

УДК 621.891:631

ВІДНОВЛЕННЯ ЗНОШЕНИХ ШЕСТЕРЕНЬ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Кулешков Ю.В. д.т.н., проф.

Мирний В. Ю.,

Пікаш В. С.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract

The article provides an analysis of various methods of restoring worn gears. The advantages and disadvantages of each of the considered methods are noted, and the main directions for eliminating the noted deficiencies are proposed.

A promising method of gear restoration is the method of hot plastic deformation. In the process of restoring gears by pressure, the "microcracks" heal. Material restored gears acquires a fibrous structure with the direction of the fibers in accordance with the outer contour of the part. Grain grinding occurs in the same components of the microstructure, a more uniform distribution of hardness over the cross section, and residual internal stresses decrease. All this contributes to the improvement of the physical and mechanical properties of the metal.

Keywords: Gear restoration, hot plastic deformation, gear, hardening, fatigue strength

Вступ

Коробка зміни передач є одним з основних агрегатів трансмісії автотракторної техніки. Важкі умови експлуатації значні навантаження змінного характеру, наявність абразивних часток призводить до зношування шестерень коробок зміни передач. Підвищення надійності роботи трансмісії автотракторного парку можливо за рахунок систематичного та високоякісного проведення технічних оглядів та своєчасного та якісного ремонту, що зумовлює постійну її готовність до роботи, високу економічну ефективність виконуваних робіт. Зокрема одним з резервів підвищення ефективності використання техніки та економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів є відновлення зношених деталей.

Аналіз попередніх досліджень

Шестерні коробки зміни передач передають крутний момент з одного валу на інший. При цьому зубці шестерень зазнають значних контактних навантажень і навантажень на згинання. Такі навантаження призводять до зношування і навіть поломки зубів шестерень.

Шестерні насоса НШ являють собою специфічну деталь. Зубці шестерень з евольвентним профілем являють собою доволі складну поверхню, а тому її

відновлення пов'язане з певним труднощами.

До існуючих методів відновлення слід віднести наступні методи:

- ремонт шестерень шляхом наварювання зламаного зубця шестерень [1 -4];
- метод ремонтних деталей [1 - 4];
- наплавка вінця шестерень електродуговим методом під шарм флюсу з подальши нарізанням зубців [1 -8];
- автоматичне напавлення зубців шестерень в середовищі вуглекислого газу CO₂ [1, 2, 6 - 8];
- контактне наварювання стрічки на зношені зубці шестерень [1, 6 - 8];,
- відновлення елементів шестерень електролітичним залізненням або хромуванням [7, 8];

Однак ці способи відновлення не позбавлений недоліків, а саме виникнення значних сил розтягування в зоні нанесення металу. Окрім того, кожний з дефектів усувається окремим способом, що позначається на собівартості відновлення.

Тобто жоден з існуючих технологічних процесів не забезпечує комплексного усунення всіх дефектів шестерень.

Постановка проблеми

Одним з прогресивних індустріальних методів відновлення деталей є метод пластичного деформування тиску. Відновлення деталей методом пластичного деформування засноване на їх здатності змінювати свою геометричну форму і розміри за рахунок перерозподілу металу без руйнування під впливом зовнішніх сил. Відмінною рисою методу відновлення деталей пластичною деформацією є можливість відновлювати зношені деталі без використання додаткових ремонтних матеріалів за рахунок перерозподілу наявних запасів металу до зношених поверхонь деталі [9 - 15]. При відсутності необхідного запасу металу в тілі деталі на її найменш навантажені поверхні наноситься компенсуючий метал, потім деталь нагрівають до температури пластичної деформації та обробляють тиском. В процесі такої обробки здійснюється деформуючий вплив на компенсуючий метал і переміщення основного матеріалу до зношених поверхонь деталі. Подальша термічна і механічна обробка відбувається за скороченим технологічним циклом виготовлення нової деталі [9 - 15].

