету рівнозначна зміні модуля, тому однією фрезою можна нарізати колеса будь-якого модуля і кількості зубців. При додатковому нескладному дооснащенні верстата на ньому можна однією дисковою фрезою нарізати практично усі види і типи коліс: циліндричні, конічні, черв'ячні (у т.ч. глобо-

їдальні), одновіцеві та шевронні, прямо-і косозубчасті, з прямолінійними і гвинтовими зубцями (у т.ч. гіпоїдальні). Перелічені можливості способу підтверджені експериментально [1, 2]. За широтою універсальності, технічними і технологічними можливостями, досягненими результатами (зменшення витрат, підвищення продуктивності, скорочення номенклатури зуборізних верстатів та інструментів) даний спосіб не має аналогів у практиці зубообробки.

Дослідження та подальший розвиток цього способу ведуться у різних напрямках та охоплюють низку теоретико-прикладних проблем: проектування та профілювання дискового зуборізного інструменту; розроблення пристроїв та засад модернізації зубонарізних обкочувальних верстатів для розширення їх технологічних можливостей; розроблення теорії синусоїдального зачеплення та модифікації синусоїдальних профілів; розрахунок точності зубообробки та визначення структури сумарної похибки обробки; оптимізація робочих режимів процесу; метрологія синусоїдальних зубчастих коліс і передач.

Практичне використання. Один із напрямків ефективного використання даного способу полягає у створенні змішаної, або гібридної технології зубообробки, що базується на поєднанні традиційного зубофрезерування черв'ячними модульними фрезами, та нового способу формоутворення. Ця технологія дає змогу отримати максимальний економічний ефект, який формується комплексно – у виробника, за рахунок скорочення широкого номенклатури дорогих і складних зубообробних верстатів та інструментів, та у користувача синусоїдальних передач, завдяки їх вищим експлуатаційним властивостям. Покажемо це на конкретному прикладі.

У галузі зубообробки кафедра ТМБ співпрацює з Львівським локомотиворемонтним заводом. "Вузькою" ділянкою цього підприємства є процеси виготовлення зубчастих коліс приводів тепловозів. Об'єкт виробництва – косозубчасті колеса (кут нахилу зубців –) модуль 10мм, кількість зубців 82 (колесо) і 22 (шестірня), матеріал колеса сталь 45, шестірні – 20ХН3А; ТО – нормалізація, твердість НВ 280-320. Профіль зубців модифікований. Черв'ячна фреза з швидкорізальної сталі Р6М5, однозахідна, зовнішній діаметр 170мм, кількість зубців – 10.

Процес нарізання цих деталей працездатний та низькопродуктивний. Він включає 3 переходи: чорновий з глибиною різання 14мм, півчистовий з глибиною різання 7мм; чистовий з глибиною різання 2,5мм. Стійкості однієї черв'ячної фрези вистачає на 1 перехід, після кожного переходу фрезу відправляють на перезагострення, а процес зубонарізання продовжується після відновлення працездатності фрези; протягом перешліфовки інструменту верстат вимушено простоює. Іншу черв'ячну фрезу, на час перешліфування основної, використати не можна внаслідок складності попадання її гвинтової поверхні в попередньо прорізану впадину колеса першою фрезою. В результаті повний час зубонарізання становить дві зміни (понад 16 год.).

Для покращення діючого техпроцесу і підвищення його ефективності розроблено такі заходи.

1. На етапі чорнового прорізання впадин використати спосіб зубонарізання дисковою фрезою: замість швидкорізальної черв'ячної фрези використовуємо збірну дискову фрезу, споряджену пластинами з твердого сплаву.

2. Попереднє прорізання зубців, які мають синусоїдальний профіль, здійснюємо не за 2 переходи, а за один перехід з глибиною різання $0,85h$. Припуск по боковій стороні зубців (що відповідає глибині різання $0,15h$) достатній для формування евольвентного модифікованого профілю черв'ячною фрезою на чистовому переході.

3. За рахунок використання твердосплавного інструменту настраюємо верстат на вищу швидкість різання та підвищуємо продуктивність процесу.

