

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Механички преносници

Број индекса: 70/98

Бранко Љ. Крсмановић
Анализа отказа зупчастих каишева
дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Мирко Благојевић, доцент - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши анализу отказа зупчастих каишних преносника. Зупчасти каишни преносници представљају релативно нове преноснике чије карактеристике још увек нису довољно испитане. Истовремено зупчasto каишни преносници представљају веома одговорне машинске елементе, и саставни део су великог број техничких система. Кандидат треба да изврши класификацију оштећења делова зупчastог преноса са различитих аспеката, узимајући у обзир велики број параметара. Поред тога, кандидат би требало да предложи одговарајуће мере да до ових отказа и оштећења не дође.

Препоручена литература:

- [1] Танасијевић, С., *Механички преносници*, Машински факултет, Крагујевац, 1994
- [2] Николић, В., *Машински елементи: теорија, прорачун, примери*, Машински факултет, Крагујевац, 2004
- [3] Стојановић, Б., Ивановић, Л., Милорадовић, Н., (2010) *Испитивање зупчастих каишних преносника*, ИМК-14 - Istraživanje i razvoj, vol.16, br.4, str.77-80

Крагујевац, 2013

ментор:

Др Мирко Благојевић, доцент - ментор

Резиме: Зупчасти каиш је, због својих добрих карактеристика, као преносник снаге, заступљен у свим областима индустрије. Изненадни отказ може довести до лома и оштећења машина, па се изнад свега захтева поуздан рад.

После многих испитивања, научници су идентификовали начине изненадних отказа, као и узроке који до отказа доводе. Правилно руковање током монтаже и експлоатације обезбеђује сигуран и поуздан рад током прописаног радног века зупчастог каиша.

Abstract: Timing belt, because of good characteristics, as a power transmitter, is represented in all areas of industry. Sudden failure leads to breakage and damage to the machine, and, above all, requires dependable performance.

After many tests, scientists have identified ways of sudden failures, and causes that lead to failure. Proper handling during installation and operation ensures safe and reliable operation over the prescribed lifetime of the timing belt.

САДРЖАЈ:

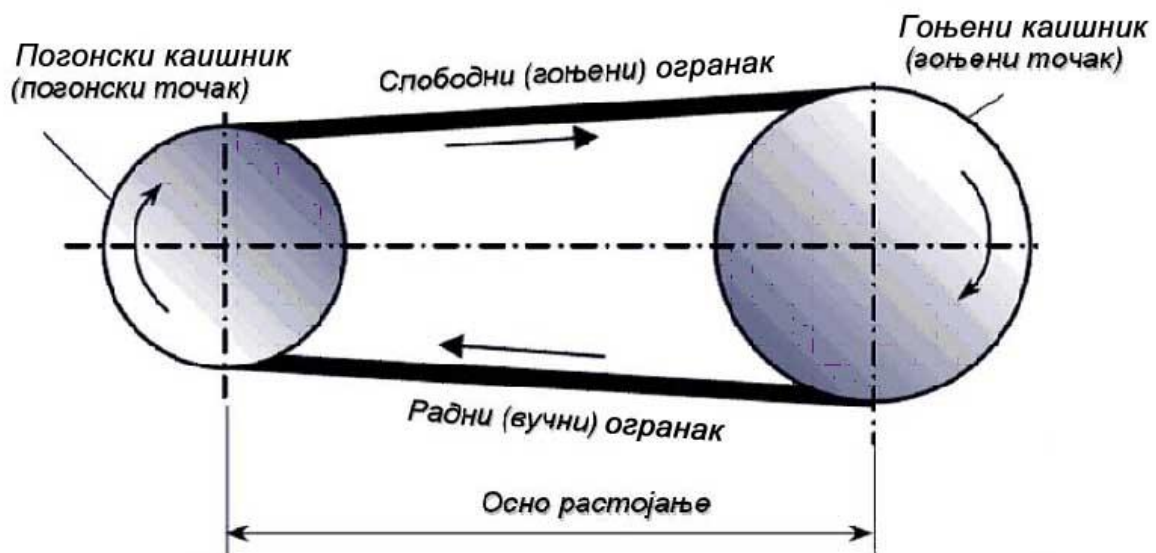
1. УВОД	6
1.1. Каишни преносници	6
2. ЗУПЧАСТИ КАИШНИ ПРЕНОСНИЦИ	9
2.1. Увод	9
2.2. Историјски развој зупчастог каиша	9
2.3. Карактеристике зупчастог каиша	13
2.4. Делови и састав зупчастог каиша	14
2.5. Врсте зупчастих каишева	16
2.6. Основни технички подаци зупчастих каишева	18
3. ОТКАЗИ ЗУПЧАСТИХ КАИШЕВА	19
3.1. Увод	19
3.2. Чести узроци отказа зупчастог каиша	20
3.2.1. Нормално хабање и отказ зупчастог каиша	20
3.2.2. Откази зупчастог каиша услед „набирања“	21
3.2.3. Ударна оптерећења	22
3.3. Неправилна затегнутост зупчастог каиша	24
3.3.1. Прекомерно затезање зупчастог каиша при монтажи	24
3.3.2. Недовољно затезање зупчастог каиша	25
3.4. Проблеми са елементима (деловима) зупчастог каишног преносника	27
3.4.1. Линијска несаосност каишника	27
3.4.2. Каишник(ци) ван стандардних мера	29
3.4.3. Превелико „бацање“ каишника – неуравнотеженост	31
3.5. Негативни утицаји радне средине	32
3.5.1. Абразивна радна средина	32
3.5.2. Топлотна деградација	33
3.5.3. Хемијске деградације	34
3.5.4. Страни објекти	34

3.6.	Типови отказа зупчастог каиша	35
3.6.1.	Отказ услед замора	35
3.6.2.	Хабање зуба	36
3.6.3.	Смицање зуба	36
3.6.4.	Љуштење (издубљење) зуба	37
3.6.5.	Хабање појаса међузубља	38
3.6.6.	Пукотине на леђној страни каиша	38
3.6.7.	Хабање бочних ивица каиша	39
3.6.8.	Уљна загађеност	39
3.6.9.	Страна тела на контактним површинама између каиша и каишника	41
3.7.	Отказ зупчастог каиша код мотора са унутрашњим сагоревањем	42
4.	ЗАКЉУЧАК	45
ЛИТЕРАТУРА		

1. УВОД

1.1 Каишни преносници

Каишни преносници представљају једноставне преноснике снаге, код којих се пренос снаге, обртног момента и угаоне брзине остварује савитљивим елементима – каишевима. Примењују се за пренос снаге и обртног кретања вратила која се налазе на већем основном растојању. Имају велику примену у готово свим гранама индустрије. Састоје се од два глатка, ожљебљена или назубљена точка (каишника, ременице), преко којих је постављен, и довољно затегнут ремен-каиш. Део каиша, између каишника, који вуче и преноси снагу, назива се вучни огранак, а други део каиша, повратни, назива се слободни огранак (*слика 1.*). Снага и кретање се преноси са погонског на гоњено вратило.



Слика 1. Основни елементи каишног преносника

Снагу, односно обртни момент, могуће је пренети на два начина:

1. посредством силе трења на контакту између каиша и каишника;
2. захватањем зубаца каиша са зупцима каишника.

Каишни преносници углавном се користе за преношење снаге до 100 kW, мада, уз специјалну конструкцију могу се користити и за снаге до преко 1 MW. Обимне брзине којима се окрећу каишници обично су и преко 30 m/s. За брзине мање од 5 m/s се не могу користити, а каишеви од специјалних материјала (танки брзоходни) се окрећу и до 90 m/s [3].

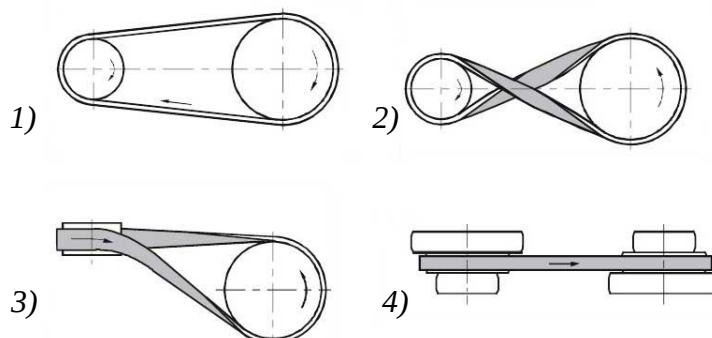
Одликују се тихим радом, не стварају динамичка оптерећења, буку нити вибрације. Имају могућност амортизације удара у раду, што доприноси заштити делова машине од преоптерећивања или лома. У моменту преоптерећења долази до

проклизавања каиша, чиме се машина заштићује од штетног дејства пораста оптерећења.

Због појаве клизања и проклизавања, не могу да одрже стални однос угаоних брзина, односно, преносни однос није константан..

Према положају оса погонског и гоњеног каишника, разликују се следећи каишни преносници [2] (слика 2.):

- 1) отворени
- 2) укрштени
- 3) полуукрштени
- 4) степенести

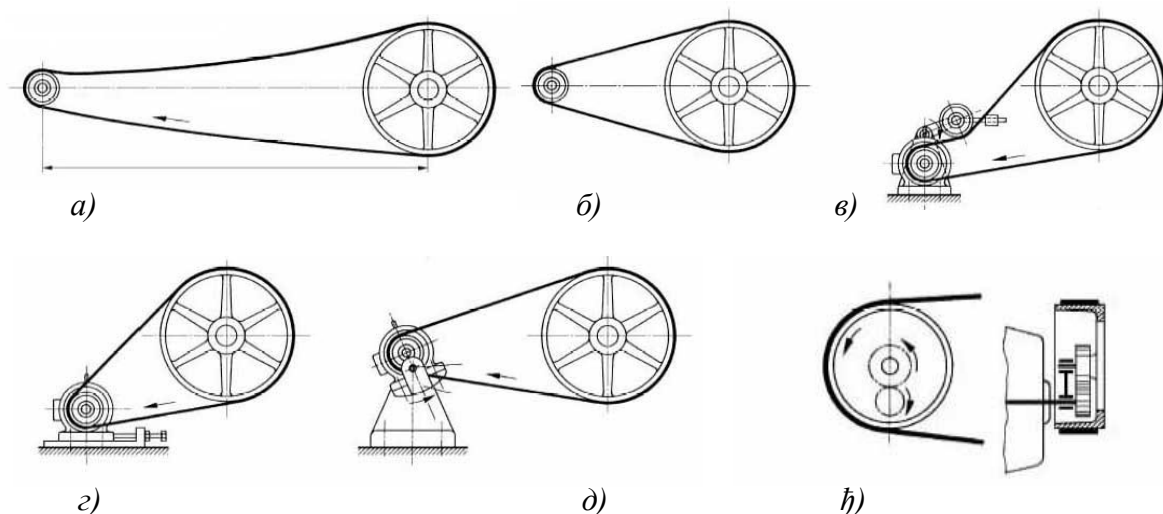


Слика 2. Типови каишних преносника

Обзиром да се снага и кретање код каишних преносника преноси посредством силе трења између каиша и каишника, или захватањем зубаца каиша и каишника, веома је битно да каиш буде исправно затегнут. Силе затезања каиша додатно оптерећују вратила и лежајеве. За обезбеђивање силе затезања потребан је посебан механизам притезања.

