

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

Stručni članak / Professional paper
UDK /UDC:
Rad primljen / Paper received: 26.11.2007.

Adresa autora / Author's address:
Institut za ispitivanje materijala IMS, Bulevar vojvode
Mišića 43, 11000 Beograd,

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. Redovan nadzor tokom eksploatacije omogućava kontrolu razvoja oštećenja i normalni proces starenja užadi. Na taj način se obezbeđuje blagovremena zamena užadi i 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. Redovan 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 vikipedije /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 "6x19 FC RH OL FSWR" pokazuje broj snopova u užetu (6), broj žica u struku (19), vlaknasto jezgro (FC), namotavanje u desno (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 their properties during exploitation under working condition and loading. Regular inspection during service enables damage development examination and regular rope ageing process. In this way the timely replacement of ropes and safe service can be assured. The basic types of steel ropes damage (mechanical wear, fatigue, corrosion, failure due to overloading and shearing collapse) are presented in the article and analyzed. Collecting data can contribute to better design of lifting equipment and ropes and to improved maintenance procedure.

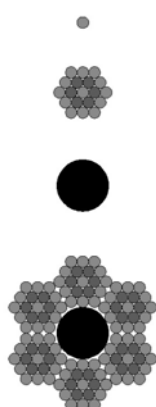
INTRODUCTION

Steel wire ropes are consumable elements of lifting equipment, since during service the change of ropes properties took place, limiting their service life. Regular inspection by properly performed ropes examination and testing during service and monitoring of normal rope ageing process enable residual life assessment and timely replacement of the rope. The analysis of rope state and damages that caused their exclusion from service offers the data about the lifting equipment, the way how the operator managed it and about used steel rope integrity. Gathered data are important for the improvement of lifting equipment and steel ropes system design, as well as the optimizing of 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 service.

In order to follow the text in an easier way construction of wire rope 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, which indicates number of wires and strands, and also rope design data. In given example (Fig. 1) the designation "6x19 FC RH OL FSWR" indicates 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 i sastavni elementi

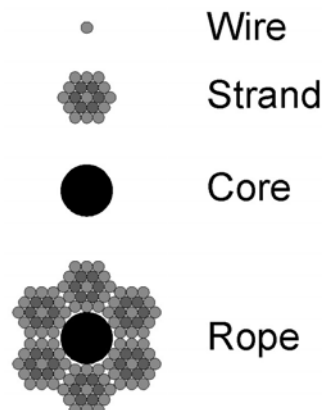


Figure 1. Steel rope and structural elements

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.

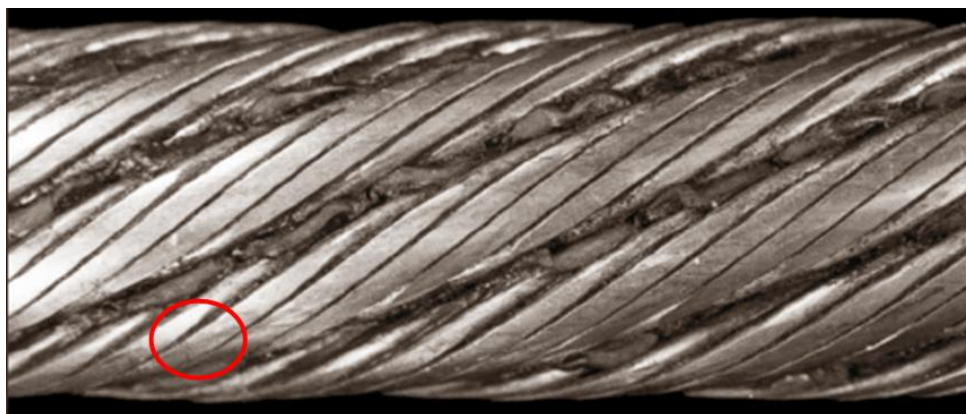
Sve dok je brzina smanjivanja početnog poprečnog preseka usled habanja veća od brzina raste zamorne prsline u žici užetu neće doći do zamornog loma (sl. 2).

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 in 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 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.

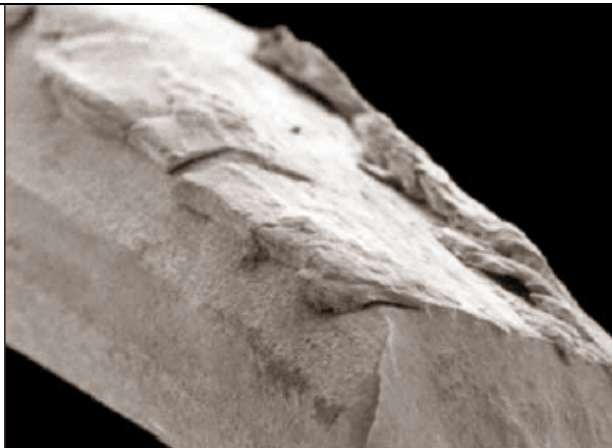
As long as the rate of initial cross section reduction due to wear is higher than the fatigue crack propagation rate, fatigue fracture of rope wires will not develop (Fig. 2).