4. Додатковий фактор підвищення продуктивності полягає в зміні кінематики процесу зубонарізання. На кафедрі ТМБ розроблено ряд конструкцій і схем модернізації верстатів, які через додаткову зубчасту пару між осями інструментального шпинделя і віссю інструменту дають можливість перейти на вищі частоти обертання і більшу швидкість різання. Додатковий пристрій змінює кінематику процесу черв'ячного зубофрезерування: за один цикл зворотно-поступального переміщення дискової фрези і поворот колеса на один кутовий крок дискова фреза здійснює в радіальному напрямку не один оберт, як у черв'ячному зубофрезеруванні, а 5-10 обертів. Один з таких пристроїв-мультиплікаторів показано на рисунку.

Конструкція мультиплікатора, розроблена для верстатів 5К32, що використовуються на ЛЛРЗ, підвищує оберти у 6 разів, відповідно, швидкість різання збільшується з 21,4 м/хв. у базовому варіанті до 113 м/хв.

Техніко-економічні переваги. Зміна структури технологічного процесу, підвищення робочих режимів та економія часу у гібридній технології порівняно з діючою наведені в таблиці 1 і таблиці 2; розрахунки виконані тільки для зубчастого колеса.

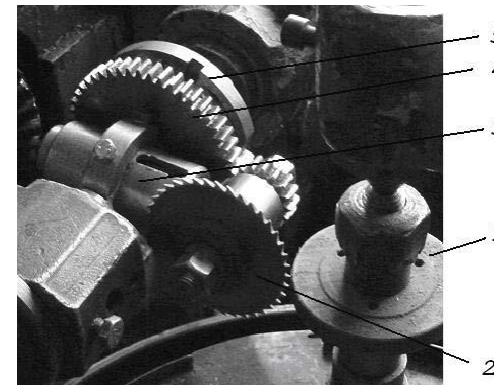


Рисунок – Модернізація зубофрезерного верстата для нарізання синусоїдальних зубчастих коліс

1 – заготовка зубчастого колеса; 2 – дискова фреза; 3 – напрямний механізм зворотно-поступального руху; 4 – зубчаста передача від інструментального шпинделя верстата до шпинделя інструменту; 5 – механізм зміни величини ексцентриситету

Таблиця 1 – Базовий варіант

Параметр, показник	Переходи		
	1	2	3
Швидкість різання, м/хв. / частота обертання черв'ячної фрези, об. ⁻¹	21,4 / 40		
Глибина різання, мм	14	7	2,5
Осьова подача фрези: мм/зуб інструменту мм/об заготовки	0,0017 1,4		0,000854 0,7
Основний час обробки, хв.	284,1	254,8	445,1
Складові часу на операцію: - підготовчо-заключний $T_{п-з}$, хв. - допоміжний $T_{д}$, хв	108,8 219,5		
Штучно-калькуляційний час на 1 колесо, хв.	1311,88		

Таблиця 2 – Проектний варіант

Параметр, показник	Переходи	
	1	2
Швидкість різання, м/хв. / частота обертання черв'ячної фрези, об. ⁻¹	113,04 / 240	
Глибина різання, мм	21	2,5
Осьова подача фрези: мм/зуб інструменту мм/об заготовки	0,0017 2,23	
Основний час обробки, хв.	29,7	445,1
Складові часу на операцію: - підготовчо-заключний $T_{п-з}$, хв. - допоміжний $T_{д}$, хв	108,8 -	
Штучно-калькуляційний час на 1 колесо, хв.	583,6	
Фреза дискова з пластинами твердого сплаву, діаметр 150мм, кількість зубців 16		

Техніко-економічна ефективність розробки. Початкові дані: річна програма випуску колісних пар 200-220 шт., тобто, коліс і шестерень – по 200 – 220 кожного виду. На ділянці зубообробки використовують 4 зубофрезерні верстати мод. 5К32, режим роботи – двозмінний; річний ефективний фонд часу одного верстата 3850 год.

Складові техніко-економічного ефекту.

1. Зменшення штучного часу:

а) зменшення основного часу на першому переході досягається за рахунок вищої осьової подачі (при однаковій подачі на зуб інструменту) і більшої швидкості різання, різниця часу становить 254,4 хв. (4,24 год.);

б) зменшення основного часу на другому переході – другий (півчистовий) перехід відсутній, зменшення часу – 254,8 хв. (4,25 год.);

в) виключення простоювання верстата після першого і другого переходів в очікуванні перешліфовування черв'ячної фрези становить 219,5 хв. (3,66 год.)

