

## PORUŠITEV PRIŽEMKE, IZDELANE IZ JEKLA Ck35

### FRACTURE OF A CABLEWAY CLAMP

**Boris Arzenšek<sup>1</sup>, Dimitrij Kmetič<sup>1</sup>, Janez Saksida<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup> Inštitut za varstvo pri delu in varstvo okolja Maribor p.o., Valvasorjeva 73, 2000 Maribor, Slovenija  
boris.arzensek@imt.si

*Prejem rokopisa - received: 2002-08-22; sprejem za objavo - accepted for publication: 2002-11-18*

V delu smo opisali rezultate preiskave prižemke enosedežne žičnice, ki se je v zelo slabih zimskih vremenskih razmerah porušila in s sedežem odpadla s transportne vrvi. Prižemka je bila izdelana iz jekla Ck35. Cilj dela je bil ugotoviti vzrok za porušitev jekla. Mehanske lastnosti jekla preskušane prižemke smo ocenjevali z ugotavljanjem žilavosti po Charpyju in nateznim preskusom pri nizki temperaturi, mikrostrukturo jekla pa z metalografsko preiskavo ter preiskavami prelomne površine prižemke s SEM.

Ugotovili smo, da je imelo jeklo preiskovane prižemke grobozrnato feritno-perlitno mikrostrukturo, prelom jekla pa je bil krhek. Žilavost jekla pri temperaturi -20 °C je bila 5 J. Z nateznim preskusom pri tej temperaturi smo ugotovili, da ima jeklo pri počasni natezni obremenitvi še deformacijske sposobnosti, ki zagotavljajo, da pri normalnem obratovanju žičnice ne bi prišlo do porušitve s krhkim prelomom jekla. Iz oblike preloma prižemke in deformacije drugih delov prižemke, izdelanih iz enakega jekla, smo ugotovili, da je do porušitve prižemke prišlo zaradi delovanja velike kratkotrajne upogibne obremenitve in ne zaradi utrujenosti jekla.

Ključne besede: jeklo Ck35, lom jekla, žilavost, natezni preskus, mikrostruktura

In this study we looked at a highway clamp that was broken during stormy weather and fell from a transport rope. The clamp was made of Ck35 steel. The aim of the work was to find the cause of the clamp's failure. The mechanical properties of the steel were estimated using Charpy impact and tensile tests, and the metallographic properties by microstructural and SEM investigations of the broken surface.

The steel clamp had a coarse-grained ferritic-pearlitic microstructure. The impact toughness of the steel at low temperature was 5J, and the fracture surface was brittle. From the results of the tensile test we determined, that the steel has particular deformation characteristics for slowly applied tensile loads. Under these conditions the steel is not brittle and its deformation characteristics are good enough to transfer the loads during the normal working conditions of a cableway without the possibility of brittle fracture of the clamp steel. From the shape of the fracture surface and the deformations of other clamp parts, made of the same steel, we determined that the clamp fracture occurred during very large and rapid dynamic bend loadings of the clamp and not during fatigue fracture of the steel.

Key words: Ck35 steel, steel fracture, toughness, tensile test, microstructure

## 1 UVOD

Prižemka je konstrukcijski del žičnice, ki povezuje sedežno obešalo z nosilno, vlečno vrvo žičnice. Med obratovanjem je obremenjena z nateznimi, upogibnimi in torzijskimi obremenitvami pri temperaturah, ki so v zimskem času lahko tudi nižje od -20 °C. Starejše prižemke so izdelane iz konstrukcijskih jekel (ogljčnih jekel za poboljšanje) Ck35 in Ck45, novejše pa iz legiranih jekel za poboljšanje, največkrat iz jekla 42CrMo4 (VCMo140 ali podobno).

