

## PRIMERJAVA KOVANIH IN STRUŽENIH VIJAKOV KVALITETE 10.9

### A COMPARISON BETWEEN FORGED AND LATHED BOLTS OF QUALITY 10.9

**Grega Kovačič<sup>1</sup>, Borut Kosec<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Inštitut za metalne konstrukcije, Mencingerjeva 7, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, NTF – Oddelek za materiale in metalurgijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija  
grega.kovacic@imk.si

*Prejem rokopisa – received: 2003-01-28; sprejem za objavo – accepted for publication: 2004-03-10*

Vijaki, ki se uporabljajo pri gradnji jeklenih konstrukcij, so vitalen vezni element, ki ga je treba pred vgradnjo atestirati. Zaradi stalnih potreb po manjših količinah vijakov določenih dimenzij je v praksi stružene vijake bolj ekonomično izdelati iz šestkotnih profilov. Vendar pa se pri tem postopku izdelave prekinejo silnice valjanja in s tem vijak tudi občutno oslabimo. V prispevku smo primerjali lastnosti toplo kovanih in struženih vijakov. Vroče kovani in struženi vijaki so bili izdelani iz enakega materiala ter kaljeni v isti šarži, tako da smo dosegli kvaliteto 10.9 po standardu SIST EN 20898-1. V prispevku je prikazana tudi trdota vijakov po celotnem prerezu ter narejen preskus na poševni podlagi, s čimer smo preverili kvaliteto glave vijaka, ki je tudi njegov najobčutljivejši del.

Ključne besede: vijaki, lastnosti, kvaliteta, jeklene konstrukcije, kovanje, struženje

Bolts used in the bolted joints of metal constructions are very important parts and must be certified before being built in. Sometimes a customer needs a small quantity of a specific type of bolt. In that case it is more convenient to lathe bolts from a hexagonal profile. However, that procedure cuts the lines of force and reduces the strength and quality of the bolts. This paper deals with a comparison of the properties of hot-formed and lathed bolts. Hot-formed and lathed bolts were tempered to reach the quality 10.9 according to the standard SIST EN 20898-1. With a test for strength under wedge loading we checked the head of the bolts (the most sensitive part of the bolt).

Key Words: bolt, properties, quality, metal construction, forming, lathing

## 1 UVOD

Vijak <sup>1</sup> je treba izdelati tako, da zadosti potrebam in zahtevam določene konstrukcije, pri čemer je izredno pomembno upoštevati tudi celotne stroške njegove proizvodnje. Za izdelavo kvalitetnega vijaka moramo dobro obvladovati in kontrolirati celoten proces proizvodnje. Če vemo, kje in kako so vijaki narejeni, lahko dokaj zanesljivo sklepamo tudi na njegove osnovne karakteristike, kot so trdnost, zanesljivost, cena in uporabnost celotne šarže vijakov.

Za izdelavo vijakov lahko uporabimo različne materiale, postopke izdelave in prevleke. Vijak se izdelava na podlagi tipa, oblike, trdnosti, strojev in postopkov, ki morajo ustrezati zahtevam za določen tip in namen vijaka.

## 2 POSTOPKI IZDELOVANJA VIJAKOV

Pri izdelavi vijaka se uporabljajo naslednji trije postopki: hladno in vroče kovanje ter struženje, pri čemer pa lahko za izdelavo navojev uporabimo postopka valjanja ali struženja navojev.

Glavo vijaka se s hladnim kovanjem preoblikuje pri temperaturi okolice. Preoblikujemo s silo, pri čemer

porabljena energija omogoča, da se material preoblikuje v obliko glave vijaka.

Glavo vijaka lahko toplo preoblikujemo po postopku toplega kovanja. Osnovni material pred toplim preoblikovanjem predgrejemo (z indukcijskim grelcem ali plamensko) na določeno temperaturo (od 220 °C do 600 °C), ki je odvisna od materiala in zahtevane oblike vijaka. Povišane temperature omogočajo, da so preoblikovalne sile neprimerno manjše kot pri hladnem kovanju. Toplo kovanje uporabljamo predvsem pri zelo žilavih materialih.

Vijake lahko obdelujemo tudi s struženjem. Navadno uporabimo šestkoten osnovni profil palic (žice) ter odstranimo odvečni del materiala. Postopek se navadno uporablja pri zelo majhnih šaržah vijakov ter pri prilagajanju dolžin in glave vijaka. Slabost postopka je predvsem visoka cena vijaka zaradi počasne proizvodnje in velike porabe materiala.

Valjane navoje navadno izdelujemo na premerih blizu srednjega premera navoja vijaka. Med valjanjem se osne meje zrn prilagajajo obliki navoja, zato je trdnost boljša kot pri vrezovanju. Na kvaliteto navoja vplivata tudi matrica navoja in njegova orientacija.

Navoje lahko tudi vrezujemo s stružnico ali navojnimi svedri, vendar je ta postopek z vidika kvalitete in trdnosti navoja najslabši.

