

KLASIFIKACIJA EKSPLOATACIJSKIH OŠTEĆENJA ČELIČNIH UŽADI CLASSIFICATION OF IN-SERVICE DAMAGES OF STEEL WIRE ROPES

Stručni članak / Professional paper
UDK /UDC: 620.169.1: [679.74: 669.14
Rad primljen / Paper received: 26.11.2007.

Adresa autora / Author's address:
Institut za ispitivanje materijala IMS, Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, dejan.momcilovic@institutims.co.yu

Ključne reči

- čelik
- žičana užad
- otkaz
- oštećenje

Izvod

Radni vek čeličnih užadi je ograničen zbog promene njihovih svojstava tokom eksploatacije pod dejstvom radnih uslova i opterećenja. Redovni nadzor tokom eksploatacije omogućava kontrolu razvoja oštećenja i normalni proces starenja užadi. Na taj način se obezbeđuje blagovremena zamena užadi i njihova bezbedna eksploatacija. U članku su prikazani i analizirani osnovni oblici oštećenja čeličnih užadi: mehaničko habanje, zamor, korozija, otkaz izazvan preopterećenjem i smicajni lom. Prikupljeni podaci mogu doprineti boljoj konstrukciji dizalice i užeta i poboljšanju postupka održavanja.

UVOD

Čelična užad su potrošni elementi na dizalicama, jer tokom eksploatacije dolazi do promene svojstava užadi, čime je njihov radni vek ograničen. Redovni nadzor uz pravilno izveden pregled i ispitivanje tokom eksploatacije i praćenje normalnog procesa starenja užadi omogućavaju procenu preostalog veka i blagovremenu zamenu užeta. Analiza stanja užadi i oštećenja zbog kojih su povučena iz eksploatacije pruža informacije o dizalici, načinu na koji je operator koristio dizalicu i o integritetu korišćenog užeta. Prikupljeni podaci su značajni za usavršavanje konstrukcije dizalice i sistema užadi, kao i za poboljšanje postupaka održavanja u cilju povećanja sigurnosti u eksploataciji. Predmet ovog članka su osnovni tipovi oštećenja, koji se sreću pri kontroli, ispitivanju i analizi stanja čeličnih užadi u eksploataciji.

Radi lakšeg praćenja teksta prikazana je konstrukcija žičanog užeta, preuzeta iz „Wikipedije“, /1/.

Žičano uže se sastoji od više strukova, spiralno namotanih (‘upredenih’). Na sličan način je svaki struk spiralno namotan od metalne žice, po pravilu od čelične žice.

Čelično uže je specificirano oznakom, koja daje broj žica i broj strukova, kao i podatke o konstrukciji užeta. U datom primeru (sl. 1) oznaka „6×19 FC RH OL FSWR“ pokazuje broj snopova u užetu (6), broj žica u struku (19), vlaknasto jezgro (FC), namotavanje udesno (RH), uobičajeni tip namotavanja (OL) i savitljivo čelično žičano uže (FSWR).

Keywords

- steel
- wire rope
- failure
- damage

Abstract

Service life of steel wire ropes is limited due to change of properties during exploitation under working condition and loads. Regular inspection during operation enables damage development inspection and provides a regular rope ageing process. In this way timely replacement of ropes and safe service is assured. Basic types of steel rope damages (mechanical wear, fatigue, corrosion, failure due to overload and shearing collapse) are presented in the article and analysed. Collecting data can be contribute to better design of lifting equipment and ropes and improved maintenance procedures.

INTRODUCTION

Steel wire ropes are consumable elements of lifting equipment, and during operation the change of rope properties takes place, limiting their operational life. Regular inspection by properly performed rope test and tests during operation and monitoring of the normal rope ageing process enables residual life assessment and timely replacement of ropes. The analysis of rope state and damages that cause their withdrawal from service offers data on the lifting equipment, the way how the operator managed it, and about the integrity of used steel rope. Gathered data are important for the improvement of lifting equipment and steel rope system design, as well as for optimizing maintenance procedures for increased service safety. The subject of this article are basic types of damages met during inspection, testing and analysis of steel ropes in exploitation.