Mehanske lastnosti jekla za izdelavo prižemk ugotavljamo po veljavnih predpisih s preskusom udarne žilavosti po Charpyju pri temperaturi -20 °C ali pa -30 °C. Po naših predpisih naj bi imelo jeklo prižemke pri temperaturi -20 °C žilavost najmanj 27 J, avstrijski predpisi pa navajajo, da žilavost jekla prižemk, pri temperaturi preskušanja -30 °C, ne sme biti nižja od 40 J. Navedena žilavost se v avstrijskih predpisih nanaša na legirana poboljšana jekla.

Konstrukcijski jekli Ck35 in Ck45 imata drugačne lastnosti kot legirana jekla za poboljšanje. Jekli uporab-

ljamo v poboljšanem ali normaliziranem stanju za izdelavo bolj obremenjenih delov v strojogradnji. Ker sta slabo prekaljivi, se lahko njihove lastnosti v poboljšanem stanju precej razlikujejo po preseku izdelka. Izpostavljeni sta tudi krhkemu lomu. V osnovi jekli nista namenjeni za uporabo pri nizkih temperaturah, zato v standardu, ki predpisuje njune mehanske lastnosti (EN 10083-1), ni navedene žilavosti pri nizki temperaturi. Žilavost jekel je navedena le za preskušanje pri sobni temperaturi. Za jeklo Ck35 v poboljšanem stanju mora biti pri sobni temperaturi najmanj 35 J, za jeklo Ck45 pa najmanj 25 J.

V tem delu smo predstavili preiskave žičniške prižemke, ki se je v zelo slabih zimskih vremenskih razmerah, pri zelo močnem vetru in nizki temperaturi, pri katerih pa žičnica ni obratovala, prelomila in odpadla z vrvi žičnice. Prižemka je bila narejena iz jekla Ck35. Namen preiskave je bil ugotoviti vzrok za prelom prižemke, ugotoviti mehanske in mikrostrukturne lastnosti jekla prižemke in oceniti primernost prižemk, izdelanih iz jekla Ck35, za nadaljnjo uporabo.

## 2 EKSPERIMENTALNI DEL IN REZULTATI

Videz preiskovane prižemke, ki se je prelomila na prehodu iz telesa v ležajni čep, je na **sliki 1**, na **sliki 2** pa obe prelomni površini. Prelomna površina na telesu prižemke je korodirana, ker je del po prelomu odpadel z žičniške vrvi in dalj časa ležal na prostem pod žičnico.

### 2.1 Mehanske lastnosti jekla

Mehanske lastnosti jekla prižemke smo ugotavljali s preskusom žilavosti po Charpyju in nateznim preskusom. Izmerili smo tudi trdoto jekla po Vickersu. Preskuse žilavosti in natezne preskuse smo naredili v skladu s standardoma SIST EN 10025-1 in SIST EN 10002-1. Preskušance za ugotavljanje žilavosti in natezne preskuse smo izdelali iz spodnjega, odlomljenega dela prižemke. Zaradi majhne količine jekla smo mehanske preskuse naredili le pri temperaturi  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , trdoto jekla pa izmerili pri sobni temperaturi. Rezultati preskusov so v **tabeli 1**.

### 2.2 Kemijska sestava jekla

Vzorec za kemijsko analizo jekla smo odvzeli prav tako iz spodnjega dela prižemke, naredili pa smo jo na optičnem emisijskem spektrometru. Iz rezultatov je razvidno, da je bila prižemka izdelana iz jekla Ck35.

Kemijska sestava jekla preskušane prižemke v masnih deležih (%):

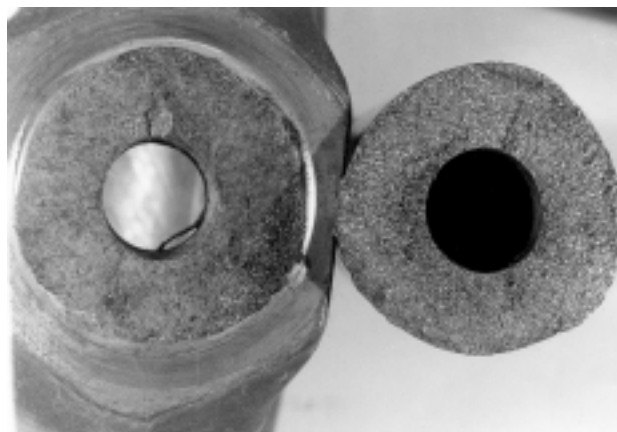
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
0,35	0,20	0,57	0,026	0,010	0,15	0,01	0,04	0,02	0,02