Постоји више начина затезања погонског каиша [15] (слика 3):

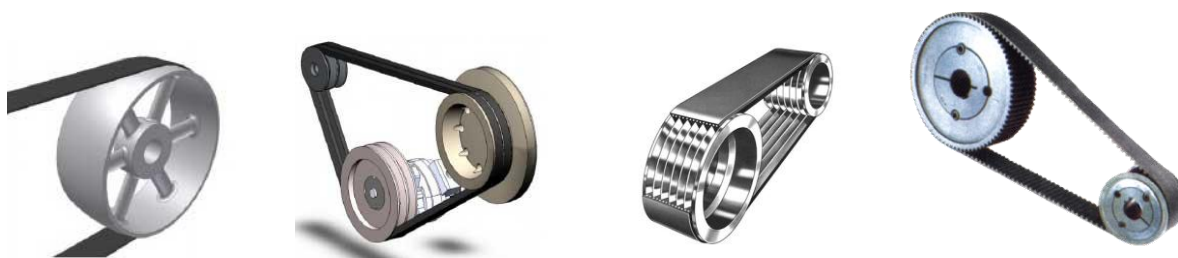
- а) властитом масом каиша,
- б) навлачењем каиша презатезањем,
- в) помицањем мотора помоћу притезнице
- г) затезним каишником,
- д) помоћу момента изазвног тежином мотора,
- ђ) помоћу ободне силе зупчаника.



Слика 3. Начини затезања погонског каиша

Каишни преносници, у зависности од облика профила каиша, (слика 4.) могу да буду:

1. пљоснати
2. трапезни
3. „poly V“
4. зупчасти



пљоснати каишеви трапезни каишеви „poly V“ каишеви зупчасти каишеви

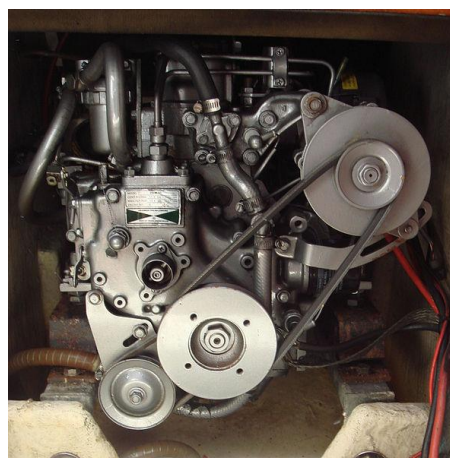
Слика 4. Профили каиша

Пљоснати каишеви намењени су великим обимним брзинама, а одликују се потребом за јаким затезањем, чиме се остварује трење неопходно за пренос снаге са погонског каишника на каиш, и са каиша на гоњени каишник.

Клинасте каишеве потребно је релативно мало притезати, а одликују се великом носивошћу. Нису погодни за велике брзине, а њихово савијање може у великој мери да смањи носивост.

„Poly-V“ каишеви, као и трапезни, одликују се потребом за малим притезањем, смањен је утицај савијања на носивост и повећана обимна брзина. Ове погодности у поређењу са трапезним (клинастим) каишевима су остварене смањењем дебљине и померањем положаја неутралне осе савијања. Представљају прелаз (средње решење) између клинастих и пљоснатих каишева.

Зупчасти каишеви имају другачији принцип преноса оптерећења. Могу бити са различитим облицима профила зуба, једнострано и обострано назубљени, а савијање и затезање код ових каиша мало утичу на носивост.



Слика 5. Пример примене каишних преносника некад и данас

2. ЗУПЧАСТИ КАИШНИ ПРЕНОСНИЦИ

2.1 Увод

У циљу повећавања сигурности преношења обртног моментна, и задржавања еластичних својства преносника, развијен је нови тип каиша - зупчасти каиш. Ког њега је трење замењено захватом зубаца. Овде је затезање потребно у мери која онемогућује прескакање каиша преко зубаца. Примењују се тамо где су тачност израде и преносни однос испред носивости и обимне брзине. У експлоатацији ових каишева често се јавља непредвиђено пуцање, па је изнад свега препоручљива превентивна замена.

2.2. Историјски развој зупчастог каиша

Почеци примене зупчастог каиша везани су за развој шиваћих машина. За синхронизацију игле и калема за конац на шиваћим машинама најпре су коришћени каишеви са металним зубима. Разлог њихове примене била је замена скупих, и технички веома захтевних конусних зупчаника.

Међутим, такви каишеви нису били савршени, пре свега, због буке коју су изазивали при раду. За потребе произвођача шиваћих машина „Singer“, проналазач Ричард Кејс (Richard Case) [11] је 1946. године конструисао зупчасти каиш са трапезоидним профилем зуба, који је заменио каишеве са металним зубима (слика 6.). Тиме је побољшана синхронизација између игле и калема за конац. Први произвођач таквих каишева била је америчка компанија „Uniroyal“ (сада „Gates“). Основни материјал овог каиша био је хлорпрен каучук (CR). Примена оваквих каишева се показала веома успешном. Добио се бешуман рад, и тачност у преносу.



Слика 6. Шиваћа машина „Singer“

Убрзо, зупчасти каишеви почињу све више да се примењују и у другим гранама индустрије. Почетком педесетих година почињу да се производе и у Европи.

Све већој примени зупчастог каиша свакако је допринео развој новог техничког решења код мотора са унутрашњим сагоревањем. Наиме, ланац за погон брегасте осовине је замењен зупчастим каишем. Први произвођач аутомобила који користи зупчасти каиш у серијској производњи је немачка компанија „GLAS“.

На Међународном сајму аутомобила у Франкфурту, 1961. године, представила је купе „S 1004“ са уграђеним зупчастим каишем [10].

Зупчасти каиш направљен од специфичног топлотно отпорног материјала полиуретана назван „Контилан“, био је производ компаније „Continental“. Био је отпоран на температурне промене у опсегу од -30°C до 120°C .

Временом се и технологија израде зупчастих каишева развија. „MULCO“, конзорцијум од пет немачких компанија, од 1968. године развија производњу зупчастих каишева новом технологијом [9].

Масовна примена зупчастих каишева у аутомобилској индустрији почиње крајем шездесетих година уградњом у фиатове моделе „Fiat 125“ и „Fiat 128“.

Права експанзија примене зупчастих каишева у аутомобилској индустрији почиње 1974. године, када реномирани произвођач аутомобила „Volkswagen“ представља свој нови модел „Golf I“, са уграђеним зупчастим каишем [10].

Са растом примене и потражње, развијале су се и перформансе зупчастих каишева. Истраживања, у циљу побољшања карактеристика зупчастих каишева, довела су до развоја нове генерације каишева познатих под називом „HTD“ преносници (High Torque Drivers), насталих 1970. године. Захваљујући њиховом криволинијским профилу зуба, дошло је до значајног побољшања у преносу оптерећења.

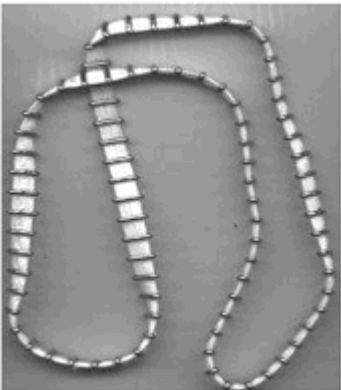


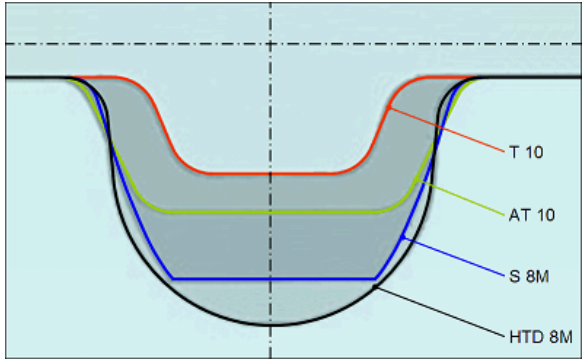
Слика 7. Мотор СУС

Данас, зупчасти каиш је преносник снаге (слика 8.) прихваћен у свим областима индустрије. Производи се у веома широком спектру различитих стандардних димензија. Примењује се, почев од рачунарских машина, компјутера и инструмената, преко индустријских машина, пумпи и компресора, до тешких постројења.



Слика 8. Зупчасти каиш

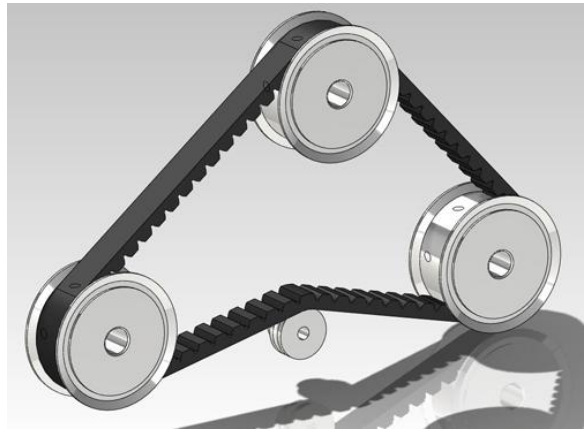
За синхронизацију игле и клупка на шиваћим машинама, каишеви са металним зубима су коришћени да замени скупе и технички веома захтеван конусне зупчанике.	
Због проблема буке шиваћих машина, произвођач „Singer“ је 1946. године заменио каиш са металним зубима са зупчастим каишем са трапезоидним профилем зуба. Основни материјал хлорпрен каучук (CR). Почиње примена у другим индустријама, и производња зупчастих каишева и у Европи.	
Први зупчасти каиш уграђен је у купе „S 1004“ компаније „GLAS“ Направљен зупчасти каиш специфичног топлотно отпорног материјала Полиуретана (од -30° С до 120° С) назван Контилан" производ компаније „Continental“	
Од 1968. године зупчaste каишеве, новом технологијом, почиње да производи „MULCO“, конзорцијум од пет немачких компанија.	

Масовно коришћење зупчастих каишева у аутомобилској индустрији почиње крајем шездесетих година у Фиатима 125 и 128. Прави „бум“ настаје 1974. године са појавом првог Голфа компаније „Volkswagen“	
Истраживања у циљу побољшања карактеристика зупчастих каишева, довела су то развоја нове генерације каишева познатих под називом „HTD“ преносници (High Torque Drivers), насталих 1970. године. Захваљујући њиховом криволинијском профилу зуба, дошло је до значајног побољшања у преносу оптерећења.	

Табела 1. Историјски развој зупчастог каиша

2.3. Карактеристике зупчастих каишева

Зупчasti каишни преносници (слика 9.) представљају релативно нову концепцију у преносу снаге, данас прихваћену у свим областима индустрије. Представљају комбинацију ланчаног и зупчастог преноса, тј. задржавају својства каишних преносника, а имају неке добре особине зупчастих преносника. Одстрањено је еластично клизање, и тако избегнута потреба за великом силом притезања каиша. Маса каиша по јединици дужине није велика, па су допуштене велике обимне брзине и до 80 m/s.



Слика 9. Зупчasti каишни преносник

Слично зупчастим преносницима, преносни однос им је константан, те спадају у синхроне преноснике. То су у основи плjosнати каишеви са серијом једнаких просторних зуба унутар теменог пречника.

