УДК 621.833:621.914.6

Ю.О. Маховський, ген. дир.
ВКФ "Укркомплект"(м. Кривий Ріг Дніпропетровської обл.)
В.Я. Рибак, к.т.н., с.н.с.
Інститут надтвердих металів ім. В.М. Бакуля НАН України
О.О. Розенберг, д.т.н., проф.
В.М. Сизранцев, д.т.н., проф.
Курганський державний технічний університет (Росія)

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ЗУБЧАСТО-РОЛИКОВИХ ПЕРЕДАЧ У ПРИВОДАХ МЛИНІВ ГІРНИЧОЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

Проаналізована практика застосування зубчасто-роликових передач у приводах кульових млинів і наведена технологія відновлення вінців зубчастого профілю.

На гірничозбагачувальних комбінатах України руду розмелюють на кульових млинах, у приводах барабанів яких використовується відкрита зубчаста передача, що працює в умовах високих динамічних навантажень (табл. 1)

Таблиця 1

Основні технічні дані кульових млинів

Показник	Тип	
	МШР-3600×5000	МШЦ-4000×5500
Кількість зубів на вінці	268	288
Габарити млина, мм:		
– довжина	15 835	12 255
– ширина	7 450	8 492
– висота	5 510	6 261
Діаметр барабана внутрішній, мм	3 600	4 000
Довжина барабана внутрішня, мм	5 000	5 510
Частота обертання барабана, об/хв.	18, 15	17, 18
Маса обертових частин, кг	141 000	178 512
Завантаження барабана кулями, кг	63 450	74 975
Потужність електродвигуна, кВт	1 250	2 000
Продуктивність млина, т/год.	108	120

Зубчастий вінець (табл. 2), який складається з декількох секторів, кріпиться безпосередньо до барабана млина.

Таблиця 2

Характеристика зубчастого вінця млина МШР – 3600×5000

Показник	Значення
Модуль, мм	20
Діаметр, мм	$5410_{-0,6}$
Довжина, мм	800
Кут нахилу спіралі, град.	5,25
Кількість секторів	2
Матеріал	Сталь 45 Л

Всього на Україні використовується приблизно 300 подібних млинів і на 30 % із них зношені та демонтовані зубчасті вінці.

У зв'язку з високою вартістю придбання нових вінців (300–400 тис. грн.) в останні роки ведуться роботи з їхньої реставрації.

Одним із засобів відновлення вінців є наплавлення зношеного профілю зубів металом із наступною механічною обробкою [1]. За ініціативою виробничо-комерційної фірми «Укркомплект» (м. Кривий Ріг) спеціалістами Інститутів електрозварювання ім. О.Є. Патона

© Ю.О. Маховський, В.Я. Рибак, О.О. Розенберг, В.М. Сизранцев, 2001

та надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України розроблено технологію наплавлення великогабаритних вінців і комплект спеціального твердосплавного інструмента для фрезерування зубів наплавлених вінців, у тому числі черв'ячна фреза. Оброблено два вінця, один із яких експлуатується зі жовтня 2000 року на Інгулецькому гірничозбагачувальному комбінаті (Дніпропетровська область.) [2].

Проведені роботи дозволяють зробити попередній аналіз технологічного процесу ремонту зубчастих вінців зі застосуванням наплавлення, намітити шляхи його вдосконалення, а також запропонувати альтернативний засіб ремонту передачі цього приводу.

Аналіз технологічного процесу відновлення зубчастого вінця із застосуванням наплавлення

1. Наплавлення профілю зубів здійснювали на секторі зубчастого вінця по всьому контуру зношених зубів, що закріплені на барабані млина електродами марок ППсТМВ-6 (НВ 240 ... 280) на першому вінці та ПП-Нп25ХГСЮТ (НВ320 ... 360) – на другому. В обох випадках після розбирання вінця і складання його на столі зубофрезерувального верстата було виявлено деформацію секторів (пропелер), яка не дозволяла з'єднати обидві половини вінця без зазору. Останній досягав 4 мм (рис. 1). При встановленні на барабан за допомогою домкратів зазор між секторами дещо зменшили, але це негативно вплинуло на точність установлення міжосьової відстані між вінцем і шестернею. Зазор між дном западини профілю зубчастого вінця і вершиною зуба шестерні становив замість розрахункових 5–11...13 мм. При черговому огляді через 6 місяців роботи було виявлено тріщину в замку кріплення секторів, яку підварили (рис. 2). Через укорочену активну висоту зуба він зносився з однієї сторони профілю на глибину 1,2...1,5 мм (рис. 3), що свідчить про необхідність прийняття заходів зі зменшення деформації.