**Slika 1:** Porušena prižemka  
**Figure 1:** Investigated clamp

**Tabela 1:** Rezultati mehanskih preskusov jekla preiskovane prižemke

Vzorec	Nap. teč. $R_{p0,2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Trdnost $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	Razteznost $A$ (%)	Kontrakcija $Z$ (%)	Žilavost (J) KV (-20 °C)	Trdota HV5
Jeklo prižemke	391	724	17	39	5	207



**Slika 2:** Prelomni površini prižemke  
**Figure 2:** Fracture surfaces of the clamp

### 2.3 Metalografska preiskava jekla

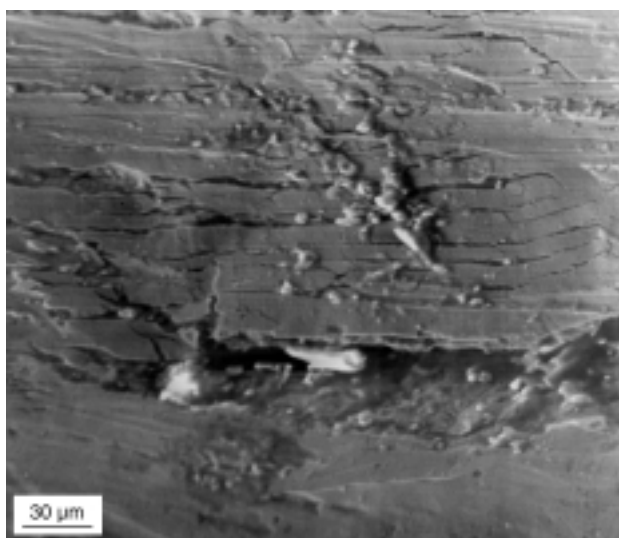
Metalografsko preiskavo jekla prižemke smo naredili na vzorcu, izrezanem ob prelomu spodnjega dela prižemke. Mikrostruktura jekla je prikazana na **sliki 3**. Jeklo ima grobozrnato feritno-perlitno mikrostrukturo, ki je nastala med ohlajanjem prižemke po kovanju. Ferit se pojavlja predvsem po mejah perlitnih zrn (alotriomorfni ferit). Na desnem robu mikroposnetka je opazna tudi transkristalna razpoka, ki poteka preko več kristalnih zrn.

### 2.4 Preiskava prelomne površine prižemke

Na **sliki 4** je prikazana zunanja površina prižemke na mestu začetka razpok. S posnetka je razvidno, da je na



**Slika 3:** Mikrostruktura jekla prižemke ob prelomni površini; ferit in perlit  
**Figure 3:** Microstructure of steel on the fractured surface of the clamp: ferrite and perlite



