

621.833(075.8)

А. Баханович

Докт. техн. наук,
Білоруський національний
технічний університет,
м. Мінськ

І. Сидоренко

Докт. техн. наук

Е. Кравцов

Канд. техн. наук

Одеський національний
політехнічний університет,
м. Одеса

КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ ПАСІВ З ВТУЛКОВО-ПЕТЛЬОВИМ МАКРОАРМУВАННЯМ

Представлені сучасні конструкції і технологія складання зубчастих пасів з втулково-петльовим армуванням. Досліджено напружено-деформований стан розроблених пасів методом скінченних елементів у середовищі ANSYS. Встановлено, що втулково-петльове армування пасів дозволяє знизити напруження і деформації у небезпечному перерізі на 75.85 %, що дозволяє використовувати зубчато-пасові передачі з такими пасами замість ланцюгових у енергомістких приводах технологічного устаткування.

зубчастий пас, армування, конструкція, технологія виробництва

Основним заходом, який дозволяє підвищити несучу здатність і довговічність зубів зубчастого паса є їх армування. Розрізняють мікро - і макроармування. Мікроармування зводиться до заміни частини об'єму зуба, виготовленого з гуми або поліуретану, іншим композитом на каучуковій або полімерній основі. Такий композит зазвичай має у своєму складі подрібнені скляні, віскозні або металеві волокна. Для підвищення адгезії з основою композит обробляють спеціальними хімічними речовинами. Найефективним засобом підвищення несучої здатності і довговічності зубів паса є їх мікроармування. Але широке використання мікроармованих приводних пасів стримується відсутністю їх прогресивних конструкцій, які відповідають ефективній технології.

Відомі конструкції зубчастих пасів з армувальними вкладками у зубцях. Такі вкладки розташовують вздовж зуба паса поблизу кордшнурів. Кількість вкладок може варіюватися від 1 до 3, проте раціональним вважають їх попарне розташування [1].

Для зниження концентрації напружень в основі зубів паса вкладкам може надаватися форма, яка відповідає їхньому профілю. З аналогічною метою арматура для армування

може розташовуватися у місцях найбільшої локалізації напружень [3, 8].

Слід зазначити, що подібні конструктивні рішення значною мірою збільшують масу паса і його жорсткість при згині. Крім цього, при передачі колового зусилля таким пасом спостерігається поява значних напружень зсуву у порівняно тонкому шарі еластомера, розташованого між кордшнуром і арматурою, що є істотним недоліком таких конструкцій. Більшу поверхню контакту з несучим кордшнуром і меншу масу має арматура у вигляді спіральних пружин, розташованих уздовж зуба паса між витками його кордшнура, а також спеціально зігнутий дріт різної конфігурації [2, 5].

Усунення вищезазначеного недоліку досягається в конструкціях пасів з механічним кріпленням арматури до несучого кордшнура або з безпосереднім зв'язком останніх. Відомі паси з зубцями, виконаними зі зносостійкого матеріалу, що пригвинчуються до несучої стрічки [6]. Незважаючи на свої переваги, до яких можна віднести високу довговічність, високу ремонтоздатність та ін., подібні паси не мають широкого поширення через свою низьку технологічність і трудомісткість обслуговування

в процесі експлуатації. Певним недоліком можна вважати також те, що отвори під болти в стрічці є концентраторами напружень, існування яких не дозволяє встановлювати високі значення натягу гілок передачі.

Відомі зубчасті паси з несучим шаром у вигляді тонких (0,08 ... 0,12 мм) металевих стрічок. Реалізація безпосереднього механічного зв'язку арматури з несучим шаром досягається шляхом пробивання і відгинання в тілі зуба паса пелюсток різноманітної форми [4, 6]. Такі паси мають високу поздовжню жорсткість, а їхні зубці мають найвищу в порівнянні з розглянутими вище конструкціями втомну міцність [4]. До недоліків пасів з кордом у вигляді металевої стрічки слід віднести їхню значну жорсткість при згині. Для компенсації її впливу застосовують суцільну перфорацію стрічки або підвищений натяг паса. І те й інше веде до зниження довговічності як самого паса, так і інших деталей передачі (валів, підшипників). Не виключається також погіршення інших експлуатаційних показників, наприклад, віброактивності приводу і його к.к.д.