2. У процесі зубофрезерування наплавленого прошарку на зубах проявилися волосоподібні розколини з проміжком 15...40 мм (рис. 4), причому їхня кількість на вінцях із більш "м'яким" шаром наплавлення (ППсТМВ–6) була більшою, ніж на вінці з більш твердим шаром наплавлення (ПП-Нп25ХГСЮТ). Ці тріщини, вірогідно, не є небезпечними, тому що при огляді зубчастого вінця, який працював півроку, встановлено відсутність їхнього розвитку.

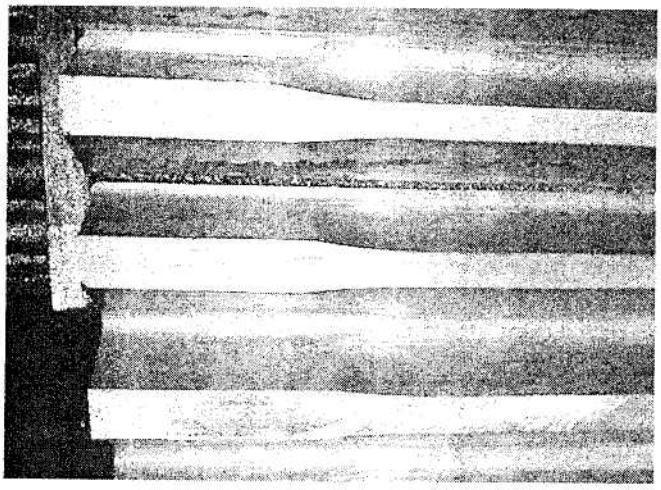

Рис. 1. Зазор на зубчастому вінці в місці стику секторів

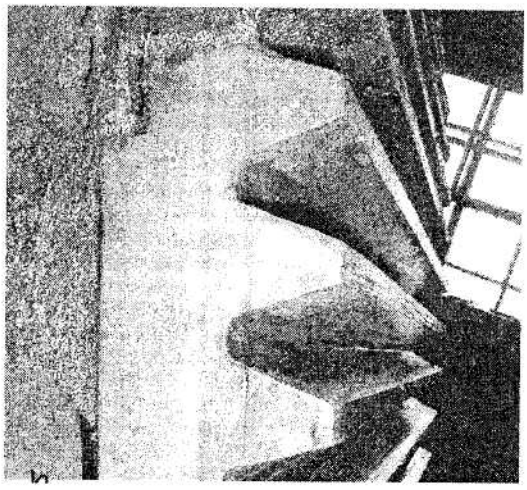

Рис. 2. Тріщина в замку кріплення секторів вінця (заварена)

3. Поверхня профілю зуба після наплавлення і механічної обробки має значний перепад твердості: з одного боку профілю зуба залишається основний метал із твердістю поверхні НВ 217...238; з іншого боку – наплавлений метал із твердістю НВ 305 ... 404 (рис. 3). Вимір твердості проводили в точках, що зазначені на рис. 5; у торці зуба, а також у середині довжини зуба на поверхні за допомогою динамічного твердоміра ДТМ-1.