Зупчasti каишеви су довољно еластични, тако да је утицај савијања каиша око каишника на радни век каиша скоро потпуно отклоњен. Допуштена је примена каишника малог пречника, што конструкцију чини компактном.

Преношење снаге зупчастим каишем поседује низ добрих особина [1]:

- мало клизање, константну брзину,
- јефтино одржавање, јер због одсуства додира метала по металу нема потребе за подмазивањем,
- могућност преношења снаге у широком опсегу, преко 400 kW,
- мало оптерећење на лежишта конструкције,
- широк опсег брзина, од 0,5 m/s до преко 33 m/s,
- компактност конструкције, условљена малим осним растојањем, малом ширином каиша и могућношћу преношења великих снага,
- мало загревање,
- мирнији рад у периоду уходавања,
- малу масу конструкције, што је понекад критичан фактор,
- релативно низак ниво шума.



Слика 10. Спрега зупчастог каиша са каишником

2.4. Делови и састав зупчастог каиша

По својој конструкцији и саставу, зупчасти каиш је сложен елемент, који се састоји из следећих делова [1] (*слика 11.*):

- леђне површине,
- зуба,
- вучног елемента и
- омотача



Слика 11. Делови зупчастог каиша

Леђна површина (*слика 12.*) се прави изједна са зубима и затвара намотано уже. Основна функција леђне површине је заштита вучног елемента (ужета) од прљавштине, уља, влаге. Производи се од гуме и пластичних маса. Пластичне масе које се користе су неопрен и полиуретан, и оне имају преимућство због знатно веће отпорности на хабање.



Слика 12. Леђна површина

Зуби (*слика 13.*) са леђном површином чине целину. По својој кинематици и положају у спреси захтевају већу отпорност на смицање. Зуби се постављају тако да линија корена зуба чврсто лежи на линији корака, тако да се лучни корак каиша не мења при савијању. Напони на смицање зуба су већи од напона истезања ужета, када су 6, или више зуба у спреси.



Слика 13. Зуби каиша

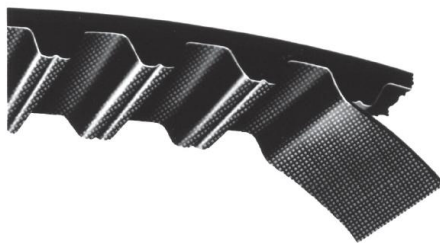
Вучни елемент (*слика 14.*) је основи елемент зупчастог каиша. То је непрекидно, хеликоидално намотано уже одређеног корака. Преноси снагу, па се од ужета очекује велика уздужна крутост, велика отпорност на савијање и дуг радни век.

Вучни елемент се производи од спирално намотане челичне зице, намотаног глас-фибера и полиестерског ужета.



Слика 14. Вучни елемент

Омотач (слика 15.) прекрива зубе каиша чиме се повећава отпорност на хабање. Најчешће је израђен од еластичне тканине (капрона). За пластичне каишеве се користи најлон малог коефицијента трења. Иако после дуже употребе омотач каиша постаје високо полиран, у нормалним случајевима има дужи век трајања од других елемената каиша.

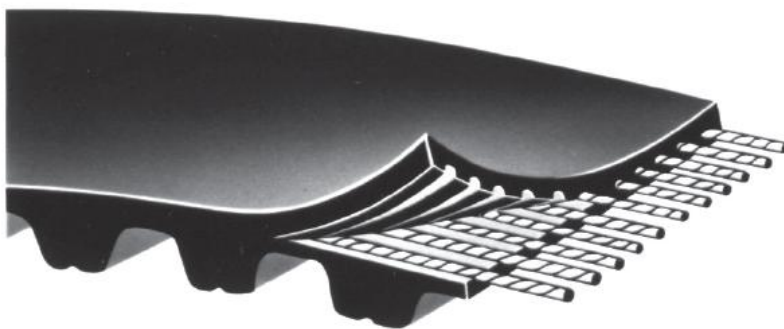


Слика 15. Омотач зупчастог каиша

Материјал од кога се зупчасти каиш израђује је синтетички каучук или полиуретан армиран челичном жицом. Тиме се постиже одговарајућа затезна издржљивост каиша. Са унутрашње стране обложен је тканином од најлона (полиамида), чиме се постиже површинска издржљивост [2]. Добра механичка својства, динамичку отпорност и отпорност на трошење задржава у широком температурном подручју од -50°C до 260°C . Споро стари јер је веома мало осетљив на утицај кисеоника и озона. Због те веома битне особине у раду може издржати најмање пет година. Материјал од кога је израђен омотач је веома отпоран на хабање.

Зупчасти каиш практично није потребно одржавати. У раду је готово бешуман. Ствара мање отпоре и механичке губитке од ланца. Има мекши пренос снаге потребне за покретање брегастих вратила, ублажава динамичко оптерећење разводног механизма, што је веома битно код мотора са унутрашњим сагоревањем.

Како напредује технологија мотора са унутрашњим сагоревањем, напредује и технологија зупчастих каишева. Међутим, већина произвођача пажљиво чува рецептуру материјала и израде.

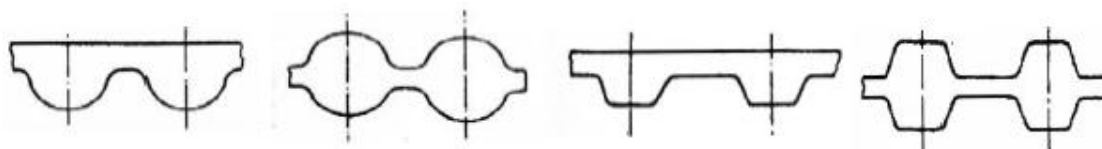


Слика 16. Делови зупчастог каиша

2.5. Врсте зупчастих каишева

Профили зуба зупчастих каишева (слика 17.) могу бити:

1. трапезни
2. криволинијски



Слика 17. Трапезни и криволинијски профили зупчастих каишева назубљени са једне, и са обе стране

Зупчasti каишеви са криволинијским профилем зуба (слика 18.) су у експлоатацији показали много боље особине. Једно од главних преимућства је расподела напона у зубу. Највећа концентрација напона код зуба трапезног облика је непосредно крај корена, док се на врху зуба ова концентрација смањује. Код криволинијских зуба је приметно равномерно напрезање по целом пресеку.

Предности зупчастих каишних преносника са криволинијским профилем зуба су [1] :

- пропорционално већа дубина зуба, услед чега је мање могућ скок зуба при наилажењу у спрегу, као и промена релативних положаја спрегнутих зуба,
- мањи притисак на зуб, услед веће површине контакта,
- веће напрезање на смицање, услед већег попречног пресека,
- лакша конструкција, услед мањих центрифугалних губитака,
- већи коефицијент корисног дејства, нарочито при упоређењу са трапезним каишевима, где се један део енергије губи на клизање,
- мало претходно затезање, услед чега је и мање оптерећење лежишта
- нижа цена, јер се ужим каишем може пренети веће оптерећење.



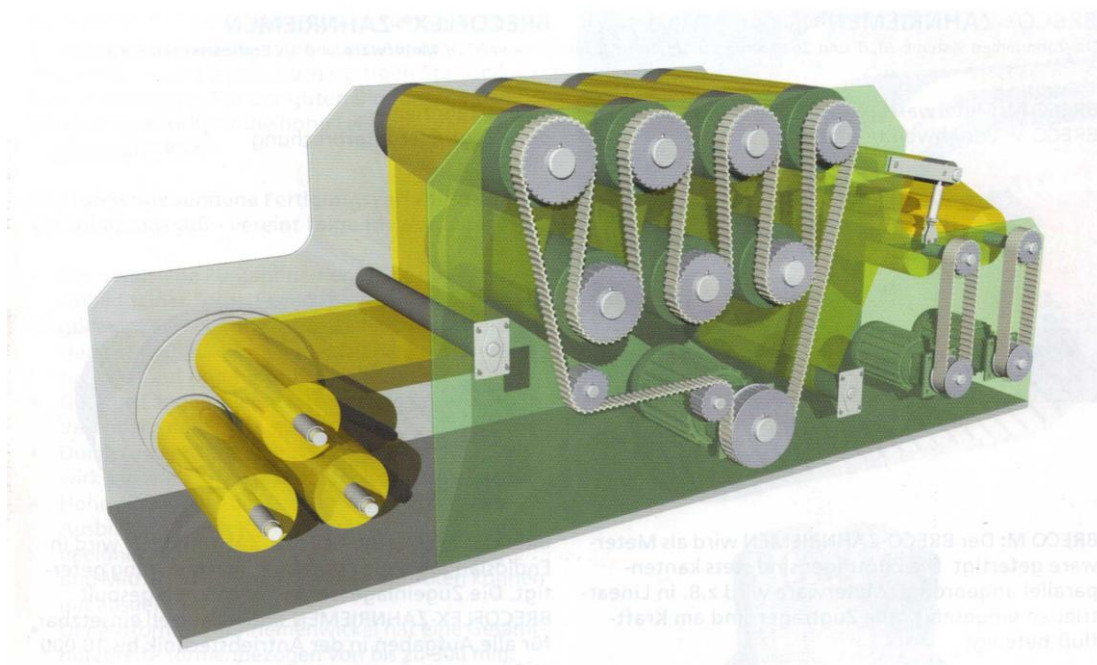
Слика 18. Криволинијски профил зуба

Захваљујући својој особини да могу преносити већа оптерећења, криволинијски каишеви су познати под именом „HTD“ преносници (High Torque Drivers), и обично се производе са кораком од 8 и 14 mm.

Зупчасти каишеви се производе и у двостраној конструкцији, са зубима на обе стране каиша (слика 19.). Поседују особину да могу мењати правац кретања једног или више синхроних каишника помоћу само једног каиша. Спољашњи и унутрашњи зуби су идентични по величини и кораку. Спољашњи зуби се раде без најлона у омотачу. Њихова моћ ношења је само 45% од моћи ношења унутрашњих зуба [1].



Слика 19. Изглед двострано озубљеног каиша



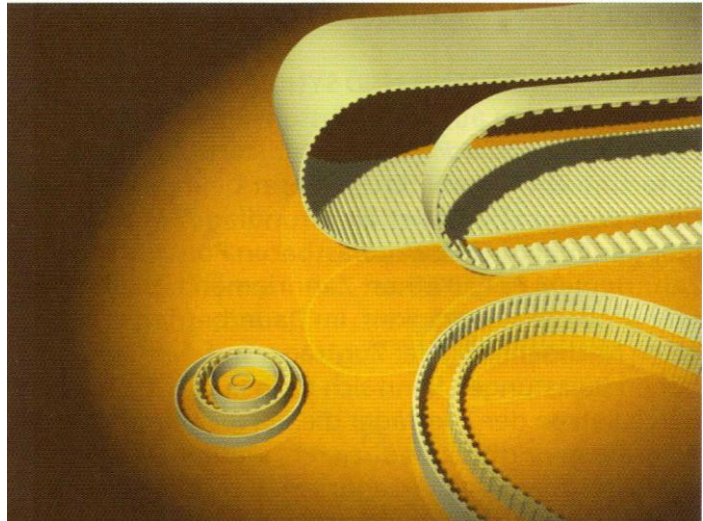
Слика 20. Пример примене двострано озубљених зупчастих каишева

2.6. Основни технички подаци зупчастих каишева

Зупчaste каишне преноснике своје карактеристике чине веома погодним за преноснике који се користе код синхроних, показних и бројачких система. Помоћу њих, компонентне се веома лако синхронизују, са врло високим степеном тачности.