In order to follow the text in an easier way, the wire rope structure is presented, taken from “Wikipedia,” /1/.

Wire rope consists of several strands laid (or 'twisted') together like a helix. Each strand is likewise made of metal wires laid together like a helix, usually steel wires.

Steel rope is specified by a code that indicates the number of wires and strands, and also rope design data. In given example (Fig. 1) the designation “6×19 FC RH OL FSWR” indicates the number of strands in a rope (6), number of wires in a strand (19), fibre core (FC), right-hand lay (RH), ordinary lay (OL) and flexible steel wire rope (FSWR).



Slika 1. Čelično uže 6×19 FC RH OL FSWR i sastavni delovi

Figure 1. Steel rope 6×19 FC RH OL FSWR and structural parts

MEHANIČKO HABANJE

Mehaničko habanje čeličnih užadi nastaje zbog skidanje površinskog sloja materijala pri abraziji. Habanje može biti smanjeno odgovarajućim podmazivanjem. Habanje na velikim dobošima za namotavanje više slojeva može biti smanjeno izborom užeta pogodne konstrukcije. Zbog habanja užeta na koturačama, dobošima i susednim užadima, početni prečnik i početna nosivost će se vrlo brzo smanjivati.

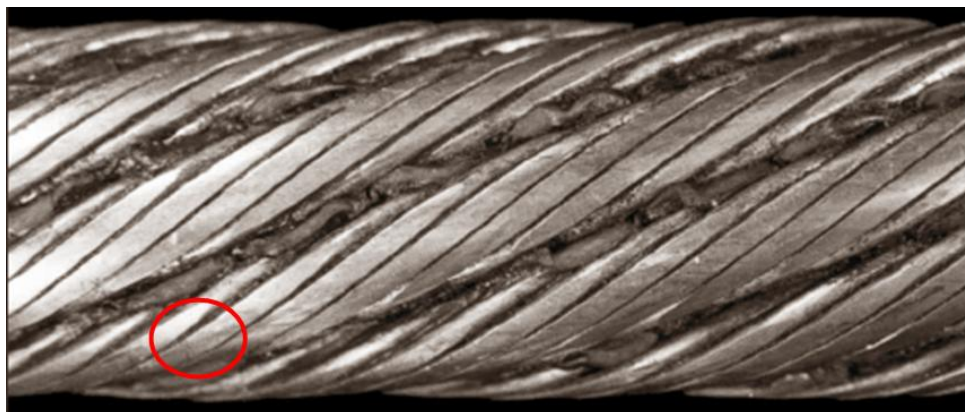
Sve dok je brzina smanjivanja početnog poprečnog preseka usled habanja veća od brzine rasta zamorne prsline, u žicama užeta neće doći do zamornog loma (sl. 2).

Mehaničko habanje ne treba mešati sa plastičnim habanjem. Plastično habanje je intenzivna površinska deformacija materijala, bez ili sa malo gubitka materijala. Slike 3 i 4 pokazuju primere plastičnog habanja.

POJAVA ZAMORA ZBOG SAVIJANJA UŽETA

Zamorne prsline se javljaju zbog savijanja užeta oko vodećih točkova, na mestu kontakta spoljnjih strukova užeta i doboša, odnosno koturače, ili na mestu kontakta između žica unutar pojedinačnog struka. Zamorna prsline, koja je poprečna na uzdužnu osu žice, nastaje tokom rada zbog višestrukog savijanja (sl. 5 do 8).

Zamorne prsline nastaju mnogo češće na mestu kontakta užeta i koturače nego na spoljnjim strukovima koji u trenutku savijanja nisu u kontaktu sa koturačom.