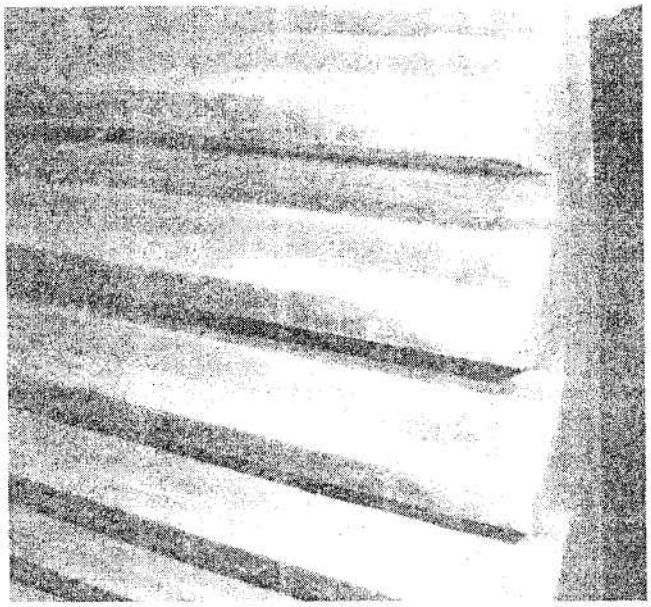

Рис. 3. Знос профілю зуба вінця через півроку роботи

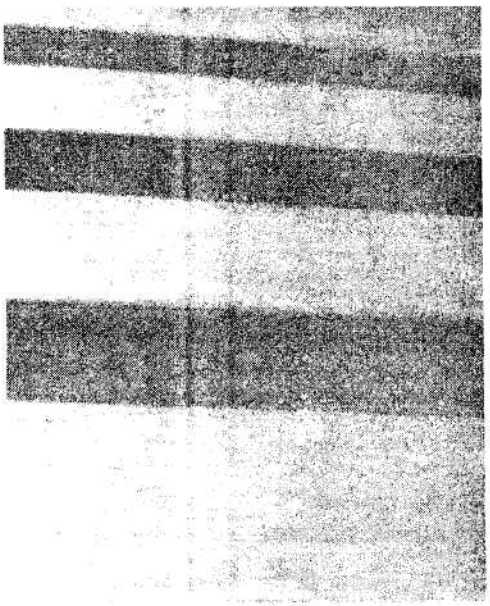

Рис. 4. Волосоподібні тріщини на зубах після наплавлення й обробки різанням

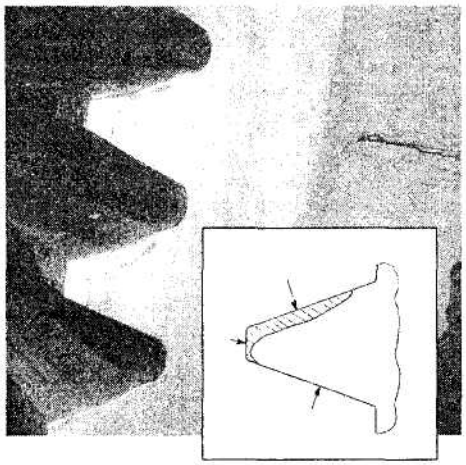

Рис. 5. Місця виміру твердості на зубі

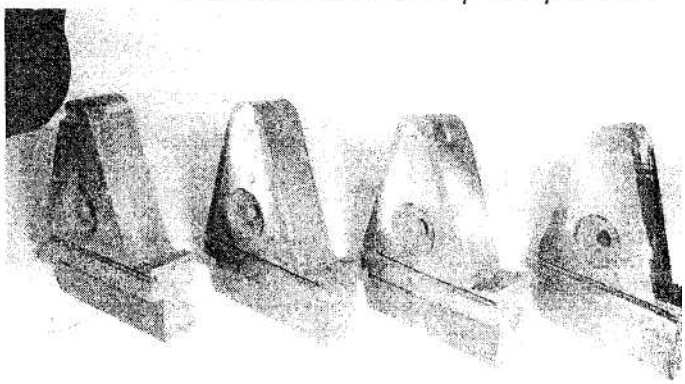

Рис. 6. Зношені зуби черв`ячної твердосплавної фрези

При обробці наплавлених зубів як дисковими, так і черв'ячними фрезами, виникали крутильні коливання вінця з амплітудою на зовнішньому діаметрі до 1, 2 мм, що викликало інтенсивний знос, викришування і відколи твердосплавних елементів фрез (рис. 6). Через кожні 70...100 мм довжини вінця при зубофрезеруванні черв'ячною фрезою з механічним кріпленням зубів, оснащених твердосплавними елементами, виникала необхідність перевстановлення зубів фрези або їх підточення. (Відстань, пройдену фрезою вздовж зуба вінця колеса до її затуплення, можна побачити на вінці у вигляді кільцевих ліній (рис. 7)). Для підвищення довговічності інструменту і точності зубчастої передачі потрібно підвищити жорсткість системи верстат-закріплюючий пристрій.