Зменшення штучного часу на операцію становить 728,28 хв. (12,14 год.).

2. Економія витрат на різальний інструмент.

а) *вартість нового інструменту.* Ціна однієї модульної черв'ячної фрези m 10мм становить 10 000-11 000 грн., приймаємо 10 500 грн. Фреза допускає 12 переточок. За час виготовлення 1 колеса фреза проходить трикратне переозагострювання, тобто, повного ресурсу однієї черв'ячної фрези вистачає на виготовлення 4 – х зубчастих коліс. Річна програма випуску коліс 200-220 шт., а потреба в нових черв'ячних фрезах рівна 50-55 шт. Витрати на їх придбання становлять 525000-577500 грн.

Дискова фреза є інструментом багатократного використання, її ціна, приведена до однієї деталі (включаючи вартість конструкторської документації і виготовлення корпусу) 20-40 грн. Ціна одного комплекту твердосплавних зубців – 250-320 грн. Навіть якщо допустити, що один комплект зубців твердого сплаву спрацьовується за один чорновий прохід, то витрати на дисковий інструмент, приведені до одного колеса рівні 300-360 грн., а на всю річну програму зубчастих коліс – 60000-79200 грн.

б) *зменшення витрат на перешліфовування черв'ячних фрез.* Річні витрати заточного відділення (включаючи амортизацію заточних верстатів, вартість їх утримання і обслуговування, заробітну плату заточників), приведені до річного обсягу зубчастих коліс становлять 5 500 – 7 000 грн. (за найменшими підрахунками).

Твердосплавні зубці дискової фрези не підлягають перешліфовуванню, а заміну спрацьованих зубців може виконувати оператор зубофрезерного верстату за час першого, або другого проходу (для цього потрібно ще один комплект корпусу дискової фрези з двох деталей-фланців і кріпильних елементів). Економія коштів на перешліфовуванні становить 5500-7000 грн, а сумарні річні витрати на інструмент рівні 470500-505300 грн.

3. Підвищення продуктивності праці.

Зменшення працездатності коліс дає змогу збільшити річну програму N^1 їх виготовлення без придбання нового обладнання. Працездатність виготовлення однієї шестерні (кількість зубців $z=22$) становить ~30% від працездатності виготовлення колеса, тобто. Тоді сумарна кількість комплектів колесошестерня в проектному варіанті рівна:

$$N^1 = \frac{60 \cdot C_d \cdot \Phi_d}{1,3 \cdot T_{шт}^1} = 1216 \text{ шт.},$$

де C_d – дійсна кількість верстатів (4); Φ_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання (3850 год.); $T_{шт}^1$ – штучний час в проектному варіанті.

Кількість деталей кожного найменування становить – 608 шт. Отже, можливе збільшення річного випуску продукції становить 388-408 одиниць зубчастих коліс і шестерень по кожному виду.

4. *Додатковий економічний і технічний ефект* можна отримати за рахунок:

а) покращення якості профілів зубців після термічної обробки – гарту-

вання до твердості НВ введенням операції шліфування, що здійснюється за тим же кінематичним методом, що і зубонарізання дисковою фрезою.

Термообробка після зубонарізання зменшує точність колеса з 7 до 8-9 ступені, а від заключної операції – традиційного шліфування черв'ячними шліфувальними кругами на заводі відмовилися через великі фінансові витрати, зв'язані з впровадженням зубошліфування.

У нашому способі зубообробки шліфування можливе на звичайному зубофрезерному верстаті без використання спеціальних шліфувальних інструментів, а з допомогою дискового (відрізного) шліфувального круга. Шліфування профілів можливе за тією кінематичною схемою, що й зубонарізання – обертанням дискового круга з його періодичним зворотно-поступальним переміщенням у кожній впадині. Необхідну швидкість різання зубошліфування теж можна забезпечити мультиплікатором, проте, для шліфування даним способом евольвентних профілів необхідне додаткове спорядження, або реалізація процесу на зубофрезерному верстаті з ЧПК.