**Slika 4:** Površina prižemke z začetki razpok  
**Figure 4:** Surface of the clamp with initial crack

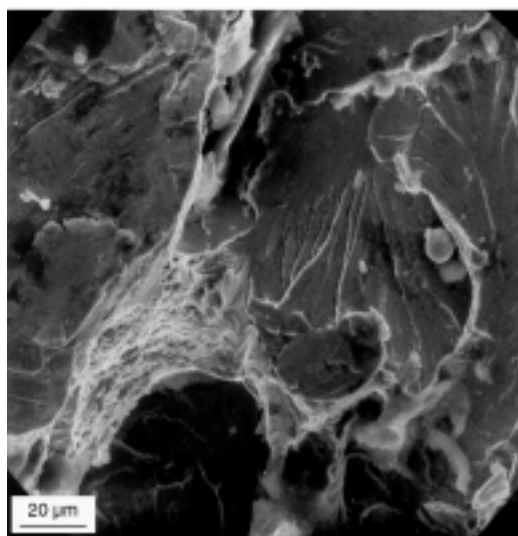
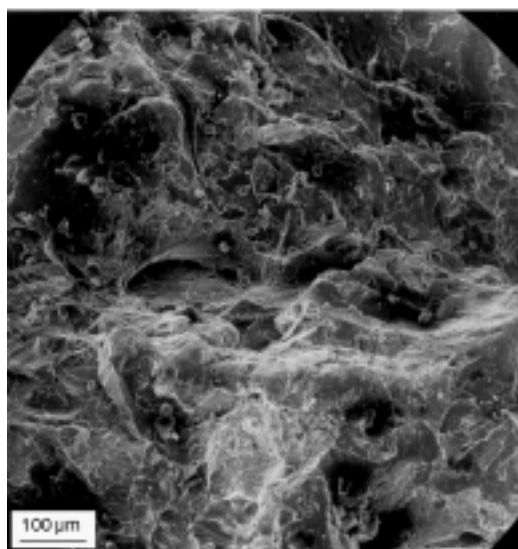
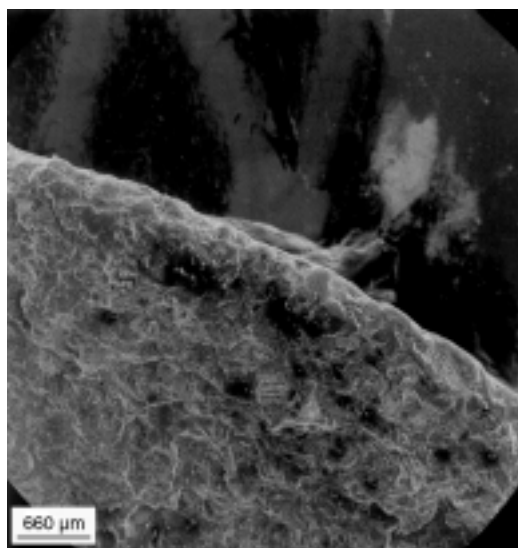
površini nastalo več razpok, od katerih se je ena razširila v prelom. S SEM smo pregledali celotno prelomno površino in ugotovili, da je večina loma nastala s cepilnim krhkim lomom, približno 5 % površine pa je jamičasto duktilne. Ker je oblika loma po celotni prelomni površini enaka, smo na **sliki 5** prikazali le SEM-posnetke na mestu pričetka loma.

### 3 DISKUSIJA

Iz rezultatov mehanskih lastnosti preiskovane prižemke in ocene prelomne površine smo ugotovili, da ima jeklo prižemke pri temperaturi preskušanja  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  zelo majhno žilavost, ki je le 5 J. Tako žilavost dobimo pri hitri udarno upogibni obremenitvi jekla, ki pa ni povsem primerljiva z dejanskimi obremenitvami, ki nastopajo pri normalnem obratovanju žičnice. Iz omenjenega razloga smo mehanske lastnosti jekla ocenjevali tudi iz rezultatov nateznega preskusa pri počasni (ne udarni) natezni obremenitvi, ki je bolj primerljiva z obremenitvami pri normalnem obratovanju žičnice.

Iz rezultatov nateznega preskusa jekla preiskovane prižemke je razvidno, da ima jeklo pri temperaturi  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  napetost tečenja  $391\text{ N/mm}^2$  in trdnost  $724\text{ N/mm}^2$ . Iz razlike med omenjenima napetostima, zadovoljivega raztezka (17 %) in kontrakcije (39 %) je razvidno, da ima jeklo pri natezni obremenitvi določene deformacijske sposobnosti. Jeklo pri počasni obremenitvi torej ni krhko, njegove deformacijske sposobnosti pa so tolikšne, da pri normalnem obratovanju žičnice ne bi prišlo do krhkega loma jekla.

