



Музичук В. І.

Печеню В. В.

Порик Я.В.

**Вінницький  
національний  
аграрний  
університет**

УДК 621774

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ ТРАКТОРІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

*Рассмотрена работа шлицевых соединений сельскохозяйственных машин, их качество и надежность. Исследован процесс холодного пластичного формообразования внутренних шлицевых соединений.*

*The operation of splined connections of agricultural machinery, their quality and reliability are considered. The process of cold plastic forming of splined connections.*

У конструкціях тракторів і сільськогосподарських машин, що випускаються серійно, а також у розроблюваних перспективних машинах широко застосовують шліцьові з'єднання для передачі крутного моменту від силового агрегату рушіям, робочим органам та іншим вузлам і агрегатам машини.

Шліцьове з'єднання – це багатошпонкове з'єднання, в якому зубці (шліци) виконані разом з валом і розташовані паралельно його осі. Шліцьові вали виготовляють спеціальними фрезами, а шліцьові отвори – протяжкою.

Особливістю шліцьових з'єднань машин є те, що величина навантаження за різних умов експлуатації і умов зчленування в процесі роботи змінюється в широких діапазонах і в окремих випадках, в екстремальних умовах, відхиляється від допустимих значень залежно від об'єктивних і суб'єктивних факторів технічної експлуатації машин.

На працездатність шліцьового з'єднання впливає порушення співвісності зчленування, технічні неполадки і поломки привідних робочих органів, вузлів, різні дорожні, ґрунтово-кліматичні умови, глибина обробітку ґрунту, забивання, залипання ґрунтом, урожайність та інші фактори. Отож надійність роботи шліцьового з'єднання значною мірою визначає надійність роботи машини в цілому. Водночас працездатність шліцьових з'єднань у серійних машинах у багатьох випадках невисока. Потреба підвищення їх надійності зростає, оскільки спостерігається зростання питомої потужності, що передається силовими передачами машин.

Аналіз протоколів контрольних випробувань окремих тракторів і сільськогосподарських машин свідчить, що

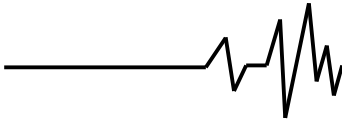
впродовж низки років показники якості тракторів і сільгоспмашин, що випускає промисловість, надійність, коефіцієнт готовності, кількість відмов, не відповідають вимогам, а в низці випадків окремі показники навіть нижчі, ніж це передбачено затвердженими технічними умовами (ТУ) на виготовлення цих машин, відмічається у край низька надійність їх трансмісії: зчеплення, коробки передач, бортових передач. Велику питому витрату під час капітального ремонту трактора Т-150К через значне спрацювання шліцьових з'єднань мають деталі: вал первинний КП, вал зчеплення, вал привода ВВП.

Характер пошкодження шліцьових з'єднань залежить від умов навантаження, матеріалу шліцьових з'єднань, виду і режиму хімічно-термічної обробки, точності виготовлення і зазорів у з'єднаннях, наявності змащення, конструкції, технології виготовлення.

Аналізуючи відмови тракторів, можна відзначити такі основні види пошкодження шліцьових з'єднань:

- зношення конструкції поверхні зубів, викликане осьовими і радіальними мікроковзаннями;
- зминання, пластична деформація елементів з'єднання;
- поломка і зрізання зубів;
- поломка або скручування шліцьового вала;
- розрив між втулкою і внутрішніми зубами, викликане розпірними (радіальними) силами в з'єднаннях евольвентного і трикутного профілів і відцентровими силами у високошвидкісних проводах.

Основною причиною поломок шліцьових з'єднань у трансмісіях тракторів, автомобілів, будівельних, сільськогосподарських та інших



машин є зношення бічних граней шліців у вигляді спрацювання в місці сполучення вала з втулкою. Спрацювання зубів є наслідком дії навантаження і відносних переміщень (ковзання) контактуючих поверхонь. Причини ковзання: перекошення або неспіввісність деталей шліцевого з'єднання, похибки просторового положення елементів шліцевого профілю, зміщення осей вала і втулки під дією радіальної сили.

У шліцевому з'єднанні, навантаженому крутним моментом і радіальною силою, ковзання має місце і за відсутності похибок виготовлення чи монтажу. Це пояснюється неоднаковим навантаженням зубів, розташованих по колу, а відповідно, і різною величиною їх контактних деформацій, що призводить до неспіввісності деталей з'єднання.