Mechanical wear must not be confound 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.

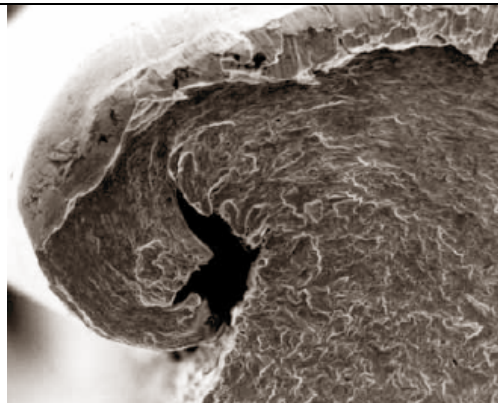
OCCURRENCE OF ROPE FATIGUE BY FLEXION

Fatigue cracks occur caused by rope flexion around guiding pulleys, in the contact points between the outer rope strands and drum, respectively sheave, or in the contact points between wires inside individual strand. Fatigue crack, which is perpendicular to wire longitudinal axis, initiates during operation with repeated flexion (Fig. 5 to 8).

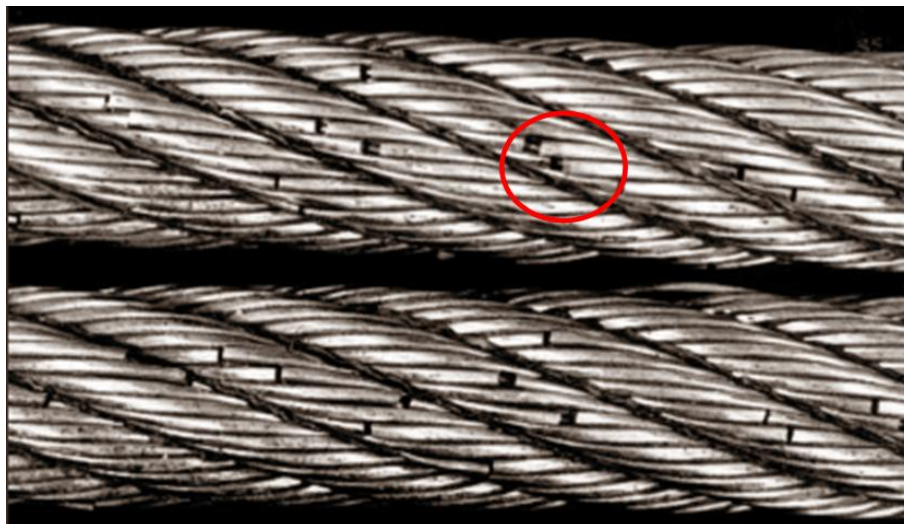
Fatigue cracks occur more often in the contact points between rope and sheave rather than on outer strands which are not in contact with sheave when are flexed



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



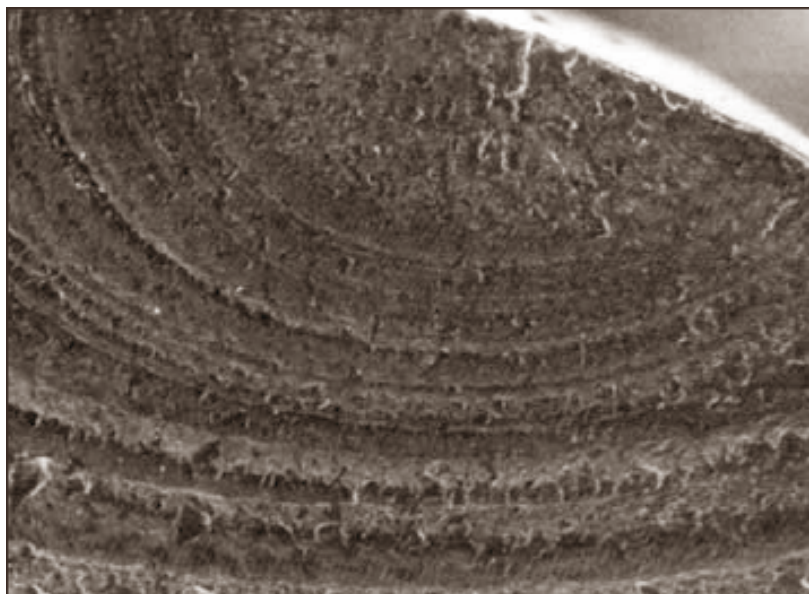
Slika 5. Savojni zamorni lom užeta u spoljnjim strukovima. Raspodela prekinutih žica je najčešće slučajna
Figure 5. Flexion fatigue fracture of ropes in outer strands. The distribution of fractured wires is typically random