Інший підхід пропонують автори зубчастого паса з поперечними армувальними стержнями, обмотаними через певні інтервали петлями несучого кордшнура [7]. У цьому пасі висока поздовжня жорсткість поєднується з незначною жорсткістю кордшнурів при згині. За показником жорсткості на згин такий пас не відрізняється від серійних неармованих аналогів. У той же час досягається безпосередній зв'язок між кордшнуром і арматурою зуба паса. Практично колове зусилля з арматури передається відразу на витки кордшнура, оминаючи проміжні елементи. Проте подібний пас не отримав широкого розповсюдження через свою складну технологію виготовлення, яка пов'язана з різним напрямком навівки петель кордшнура, що охоплюють арматуру.

У Білоруському національному технічному університеті із залученням спеціалістів Одеського національного політехнічного університету розроблено прогресивні конструкції зубчастих пасів з втулково-петльовим армуванням (ВПА), а також високопродуктивна технологія їх виготовлення. Базова конструкція запропонованого зубчастого паса наведена на рис. 1.

Усі петлі поздовжньо навитого несучого кордшнура 1, що охоплюють втулки 2, розміщені вздовж зубів паса 3, мають один напрямок навівки. Ця конструктивна особливість забезпечує високу технологічність процесу складання заготовок зубчастого паса і дозволяє здійснювати його армування з кроком $t_p > 10$ мм. При цьому міцність зубів паса визначається не механічними властивостями

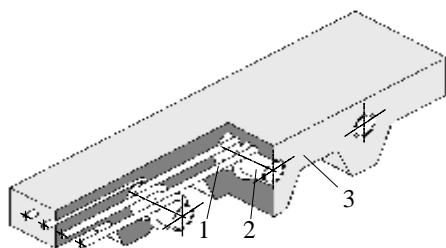


Рис. 1. Поздовжній розріз паса з ВПА зубів

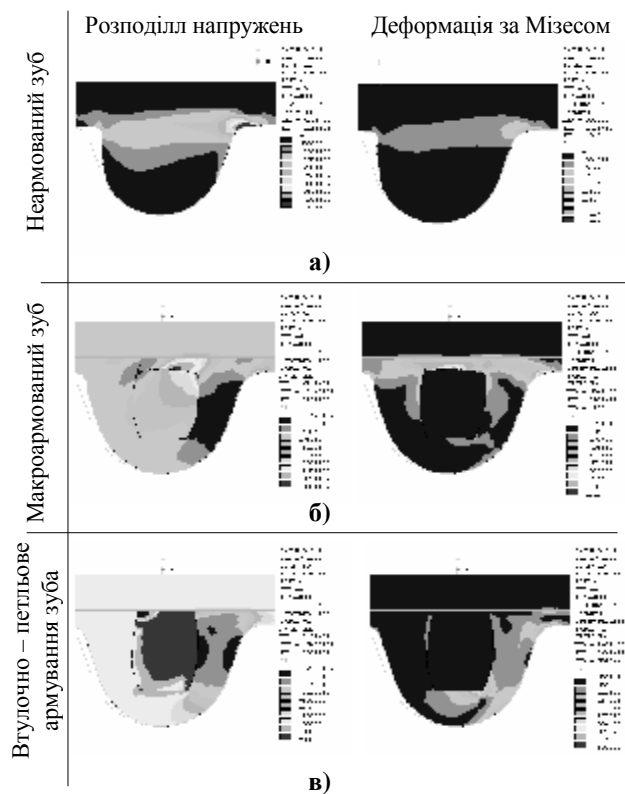


Рис. 2. Результати скінченноелементного комп'ютерного моделювання

еластомера або міцністю його адгезії до несучого шару, а фізико-механічними показниками останнього.

З метою порівняльного оцінювання ефективності існуючих і запропонованого методів армування в середовищі ANSYS проведено скінченноелементне комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану зубів привідного зубчастого паса півкруглого профілю. Пас моделювався за умови його неармованого стану, його макроармування вкладками з різними геометричними параметрами і запропонованим ВПА [10].

Результати моделювання показують, що максимальні значення напруження розтягування σ_1 та інтенсивності деформації (деформації за Мізесом) ϵ_r , що ведуть до утворення та розповсюдження втомної тріщини, для неармованих зубів спостерігаються на радіусі переходу бічної поверхні зуба до поверхні міжзубної западини (рис. 2,а).