Зношення робочих поверхонь спостерігається і в з'єднаннях, що мають перехідні посадки, коли відносні переміщення елементів з'єднання зведені до мінімуму. В такому разі наявна фретинг-корозія, або контактна корозія, коли зношення виникає через руйнування і виникнення окисної плівки. Продуктом зношення є рихлий, схожий на іржу порошок бурого кольору. Часточки окислів відстають у зоні контакту і, внаслідок незначних відносних переміщень поверхонь, не виносяться звідти. Внаслідок підвищеної твердості часточки окислів діють як абразиви і спричиняють посилене зношення зчленованих поверхонь. Основними причинами виникнення контактної корозії є:

- великі тиски в контакті;
- відносні переміщення контактних поверхонь (зворотно-поступальні) з амплітудою в частки мікрона і частотою, що дорівнює частоті обертання з'єднання;
- доступ кисню до зони контакту;
- однорідність металів і низька твердість поверхонь.

Змінання шліців спостерігається за низької твердості їх робочих поверхонь, що є характерним для з'єднань, які піддаються великим навантаженням.

Поломки від втоми зубів і їх зрізання - у край рідкісне явище. Вони свідчать про помилки під час проектувань з'єднань або є наслідком аварійної ситуації. Заїдання в шліцевих з'єднаннях виявляється в тому, що робочі поверхні шліців вала і втулки при передачі крутного моменту міцно схоплюються. Причиною заїдання є високі питомі тиски, які можуть виникнути в з'єднанні при зменшенні довжини робочої поверхні шліців.

Заводи, виробники сільськогосподарської техніки, працюють над удосконаленням шліцевих з'єднань, що дасть змогу підвищити їх надійність і подовжити довговічність роботи. Під час виконання ремонтних робіт завдання механізаторів не порушити співвісність шліцевих з'єднань і, ясна річ, ні в якому разі не вносити власних "удосконалень" у таке відповідальне з'єднання.

Останнім часом багато фірм виконують переобладнання тракторів типу Т-150К, установлюючи на них двигуни ЯМЗ, що добре себе зарекомендували. Проте двигуни МСД і ЯМЗ мають суттєві відмінності щодо способу з'єднання з трансмісією та щодо відбору потужності. Виготовлення і установка перехідного пристрою потребує високого професіоналізму. Розроблений і сертифікований перехідний пристрій для переобладнання двигуна ЯМЗ для тракторів Т-150 (Т-150К) не погіршує науково обґрунтованих конструкторами заводу і перевірених часом пристроїв відбору потужності трансмісії від двигуна. На жаль, існують і інші організації, що пропонують послуги переобладнання і які для "простоти" конструкції перехідного пристрою укорочують шліцеву частину вала приводу ВВП. Нібито таке "обрізання" і невелике і встановлюють замість фланця з довжиною шліца 53-55 мм сплющену шліцеву втулку - лише 10-15 мм, проте, внаслідок такого "вдосконалення" робоча довжина шліців вала скорочується на 20-30%, а навантаження в зачіплюванні зростають багаторазово.

Скептики можуть заперечити, що через цей вал, а відповідно, через укорочене шліцеве з'єднання передається крутний момент, перш за все, для привода ВВП. А трактори типу Т-150 (Т-150К) не так часто використовують в агрегаті з сільськогосподарськими машинами, які потребують активного привода. До того ж, щоб привести насос коробки передач, гідропідсилувача керма і гідронавісної системи, великий крутний момент не потрібен, а якщо вийде з ладу - не такі вже й великі затрати на ремонт. Проте так гадають дилетанти. Описане шліцеве з'єднання працює у важких умовах, про які йшлося вище. А коли відмовить таке укорочене з'єднання (а рано чи пізно відмова таки виникне) - залежить від умов експлуатації, матеріалу і термообробки зчленованих шліців, які, на жаль, також часто виконуються зі значними відхиленнями від заводських технічних умов. І відмовить не тільки ВВП. Відмовить у роботі весь трактор! Та ще й у найвідповідальніший момент, коли виникають



значні навантаження, наприклад, під час руху круто вгору. Відсутність подачі оливи під тиском у гідропідтискні муфти коробки передач і рульового керування призводить до того, що трактор стає некерованим, роз'єднується трансмісія (всі передачі вимкнені), не працює рульове управління - і трактор...