Основне карактеристике зупчастих каишева су константна угаона брзина, широк спектар брзина, рад без проклузавања, висок механички степен корисног дејства, минимални бочни зазор. Њихова специфична конструкција омогућава равномерни пренос брзина. Угаона брзина гоњеног каишника је увек константна. При раду зупчастих каишева нема изразитих удара или вибрација проузрокованих тетивним порастом и падом брзине, као код ланчаних преносника. Такође, нема ни губитака у брзини или снази, проузрокованих клизањем или увијањем као док плоснатих или трапезних каишева. Захваљујући константној излазној брзини, зупчасти каишни преносници су веома погодни за пренос снаге код висококвалитетних и прецизних машина [1].

На рад зупчастих каишева веома утиче и број зуба каишника. Са порастом броја зуба каишника, расте и број зуба у спрези, а притом се смањује неопходно претходно затезање. За најмање кораке, најмањи препоручени број зуба каишника је 10. Коришћење мањих каишника, од препоручено минималних, није препоручљиво, јер знатно скраћује век каиша. Такође, од правилног избора, конструкције и квалитета израде каишника веома зависи синхроност преноса и ниво експлоатационих карактеристика, па и радни век зупчастог каиша.



Слика 21. Зупчасти каишеви различитих димензија

Зупчасти каишеви се производе у више различитих димензија (слика 21.). Основна димензиона карактеристика, према којој се зупчасти каишеви и означавају у стандардизованим табелама у каталозима је корак. Мада, компанија „MULCO“, једна од водећих произвођача зупчастих каишева, као основну димензију користи модул (m) [9].

Веома битна димензиона карактеристика је и ширина каиша. Од ширине каиша зависи снага која се може пренети преносником. Постоје табеле са стандардним корацима, ширинама и дужинама зупчастих каишева. Каишеви се по потреби могу правити нестандардних ширина и дужина.

3. ОТКАЗИ ЗУПЧАСТИХ КАИШЕВА

3.1. Увод

Изненадни отказ зупчастог каиша (кидање вучног елемента или смицање зуба) доводи до потпуног отказа преносника, а често и целог система. Такође, може довести до великих хаварија и штета, као на пример, код мотора са унутрашњим сагоревањем. Због тога су почела озбиљна испитивања и анализе каишева, сила које делују у каишу, у циљу идентификовања узрока отказа, и прорачуна сигурног периода експлоатације.

Прва озбиљна испитивања зупчастог каиша врши група научника на челу са Гербертом крајем седамдесетих година XX века. Они врше детаљну анализу сила које делују на зубе каиша, и први уводе силу трења у анализу расподеле оптерећења. Испитивањем вучних карактеристика, анализом расподеле оптерећења и претходног затезања зупчастог каиша иде се корак даље у анализи ових преносника, који добијају све већу примену у индустрији. С обзиром на све већу употребу зупчастих каишних преносника, али и њихов ограничен радни век, крајем деведесетих година XX века, анализа трења и хабања постаје све значајнија. Далгарно, Чилдс (Childs) и други научници уводе нове моделе зупчастих каишева. До тада је анализирана само сила трења између темена зуба каишника и међузубља каиша, а сада се уводи и сила трења између бочних површина зуба каиша и каишника. Далгарно и други баве се детаљном анализом спрезања, и анализом триболошких процеса на контактним површинама [6].

У циљу повећања радног века и идентификације главних узрока његовог смањења, обављен је велики број испитивања зупчастог каишног преносника. Тако је дефинисан радни век каиша, узроци који доводе до прераног отказа, и мере које треба предузети да до прераног отказа не дође.



Слика 22. Зупчасти каиш

3.2. Чести узроци отказа зупчастог каиша

3.2.1. Нормално хабање и отказ зупчастог каиша

Отказ зупчастог каиша, тј. кидање зуба, или кидање самог каиша, сасвим је нормално и очекивано након прописаног периода експлоатације. Период експлоатације је прописан од стране произвођача, и одређен је радним сатима, или пређеним километрима. Разликује се услед квалитета материјала, услова и начина експлоатације.

Када каиш достигне крајњи степен замора у вучном елементу (жицама) каиша, након прописаног периода експлоатације, долази до отказа који се може сматрати очекиваним. Слика 23. илуструје кидање зупчастог каиша под углом од 45° , које је типично за вучни елемент на крају свог радног века [16].



Слика 23. Кидање под углом од 45°



Слика 24. Изглед оштећеног омотача

Зуб зупчастог каиша такође може да пропадне, али се то сматра типом отказа каиша који није очекиван. Након дугог периода експлоатације, зуби каиша се могу похабати, мада би требали да задрже своју првобитну величину и облик. Истурена влакна омотача могу дати зубима каиша нејасан изглед, како је приказано на слици 24.

Нема прописаних мера одржавања, нити корективних мера потребних за дужи радни век зупчастог каиша. Радни век зупчастог каиша може значајно да варира, зависно од примене, и великог броја разних фактора, укључујући и преносни ниво снаге, радну средину, затегнутост каиша, саосност вратила и каишника, стање каишника, па чак и начина руковања каишем пре, и током монтаже.

3.2.2. Откази зупчастог каиша услед „набирања“

Отказ зупчастог каиша, који настаје услед "набирања", често изгледа као равно кидање при замору, како је приказано на слици 25. Раван тип прекида, као што је овај, може се десити када је затегнути каиш савијен око каишника веома малог пречника. Оштар превој може довести до великих компресивних сила унутар затезних чланова, доводећи код појединачних влакана до појаве набирања, смањујући укупну чврстоћу каиша [16]. Штета на зупчастом каишу услед набирања



је најчешће повезана са погрешним руковањем, неадекватном затегнутошћу каиша при монтажи, коришћењем каишника мањег пречника од минимално прописаног, а такође и присуством страних предмета између каиша и каишника.

Набирање зупчастог каиша услед лошег руковања је резултат неправилног начина складиштења, неправилног паковања, руковања каишем пре и током монтаже.

Слика 25. Раван тип прекида каиша

Код зупчастих каишних преносника, који раде испод прописане силе затегнутости, може доћи до спадања каиша са каишника, док се не достигне прихватљив ниво затегнутости каиша. Ова појава се назива "само-затезање". Самозатезање се најјасније може уочити у тачки најнижег динамичког распона затегнутости каиша, или где зуби каиша улазе у спрегу са гоњеним каишником (жљебове гоњеног каишника). Када се зупчасти каиш самозатеже, зуби каиша испадају изван жљебова каишника све до наиласка на затегнуту страну каиша, и појаве раста силе затезања, која враћа зубе назад у жљебове каишника. Тачка у којој су зуби каиша принуђени да се врате назад у жљебове каишника често резултира тренутно оштром тачком савијања, која може довести до оштећења вучног елемента у каишу. Ова појава оштећења вучног елемента у зупчастом каишу назива се набирање. Ако затегнута страна каиша не врати зубе назад у међузубље, каиш ће блокирати. Блокада каиша такође може да доведе до набирања жице каиша и оштећења зуба каиша [16].

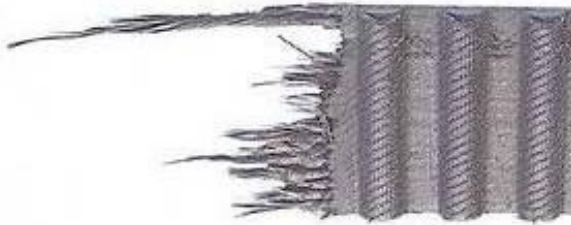
Савијање зупчастог каиша око каишника пречника мањих од прописаних, такође може довести до појаве оштећења вучног елемента каиша, или до набирања. Ову појаву могу да изазову каишници, плосната задња страна затезача, или чак ручно савијање каиша под оштрим углом.

Страни објекти који доспеју између зупчастог каиша и каишника, такође може довести до појаве набирања. Они могу да подигну каиш са каишника под оштрим углом, при чему настаје тачка набирања вучног елемента.

Алати који се користе при монтажи каишева на каишнике, као што су шрафцигери или полуге, такође могу да изазову оштећење набирањем. Зупчасти каишеви изложени утицају страних објеката, или неправилном коришћења алата у току монтаже, не морају да откажу одмах након оштећења. Међутим, укупни радни век таквог зупчастог каиша ће бити знатно смањен.

3.2.3. Ударна оптерећења

Ударно оптерећење код каишних преносника настаје када долази до појаве наизменичних, или цикличних обртних момената, чије су вредности веће од номиналних, и који се јављају на гоњеном каишнику. Настају услед рада механизма, опреме или машине на коју се снага преноси. Ова ударна оптерећења могу да изазову појаву већих оптерећења каишева него у нормалним радним условима, и могу да буду додатни узроци за отказ каишева. Док конвенционални „V“-каишни преносници могу да проклизавају у условима великих оптерећења, синхрони каишни преносници морају да пренесу цело оптерећење, иако је знатно веће од прописаног.



Слика 26. Кидање каиша изазвано екстремним ударним оптерећењима

Екстремна ударна оптерећења могу довести до пуцања зупчастих каишева, код којих су места пуцања са похабаним и неуједначеним изгледом, како је приказано на слици 26. Поједини зуби, који се у моменту ударног оптерећења налазе спрегнути у међузубљу каишника, могу развити пукотине у корену, а такође може доћи и до одсецања зуба. Ако је ударно оптерећење настало само једном, или је циклично, и понавља се на једном одређеном месту каиша, преостали зуби могу бити неоштећени, и изгледати нормално. Слика 27. илуструје како пукотина у корену зуба изазвана ударним оптерећењем може да се рашири кроз зубе. Пукотине настале у корену зуба се понекад крећу ка врху зуба. Зуби код којих је настало више пукотина могу да буду одсечени, при чему остаје само део зуба.



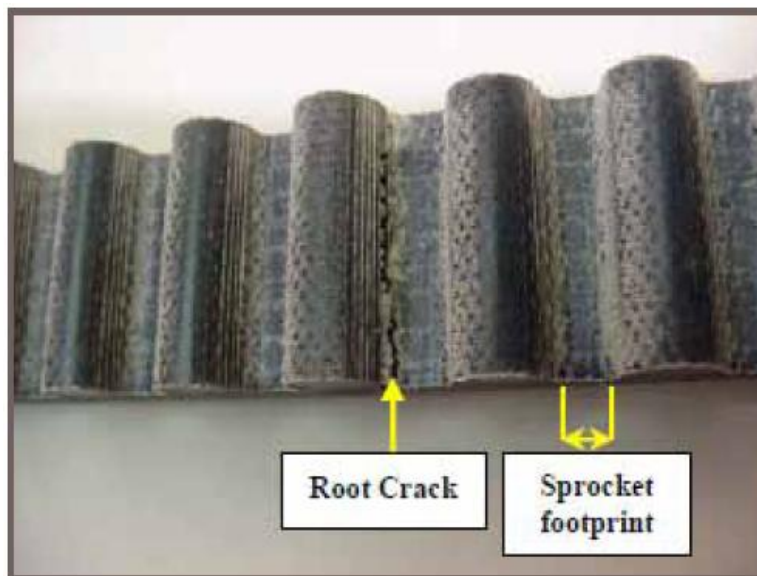
Слика 27. Пукотине у корену зуба

Ударна оптерећења која се јављају на гоњеном каишнику могу бити саставни део рада система, или могу бити проузрокована неким непредвиђеним екстремним догађајем, као што је заглављивање, или отказ неке од компоненти преносника. Ако се ударна оптерећења не могу елиминисати, онда је неопходно да се затезна чврстоћа зупчастог каиша повећа, или да се синхрони каишни пренос замени са „V“-каишним преносом, који има особину проклизавања.