Макроармування зуба паса вкладкою, наприклад, Ш10 мм (рис. 2,б) дозволяє знизити в небезпечному перерізі σ_1 на 45% порівняні з неармованою конструкцією і ϵ_r на 17%, а вкладкою Ш12 мм – на 70% і 40% відповідно.

Запропоноване ВПА, в якому реалізований механічний зв'язок вкладки з несучим шаром, за результатами моделювання (див. рис. 2, в) дозволяє знизити σ_1 на 87% і ϵ_r – на 75% порівняно з неармованою конструкцією.

Задовільні результати комп'ютерного моделювання дозволили перейти до розроблення технології виробництва зубчастих пасів з ВПА зубів. Основні аспекти технології виробництва привідних пасів висвітлені у науково-технічній літературі [11]. Зазначимо, що технологія виготовлення складається з трьох послідовних комплексів операцій: складання заготовки паса на зубчастому бара-

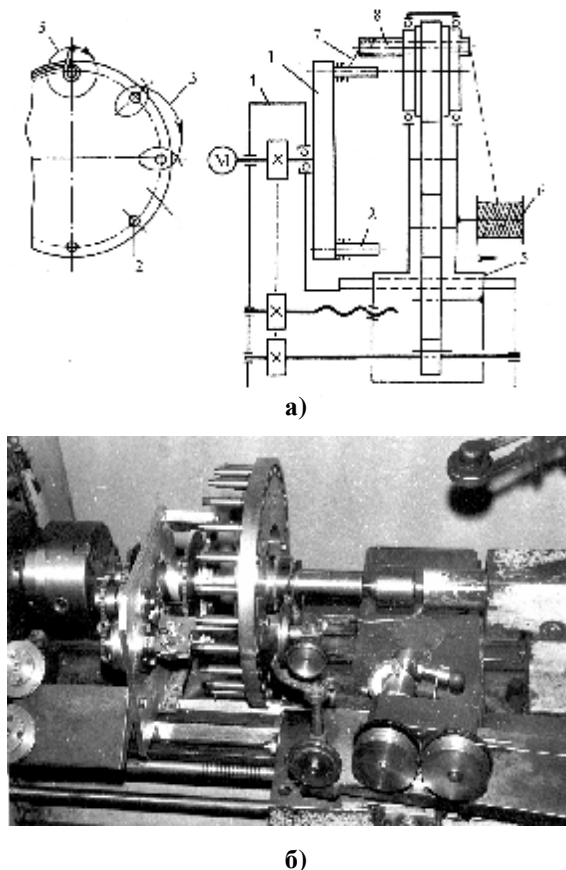


Рис. 3. Кінематична схема (а) і зовнішній вигляд (б) складального верстата зубчастих пасів з ВПА зубів: 1 – планшайба; 2 – штифти, 3 – траєкторія руху кордоводила; 4 – станина; 5 – супорт; 6 – навій з кордом; 7 – кордшнур; 8 – кордоводило

бані з кордних, тканинних і невулканізованих еластомерних матеріалів; вулканізація заготовки під дією тепла і тиску; різання заготовки (вікеля) на окремі паси (при необхідності); контроль якості паса.

Відмінність запропонованого першого технологічного комплексу операцій, а саме технології складання пасів з ВПА зубів, полягає у спеціалізованому способі навивання несучого шару, що дозволяє здійснювати петлюотворення навколо трубчастої арматури зубів. Для розв'язання цієї задачі було спроектовано і виготовлено спеціальний складальний верстат (рис. 3).

Основними вузлами складального верстата, що реалізує подібну технологію, є планшайба зі штифтами для закріплення армувальних втулок і трубчастий кордоводій з пропущеним крізь нього кордшнуром. Кордоводило рухається відносно армувальних втулок за замкнутою подовженою циклоїдою. За один повний оберт планшайби кордоводило здійснює навколо своєї осі кількість оборотів, яка дорівнює кількості зубів паса, що виготовляється. Крім цього, за один оберт планшайби кордоводило зміщується відносно неї в осьовому напрямку на величину кроку навивки несучого шару.