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



Slika 7. Zamorna prslina 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 prsline, uvećani detalj sa slike 7

Figure 8. Fatigue and rest lines (striation) around position 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 prsline. 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 prsline u odnosu na zaštićenu površinu. Pri visokim lokalnim naponima nastaju prsline od naponske korozije. Obim korozije je u direktnoj vezi sa veličinom površine izložene koroziji, odnosno reakciji 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.

Sklonost ka koroziji se može umanjiti smanjenjem izložene površine, što se može postići galvanskom zaštitom. Plastična prevlake se koriste za zaštitu jezgra užeta. Istovremeno, i unutrašnje i spoljnje prodmazivanje čeličnog užeta mogu smanjiti ili sprečiti korozije.

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.

The fatigue resistance of steel wire ropes increases with increasing number of ropes and decreasing their diameter in the outer strands. This increase goes along with a reduction 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 control during service will reduce the friction between the rope and guiding pulleys, increasing rope fatigue resistance.

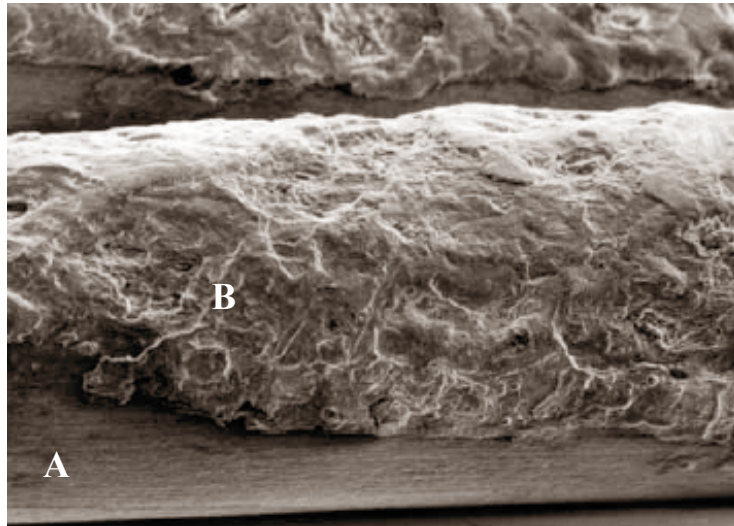
CORROSION DAMAGE

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

Corroded steel wire rope will lose during operation its strength and flexibility. On the corroded wire surface fatigue cracks will initiate much easier 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, respectively to reaction with oxygen. For comparison, 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, what can be achieved by galvanic protection. The core can be protected by a plastic coating. Simultaneously, an internal and external lubrication of steel rope can also reduce or prevent corrosion.

The problem with ropes is that it expands when corroded. Detected rope diameter increase during examination can be a sign of the initiation of internal corrosion. Statically loaded ropes are more susceptible to corrosion than dynamically loaded ones, which are running in the lifting equipment.



Slika 9. Atmosferska površinska korozija B na jednoj žici i deo žice neoštećen korozijom A, x100
Figure 9. Atmosphere surface corrosion.B on the single wire and undamaged part of the same wire A. x100

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.

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.

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. 12. 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.