Для отримання високої якості і надійності шліцевих з'єднань може бути розроблений в інституті надтвердих матеріалів АН України технологічний процес формування внутрішнього шліцевого профілю в трубних заготовках методом їх обтиску матрицями на профільних оправках (методом "охоплюючого" протягування) [1]. Суть процесу (рис. 1) полягає в тому, що труба заготовка 1 разом із розміщеною всередині з мінімальним зазором шліцевою оправкою 2 проштовхується через деформуючу матрицю. Після обтиску по всій довжині виробу (здійснюється декілька проходів через різні робочі діаметри матриць) оправка випресовується і отримується готовий виріб.

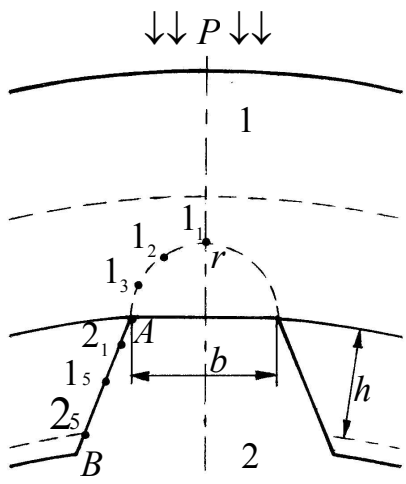


Рис. 1. Схема формування внутрішніх шліців в трубній заготовці

Таким способом формували прямобічний шліцевий профіль, який відповідає профілю карданного валу рульового керування автомобіля ГАЗ-3307. Процес дозволяє одержувати шліцеві втулки підвищеної точності без подальшої чистової обробки в серійному і масовому виробництві і може бути здійснений на вертикально-протяжних станках або гідропресах.

Даний процес можна охарактеризувати як високопродуктивний і металозберігаючий, проте, його широке впровадження стримується

відсутністю надійних розрахункових методів, що дозволяють визначати напружено-деформований стан на різних стадіях формування виробу з оцінкою ступеня використання пластичності, застосування різних матеріалів без технологічних відмовлень (руйнувань металу, втрати стійкості). Крім того, необхідно вміти прогнозувати на стадії проектування технологічного процесу очікувані фізико-механічні характеристики виробів.

В даному процесі осьові і радіальні зусилля досягають порядку 250 кН, а контактний тиск 1 ГПа, що може негативно вплинути на довговічність інструментів і обладнання, тому виникла необхідність проведення комплексного дослідження даного процесу. В роботі [2] представлена методика розрахунку напружено-деформованого стану і розроблені підходи до прогнозування руйнування в області формування внутрішнього шліцевого профілю.

З результатів роботи [2] випливає, що найбільш небезпечною областю є область контакту АВ - область торкання клина шліца оправки і пластичної області (рис. 1). В цій області показники [3]:

$$\eta = \frac{I_1(T_\sigma)}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_u}$$

$$\chi = \frac{\sqrt[3]{I_3(T_\sigma)}}{\sqrt{3I_2(D_\sigma)}} = \frac{\sqrt[3]{\sigma_1\sigma_2\sigma_3}}{\sigma_u} \quad (1)$$

досягають найбільшого (з врахуванням знака) значення, ця область є найбільш жорсткою. В процесі досліджень вивчалася переміщення точок небезпечних областей у фізичній площині за допомогою моделювання на складених зразках (рис. 2) і в площині показників  $\bar{\epsilon}_u$ ;  $\eta$ ;  $\chi$ , компоненти яких розраховувалися поетапно по результатам експериментальних досліджень.

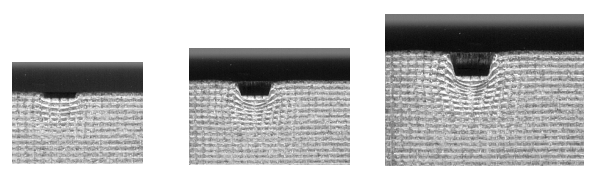
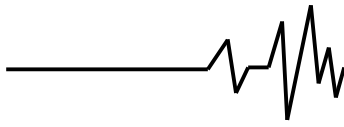


Рис. 2. Стадії формування трапецеїдальної форми



Розглянемо переміщення точок 1 і 2 у фізичній площині (рис. 1), де суцільними лініями показані положення зовнішньої і внутрішньої поверхонь втулки до деформування, штриховими – після проходження через матрицю. Вихідним положенням т. 1 була відстань, рівна радіусу області наростування, яка, за даними Г.А. Смірнова-Аляєва, утворюється вже при  $h \approx 0,1b$ ;  $b = 2r$  [2], цю ж область видно на рис. 2.