4. На поверхні зубів вінця після наплавлення присутні оплавлені частки шлаку і бризки металу. Такий прошарок різко знижує зносостійкість інструмента, оснащеного твердим сплавом, і робить неможливою обробку інструментами із швидкорізальної сталі. Видалення цього прошарку за допомогою ручних шліфованих машинок значно покращує зносостійкість інструмента.

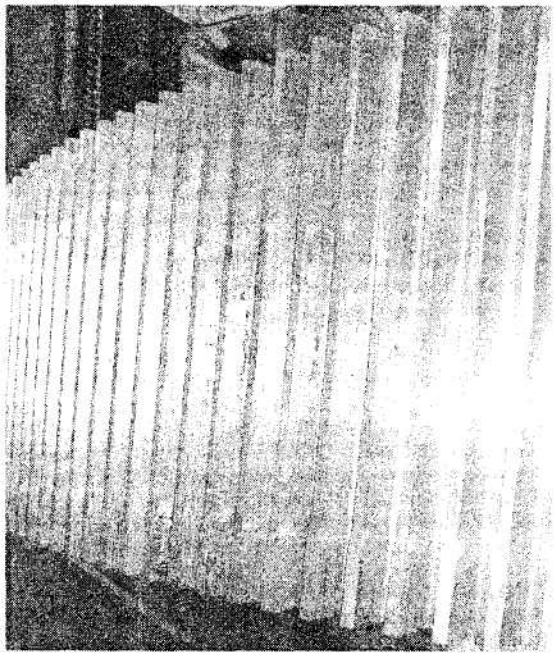

Рис. 7. Кільцеві лінії на зубчатому вінці

Обгрунтування переходу на зубчасто-роликову передачу

Уникнути недоліків, що пов'язані з нагріванням, наплавленням, поводкою деталі, а також із викрошуванням інструмента, можна, якщо перейти на інший профіль зуба і вид зачеплення.

В геометричній теорії зачеплень існує два основні принципи вибору профілю зуба зубчастих передач, а саме: використання евольвентного профілю зуба, головна перевага якого – застосування в технології виготовлення зубчастих коліс інструментів, що мають стандартні параметри вихідного контура (перший принцип). Ці параметри встановлені, виходячи з одержання геометричних характеристик зачеплення, що найбільш повно задовольняють задачі технології та конструювання передач у межах можливостей засобу формоутворення зубів коліс стандартним інструментом. Оскільки параметри інструмента, що використовувався, не можуть бути змінені, то керування геометрією зуба і характеристиками зачеплення здійснюється шляхом зсувів інструментів при нарізанні коліс. Незважаючи на те, що при цьому можливості досягнення оптимальних характеристик кінцевого виробу – передачі обмежені, процес виготовлення коліс досить уніфікований та стандартизований. Евольвентний тип профілю зубів у зубчастих зачепленнях найбільш широко використовується у всьому світі (як у дрібносерійному, так і в масовому виготовленні зубчастих коліс).

Другий принцип використання геометричної теорії зачеплень полягає в такому. Абстрагуючись від конкретних значень параметрів висхідного контура, формують і задають необхідні вимоги до якості та характеристик зачеплення, наближаючи їх до заданих технічних умов.

У передачах із евольвентним профілем поверхні зуба шестерні, і колеса опуклі, що в зоні контакту зменшує площу контакту і відповідно призводить до великих питомих навантажень. Разом із тим існують інші передачі (наприклад, передачі Новикова [3]), в яких форми зубів пар опукло-вгнуті, що збільшує площу контакту і відповідно зменшує напругу в зоні контакту.

Розглядаючи профіль зубів зношеного вінця (рис. 8), можна побачити, що в результаті стирання зуби стали з опуклих увігнутими. Але перетворити при ремонті зубчасту передачу з евольвентним профілем у передачу Новикова неможливо через необхідність зменшення розмірів коліс та обмеження регулювання міжосьової відстані зубчастої передачі.