Нагрівання деталей до кувальної температури здійснюється в соляних печах, штампування проводиться в спеціальних штампах закритого типу на гідравлічних пресах [10, 11].

В процесі відновлення деталей пластичною деформацією відбувається зміна мікроструктури металу деталі, результатом чого є подрібнення зерна, заліковування мікротріщин, витягування зерен уздовж впливу силового поля.

Матеріал відновлених деталей характеризується волокнистою структурою з направленням волокон відповідно зовнішньому контуру, меншою величиною зерна при тих же складових мікроструктури, що і у серійних деталей, більш рівномірним розподілом твердості по перетину і меншими залишковими напруженнями, що сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей металу [9- 15]. Втомна міцність відновлених деталей вище, ніж у серійних, на 15...20% [3 - 15].

Створення в процесі гарячого об'ємного штампування мінімально необхідних припусків по всім оброблюваним поверхням забезпечує повну відповідність всіх робочих параметрів деталей технічним вимогам креслень заводів-виготовлювачів [9 - 15].

Однак не дивлячись на згадані гідності спосіб відновлення деталей пластично деформацією не знайшов належного поширення при відновленні і зміцненні деталей машин.

Мета та завдання

Існують різні способи пластичного деформування, які відрізняються методом формоутворення поковки. Конструктивний аналіз згаданих способів дозволяє визначитися з вибором оптимальної схеми формоутворення для відновлення конкретної шестерні.

Результати вирішення основних завдань

Ремонт зношених деталей за допомогою пластичного деформування вимагає спеціальних пристосувань і штампів, тому є економічно виправданим тільки в тому випадку, коли ремонтується багато однотипних деталей.

Технологічними напрямками відновлення шестерень є різні способи пластичного деформування, які використовуються на рівні поточно-механізованих ліній при великих програмах обробки.

Пластичне деформування дозволяє отримати відновлені деталі або їх заготовки, близькі за формою до готових деталей з великою продуктивністю і незначним витратою додаткових матеріалів. Метал в процесі деформації зміцнюється, поліпшуються його механічні характеристики, особливо втомлювала міцність. Коефіцієнт зміцнення при ступеня деформації 40% становить 1,7, а при 60% - 1,9.

Більшість способів відновлення зубів шестерень пластичним деформуванням зводиться до перерозподілу металу з торця зубчастого вінця до зношеної зони зубів шестерні. При цьому можуть застосовуватися різні технологічні схеми обробки. Наприклад, один з варіантів технологічного процесу відновлення складається з нагріву шестерні до пластичного стану, роздачі в штампі під пресом до розмірів, що кілька перевищують номінальні в результаті переміщення металу з центральної частини шестерні до периферії.

Після додаткового нагріву шестерні встановлюють в прокатний стан і накочують. Надалі їх піддають термообробці в повному обсязі, передбаченому технічними умовами для нових деталей [9 - 13].

З метою усунення подвійного нагріву в процесі відновлення застосовують схеми, що поєднують операції обробки тиском з окончатель ним формоутворенням шестерні накочуванням, причому нагрів шестерні і підтримання температури в межах 1050 ... 1100 с здійснюється СВЧ одночасно з обробкою тиском [9 - 13].

Розглянуті вище способи відновлення шестерень тиском неприйнятні для компенсації торцевого зносу, що є переважаючим в шестернях коробок передач автомобілів, тракторів і комбайнів.

Відновлення зношених шестерень пластичним деформуванням і розвиток цього способу отримали в роботах вчених Саратовського інституту механізації сільського господарства. Тут розроблені і впроваджені ряд технологій відновлення зношених шестерень тиском. Суть методу полягає в наступному. Шестерні, що підлягають відновленню, нагрівають в соляній ванні до температури 1100⁰...1200⁰ С і подають до гідравлічного пресу. Встановивши шестерню в матрицю спеціального штампа, опресовують її за один хід пуансона. Температура початку обробки 1150⁰...1050⁰ С, а кінця 850⁰ С, зусилля деформування - 2500...4000 КН. Далі шестерні надходять на механічну обробку, яка відповідає заводському техпроцесу, виготовлення шестерень за винятком попередніх чорнових операцій. Мінімумально необхідні припуски на робочих поверхнях шестерень, створювані при штампуванні, дозволяють виключити попередні чорнові операції і вести механічну обробку на підвищених режимах. Далі, як правило, шестерня надходить на термічну обробку. Таким чином, ми по суті, отримуємо нову деталь зі зношеної [9 - 11].