3.3. Неправилна затегнутост зупчастог каиша

3.3.1. Прекомерно затезање зупчастог каиша при монтажи

Претерана затегнутост зупчастог каиша при монтажи може да доведе до отказа каиша, тј. до одсецања зуба, или чак, до кидања каиша. На многим каишевима, који су били претерано затегнути, уочљиви су видљиви знаци оштећења.



Слика 28. Оштећене области налегања

Та оштећења, на озубљеној страни каиша, потичу од каишника [9].

Слика 28. илуструје зупчасти каиш са оштећеним областима налегања, и пукотинама, које се формирају у корену зуба каиша. Пукотина у корену зуба обично води све до затезног члана, и често се шири до корена суседног зуба. Поједини зуби каиша ће се тада одвојити од тела каиша и често отпасти. На слици 29. је приказан зупчасти каиш који је био

претерано затегнут на каишнику великог пречника [16].

Област високог притиска каиша проузрокује област претераног хабања материјала каиша, напослетку откривајући сопствени вучни елемент.

У циљу спречавања проблема хабања зупчастог каиша као што су ови, правилан степен затегнутости каиша мора бити тачно прописан, и при монтажи тачно подешен.



Слика 29. Хабање каиша услед прекомерне затегнутости

3.3.2. Недовољно затезање зупчастог каиша

Недовољно затезање зупчастих каишева, од умерено, до јако оптерећених система, такође може довести до прераног отказа. Општи тип отказа зупчастог каиша, који је резултат недовољне затегнутости каиша, назива се ротирање зуба (прескакање). До ротације зуба каиша (прескакања) може доћи када зуби каиша изађу из међузубља својих каишника (самозатезање), а да притом погонско оптерећење не делује више на њихове корене. Погонско оптерећење, које делује низ бокове зуба каиша ка врху зуба, узрокује савијање (као скакаоница) и "ротацију" (прескакање) зуба каиша. Ротација (прескакање) зуба каиша може довести до цепања гуме на корену зуба дуж вучног члана. Како се цепање гуме шири, зуби каиша често почињу да се одвајају од тела каиша у облику траке, као што је приказано на слици 30. Отказ због прекомерне ротације (прескакања) зуба, може да личи на отказе, који су последица недовољног пријањања гуме на вучни елемент каиша. За разлику од отказа ротације (прескакања) зуба, откази због недовољног пријањања гуме остављају огољене вучне чланове чисте, где су се зуби каиша некада налазили [16].



Слика 30. Одвајање зуба каиша у облику траке

Када зуби каиша испадају из међузубља каишника да би настало самозатезање, пре кидања гуме и одвајања зуба каиша, може се десити блокада или искакање зуба,. Штета на вучном елементу каиша настала од блокаде такође може да изазове превремени отказ каиша. Ови откази могу изгледати као прекиди типа набирање (раван и чист), или, као прекиди услед ударних оптерећења (разуђен и под углом). Ако не дође до појаве блокаде, и каиш настави са радом док се самозатеже, често се јавља претерано хабање зуба каиша. Овакво хабање зуба резултат је неодговарајућег спрезања зуба са међузубљем каишника, као што је приказано на слици 31. Неодговарајуће спрезање може да буде проузроковано услед недовољне затегнутости зупчастог каиша при монтажи, или је резултат лошег конструкционог решења система преноса оптерећења, или квара система, услед чега долази до промене међуосног растојања између вратила, док је погонски систем оптерећен.



Слика 31. Последица неодговарајућег спрезања са међузубљем каишника

Повећање степена затегнутости зупчастог каиша углавном спречава превремени отказ каиша, који настаје због ротације (прескакања) зуба. Ако повећање степена затегнутости зупчастог каиша при монтажи не спречи ову врсту отказа, структура система преноса оптерећења није довољно крута да би се спречило извијање. Додатна структурна укрућења могу бити неопходна да би се побољшале перформансе каиша. Уколико није могуће да се повећа степен затегнутости каиша при монтажи, повећање пречника каишника ће омогућити преношење већег погонског оптерећења са мањом затегнутошћу каиша.

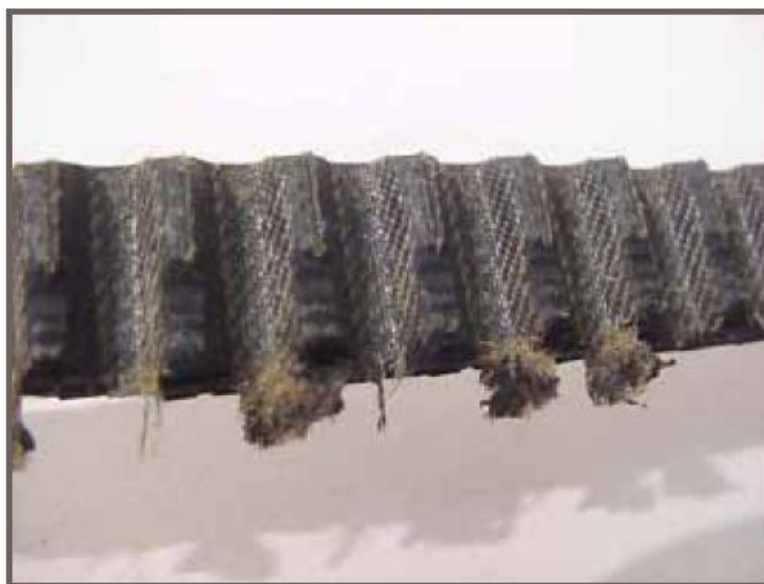


Слика 32. Иструмент за одређивање затегнутости каиша

3.4. Проблеми са елементима (деловима) зупчастог каишног преносника

3.4.1. Линијска несаосност каишника

На радни век зупчастог каиша не утиче само сам каиш, него и елементи зупчастог каишног преноса. Зупчасти каишни преносници који раде у условима угаоног непоклапања вратила погона, или са каишницима мањих ширина од прописаних, изложени су неједнаком дејству оптерећења на каишеве. Последице могу да буду неједнако хабање на боковима зуба каиша, и неједнака збијеност у областима налегања (између зуба каиша). Откази зупчастих каишева често се јављају због појаве напрслина у корену зуба, или иницијалних пукотина на страни каиша која је под већим оптерећењем, и које напредују ширином каиша, доводећи до одсецања зуба. Једна ивица каиша може такође показати значајно хабање због велике неједнакости у сили оптерећења, и чак се може увити, или покушати да испадне из обода каишника. Слика 33. приказује екстремно хабање ивице каиша због велике неједнакости силе.



Слика 33. Екстремно хабање ивице зупчастог каиша

Зупчасти каишеви који раде на ужим несаосним каишницима могу да покажу претерано хабање обе ивице каиша, ако је каиш стегнут између супротних обода. Откази каиша могу тада настати од напрслина корена зуба, или иницијалних пукотина са обе ивице каиша. Ове пукотине могу се евентуално проширити преко целе ширине зупчастог каиша, доводећи до одсецања зуба [16].

Зупчасти каишеви, који раде у комбинацији један ужи, и један одговарајући каишник, са несаосним каишницима, могу делимично или потпуно да спадну са исправног каишника. Део каиша који је преостао спрегнут са исправним каишником

ће носити пуно радно оптерећење, и може да развије концентрисане области хабања, које ће настати након извесног периода оваквог начина рада.

Слика 34. показује концентрисано хабање преко већине бокова зуба каиша, са делом који је релативно непохабан. Напрелина у корену зуба се такође развила испод оштећене површине. Ово на крају може довести до прераног отказа зупчастог каиша, било због затезног замора, или замора зуба.



Слика 34. Концентрисано хабање бокова зуба

3.4.2. Каишник(ци) ван стандардних мера

Преурађени откази зупчастих каишева проузроковани каишницима, који су произведени ван стандардних мера, или оштећени у раду, тешко су препознатљиви. Ово је делимично због чињенице да се каишници ретко детаљно прегледају када каиш откаже. За преурађене отказе зупчастих каишева се често претпоставља да је то грешка до њих самих, па се могућ узрок отказа, проистекао од самих каишника и не узима у разматрање.

Димензије каишника се узимају из стандардизованих табела, или се добијају прорачунима. Зупчасти каишеви који раде на каишницима који су ван прописаних димензија, често показују висок степен хабања бокова зуба, са омотачем бокова који



Слика 35. Хабање каиша узроковано спрезањем са нестандардним каишницима



Слика 36. Распадање међузубља каиша

има нејасан или љускав изглед. Каиш са таквом врстом хабања је приказан на слици 35. Криволинијски (НТД и GT) зупчасти каишеви спрегнути са каишницима чији су пречници мањи од минимално прописаних, обично отказују услед распада међузубља каиша, (приказано на слици 36.), и заморним кидањем. Зупчасти каишеви (KSL, L, H) са трапезним профилем зуба обично откажу због напрстина у корену зуба, и због смицања самих зуба. Међутим, ни заморна кидања зупчастих каишева нису ретка појава [16].

Виши степен хабања каишника може се јавити због зупчастих каишева који су приликом монтаже превише затегнути.. Каишеви који су у експлоатацији дуго времена понекад имају истрошене зубе, или потпуно излизан омотач.

На основу каишева у таквом стању може се закључити да се можда догодило и значајно хабање каишника. Код зупчастих каишева истошених до такве мере, понекад, затезни чланови каиша дођу у додир са каишником, што доводи до оштећења по спољном обиму каишника.



Слика 37. Гребен на зубу похабаног каишника

Добар показатељ хабања каишника је када гребен дуж врха зуба постане видљив, као што је приказано на слици 37. Веома истрошене површине на зубу каишника могу да постати врло оштре, па при замени зупчастог каиша радник мора да буде веома опрезан. При контроли каишника, најбоље је користити шрафцигер, или неки други алат, у циљу спречавања повреда радника. Када се установи да гребен по ободу каишника постоји, каишници морају да буду замењени.