Slika 2. Ravnomerno jako mehaničko habanje spoljnjih strukova užeta bez pojave zamornih prsline na žicama
Figure 2. Uniform intensive mechanical wear of outer strands of steel rope without fatigue fracture of wire.

MECHANICAL WEAR

Mechanical wear of steel wire ropes is caused by the removal of superficial layer of material by abrasion. Wear can be reduced by proper lubricating. Wear on multilayer drums can be reduced by selection of a suitable steel wire rope design. Due to wear over the sheaves, drums or neighbouring rope wraps, initial rope diameter and initial load bearing capacity will be reduced with a high rate.

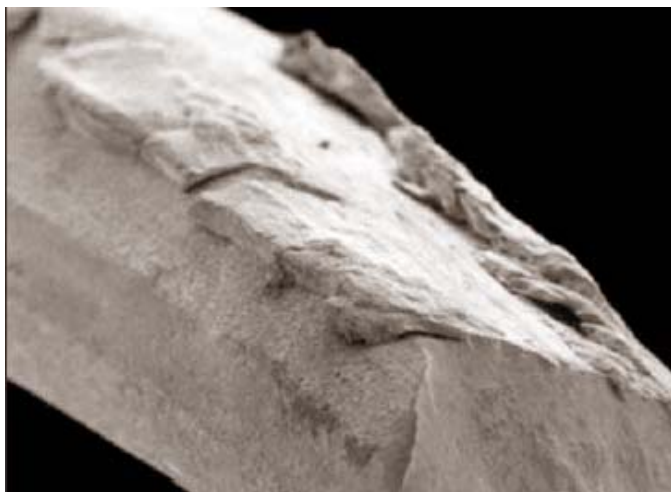
As long as the rate of initial cross section reduction due to wear is higher than the fatigue crack propagation rate, fatigue fracture of rope wires will not develop (Fig. 2).

Mechanical wear must not be confused with plastic wear. Plastic wear is the intensive plastic deformation of material, without or with only little material loss. Figures 3 and 4 present examples of plastic wear.

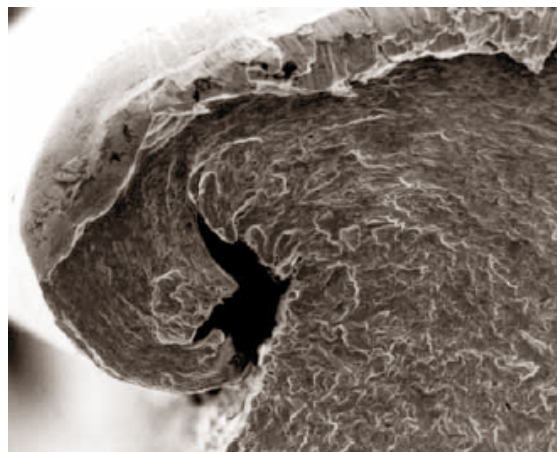
OCCURRENCE OF ROPE FATIGUE BY FLEXION

Fatigue cracks are caused by rope flexion around guiding pulleys, in contact points between the outer rope strands and drum, or sheave in respect, or at contact points between wires inside an individual strand. A fatigue crack that is perpendicular to the wire longitudinal axis, initiates during operation with repeated flexion (Figs. 5 to 8).