При переміщенні деформованого металу в процесі обтиску точка 1 проходить

послідовно точки 12...15, які обмежують область наростування. Для точки 2 розрахунок проводився як для точки, що рухається по збіжному каналі. Іншими, менш небезпечними областями були область наростування й область, що обмежується радіусами  $R = r \dots 1,5r$  [4].

В таблиці 1 представлені дані розрахунку напруженого стану, а також показників  $\eta$  і  $\chi$ , для небезпечних точок.

Таблиця 1

Дані розрахунку напруженого стану і показників  $\eta$  і  $\chi$

Дані для точки 1								
h, мм	$e_u$	$\sigma_u$ $\frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$	$\sigma_\rho$ $\frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$	$\sigma_\theta$ $\frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$	$\sigma_0$ $\frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$	$\eta$	$\tau_{\rho\theta}$ $\frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2}$	$\chi$
1,5	0,28	61	0	- 60	- 30,5	- 1,5	9	0,22
1,7	0,32	62	10	- 51	- 20	- 1	7,7	0,366
1,8	0,35	63	12	- 51	- 19	-0,92	7,6	0,374
2,3	0,4	65	16	- 49	- 16	- 0,75	7,3	0,37
2,7	0,45	66	18	- 48	- 15	-0,67	7,1	0,36
Дані для точки 2								
1,5	0,13	55	12	- 43	- 15	- 0,83	7,4	0,373
1,8	0,28	61	16	- 43	- 13,8	- 0,7	6,9	0,35
2	0,33	63	18	- 45	- 13	- 0,63	6,7	0,36
2,4	0,4	65	24	- 41	- 8,5	- 0,4	6,1	0,316
2,7	0,45	66	30	- 36	- 1,3	- 0,13	5,4	0,226

\* Розрахунок зроблений за методикою, викладеною в [2].

З результатів, представлених в таблиці, випливає що накопичена інтенсивність деформацій перевищує критичні ступені деформації  $\mathcal{E} = 4 \dots 10$  %. Тому для даного процесу є доцільним проведення термообробки.

Отримані дані дозволяють зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз роботи шліцьових з'єднань сільськогосподарських машин показує що надійність їх роботи значною мірою визначає надійність роботи машини в цілому. Потреба підвищення надійності шліцьових з'єднань зростає, оскільки спостерігається зростання питомої потужності, що передається силовими передачами машин.

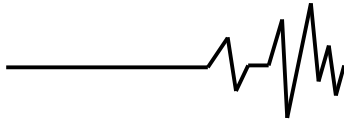
2. Побудовані площини деформування і граничні поверхні пластичності показали на достатній запас пластичності для процесу формоутворення внутрішнього шліцьового

з'єднання; обґрунтовано, що при побудові траєкторії навантаження в просторі безрозмірних показників  $\eta$  і  $\chi$  її вид однозначно визначається умовами формоутворення, характерними для досліджуваного процесу і практично на залежить від механічних властивостей деформованого металу.

3. При дослідженні процесів холодного пластичного формоутворення, які супроводжуються складним немонотонним деформуванням, необхідно застосовувати моделі, які враховують нелінійний характер накопичення пошкоджень.

### Література

1. Розенберг О.А., Траченко Б.П. Формообразование шлицевых отверстий в трубных заготовках методом холодного



пластического деформирования // Технология и организация производства. - 1991. - № 2. - С. 20-23.

2. Огородников В.А., Нахайчук О.В., Музичук В.И. Приложение теории деформируемости к решению задач механики деформирования внутреннего шлицевого профиля обжатим на оправке. Сборник научных трудов международной НТК "Прогрессивные технологии и оборудование кузнечно-штамповочного производства", МГТУ "МАМИ", Москва, 2003. С 66-75.

3. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке

давлением. – К.: Вища школа, 1983. – 175 с.

4. Смирнов-Аляев Г.А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. 3 – е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1978.–368 с.

5. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. 688 с.

6. Огородников В.А., Музичук В.И., Нахайчук О.В. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.