Для шестерень, які не мають запасу металу, розроблений спосіб, при якому компенсуючий знос метал наносять електродуговим наплавленням на неробочі поверхні шестерень. Суть методу відновлення шестерень полягає в наплавленні торців зубів під шаром флюсу з після дмуць вдавненням в гарячому стані наплавленого металу в зубчастий вінець з допомогою опресування на гідравлічному пресі при зусиллі 1600 КН. Припуск по товщині зуба дає можливість проводити механічну і термічну обробку одно- і многовенцових шестерень [9 - 11].

Для шестерень з великим торцевим зносом Пашин Ю.Д. і Кириловим А.В. запропонований штамп (А.с. № 1006149), що дозволяє усувати такі знос [9 - 11].

На Оршанском трактороремонтний заводі зношені шестерні відновлюють розробленим Кузьменкова О.І. ротаційним деформуванням. Метод заснований

на обкатуванні деформованого металу вдавненням індентора зубчастого колеса профілюючим інструментом (накатнику) при постійному міжцентровій відстані в передачі накатник – заготівля [12, 13].

Брянським інститутом транспортного машинобудування пропонується спосіб відновлення зношених сталевих зубчастих коліс, що включають послідовний нагрів підставу кожного зуба пропусканням електричного струму і пластичне деформування основи зуба в напрямку перпендикулярному протіканню струму.

Конструктивні особливості шестерень насосів типу НШ, такі як наявність цапф, розвинена робоча поверхня різко відрізняють їх від типового представника класу шестерень. А тому механічне перенесення існуючих схем формоутворення не може привести до розробки раціональної технології відновлення шестерень насосів НШ тиском.

Київським автомобільно-дорожнім інститутом запропонований спосіб відновлення шестерень НШ пластичним деформуванням - роздачею шляхом наскрізної прошивки пуансоном [14, 15]. .

Деталь нагрівають до температури 1000 ... 1100 с і поміщають в установку для роздачі. Роздача проводиться прошивним пуансоном зі швидкістю 80...150 мм/с з зусиллям на штоку 100... 120 кН. Після роздачі шестерня піддається відпалу і попередній механічній обробці: шліфуванню цапф і торців вінця шестерні і зубодолбленню шестерні. Потім зуби шестерень шевінгують, далі шестерню гартують з подальшим низьким відпуском. Фінішними операціями є чистове шліфування цапф, торців і зубів вінця по зовнішньому діаметру.

Розроблена технологія дозволяє отримувати відновлені шестерні, що не поступаються за своїми характеристиками новим. Економічна ефективність запропонованого технологічного процесу досягається за рахунок зниження трудомісткості, повернення деталі повного ресурсу при 100% економії металу. Вартість відновлення деталі становить 40...50% від виготовлення нової.

До існуючих недоліків способу слід віднести неможливість відновлення вінця шестерні по довжині, низьку вартість тонких прошивальних пуансонів. Крім того, як показала практика, при впровадженні способу на Кіровоградському РМЗ (Україна) створюється в процесі роздачі деталей припуск на евольвентних поверхнях зубів шестерень недостатній для якісного їх відновлення в процесі подальшої механічної обробки. Пропонована в розробленій технології термообробка шестерень не забезпечить необхідної твердості робочих поверхонь через вигоряння легуючих елементів і вуглецю. Цементация шестерень, без видалення верхнього дефектного шару, також не забезпечить високої якості робочих поверхонь [14, 15].