FAILURE DUE TO TENSILE OVERLOADING

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

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

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

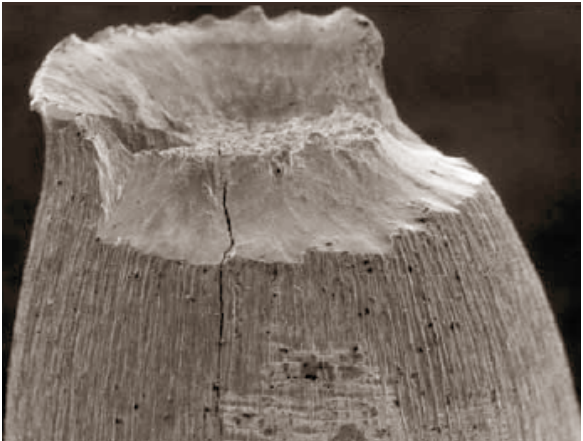
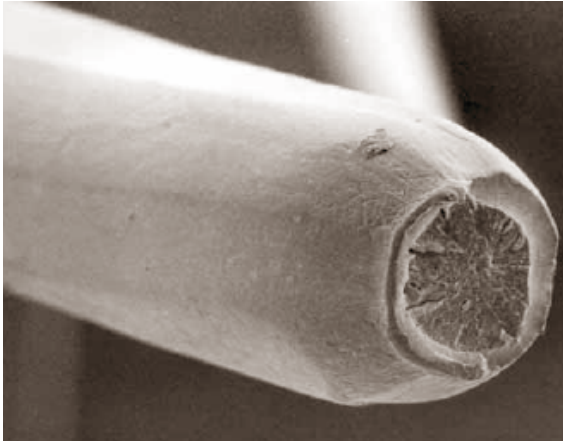
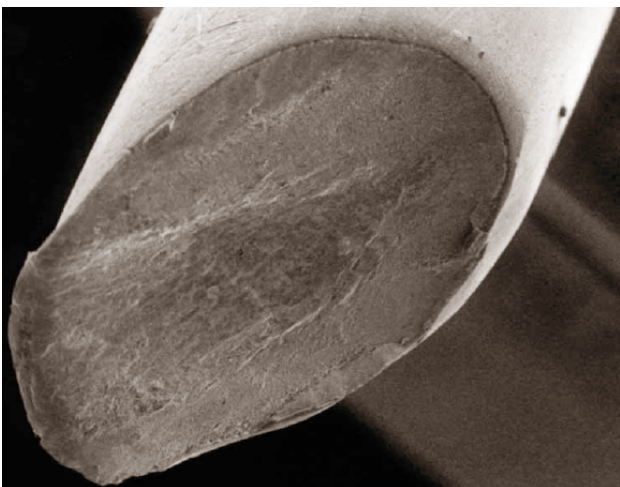
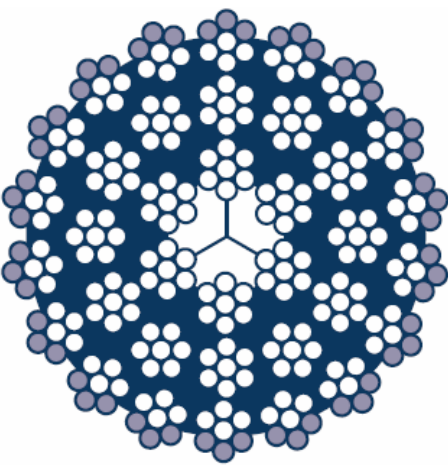
SHEAR BREAKS

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

DISCUSSION

During a rope visual examination it is possible to assess only the condition of the outer wires visible parts. The metallic cross-section of the outer wires, however, presents only about 40% of total cross-section of a rope. Due to lay procedure only one half of the outer wires length is visible (Fig. 12). Based on that one can conclude that during a visual examination only about 20% of total metallic cross-section of rope wires is accessible. For the rest 80% of cross section only the evaluation of state is possible, and one can expect less damage being protected by position.

Quite often, however, the visible 20% of the cross-section seems to be well, while a great number of wire fractures are concealed in the inner of the rope. Wire ropes with internal wire fractures and no external sign of superficial strand damages present the case of extreme danger.

	
<p>Slika 10. Tipičan duktilni lom završen konusom smicanja Figure 10. Typical “cup and cone” ductile fracture by shear</p>	<p>Slika 11. Vidljivo suženje na mestu peloma zatezanjem Figure 11. Visible contraction at fracture in tension</p>
	
<p>Slika 12. Tipičan lom žice smicanjem pod uglom od oko 45° Figure 12. Typical wire fracture by shearing under about 45°</p>	<p>Slika 13. Spoljnje žice užeta se mogu ispitati vizuelno samo 20% (žice na slici obojene sivo) dok 80% osnate neispitano Figure 13. Rope outer wires can be visually examined 20% only (wires marked gray) while 80% remained un-examined</p>

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.

Upravo zato kontrola užadi mora biti stalna od trenutka prijema materijala, tokom ugradnje i naročito tokom rada dizalice.

LITERATURA - REFERENCES

1. Wire rope, Internet, From Wikipedia, the free encyclopedia
2. ASM CD ROM Failure Analysis, ASM International 1996
3. Dieter, G.E. „Mechanical Metallurgy“, SI Metric Edition McGraw-Hill, 1988

CONCLUSION

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

Therefore rope examination must be permanent from the material acceptance control, during assembling and specially during lifting equipment operation.

4. Brooks, C, Choudry, A, „Metallurgical Failure Analysis“, McGraw-Hill Ins, 1993
5. CASAR Steel Wire Ropes, CASAR 1999