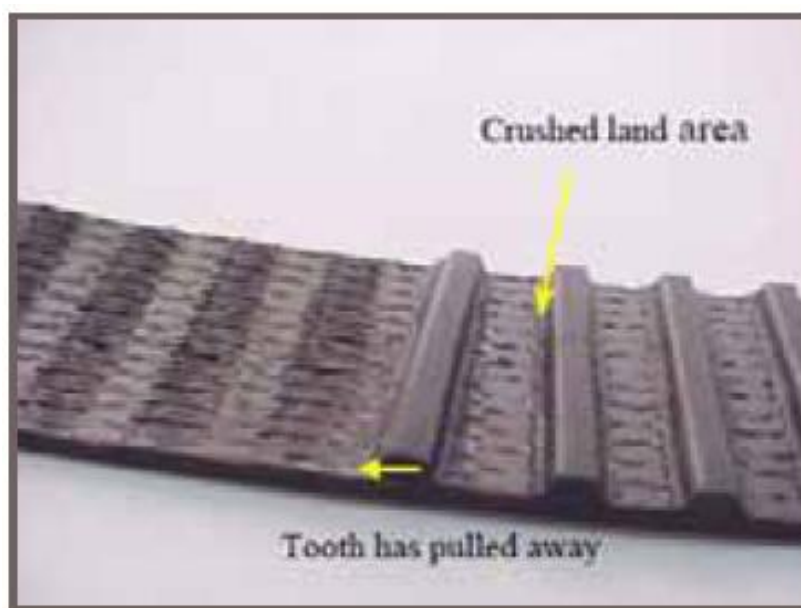
Најбржа и најекстремнија оштећења каишника настају у абразивним атмосферама, тј. абразивним радним срединама. Веома истрошени каишници често показују похабаност међузубља, као и смањење спољног завршног пречника. Типичан отказ зупчастог каиша на истрошеним каишницима показује углачану површину хабања, и каишници могу имати истрошене зубе до степена озбиљне промене димензија. Каишници обложени чврстим завршним слојем хрома могу се користити да продуже радни век каишног преносника у абразивним радним срединама.

Поуздан показатељ озбиљне похабаности каишника је и радни век замењених зупчастих каишева. Наима, ако се установи да је радни век замењеног зупчастог каиша значајно смањен у односу на радни век претходног каиша, велика је вероватноћа да је узрок томе управо похабан каишник. Када дође до оваквог случаја, треба пажљиво прегледати каишник ради проналажења прекомерене похабаности.

3.4.3. Превелико „бацање“ каишника – неуравнотеженост

Зупчасти каишеви који раде на каишницима са радијалним грешкама (неуједначен пречник каишника по ободу) изложени су цикличном повећању и смањењу затегнутости каиша при ротацији каишника. Веће радијалне грешке изазивају веће силе затезања зупчастог каиша.

Каишеви подвргнути значајним цикличним затезним оптерећењима имају међузубље са згњеченим изгледом. Згњечено међузубље и смицање зуба су приказани на слици 38. Згњечен изглед међузубља може да се појави и код зупчастих каишева који раде на каишницима средњег пречника са прекомерним затезањем. Зупчасти каишеви изложени екстремним цикличним варијацијама затезне силе често отказују услед смицања зуба или затезног отказа (пуцање каиша).



Слика 38. Згњечено међузубље и смицање зуба зупчастог каиша

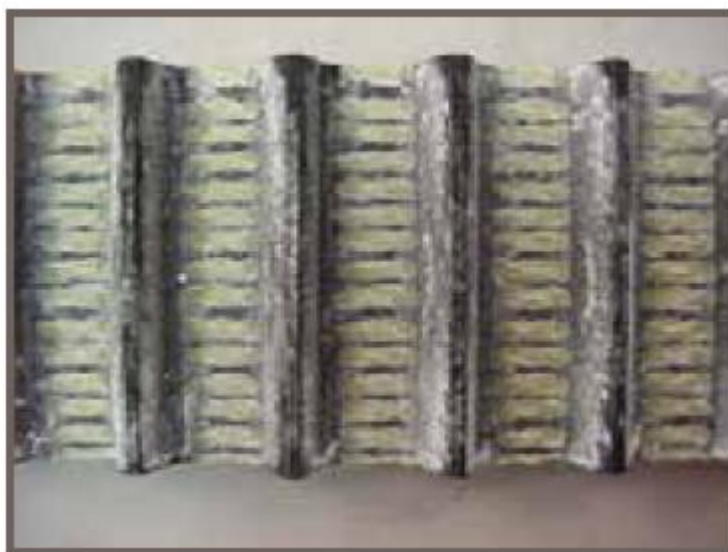
Изражене радијалне грешке каишника најчешће настају кад се непрописно поставе на чауре, или код поновног разбушивања и монтаже.

3.5. Негативни утицаји радне средине

3.5.1. Абразивна радна средина

Зупчасти каишеви, уграђени у преноснике чија је радна средина абразивна, често показују висок степен хабања међузубља и бокова зуба каиша. Неки од примера за такве преноснике су миксери у ливницама, транспортери фосфата у рудницима итд. Похабане површине зупчастих каишева често имају углачан изглед. На слици 39. је приказан јако похабани „Gates Poly Chain® GT®2“ зупчасти каиш, који је експлоатисан у високо абразивној средини.

Хабање каишника је такође присутно, и углавном брзо у абразивним срединама. Због тога је препоручљиво да се за заменом зупчастих каишева мењају и каишници. Да би се продужио радни век зупчастог каиша и каишника, може се конструисати и уградити заштитно кућиште, које је под притиском чистог ваздуха, да би се спречио улазак абразивне прашине и загађења [9].



Слика 39. Похабани „Gates Poly Chain® GT®2“ зупчасти каиш

3.5.2. Топлотна деградација

Када се гумени зупчасти каишеви експлоатишу на повишеним температурама (већим од 85°C) дужи временски период, гумена једињења постепено отврдну, доводећи до пуцања леђне стране због савијања око каишника, као што је приказано на слици 40. Ове пукотине обично остају паралелне зубима каиша, и обично се јављају у међузубљу (раван део између два зуба). Све то може довести до одсецања зуба, а често и до пуцања вучних елемената.

Постоје посебни гумени зупчасти каишеви произведени за експлоатацију у радним срединама са високим температурама. Такви каишеви специјалне намене проширују спектар примене зупчастих каишева, и чине их интересантијим за конструкторе. Многе компаније који производе зупчасте каишеве су отворене за консултације са конструкторима, и спремне су за нова испитивања, у циљу побољшања перформанси зупчастих каишева за одређене тражене специфичне услове експлоатације.

Материјал тела зупчастог каиша, који се користи за уретанске каишеве, као што су „Poly Chain® GT® Carbon®“, је термопластика, што значи да има тачку топљења, и да није отпоран на високе температуре. Када су изложени температурама у радној средини преко 85°C , зуби каиша могу постати мекши и деформисати се. Поред тога, губи се трење између жице језгра и уретана. Слика 41. приказује „Poly Chain® GT®2“ зупчасти каиш, који је био изложен високим температурама у радној средини.

Због последица које могу настати, неопходно је придржавати се препорука произвођача, и користити одговарајуће зупчасте каишеве намењене одговарајућим експлоатационим условима.



Слика 40. Пуцотине на леђној страни каиша



Слика 41. Зупчасти каиш изложен високим температурама

3.5.3. Хемијске деградације

Гумени зупчасти каишеви изложени било каквим парама органских растварача, имаће исти изглед као каишеви који су били изложени високим температурама у радој средини. Гумена једињења ће отврднути, и каишеви ће бити изложени пуцању леђне стране. Ипак, шема пуцања настала хемијском деградацијом ће се разликовати од шеме пуцања настале тополотном деградацијом. Овде до очвршћавања једињења долази углавном на површинском нивоу, омогућавајући формирање пукотина у оба правца, бочно и уздужно. Може наступити „коцкаст“ изглед.

3.5.4. Страни објекти



Слика 42. Делимично кидање вучног елемента

Доспевање страних објеката између зупчастог каиша и каишника често штети и зубима каиша, и вучним елементима. Вучни елементи често пуцају изнутра (слика 42.), или пуцају касније, због пресовања, као што је приказано на слици 43. Када део вучних жица попуца, чврстоћа преосталих жица је знатно умањена. Ово често доводи до драстичног смањења радног века каиша.



Слика 43. Кудање вучног елемента каиша

Ако је штета на зупчастом каишу од отпадака приметна, каиш треба да буде замењен, а каишник проверен. Уколико се утврди да су и каишници оштећени, треба их такође заменити, пре монтирања новог зупчастог каиша.

3.6. Типови отказа зупчастог каиша

После дугих и детаљних истраживања и анализа, утврђени су следећи типови отказа зупчастог каиша [16]:

- Отказ услед замора
- Хабање зуба
- Смицање зуба
- Издубљење зуба
- Хабање појаса међузубља
- Повратне пукотине
- Хабање бочних ивица каиша
- Уљна загађеност
- Упад страних тела

3.6.1. Отказ услед замора

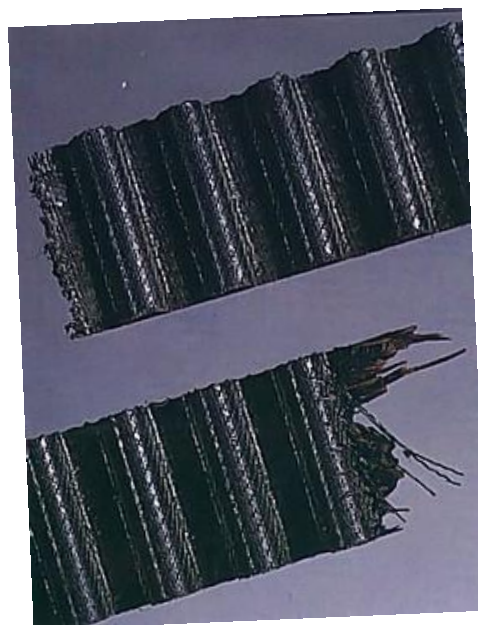
Отказ зупчастог каиша услед замора приказан је на слици 44. То је заморно кидање зупчастог каиша са равним прекидом између два зуба.

Узроци:

Кидање вучног елемента због набирања (савијања), пре, или током монтаже, стварајући поље хабања. Зупчасти каиш који је претерано затегнут може понекад изазвати померање зуба у међузубљу каишника, изазивајући претерану истегнутост, и отказ услед замора.

Решење проблема отказа:

Заменити зупчасти каиш без гњечења или коришћења полуге. Проверити да нема покиданих-укљештених делова каиша који су остали на каишнику. Поставити нови каиш са правилном затегнутошћу и уверити се да затезни механизам правилно функционише.



Слика 44. Кидање зупчастог каиша услед замора

3.6.2. Хабање зуба

Хабање зуба зупчастог каиша је веома уочљиво. Јасно су видљива оштећења зуба при врху (слика 45.), а појављују се и шупљине кроз структуру омотача.

Узроци:

Веома мала затегнутост омогућава каишу кретање ван каишника, проузрокујући локална хабања на ивици погонске стране зуба. Хабање такође може настати због претеране затегнутости, и истезања каиша у појасу међузубља, јер пренапрегнут каиш тежи да склизне са каишника и затезача. Често му претходи отказ услед замора.

Решење проблема отказа:

Поставити нови каиш на правилну затегнутост, омогућавајући затезном механизму правилно функционисање.



Слика 45. Хабање зуба

3.6.3. Смицање (одсецање) зуба

Дешава се, да након отказа зупчастог каиша буде установљено да шест или више зуба на каишу недостају, често уз пуцање у корену зуба, као на слици 46.