На Дарницькому дослідно-експериментальному ремонтному заводі (м.Київ) запропоновано пристрій для відновлення деталей типу шестерень насосів НШ зі зносом шестерень по довжині і зовнішньому діаметру шляхом обкатки шестерень накатниками з ребордами. Пристрій дозволяє відновлювати зуби шестерень як по довжині, формуючи торці шестерень ребордами накатників, так і по зовнішньому за рахунок металу тіла зуба. При цьому відбувається зменшення модуля зачеплення.

Пропонований спосіб дає можливість відновлювати шестерні не тільки по ширині і висоті зуба, але і дозволяє усунути нерівномірний знос евольвентного профілю зубів. Однак досягається це за рахунок зменшення модуля зачеплення шестерень. Насоси, укомплектований шестернями, відновленими цим способом не забезпечать заданої технічними умовами об'ємної подачі. Спосіб не дозволяє відновлювати знос цапф шестерень по діаметру.

Таким чином, спосіб відновлення шестерень пластичним деформуванням дозволяє досягти економії металу, забезпечити фізико - механічні властивості шестерень на рівні нових завдяки збереженню хімічного складу і структури металу.

Спосіб відновлення шестерень пластичним деформуванням представляє можливість скорочення ряду попередніх операцій механічної обробки, а також підвищення стійкості ріжучого інструменту завдяки обробці поверхонь з мінімально необхідним припуском. На відміну від інших способів метод відновлення шестерень пластичним деформуванням дозволяє здійснювати комплексне відновлення деталі по всім зношеним поверхонь, тобто метод забезпечує високу концентрацію операцій при відновленні деталей.

Довговічність шестерень відновлених пластичним деформуванням на 15...25% вище, ніж серійних, виготовлених методом різання.

Собівартість відновлення шестерень тиском лежить в межах від 9% до 47...58% від собівартості нових.

До недоліків відновлення шестерень пластичним деформуванням слід віднести значний обсяг подальшої механічної обробки, а також повний цикл термічної обробки шестерень. Однак, незважаючи на це вважаємо, що одним з найбільш перспективних способів відновлення шестерень насосів типу НШ є метод ПД [9 -15].

Шестерні доцільно відновлювати індустріальними методами, що дозволяють використовувати високопродуктивне обладнання. Тут можна застосувати технологічний процес відновлення пластичним деформуванням.

Нагрівання деталі здійснюють в соляній печі в розплаві солі BaCl_2 до температури $1000^0 \dots 1200^0 \text{ C}$, час нагріву 240...300 с. Обробка шестерень тиском здійснюється в закритому штампі на пресі зусиллям не менше 1000 КН і

зусиллям на Пуансон не менше 150 КН. Температура кінця обробки - 850⁰ С. Принципова схема штампа для відновлення шестерень пластичним деформуванням представлена на рисунку.

При цьому в разі відновлення шестерень великого діаметру зіткнулися з проблемою, яка полягає в тому, що метал з дичск шестерні не заповнює гравіру зубчастої матриці через велику відстань до неї. Задача була вирішена шляхом розробки більш складного штампу із складним кільцевим пуансоном, яки діє послідовно витискаючи метал від ступиці до зношеного зубчастого вінця шестерні. Це досягається тим, що витискання металу відбувається за 2 -3 прийоми: спочатку витискає метал перше кільце складного пуансону, далі вступає в дію друге кільце і т. д.