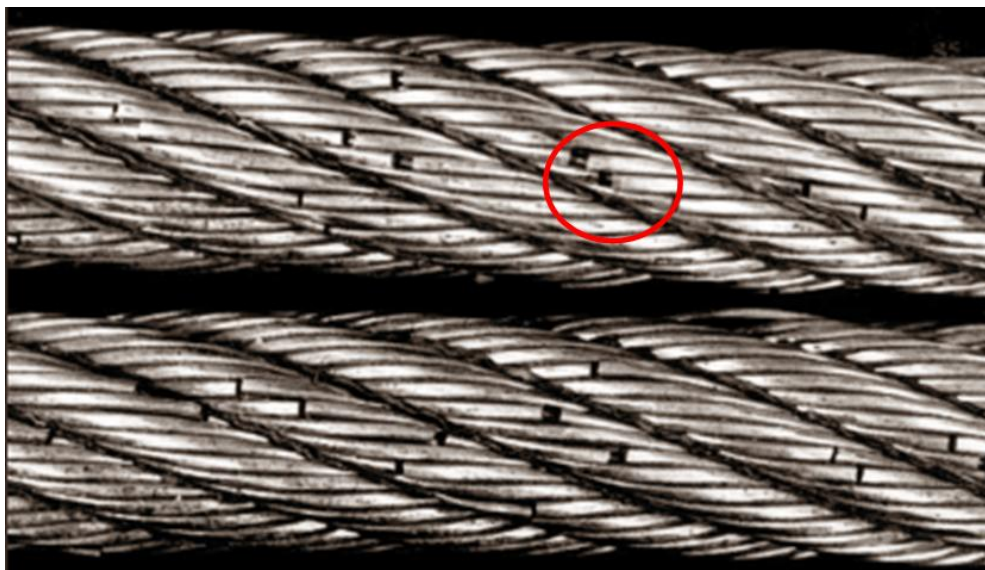
Fatigue cracks occur more often in the contact points between rope and sheave rather than on outer strands which are not in contact with sheave when flexed.



Slika 3. Plastično habanje na površini žica spoljnjih strukova
Figure 3. Plastic wear on the surface of an outer wire of a strand.



Slika 4. Smicanje materijala pri intenzivnom plastičnom habanju spoljnjih strukova
Figure 4. Material shearing at intensive plastic wear of outer strands



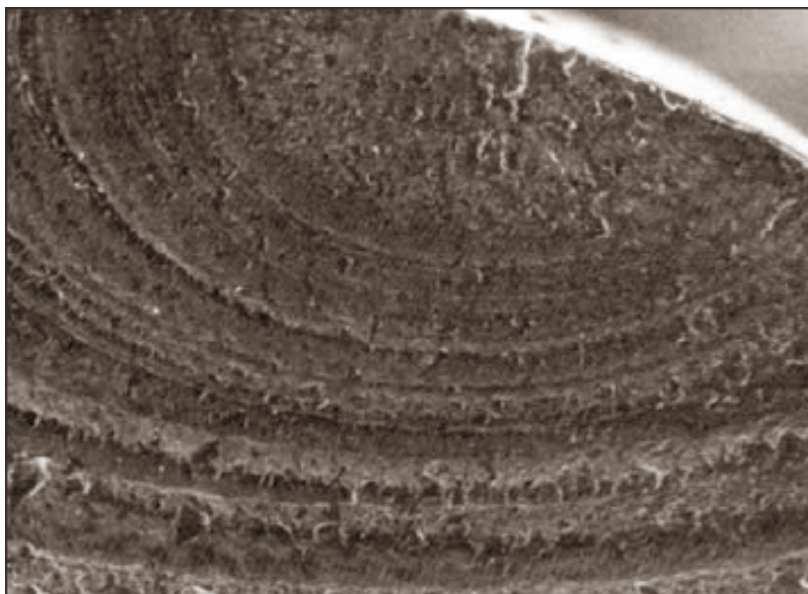
Slika 5. Savojni zamorni lom užeta u spoljnjim strukovima. Raspodela prekinutih žica je slučajna
Figure 5. Flexion fatigue fracture of ropes in outer strands. The distribution of fractured wires is random.



Slika 6. Zamorne prsline na mestu kontakta pojedinačnih žica.
Inicirane prsline se vide nakon kidanja struka zatezanjem.
Figure 6. Fatigue cracks at contact points of individual wires.
Initiated cracks are visible after fracture of strand in tensile test.



Slika 7. Zamorna prsline nastala na mestu dodira žice sa koturačom
Figure 7. Fatigue crack initiated at the contact point with a sheave.