б) при меншій працездатності зубчастих коліс і незмінній програмі – 200 – 220 пар коліс в рік, для їх виготовлення потрібно таку розрахункову кількість верстатів:

$$C_p = \frac{1,3 \cdot T_{шт}^1 \cdot N^1}{60 \cdot \Phi_d} = 0,66 - 0,72 ,$$

тобто всю річну програму колісних пар можна нарізати на одному верстаті, завантаженому при двозмінній роботі на 0,66-0,72%.

Інші 3 зубофрезерні верстати можна реалізувати і використати виробничу площу, що звільняється, на інші потреби, або ж завантажити їх зовнішніми замовленнями по міжзаводській кооперації.

Висновки. Теоретично обґрунтовано та показано на конкретному прикладі переваги, які дає використання нового способу нарізання зубчастих коліс в поєднанні з традиційними методами і технологією. Складовими ефективності є істотне спрощення діючих технологічних процесів, зменшення їх працездатності і підвищення продуктивності обробки, можливість отримання значного економічного ефекту у діючому виробництві.

Список літератури: 1. *Грицай І.С., Литвиняк Я.М.* Синусоїдальні зубчасті передачі як альтернатива традиційним передачам та новий метод їх виготовлення / Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Тематичний випуск "Проблеми механічного приводу". – Харків: НТУ "ХП", 2009. – №19. – С.43–53. 2. *Грицай І.Е., Литвиняк Я.М.* Изготовление червячных колес глобоидальных передач. Новый эффективный способ решения актуальной проблемы / Оборудование и инструмент. – 2009. – №4(115). – С.12–14.

Надійшла до редколегії 29.04.10

В.Е. ЗАМКОВОЙ, к.т.н., главный металлург ГП "Ивченко-Прогресс", г. Запорожье
А.Б. ЕДИНОВИЧ, нач. бригады зубчатых передач ГП "Ивченко-Прогресс"
Т.В. ТИХОМИРОВА, инженер ГП "Ивченко-Прогресс"

ВЛИЯНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ МЕДИ НА КОНТАКТНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ИЗ СТАЛИ 14ХГСН2МА-Ш И 16ХЗНВФМБ-Ш

Розглянута можливість нанесення, переваги та недоліки антифрикційного покриття на основі міді, вплив технології нанесення на значення контактної витривалості робочих поверхонь зубчастих коліс. Приведені основні вимоги до антифрикційного покриття деталей редукторів. Виконані випробування обраного покриття підтвердили підвищення контактної витривалості.

In this work is produced results contact fatigue test of steel models with antifrictional copper's cover. Presented effect of a covering and technology of their coating on reducers details. The base demand to cover is composed. Lacks and advantage different technology of coating antifrictional copper's cover is accounted.

Введение. Повышение ресурса и улучшение механических характеристик, в частности контактной выносливости, зубчатых колес авиационных двигателей является актуальной задачей нашего времени. Разработка и внедрение теплоустойчивых сталей, синтетических масел с антифрикционными присадками, конструктивные изменения (изменение угла зацепления) и другие мероприятия внесли свою лепту в увеличении ресурса, однако повысился уровень применяемых напряжений на поверхности контактирующих деталей практически не удалось.

Основным фактором, снижающим контактную выносливость, является местный поверхностный перегрев детали (до 350°C) непосредственно в зоне контакта, который приводит к снижению твердости и, соответственно, разупрочнению поверхности. В свою очередь для зубчатых передач редукторов авиадвигателей, как правило, применяются теплоустойчивые стали с химикотермическим упрочнением (14ХГСН2МА и 16ХЗНВФМБ), с допустимой рабочей температурой до 200°C и до 350°C соответственно.

Одним из путей повышения контактной выносливости является поверхностное упрочнение деталей. Анализ различных упрочняющих технологий показал, что совокупность химикотермического упрочнения и последующего формирования тонкого антифрикционного слоя из мягкого металла может оказаться весьма перспективным[1].

Эффект применения металлических покрытий состоит в разделении контактирующих поверхностей слоем материала обладающим низким коэффициентом трения для снижения температуры в зоне контакта и предотвращения заедания [2]. Также покрытие снижает влияние поверхностных дефектов, улучшается приработка, что также положительно влияет на повышение контактной выносливости[3].