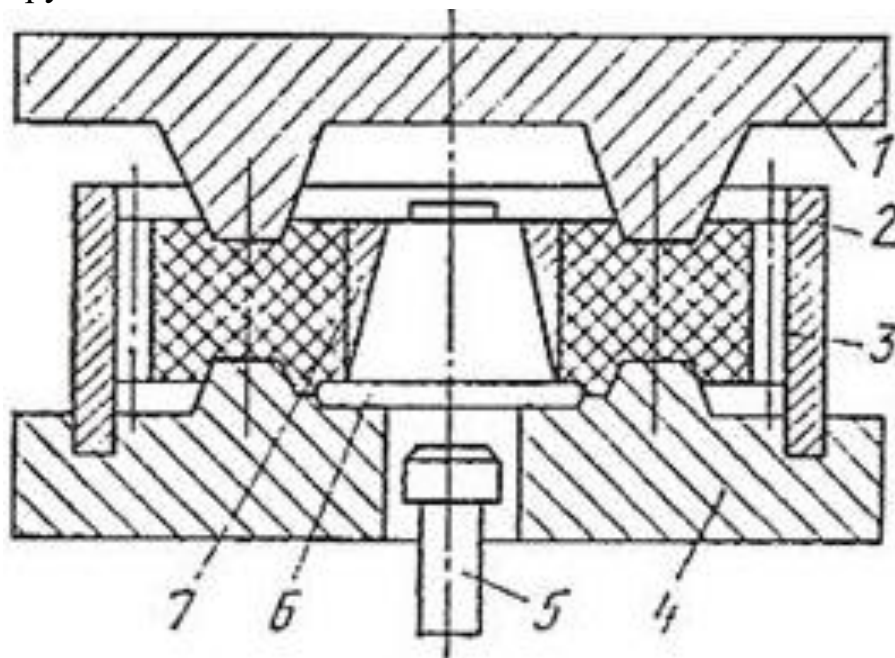


Рисунок 1 Принципова схема штампа для відновлення шестерень способом пластичного деформування: 1 - пуансон; 2 - обмежувальне кільце; 3 - шестерня; 4 - матриця; 5 - викидач; 6 - центруючий конічний вкладиш; 7 - розрізана конічна пружна втулка

Після відпалу поковки шестерень в шахтної печі Ц 105 А при температурі 650⁰ С протягом 120 хв., остиглі шестерні миють в миючому розчині МЛ - 52, проводять їх контроль і направляють на механічну обробку, особливістю якої є скорочення токарної чорновий і зубофрезерних операцій в порівнянні з технологією виготовлення шестерень. Механічна обробка включає - розточування отвору, підрізання торця, при цьому використовують різці з пластинами твердого сплаву Т15К6. Далі оброблювану шестерню встановлюють на оправку і фрезерують на зубофрезерні верстати 5К324А під шевінгування, використовуючи червячну фрезу. Потім на зубозакруглюющем верстаті марки 5Д580 округлюють зуби фрезою РЗ-1 08, а на шевінговальному верстаті марки 5714 їх шевінгують.

Наступною операцією є газова цементація відновлюваних шестерень в шахтній печі Ц 105 А при 1000°C на глибину 0,7 ... 1,1 мм протягом 4 годин. Потім шестерні гартують при $T = 800^{\circ}\dots 820^{\circ}\text{C}$. Загартовані шестерні промивають, очищають від залишків селітри і окалини. Слідом за повторною цементацією здійснюють чистову обробку поверхонь, що з'єднуються з іншими деталями в розмір за допомогою шліфування. Контролюють чистоту обробки, відсутність задирів, биття вінця, твердість зуба (HRC 56 ... 62), діаметр посадкового отвору, товщину зуба [9 - 15].

Висновки

1. Аналіз відомих способів відновлення шестерень показав, що існуючі методи відрізняються тим, що майже всі способи пов'язані з локальним підвищенням температури, що є причиною виникненням внутрішніх напруг розтягування, що призводить до суттєвого зниження втомної міцності.

2. Жоден з існуючих технологічних процесів (окрім методу гарячого пластичного деформування) не забезпечує комплексного усунення всіх дефектів шестерень.

3. В процесі обробки деталей тиском відбувається «заліковування» мікротріщин, матеріал відновлених деталей характеризується волокнистою структурою з направленням волокон відповідно зовнішньому контуру, меншою величиною зерна при тих же складових мікроструктури, що і у серійних деталей, більш рівномірним розподілом твердості по перетину і меншими залишковими напруженнями, що сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей металу.