Таким чином, при складанні заготовки зубчастого паса, розташованої зубцями у середину, загальний напрям навивки корду в пасі і напрям витків корду на втулках буде однаковим, і кордоводило безперешкодно виконає обмотування всіх втулок на всю довжину.

Розроблено конструкції додаткового устаткування верстата, що дозволяє виготовляти паси з ВПА зубів, які мають значну ширину, двосторонніх пасів з обмоткою верхнього та нижнього рядів зубів двома незалежними або одним кордом, завдяки чому такі паси не схильні до розшарування.

За допомогою наведеного верстата також можливо виготовлення двосторонніх зубчастих пасів з різним кроком зубів верхнього та нижнього рядів. Для цього складальний верстат оснащується двома кордоводилами, кінематично пов'язаними між собою через комплект змінних зубчастих коліс. Для більш надійної фіксації арматури у вигляді втулки петлями корду розроблений додатковий механізм для складального верстата, що дозволяє здійснювати подвійне і більше петлюотворення навколо втулок.

Для виготовлення зубчастих пасів з ВПА зубів, які мають бічне цівкове зачеплення, складальний верстат може бути оснащений додатково розробленим кордоводієм, напрямку руху якого змінюється після обмотування чергової втулки. Петльоподібний рух кордоводила навколо армувальних втулок може бути отриманий не тільки за рахунок ексцентричного встановлення осі кордоводила відносно осі його обертання. З цією метою у запропонованій конструкції можуть бути використані кулісні механізми, встановлення кордоводила на сателіті біпланетарного редуктора або у середній частині шатуна антипаралелограма.

При навиванні кордшнура по гвинтовій лінії на складальний барабан відбувається його додаткове скручування. При проведенні випробувань розробленого обладнання встановлено, що особливо для вузьких зубчастих пасів, незалежно від способу їх виготовлення, притаманне додаткове скручування корду. Воно призводить до порушення номінальної конфігурації паса у вільному стані – він набуває форми «вісімки». При встановленні в передачу, такий пас здійснює інтенсивні коливання вздовж твірної шківів, зношуючись об їхні реборди. Для запобігання цьому явищу можливо використання відмінностей відомого зубчастого паса [9], для чого у розробленому складальному верстаті запропонований пристрій, завдяки якому навій з кордшнуром отримує обертання, протилежне обертанню зубчастого сердечника.

Розширення технологічних можливостей складального верстата для складання пасів з ВПА зубів може бути реалізовано шляхом забезпечення можливості виготовлення пасів з різним кроком зубів. За раз тривають роботи над конструкцією кордоводила, який має основну конструктивну відмінність – регульований ексцентриситет.

Після завершення першого технологічного комплексу операцій зі складання заготовки паса з ВПА зубів подальші технологічні операції стосуються його виготовлення. Вибір способу виготовлення паса залежить від технологічного оснащення підприємства. Саме тому у проведених дослідженнях були розглянуті два основні незалежні способи виготовлення – лиття паса і тканинне обкладання зубів паса з подальшою вулканізацією.

При виливанні зубчастих пасів у якості їх арматури можуть бути використані не тільки втулки, але й стержні, що обумовлює можливість виготовлення пасів з ВПА

зубів, які мають малий крок $t_p < 20$ мм. У цьому випадку на розробленому обладнанні передбачене застосування зубчастого сердечника з гвинтовими канавками для утримання кордшнура, як і в класичній технології лиття пасів. При складанні заготовки паса з ВПА зубів в міру накладання витків корду на сердечник – армувальні стержні переміщують у міжзубні западини сердечника.

Для отримання на внутрішній поверхні паса з ВПА зубів зносостійкого тканинного покриття застосовують спосіб виготовлення – вулканізацію. Такий спосіб виготовлення заснований на пресуванні заготовки зубчастого паса жорсткими елементами, що синхронно зближуються в радіальному напрямку. Переміщення еластомеру при вулканізації у радіальному напрямку забезпечує якісне оформлення тканинної обкладки на робочій поверхні паса і виключає утворення складок. Наявність жорстких елементів (секторів) дозволяє отримувати паси заданої товщини з потрібною якістю поверхонь безпосередньо у прес-формі. Метод не вимагає громіздкого обладнання (автоклаву) та реалізується на звичайних гідравлічних вулканізаційних пресах.