Slika 8. Linije zamora i odmora (strije) oko mesta iniciranja prslina, uvećani detalj sa slike 7
 Figure 8. Fatigue and rest lines (striations) around location of crack initiation, magnified detail from Figure 7.

Otpornost na zamor čeličnih žičanih užadi se povećava povećanjem broja žica i smanjenjem njihovog prečnika na spoljnjim strukovima. Ovo povećanje otpornosti na zamor istovremeno utiče i na smanjenje opornosti užeta na habanje.

Otpornost užeta se istovremeno može povećati prečnikom koturače ili doboša. Dodatno habanje ili korozija će povećati brzinu nastanka i rasta prslina. Odgovarajuće podmazivanje užeta i kontrola podmazivanja u eksploataciji će smanjiti trenje između užeta i vodećih točkova u kontaktu i na taj način povećati otpornost užeta na zamor.

KOROZIJSKA OŠTEĆENJA

Korozija je obično reakcija metala sa kiseonikom. Kod čeličnih užadi se razlikuje atmosferska korozija, koja proizvodi ravnomerni sloj rđe, sl. 9, od lokalizovanih oblika korozije, kao što je piting, koji stvara duboke jamice u oblastima gde je zaštitni sloj oštećen ili nedostaje.

Korodirana čelična užad tokom rada gube čvrstoću i savitljivost. Na korodiranoj površini žice dolazi do lakšeg stvaranja zamornih prslina u odnosu na zaštićenu površinu. Pri visokim lokalnim naponima nastaju prslina od naponske korozije. Obim korozije je u direktnoj vezi sa veličinom površine izložene koroziji, odnosno, reakcije sa kiseonikom. Poređenja radi, čelično uže ima oko 16 puta veću razvijenu površinu u odnosu na čeličnu šipku istog prečnika, i njihova sklonost ka koroziji je znatno veća.

Skлонost ka koroziji se može umanjiti smanjenjem izložene površine, što se može postići galvanskom zaštitom. Plastične prevlake se koriste za zaštitu jezgra užeta. Istovremeno, i unutrašnje i spoljašnje prodmazivanje čeličnog užeta mogu smanjiti ili sprečiti koroziju.

Problem kod užadi je što dolazi do njihovog širenja zbog korozije. Detektovano povećanje prečnika užeta pri pregledu može biti znak da je došlo do početka unutrašnje korozije. Statički opterećena užad su podložnija koroziji u odnosu na užad koja su dinamički opterećena, koja su pokretna na dizalici.

Fatigue resistance of steel wire ropes increases with increase in the number of ropes and a decrease in their diameter in the outer strands. This increase goes along with a decrease in the rope's resistance to wear.

Wire rope endurance can also be increased by increasing sheave or drum diameter. Additional wear or corrosion will increase the rate of crack initiation and growth. Proper rope lubrication and its management in operation will reduce friction between the rope and guiding pulleys, and thus increase rope fatigue resistance.