4. Запропонована схема формоутворення дозволяє на відміну від інших відновити всі дефекти шестерні за один хід пуансону. При цьому запропонована схема формоутворення дозволяє відновити штампуванням шестерні великого діаметру.

Список використаних джерел

1. Техническое обслуживание и ремонт машин под ред. Лауша П.В.-К.: Вища школа, 1983 г - 351 с.

2. Справочная книга по технологии ремонта машин в сельском хозяйстве. Под ред. А.И. Селиванова. М., Колос, 1976 г 464 с

3. Петров Ю.Н. Основы ремонта машин М., Колос, 1973 г 528 с.

4. Левитский И.С. Организация ремонта и проектирование сельскохозяйственных ремонтных предприятий. М.: Колос, 1969. - 320 с..

5. Ремонт дорожно-строительных машин и тракторов / В.П.Крюков, К.Х. Акмаев, В.И.Карагодин и др.- М.: Высшая школа, 1984,-223 с.

6. Ремонт машин. Ульман И.Е., Тонн Г.А., Герштейн Й.М. и др. Под общ. ред. Ульмана И.Е. 3-е изд.- М.: Колос, 1982.- 446 с.

7. Воловик Е.Д. Справочник по восстановлению деталей.- М.: Колос, 1961.- 351 с.
8. Прогрессивные способы восстановления шестерен. Экспресс-информация. Белорусский НИИН1МТЭИ Госплана БССР серии Металлообработка, Минск, 1978.- 15 с.
- 9 Бисикенов А.Б. Анализ способов восстановления автотракторных шестерен. Ремонт сельскохозяйственной техники и ее надежность. Сб. научных трудов вып. 76. Саратовский СХИ, Саратов, 1976,с. 58-70.
10. Кириллов А.В. Анализ технологических процессов восстановления зубчатых колес с неравномерным износом по длине зубьев. Ремонт тракторов и с/х машин. Сб. научных трудов Саратовский СХИ, Саратов, 1982, с. 72-83.
11. Пашин Ю.Д., Кириллов А.В. Восстановление цилиндрических зубчатых колес. - Степные просторы, 1982, .№ 9. -52 с.
12. Кузьменков О.И., Карабанов Ф.Ф, Прогрессивные методы восстановления зубчатых колес. Обзорная информация. Серия: Машиностроение и металлообработка Белорусский НИИНТИ и ТЭИ Госплана БССР Минск: 1980.- 22 с,
13. Кузьменков О.И, Теоретические основы восстановления формы и механических свойств твердых тел ротационным пластическим деформированием. Тезисы докладов на Н1К стран-членов СЭВ и СФРЮ "Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин" ("Ремдеталь-83"), ч. Л, с. 20-22.
14. Ковальчук Ю.М., Климин В.И., Брусенцов А.И. и др. Технология и установка для восстановления валов-шестерен гидронасосов типа НШ. Тезисы докладов на НТК стран-членов СЭВ и СФРЮ "Современное оборудование и технологические процессы для восстановления изношенных деталей машин" ("Ремдеталь-83") М.: ЦНИИТЭИ, часть 2, с. 19-20.
15. Климин В.И., Гребельник М.П., Савчук С.А. и др. Восстановление шестерен гидронасосов методом пластической деформации. Технология и организация производства. М.: ЩИИТЭИ Госкомсельхозтехники, 1985, № 3, с. 50-51.
16. Hrynkiw A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. Технологический аудит и резервы производства. - Харків : Технологічний центр. 2019. - № 3 (1). - С. 25-30.
17. Аулин В.В, Замота Т.Н., Замота О.Н., Гринькив А.В. Техно-экономическое обоснование преимущества интеллектуальной стратегии технического обслуживания и ремонта легкового автомобиля. Вісник інж. Академії України. 2017. №4. С. 50-56.