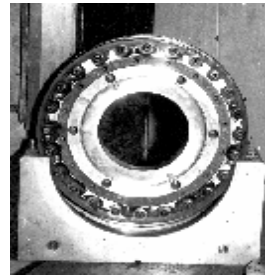
При застосуванні для виготовлення паса з ВПА зубів методу вулканізації потрібно виконати низку наступних технологічних операцій. Зокрема, всередину заготовки з навитим кордом розміщують рукав з тканинної обкладки. У середині цього рукава проводять складання зубчастого барабана з окремих елементів. Після встановлення тканинного рукава можливо також розтягування заготовки за рахунок радіального переміщення штифтів планшайби з втулками. Зорієнтовану так на зубчастому сердечнику заготовка покривають еластомером і піддають подальшій вулканізації.

Серед перспективних методів, що забезпечують підвищення якості зубчастих пасів з ВПА зубів на стадії складання перед вулканізацією можна виділити технологічну операцію закладання кінців корду у тіло заготовки, що запобігає їх появі на торцях паса після його розрізання на заключному етапі виготовлення. Без виконання такої операції, у результаті зношування паса в процесі роботи, оголюється значна ділянка корду.

Оголення значної частини корду може призвести до його намотування на один з валів передачі з наступним миттєвим руйнуванням паса.

Зважаючи на те, що виготовлення паса способом вулканізації може бути реалізовано на більшості підприємств, розроблено відповідне оснащення, яке являє собою прес-форму з вертикальною віссю обертання (рис. 4).

Прес-форма має горизонтальну вісь зубчастого осередка і два пресуючих сектори. Для здійснення робочого циклу зубчасте осереддя з попередньо складеною заготовкою зубчастого паса розміщується у нижній півформі, де центрується фланцем, і накривається верхньою півформою. Складена прес-форма встановлюється між плитами преса. При зближенні плит півформи також зближуються до щільного контакту, замикаючи тим самим заготовку паса у формоутворювальній порожнині прес-форми. Для запобігання утворення критичного тиску у прес-формі надлишки гумової суміші виходять через дросельовальні отвори діаметром 0,2 ... 1 мм або через клапани.



а)



б)

Рис.4. Технологічна прес-форма (а) і зовнішній вигляд зубчастого паса з ВПА зубів (б)

Таким чином, результати проведених досліджень дозволили сформулювати наступні висновки:

- макроармування зубів зубчастого паса дозволяє значно зменшити напруження і деформації в небезпечному перерізі і у відповідно підвищити несучу здатність і довговічність передачі зубчастим пасом;

- вирішення завдання підвищення технічних та експлуатаційних характеристик передач зубчастим пасом є ВПА зубів паса, що за новизною і отриманим позитивним результатом відповідає принципово новому підходу, який дозволяє здійснити механічний зв'язок армувального елемента і несучого шару;

- застосування ВПА зубів зубчастого паса призводить до того, що навантаження з зубів на несучий шар передається безпосередньо, а не за допомогою адгезійних зв'язків, що виникають у тонкому шарі еластомеру між втулкою і несучим шаром.

- високий рівень несучої здатності і довговічності передач зубчастим пасом з ВПА зубів у поєднанні з іншими перевагами цих передач (низький рівень вібрацій і шумовипромінювання, низька матеріалоемність і маса паса, відсутність обслуговування та ремонту, висока антикорозійна стійкість та ін.), дозволяє рекомендувати їх використання замість ланцюгових у енергонасичених трансмісіях мобільної техніки і технологічного обладнання.

Враховуючи те, що проведені дослідження привели до розроблення не тільки прогресивних конструкцій зубчастих пасів, а й повної технології їх виробництва, автори мають надію на використання результатів проведених досліджень на підприємствах України.

Література

1. *Cog-belt and method for its production*: пат. 3772929 США, МПК3 F 16 G 5/00 / J. Redmond. – заявл. 14.10.71; опубл. 20.11.73.
2. *Perfectionnements aux courroies de transmission de puissance*: пат. 2624238 Франція, МПК3 F 16 G 5/10 / J. Simon; заявитель Hutchinson Co. - № 8717039; заявл. 08.12.87; опубл. 09.06.89. – 3 с.
3. *Courroï dentee*: междунар. заявка РСТ 87/01779, МПК4 F 16 G 1/28 / V.V. Guskov [et al.]; Belarus. polytech. in-t. – заявл. 19.09.85; опубл. 26.03.87.