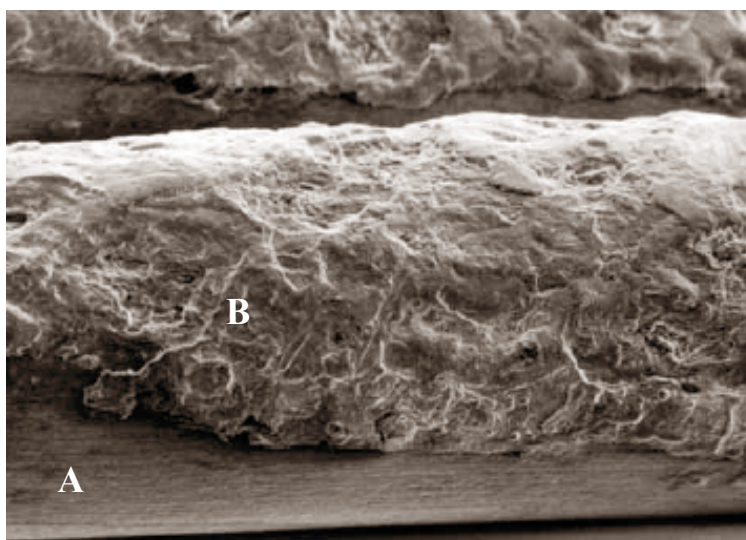
CORROSION DAMAGE

Corrosion in the usual sense is the reaction of metal with oxygen. In steel wire ropes one can distinguish atmospheric corrosion that produces a uniform rust layer, Fig. 9, and localised corrosion such as pitting, creating deep pits in the region where the protective coating is damaged or is missing.

Corroded steel wire ropes will lose their strength and flexibility during operation. Fatigue cracks will initiate much easier on the corroded wire surface than on protected surfaces. At high local stresses, cracks initiate due to stress corrosion. The amount of corrosion is directly related to the surface exposed to corrosion, in respect to the reaction with oxygen. For sake of comparison, a steel wire rope has an exposed surface about 16 times larger than a steel bar of the same diameter and will be much more prone to corrosion.

The susceptibility to corrosion can be reduced by reducing the exposed surface, and can be achieved by galvanic protection. The core can be protected by plastic coating. Simultaneous internal and external lubrication of steel rope may also reduce or prevent corrosion.

The problem with ropes is that they expand when corroded. Detected rope diameter increase at inspection can be a sign of initiation of internal corrosion. Statically loaded ropes are more susceptible to corrosion than ropes dynamically loaded that run on lifting equipment.



Slika 9. Atmosferska površinska korozija „B“ na jednoj žici i deo žice neoštećen korozijom „A“, $\times 100$
Figure 9. Atmospheric surface corrosion “B” on a single wire and an undamaged part of the same wire “A”, $\times 100$.

OTKAZ ZBOG ZATEZNOG PREOPTEREĆENJA

Do otkaza užeta dolazi i kada pri zatezanju zbog preopterećenja dođe do prekoračenja zatezne čvrstoće materijala žice. Lom je tada duktilan, sa izraženim suženjem i karakterističnim konusom klizanja završnog loma (sl. 10).

Do otkaza zbog preopterećenja će doći samo ako je zbirni poprečni presek materijala, izložen kombinovanom zatezanju i smicanju, veći od 50% ukupnog poprečnog preseka materijala užeta.

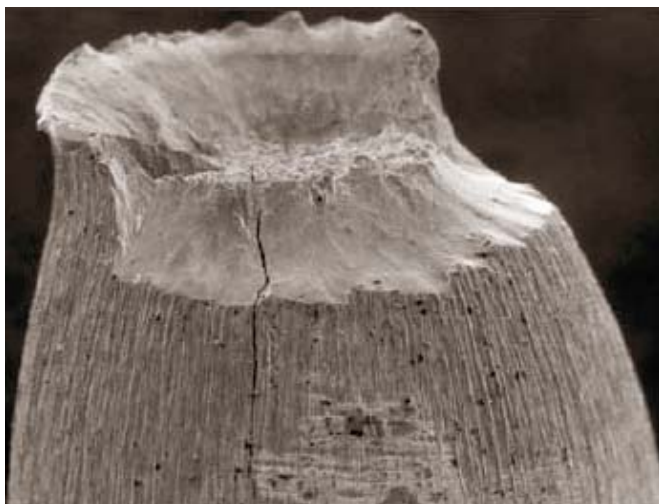
Slike 10 i 11 prikazuju tipične slučajeve loma žice zbog zateznog preopterećenja.