Узроци:

Оштећења услед наглог преоптерећења система, насталог услед изненадног отказа гоњеног дела, као што је на пример пумпа за воду. Такође може бити последица мале затегнутости, што омогућава каишу кретање високо на зубе каишника, изазивајући превелике моменте савијања и извијање зуба, до облика (изазивања) пукотине. Такође, лабав, непрописно дотегнут зупчасти каиш проузрокује кочиони момент између каишника и каиша, што доводи до деформације и кидања зуба.



Слика 46. Зупчасти каиша са покиданим зубима

Решење проблема отказа:

Заменити и обезбедити свим деловима погона слободну ротацију, поставити нови каиш на правилну затегнутост, омогућавајући затезном механизму правилно функционисање

3.6.4. Љуштење (издубљење) зуба

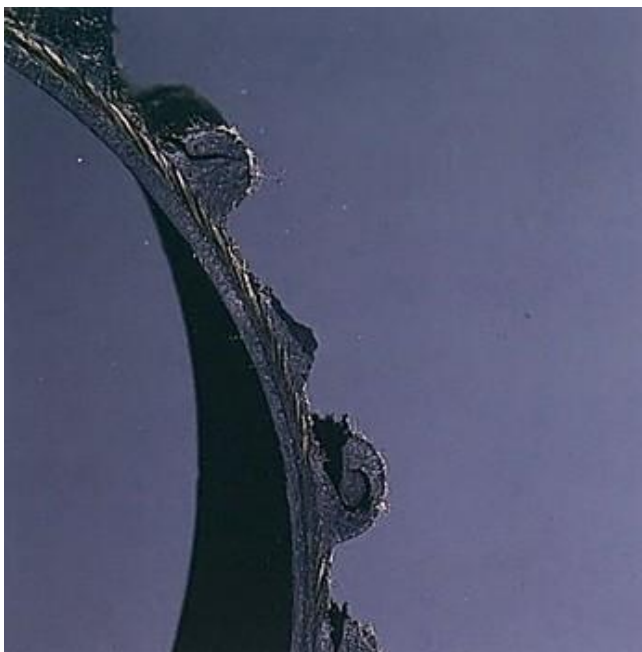
Љуштење зуба проистиче из пукотина корена (слика 47.). Често наступа заједно са одсецањем зуба. Време од мометна деформације до коначног кидања зуба је изузетно кратко.

Узроци:

Веома мала затегнутост зупчастог каиша, која доводи до прескакања каиша преко зуба каишника. Пошто су зуби кашника доста тврђи, долази до великог хабања зуба каиша, и откидања делова зуба.

Решење проблема отказа:

Поставити нови каиш на правилну затегнутост, омогућавајући затезном механизму правилно функционисање.



Слика 47. Љуштење зуба

3.6.5. Хабање појаса међузубља

Хабање, или полирање поља између зуба (слика 48.), понекад доводи до огољења вучних елемената, а такође долази и до полирања врхова трапезоидних зуба каиша.

Узрок:

Узрок може бити претерана затегнутост зупчастог каиша, која изазива хабање на местима налегања на каишник. Такође, узрок оваквог хабања могу бити груби похабани каишници, који буквално „гуле“ материјал каиша.

Решење проблема отказа:

Замена каишника где је неопходно, и постављање новог зупчастог каиша на правилну затегнутост, омогућавајући затезном механизму правилно функционисање.



Слика 48. Хабање међузубља

3.6.6. Пукотине на леђној страни каиша

Понекад се може уочити низ пукотина нагомиланих преко леђне стране гуменог дела зупчастог каиша, као што је приказано на слици 49.

Узроци:

Гума је прегрејана и истрошена, долази до распадања структуре каиша, вероватно услед трења и отказа неког гоњеног елемента као што је пумпа за воду. До сличних оштећења може доћи и због екстремно ниских температура.

Решење проблема отказа:

Проверити све ротирајуће компоненте преко којих зупчасти каиш належа задњом страном, да ли ротирају слободно. Монтирати и подесити нови каиш на правилну затегнутост, омогућавајући затезном механизму правилно функционисање.



Слика 49. Пукотине на леђној страни

3.6.7. Хабање бочних ивица каиша

Претерано хабање или оштећење бочне ивице зупчастог каиша, као што се види на слици 50.

Узроци:

Оштећење прирубнице каишника, размимоилажење каишника и затезача, похабани лежајеви.

Решење проблема отказа:

Заменити неисправне затезаче и каишнике, и обезбедити правилно поравнање каишник - каиш. Преконтролисати евентуална одступања затезача или каишника у односу на раван обртања каиша. Поставити нови каиш на правилну затегнутост, омогућавајући затезном механизму правилно функционисање.



Слика 50. Хабање бочне ивице каиша

3.6.8. Уљна загађеност

Каиш је прљав и има неугодан мирис. Грубе је површине и почиње да се распада (слика 51.). Поклопац разводног механизма је изнутра прљав, мастан и пун ољуштених комадића каиша.

Узроци:

Овакав зупчасти каиш је загађен од дужег контакта са уљем, или дизел горивом. Таква загађеност разбија еластичност гуме, а такође може да се јави отицање материјала, доводећи до других врста отказа. Могуће да је оштећен семеринг или заптивач, па је дошло до цурења уља или масти. Маст или уље могу да потичу и из оштећеног затезача (шпанера). Контаминација уљем доводи до озбиљних промена перформанси зупчастог каиша. Честа је појава да каиш "набубри" од упијене нафте или уља. Тада зуби каиша не налажу идеално на каишник, долази до искакања каиша или померања фазе окретања. Уље и нафта могу доспети и до задњег дела каиша, што такође доводи до омекшавања материјала каиша, и убрзаног скраћења радног века.

Решење проблема отказа:

Отклонити узрок загађења, тј. заменити оштећени заптивач, семеринг или затезач. Спречити даље продирање уља или нафте до зупчастог каиша. Очистити и одмастити све каишнике, затезаче, као и поклопац каишног преноса. Заменити зупчасти каиш, подесити правилну затегнутост и омогућити затезном механизму правилно функционисање.



Слика 51. Зупчасти каиш после дужег контакта са уљем

3.6.9. Страна тела на контактним површинама између каиша и каишника

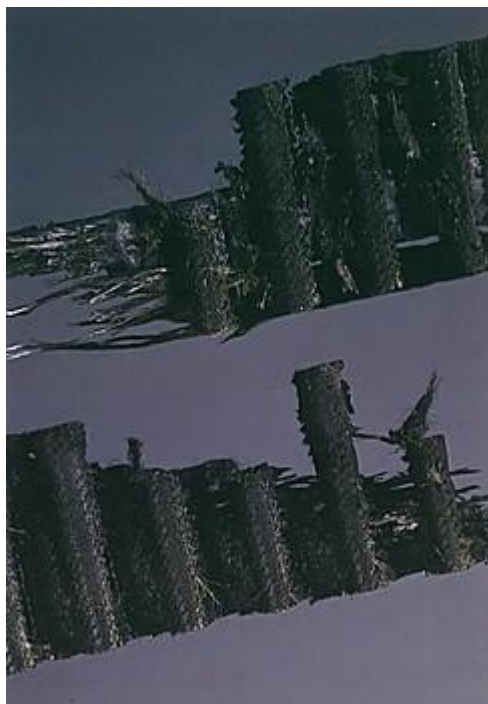
Може се догодити да дође до кидања зупчастог каиша, а да каиш нема ни један од наведених знакова хабања, као што је приказано на слици 52. Међутим, може се установити да је кидање зупчастог каиша настало у савијеној или искрзаној пукотини.

Узрок:

Страни предмет је заробљен између зупчастог каиша и каишника, и изазива истезање и кидање вучног елемента. То може бити страно тело које потиче из радне средине (камен, парче метала, дрвета), а може потицати и од самог система (навртка, вијак, подлошка, па чак и куглица из поквареног лежаја).

Решење проблема отказа:

Пронаћи, уклонити и идентификовати спорни предмет (навртка, вијак, подлошка, камен и сл.). Затим проверити, и ако је потребно извршити поправке на свим осталим оштећеним компонентама, или заменити неопходне делове. Поставити нови зупчасти каиш, подесити прописану затегнутост каиша, и уверити се да затезни механизам, као и све остале компоненте правилно функционишу.

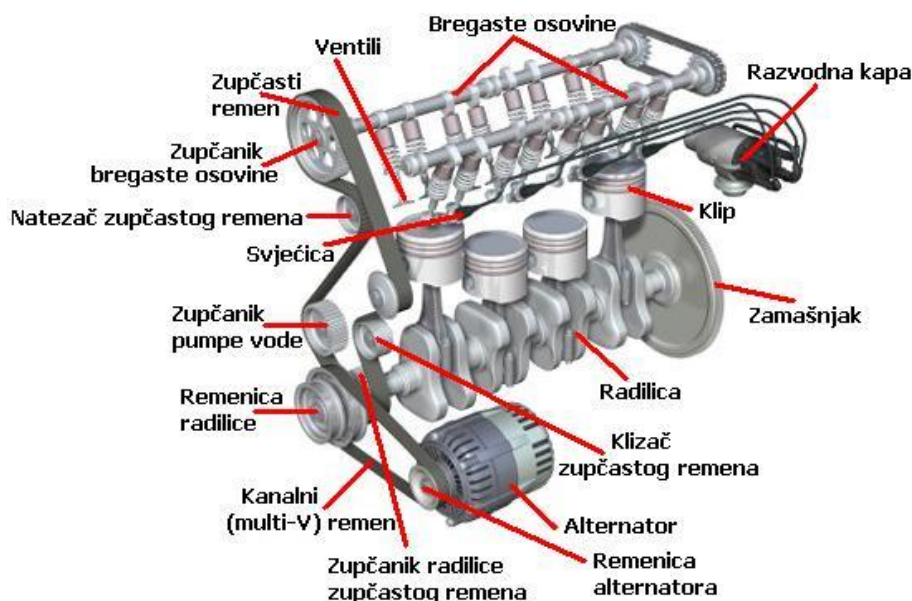


Слика 52. Кидање зупчастог каиша

3.7. Отказ зупчастог каиша код мотора са унутрашњим сагоревањем

Мотор са унутрашњим сагоревањем (слика 53.) је један од система код кога изненадни отказ зупчастог каиша може да проузрокује веома велике последице. Поред тренутног отказа самог мотора, настаје велика хаварија многих његових саставних делова.

Зупчасти каиш повезује радилицу мотора и брегасто вратило, које се налази у глави мотора, и које управља отварањем и затварањем вентила. Код мотора новије генерације уграђују се чак два брегаста вратила. Поред тога, зупчасти каиш покреће и пумпу за уље, пумпу за воду, разводник паљења, а код дизел мотора и пумпу високог притиска. За исправан рад мотора потребно је да време отварања и затварања вентила буде усклађено са кретањем клипова у цилиндрима [5]. Ту усклађеност обезбеђује зупчасти каиш, који током свог радног века не сме да се истегне. То је један од најважнијих склопова на возилу. Уколико овај склоп има макар само један лош део, могуће су штете великих размера.



Слика 53. Мотор са унутрашњим сагоревањем

Зупчасти каиш је у раду готово бешуман, и ствара мањи отпор и механичке губитке од ланца. Он ради потпуно уједначено, за разлику од ланца који има неравномерну обимну брзину. Због свега овога зупчасти каиш остварује мекши пренос снаге потребне за покретање брегастих вратила, и ублажава динамичко оптерећење разводног механизма.