4. McCormick D. Getting step rath hybrid belts / D. McCormick // Design Engineering. – 1981. – vol. 52, № 4. – p. 19-26.

5. Зубчатый ремень: пат. 63-24179 Япония, МПК4 F 16 G 5/06, В 29 D 29/10 / заявитель Мицубиси бэруто К. К. – № 54-154676; заявл. 28.11.79; опубл. 19.05.88. – 5 с.

6. Зубчатый ремень: а. с. 1709783 СССР, МПК5 F 16 G 5/00 / А.Т. Скойбеда [и др.]; Белорус. политех. ин-т. – № 4059035/27; заявл. 18.04.86; ДСП.

7. Зубчатый ремень: а. с. 1449745 СССР, МПК4 F 16 G 5/00 / А.Т. Скойбеда, А.Н. Зуб, А.Н. Наталевич; Белорус. политех. ин-т; заявл. 06.11.86; опубл. 07.01.89 // Открытия. Изобрет. – 1989. – № 1. – с. 42.

8. Прогрессивные конструкции зубчатых ремней и технология их производства: тематический обзор / Н.В. Лапшина [и др.]. – Москва: ЦНИИТЭнефтехим, 1987. – 55 с.

9. Приводной зубчатый ремень: а.с. 1153146 СССР МПК4 F 16 G 5/14 / К.И. Заблонский, Э.Д. Кравцов; Одес. политех. ин-т. опубл. 30.04.85 // Открытия. Изобрет. – 1985. – № 3. – с. 12.

10. Баханович А.Г. Сравнительный анализ усталостной прочности зубьев приводных зубчатых ремней / А.Г. Баханович, Э.Д. Кравцов, И.И. Сидоренко // Труды Одес. политех. ун-та. – Одесса: ТЭС. – Вып.43 (1). – 2011. – С. 35 – 37

11. Бойков, В.П. Зубчатые ремни / В.П. Бойков, Ю.Н. Городничев, Г.Г. Козачевский. – М.: Химия, 1989. – 192 с.

Отримана 25.04.11

A. Bakhanovich¹, I. Sydorenko², E. Kravtsov²
Designs and the “know-how” of the macroreinforced drive toothed belts

¹Belarussian National Technical University, Minsk;

²Odesa National Polytechnic University, Odesa

The modern designs and the technology of the assembly of toothed belts with sleeve-loopback reinforcement have been presented. The stress-strained state of the developed belts by the method of the finite elements in ANSYS has been investigated. It has been established that the sleeve-loopback reinforcement allows to lower stresses and deformations by 75...85 % in the dangerous section, which allows to recommend the given toothed-belt transmissions instead of the chain ones in the energy-intensive drives of the processing equipment

Інформація

8-th EUROPEAN SOLID MECHANICS CONFERENCE

9 July 2012 – 13 July 2012

Graz, Austria

The first European Solid Mechanics Conference (ESMC) was held in Munich in 1991. This very successful conference initiated a tri-annual series with subsequent conferences held in Genova, Stockholm, Metz, Thessaloniki, Budapest and Lisbon. The 8th European Solid Mechanics Conference will take place at the Grazer Congress, under the auspices of EUROMECH, during July 9-13, 2012. The aim of the ESMC is to provide a forum for scientists and engineers to exchange ideas on the current state-of-the-art in the mechanics of solids, on new concepts and ideas and to identify important new directions for research.

We invite you to participate in this conference and to contribute to any topic of your scientific interest. The General (contributed) Sessions for this conference have been organized into seven main areas:

Continuum Mechanics
Material Mechanics
Computational Mechanics
Multifield Problems
Structural Mechanics
Experimental Mechanics
Dynamics

In addition, Mini-Symposia will be organized in a range of specialized topics.

Two joint **EUROMECH-ECCOMAS** mini-symposia on

“Science and Technology of Composites Manufacturing Processes” and

“Virtual Testing of Composites”

will be organized during the Conference.

Contact:

Prof. G.A. Holzapfel

E-mail: holzapfel@tugraz.at