Iz analize rezultatov mehanskih preiskav jekla prižemke je razvidno, da do loma prižemke ni prišlo pri normalnih pogojih obratovanja žičnice. Oblika loma (krhki lom) in deformacija jekla ob prelomu nam



**Slika 5:** Prelomna površina prižemke: a) in b) ob začetku razpoke, c) detajl s krhkim prelomom s spletnjem in duktilni jamičasti prelom  
**Figure 5:** Fractured surface of the clamp: a) and b) at starting place of the crack, c) detail of cleavage rupture and ductile rupture, with dimples

dokazujeta, da je do loma jekla prišlo pri zelo veliki kratkotrajni (sunkoviti) upogibni obremenitvi prižemke.

Kljub ugotovitvi, da je do preloma prižemke prišlo pri izrednih vremenskih razmerah, pa je bistveno, da je do tega sploh prišlo. Jeklo Ck35 ima majhno žilavost. Pri nizkih temperaturah je izpostavljeno krhkemu lomu in ima relativno visoko prehodno temperaturo žilavosti. Iz omenjenih razlogov je uporaba prižemk iz omenjenega jekla sprejemljiva le pri normalnih vremenskih razmerah. Ker pri navedenih izrednih razmerah lahko ponovno pride do popolnega ali pa le delnega loma prižemk, ki bi se lahko dokončno prelomile med nadaljnjim obratovanjem žičnice, priporočamo, da se prižemke iz jekel Ck35 in Ck45 redno in temeljito pregleduje, poškodovane odstranijo in vse čim prej zamenjajo z novimi, izdelanimi iz legiranih jekel zaboljšanje.

#### 4 SKLEPI

Iz rezultatov mehanskih, metalografskih in kemijskih preiskav jekla in prelomne površine prižemke, ki se je v hladnem in zelo vetrovnem vremenu prelomila in odpadla z žične vrvi, ugotavljamo naslednje:

Prižemka je bila izdelana iz jekla Ck35. Jeklo ima grobozrnato feritno-perlitno mikrostrukturo z žilavostjo 5 J. Do preloma prižemke je prišlo pri zelo veliki in sunkoviti upogibni obremenitvi. Pri normalnem obratovanju žičniške naprave do preloma prižemke ne bi prišlo,

saj ima jeklo Ck35 tudi pri temperaturi -20 °C dovolj dobre deformacijske sposobnosti, ki preprečujejo krhek lom jekla.

Zaradi nepredvidljivih vremenskih razmer in obratovne varnosti priporočamo, da se prižemke iz jekel Ck35 in Ck45 čim prej zamenjajo s prižemkami, izdelanimi iz legiranih jekel zaboljšanje 25CrMo4V, 34CrMo4 ali 42CrMo4V, katerih udarna žilavost tudi pri temperaturah -30 °C presega 40 J. Njihova nadaljnja uporaba do menjave je priporočljiva le v primeru redne in temeljite kontrole prižemk, predvsem po slabem vremenu, ko bi lahko prišlo do poškodb.

#### 5 LITERATURA

- <sup>1</sup> L. Daoming: Cleavage fracture behaviour of carbon steels for different ferrite-pearlite contents, *Materials Science and Technology*, 7 (1991) 311-314
- <sup>2</sup> F. P. L. Kavishe, T. J. Baker: Micromechanism of cleavage fracture in fully pearlitic steels, *Materials Science and Technology*, 2 (1986) 583-588
- <sup>3</sup> J. J. Lewandoaski, A. W. Thompson: Micromechanisms of cleavage fracture in fully pearlitic microstructures, *Acta Metall.* 7 (1987) 1453-1462
- <sup>4</sup> K. J. Miller: Materials science perspective of metal fatigue resistance, *Materials Science and Technology*, 7 (1993) 453-461
- <sup>5</sup> Y. Tomita: Low fracture toughness of desulfurised 0,4-Cr-Mo-Ni ultrahigh strength steel and its improvement, *Materials Science and Technology*, 7 (1991) 97-103
- <sup>6</sup> European standard EN 10083-1, Quenched and tempered steels - Part 1: Technical delivery conditions for special steels, February 1991