Иако се врло ретко кида или прескаче, ипак му треба посветити посебну пажњу, јер његов квар може довести до великих хаварија на мотору. Приликом кидања или прескакања каиша, долази до сударања клипова и вентила, кривљења вентила (слика 54.). Могућа су уништења лежачева, клипњаче, а понекад и брегастог вратила (слика 55.). Ово се дешава одједном, без најаве, а манифестује се тренутним

гашењем мотора у вожњи. Уколико при стартовању мотора дође до прескакања или кидања каиша, није га могуће стартовати. У оба случаја, возило није у возном стању док се квар не отклони. Међутим, код новијих мотора са унутрашњим сагоревањем клип је конструисан тако да је, у случају отказа зупчастог каиша, избегнуто сударање чела клипа и вентила. Тиме су избегнуте хаварије мотора, али и даље отказ зупчастог каиша проузрокује тренутни отказ целог система.

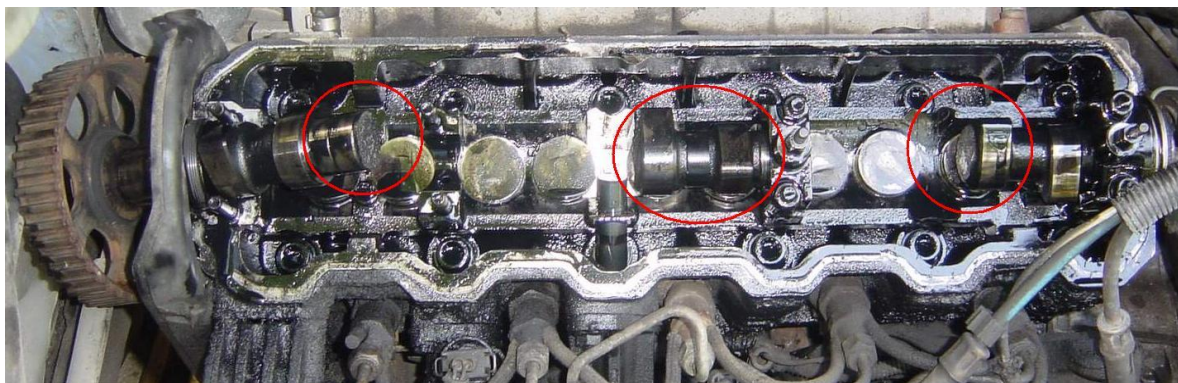
Произвођачи зупчастих каишева, свесни последица које може изазвати изненадни отказ каиша, у својим каталозима и упутствима, поред препорука о руковању и експлатационим условима, наводе и начине како се могу препознати неправилности у раду каиша, могуће узроке који могу довести до отказа, као и начине отклањања тих узрока [9] (слика 56.).

Зупчasti каиш је увек покривен заштитним поклопцем. Он чува каиш од утицаја околине (прашина, вода, лед), али га и чини невидљивим за око власника возила. Зато власник возила не може сам да проверава стање зупчастог каиша, већ то ради у сервису у унапред одређеним временским интервалима.

Због свега наведеног, код многих мотора рок замене каиша је ограничен на 60.000 до 90.000 км, код неких возила и до 120.000 км, а за каишеве новије генерације и до 200.000 км. Тачан интервал контроле и замене зупчастог каиша, за сваки мотор прописује произвођач, и наведен је у Упутству за одржавање возила.



Слика 54. Искривљени вентили - последица кидања зупчастог каиша



Слика 55. Хаварисано брегасто вратило - последица кидања зупчастог каиша

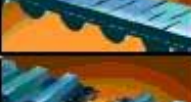


CONTITECH

Power Transmission Group
 Our Drive – Your Success

Dijagnoza problema - rješenje

Zupčasti remeni

Problem i uzrok	Rješenje
Zupčasti remen	
Suka ① Prevelika zategnutost: remen cvrli, zvrdi ② Premala zategnutost: remen udara u pokrov	
Trošenje rubova ① Remen nije dobro centriran: remen udara u rub remenice ② Komponente aksijalno pomaknute, remen se ne može centrirati ③ Rub remenice oštećen ④ Ležajski komponenti imaju preveliku zračnost	
Trošenje korijena zuba ① Remen prejako zategnut ② Remen se pregrijava ③ Istrošena remenica zupčastog remena	
Trošenje rubova zubaca, odvajanje zuba u korijenu i odrezivanje zubaca ① Neodgovarajuća napetost remena ② Strano tijelo u sistemu ③ Blokirani zatezači ili remenici	
Zubi i tkanina odvajaju se od remena ① Propusnost na motoru ili u motornom prostoru (npr. curenje ulja, antifriza itd.)	
Tragovi struganja na zubima ① Strano tijelo u pogonu zupčastog remena ② Oštećenja na zubima remenice zupčastog remena zbog stranim tijelima ili alata prilikom montaže ③ Zupčasti remen oštećen prije ili tijekom montaže	
Pukotine na stražnjoj strani remena ① Previsoka ili preniska radna temperatura ② Strano tijelo ili sredstvo ③ Blokirani kidači ili zatezači ④ Starenje remena	
Zupčasti remen puca ① Strano tijelo u pogonu ② Neželjena sredstva u pogonu ③ Prevelika napetost ④ Oštećenja remena prije ili tijekom montaže	
Defekte komponente sustava ① Zračnost u ležajevima ② Oštećena površina remena	
	

Contitech Antriebssysteme GmbH
 Philipbornstraße 1, D-50185 Hürth
 E-Mail: aum@ptg.contitech.de
 www.contitech.de/aum



Слика 56. Упутство за дијагностику и решавање проблема у раду зупчастог каиша код мотора са унутрашњим сагоревањем фирме "Continental Contitech"

4. ЗАКЉУЧАК

Због својих добрих карактеристика, зупчасти каишни преносници снаге су нашли примену у свим областима индустрије. Најчешће представљају витални део механизма, машина, или машинских система, па су последице отказа ове врсте преносника веома озбиљне. Због тога се изнад свега захтева њихов поуздан рад.

Изненадни отказ зупчастог каиша, поред тога што доводи до потпуног отказа преносника, најчешће и целог система, може довести и до лома и оштећења машина. Последице отказа су вишеструке. Поред последица које настају самим изненадним престанком рада машине или машинског склопа, јављају се и непредвиђени трошкови набавке или израде, и замене оштећених делова машине, који често могу да буду веома велики. Због тога се посвећује велика пажња изучавању различитих облика отказа, да би се спречили, или бар успорили механизми настајања. Многобројна испитивања зупчастих каишева довела су до дефинисања главних узрока изненадних отказа.

Највећи број узрока отказа зупчастог каиша настаје услед неправилности у експлоатацији, и не придржавања мера и препорука датих од стране произвођача.

Најчешће неправилности и грешке су:

- Неправилна монтажа зупчастог каиша
- Неправилна затегнутост зупчастог каиша
- Неадекватна радна средина
- Неадекватно одржавање
- Непридржавање периода замене зупчастог каиша

Под неправилном монтажом се подразумева коришћење неадекватног алата, као и неправилан начин монтаже, што доводи до оштећења вучног елемента каиша, омотача, или чак и самог зуба каиша. Таква оштећења смањују прописани радни век каиша, и доводе до изненадног отказа.

Степен затегнутости зупчастог каиша је такође прописан од стране произвођача. Каиш не сме бити ни лабав, ни превише затегнут. Непридржавање препоручене затегнутости такође може довести до оштећења и хабања зупчастог каиша, што доводи до отказа услед кидања зуба каиша, или самог каиша.

Произвођачи зупчастих каишева прописују и услове радне средине, у смислу степена абразије, влажности, опсега температуре која влада у радној средини итд. Коришћење зупчастих каишева у неадекватној радној средини такође знатно смањује радни век каиша.

Неадекватно одржавање зупчастог каишног преносника снаге, такође може довести до отказа зупчастог каиша. Потребно је редовно одржавање и замена затезача, каишника, лежајева, као и свих елемената које покреће каиш.

Током експлоатације, долази до замора материјала од кога је зупчасти каиш направљен. Уколико се не испоштује рок замене, који је дефинисан радним сатима или пређеним километрима, ствара се ризик од изненадног отказа, који може имати

велике последице и са економског аспекта. Трошкови отклањања последица изненадног отказа зупчастог каиша су много већи него трошкови редовне замене каиша. На пример, трошкови отклањања хаварије на мотору са унутрашним сагоревањем просечног аутомобила, настале изненадним отказом зупчастог каиша, могу да буду и до тридесет пута већи од трошкова редовне замене зупчастог каиша, прописане од стране произвођача.

Дакле, изненадни отказ зупчастог каиша може изазвати веома велике последице. Међутим, придржавање мера и препорука произвођача о условима монтаже, руковања и експлоатације смањује ризик од изненадног отказа зупчастог каиша, и обезбеђује поуздан и безбедан рад машина и машинских склопова.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Танасијевић, С., *Механички преносници*, Машински факултет, Крагујевац, 1994
- [2] Николић, В., *Машински елементи: теорија, прорачун, примери*, Машински факултет, Крагујевац, 2004
- [3] Савић, З., *Машински елементи : чврстоћа зупчаника - каишни преносници - вратила: спојеви вратила и елемената*, Машински факултет, Београд, 1974
- [4] Аљшиц, С., Црнковић, П., и др., *Инжењерско технички приручник*, IV књига, Рад, Београд, 1967
- [5] Клинар, Ј. И., *Мотори са унутрашњим сагоревањем*, Нови Сад : Факултет техничких наука, 2005
- [6] Стојановић, Б., Ивановић, Л., Милорадовић, Н., (2010) *Испитивање зупчастих каишних преносника*, ИМК-14 - Istraživanje i razvoj, vol.16, br.4, str.77-80
- [7] Стојановић, Б., Милорадовић, Н., (2009) *Развој зупчастих каишних преносника*, Mobility and Vehicle Mechanics, vol. 35, br. 2, str. 31-36
- [8] Верига, С., *Машински елементи. Део 3, Преносници, фрикциони преносници, зупчасти преносници*, Машински факултет, Београд, 1993
- [9] Каталог произвођача зупчастих каишева: "Continental Contitech", "Mulco", "Uniroyal"
- [10] <http://www.habatec.net/NewApps/HabaTEC.nsf/b0b6192278faeb63c12570d90035ada5/081309d23b8577a7c125792e0028b355?OpenDocument>
- [11] http://www.ntn-snr.com/autoaftermarket/fr/en-en/index.cfm?page=/autoaftermarket/home/produits/distribution/historique_courroie
- [12] http://hr.wikipedia.org/wiki/Remenski_prijenos#cite_ref-1
- [13] http://www.oktani.com/news.php?subaction=showfull&id=1140869882&archive=&start_from=&ucat=5&
- [14] http://www.contitech.de/pages/produkte/antriebsriemen/kfz-ersatz/docs/PraxisTipps_hr.pdf
- [15] http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/S_Elementi/REMENSKI%20PRIJENOS%20Read-Only.pdf
- [16] http://www.sdp-si.com/web/images/Belt_failure_analysis_Guide.pdf
- [17] <http://www.mlcmotorfactors.co.uk/Trouble%20Tracers/TimingbeltTT.pdf>