FAILURE DUE TO TENSILE OVERLOAD

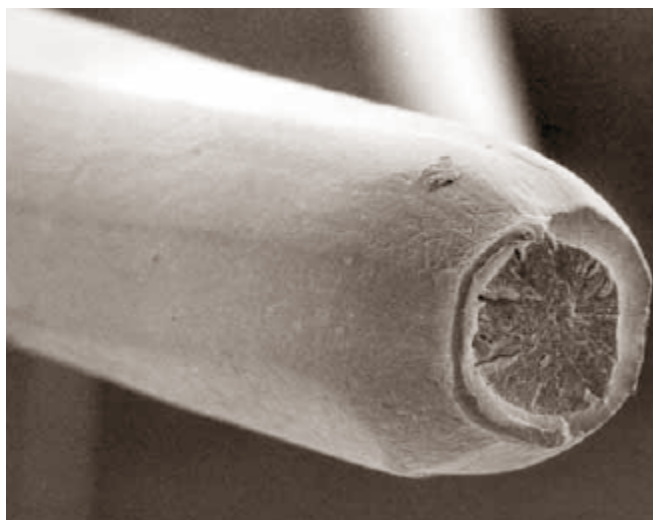
Rope failure will be experienced when the wire ultimate tensile strength is exceeded by tensile overload. Fracture is then ductile, with expressed necking and typical “cup and cone” ends of final shear fracture (Fig. 10).

Failure by overloading will take place only if the material cumulative cross section area, exposed to combined tension and shear, is greater than 50% of the wire rope’s metallic cross section area.

Figures 10 and 11 present typical examples of wire fracture due to tensile overloading.



Slika 10. Tipičan duktilni lom završen konusom smicanja
Figure 10. Typical “cup and cone” ductile fracture by shear.



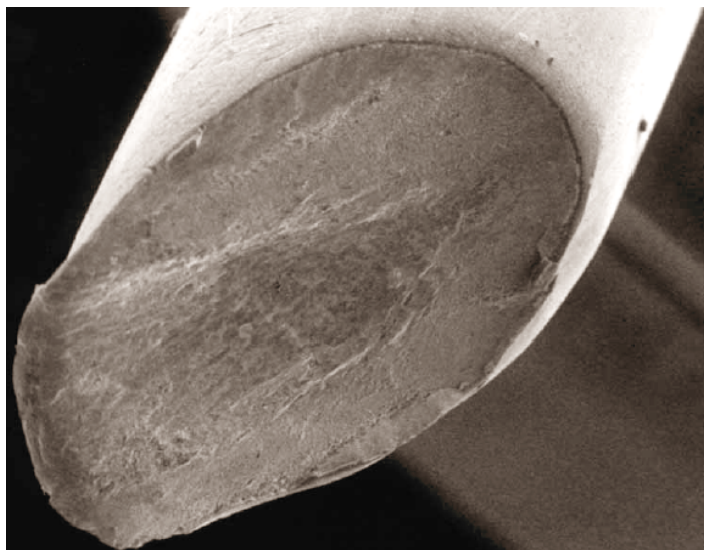
Slika 11. vidljivo suženje na mestu peloma zatezanjem
Figure 11. Visible contraction at fracture in tension.

SMICAJNI LOM

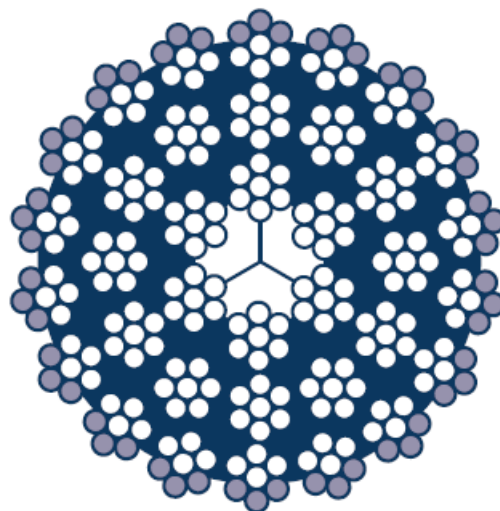
Smicajni lom se najčešće javlja kao kombinacija visokih zateznih napona i istovremenog dejstva sile upravne na strukove. Prelomna površina je pod uglom bliskim uglu od 45° u odnosu na uzdužnu osu žice, u pravcu maksimalnog tangencijalnog napona, sl. 12.