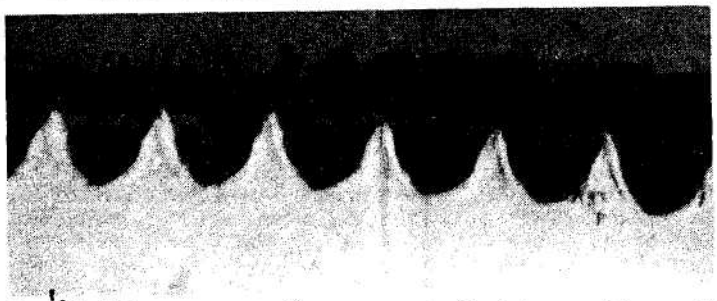

Рис. 8. Після тривалої експлуатації лінія профілю зуба замість евольвентної стала ввігнутою

Альтернативою ремонту коліс із застосуванням наплавлення і відновлення евольвентного профілю зубів вінця є перетворення зубчастої передачі в зубчасто-роликову передачу (ЗРП). Виробляючий вихідний контур для утворення цієї передачі запропоновано і досліджено в роботі [4]. Вихідний контур ЗРП показаний на рис. 9. З цього контура випливає, що западини зубів коліс ЗРП утворені дугами кола ρ, центри яких зміщені на величину Δ від ділильної прямої ОО.

На основі цієї робити можна зробити висновок, що кут контакту між роликом і зубом висхідної рейки береться незмінним і рівним 30°, а співвідношення радіусів кривизни профілю зубів висхідного контуру (ρ) і ролика (r) знаходиться в межах 1,02...1,05.

Невелика різниця в розмірах радіусів ролика та профілю зуба колеса забезпечує значний розмір наведеного радіуса кривизни в точці контакту циліндричної поверхні ролика і кругогвинтової поверхні зуба. Це призводить до зменшення контактних напруг при роботі передачі під навантаженням [3], що позитивно позначається на контактній витривалості передачі. Для відкритих передач, які експлуатуються в абразивному середовищі, зниження контактних напруг призводить до зменшення інтенсивності процесу зношування активних поверхонь зубів коліс. Оскільки рівень контактних напруг залежить як від зовнішнього навантаження, так і від геометричних характеристик поверхонь зубів, що контактують, для його зниження, дивлячись на структуру розрахункових формул [5], необхідно збільшувати радіус ролика (r) і радіус кривизни профілю зуба (ρ).

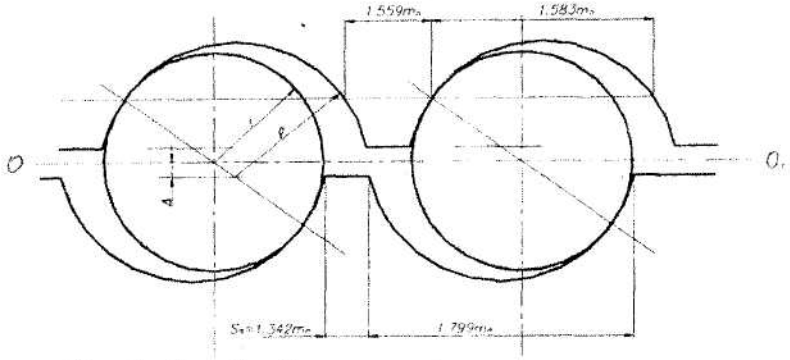

Рис. 9. Висхідний контур зубчасто-роликового зачеплення

Сенс ремонту зношених зубчастих нар зводиться до зменшення діаметра виступів на колесі та шестерні, для того, щоб:

$$R_1 + R_2 = A - b,$$

де R_1 і R_2 – радіуси зовнішніх діаметрів відповідно колеса і шестерні, A – міжцентрова відстань, b – гарантований зазор (1...2 мм). У приводах млинів міжосьова відстань регулюється. Потім на колесах прорізаються кругогвинтові западини і на одному з коліс рухомо закріплюють ролики (рис. 10).

При розрахунковому куті підйому зуба на зовнішньому діаметрі зубчастої пари $5^0 15'$ хитання ролика на вінці Z = 268 буде становити 1,02 мм, а якщо кріпити на шестерні, то Z = 26–10,2 мм.

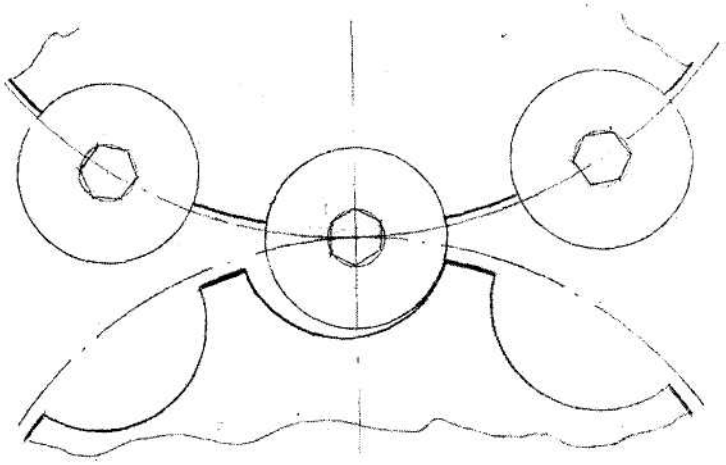

Рис. 10. Схема зубчасто-роликової передачі

Таким чином, для приводів кульових млинів можна сформулювати наступні переваги заміни зубчастого зачеплення з евольвентним профілем на зубчасто-роликове:

1. Вперше показана можливість створення нового приводу кульових млинів зубчасто-роликової передачі зі зношеного комплекту вала–шестерні та зубчастого вінця евольвентного зачеплення.
2. Прогнозована довговічність зубчасто-ролікової передачі за рахунок кращих геометричних параметрів зачеплення і використання загартованих роликів збільшується в 3–4 рази.
3. За рахунок відсутності поводок, пов'язаних із наплавленням, використання зубчасто-роликової передачі різко підвищує якість ремонту і процес ремонту стає екологічно чистим.
4. При створенні зубчасто-роликової передачі зі зношеного комплекту вала–шестерні та зубчастого вінця з евольвентним профілем механічна обробка різанням проводиться по однорідному металі, з якого виготовлений вал–шестерня і вінці, що значно збільшує стійкість інструмента, точність виробу і продуктивність обробки.
5. Перехід на зубчасто-роликові передачі призводить до економії більш як 2 тонн дорогих електродів, які витрачаються на наплавлення, а також цілком скорочує витрати на операції наплавлення і зачищення поверхонь деталі після наплавлення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Диденко С.И., Рыбак В.Я.* Твердосплавные червячные фрезы нарезают зубчатые колеса диаметром от 6 мм до 6 м / Інструментальний світ. – 2000. – № 8. – С. 36–39.
2. *Розенберг О.А. и др.* Вторую жизнь крупногабаритным зубчатым колесам во многом обеспечил комплект твердосплавних фрез / Інструментальний світ, 2000. – № 9. – С.4–7.
3. *Короткин В.И., Харитонов Ю.Д.* Зубчатые передачи Новикова. Ростов на Дону: Издательство Ростовского университета. – 1991. – 208 с.
4. *Фех Е.Л.* Разработка и исследование зубчато-роликовой передачи для крупногабаритных тяжелоцагруженных приводов. Автореф. дис...к.т.н. – Курган, 1982. – 18 с.
5. Расчет на прочность деталей машин. Справочник И.Л. Виргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иоселевич. – 3 изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

РОЗЕНБЕРГ Олег Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач відділом Інституту надтвердих матеріалів НАН України.

Наукові інтереси:

– механіка процесів різання і холодного пластичного деформування матеріалів.

СИЗРАНЦЕВ Володимир Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою Курганського державного технічного університету (Росія).

Наукові інтереси:

– теорія зубчастих передач.

РИБАК Валерій Якович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту надтвердих металів ім. В.М. Бакуля НАН України.

Наукові інтереси:

– процеси та інструменти для обробки зубчастих коліс і різевих з'єднань.

МАХОВСЬКИЙ Юрій Олексійович – генеральний директор ВКФ "Укркомплект", м. Кривий Ріг Дніпропетровської обл.

Наукові інтереси:

– відновлення деталей металургійного виробництва.

Подано 2.07.2001