SHEAR FRACTURE

Fracture by shearing is most often experienced as combined tensile stress and simultaneous action of load perpendicular to strands. The fractured surface is at an angle close to 45° relative to the axial wire axis, in the direction of maximal shear stress, Fig. 12.



Slika 12. Tipičan lom žice smicanjem pod uglom od oko 45°, u pravcu maksimalnih tangencijalnih napona
Figure 12. Typical wire fracture by shear at about 45° in the direction of maximum shear stresses.



Slika 13. Samo 20% spoljnjih žica užeta se može ispitati vizuelno (svetlo sivo), dok 80% ostaje neispitano
Figure 13. Only 20% of rope outer wires can be visually inspected (light gray), while remaining 80% are not.

DISKUSIJA

Tokom vizuelnog pregleda moguće je utvrditi samo stanje vidljivih delova spoljnjih žica. Međutim, površina poprečnog preseka spoljnjih žica predstavlja samo oko 40% ukupnog poprečnog preseka užeta. Zbog upredanja je samo polovina dužine spoljnjih žica vidljiva pri pregledu, sl. 13. Na osnovu toga se može zaključiti da je za vizuelni pregled dostupno samo oko 20% ukupnog poprečnog preseka žica užeta. Za preostalih 80% poprečnog preseka moguća je samo procena stanja, pre čemu se mogu očekivati manja oštećenja jer je njegov položaj zaštićen.

Ipak, vrlo često vidljivih 20% poprečnog preseka izgleda dobro, dok je veliki broj prekinutih žica u užetu skriven u unutrašnjosti. Čelična užad sa unutrašnjim prekidima žica bez ikakvog znaka oštećenja na površinskim strukovima predstavljaju vrlo opasan slučaj.

ZAKLJUČAK

Čelična užad dizalica su izložena nepovoljnim uslovima eksploatacije i velikom opterećenju tokom rada, zbog čega dolazi do prikazanih vidova oštećenja. Važno je da se spreči pojava katastrofalnih otkaza, pa se stanje užadi mora neprekidno kontrolisati.

To je osnovni razlog zbog kojeg kontrola užadi mora biti stalna, od trenutka prijema materijala, tokom ugradnje i naročito tokom rada dizalice.

LITERATURA – REFERENCES

1. Wire rope, from "Wikipedia", the internet free encyclopedia
2. ASM CD ROM Failure Analysis, ASM International 1996.
3. Dieter, G.E., Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition McGraw-Hill, 1988.
4. Brooks, C., Choudry, A., Metallurgical Failure Analysis, McGraw-Hill, 1993.
5. CASAR Steel Wire Ropes, CASAR 1999.

DISCUSSION

During visual inspection of rope it is possible to assess only the condition of visible parts of the outer wires. The metallic cross-section of outer wires, however, presents only about 40% of total cross-section of rope. Due to the lay, only half of outer wire length is visible (Fig. 13). Based on that, one can conclude that during visual inspection only about 20% of total metallic cross-section area of rope wires is accessible. Only the state can be evaluated for the remaining 80% cross section area, and one may expect less damage because of their sheltering location.

Quite often, however, the visible 20% of cross-section appears to be in good condition, while a large number of fractured wires are concealed within the rope. Wire ropes with internal wire fractures and no external sign of superficial strand damage are the case of extreme danger.

CONCLUSION

Steel ropes in lifting equipment are exposed to inconvenient conditions and high loads during operation, and the presented types of damage take place. It is important to prevent the occurrence of catastrophic failures, and the state of the rope has to be continuously inspected.

That is the main reason why rope inspection must be constant, beginning with material acceptance, during assembly and particularly during operation of the lifting equipment.