### 3 PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA IZDELAVO IN KVALITETO VIJAKOV

Za izdelavo vijakov se uporabljajo različni materiali. Za vse vijake, ki so izdelani po nacionalnih oziroma po mednarodnih standardih, je strogo predpisana trdnost osnovnega materiala. V splošnem pa morajo vijaki ustrezati določenim mehanskim lastnostim, medtem ko lahko proizvajalec izbira med različnimi vrstami materialov.

Za vijake s hladnim preoblikovanjem glave se uporabljajo materiali, ki imajo kontrolirano kemijsko sestavo, velikost kristalnih zrn in so primerni za hladno kovanje. Zelo pomembna je izdelava žice, ki se uporablja za hladno preoblikovanje. Izdelava glave s hladnim preoblikovanjem zahteva zelo ozke tolerance žic in gladko površino.

Za toplo kovanje vijakov se lahko uporablja enak material kot za hladno. Nekatere materiale, ki se slabo hladno preoblikujejo, je bolj smotno preoblikovati po postopku toplega kovanja glave.

Za stružene vijake navadno uporabljamo hladno vlečene palice avtomatnega jekla določene kvalitete, ki so enostavnejše za obdelavo.

#### 3.1 Materiali

Konstruktivska jekla dosegajo visoko trdnost pri relativno nizki ceni, kar ni odlika drugih materialov. To je tudi osnovni vzrok, da se vijake v večini primerov izdeluje iz jekla. Ogljikova jekla <sup>2</sup> so najcenejša in univerzalno uporabna. Ta vrsta jekel vsebuje poleg ogljika manj kot 1,6 % Mn, 0,60 % Si in 0,30 % Cu. Vroče valjana ogljikova jekla z nizko vsebnostjo ogljika se uporablja za strojno izdelane vijake in matice, ki niso dodatno toplotno obdelani. Zaradi zmanjšane duktilnosti in dovzetnosti za vodikovo krhkost ter napetostno korozijo je priporočljivo, da vijaki ne vsebujejo več kot 0,45 % C.

#### 3.2 Napake

Razen vijakov večjih dimenzij, vijake v tovarnah večinoma hladno kujejo. Zaradi večkratnih deformacij površine med hladnim kovanjem mora biti material vijaka na površini brez napak (razpok). Napake na površini končnih izdelkov pa lahko nastanejo zaradi razpok, ki nastanejo pri kovanju, razpok, ki nastanejo pri kaljenju, in drugih napak <sup>3</sup>.

Najbolj pogosti mesti preloma vijakov sta na prehodu glave vijaka v steblo in na prvem navoju vijaka <sup>4</sup>. Porušitev pogosto povzročijo napake v materialu, kot so sulfidni in oksidni vključki, gube, razpoke in druge valjarniške napake ter napake, ki lahko nastanejo pri vlečenju žice <sup>5</sup>.

### 4 EKSPERIMENTALNI DEL IN ANALIZA REZULTATOV

Pri raziskavi smo analizirali vijake, stružene iz okroglega profila z valjanim navojem, vijake z vroče kovanimi glavami z valjanim navojem in vijake s hladno kovanimi glavami z valjanim navojem.

Stružene vijake in vijake z vroče kovanimi glavami je proizvajalec izdelal iz enakega materiala 42CrMo4 (SIST EN 10083-1) <sup>6,7</sup>. Vsi, v okviru raziskave obravnavani vijaki, so enake dimenzije M12.

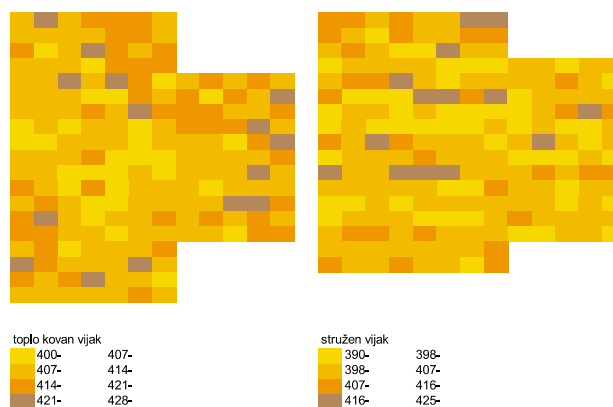
V okviru raziskave smo naredili kemično analizo materiala vijakov, izmerili trdoto po prečnem prerezu glave in na prehodu glave vijaka v steblo ter izvedli preskus na poševni podlagi. Pri primerjavi in analizi smo se omejili predvsem na glavo vijaka, kjer smo na prehodu v steblo naredili tudi obruse za mikrostrukturne preiskave, jih med seboj primerjali ter na profilu vijaka izmerili tudi trdoto.

**Tabela 1:** Kemična sestava in mehanske lastnosti vijakov

	(ISO 898-1:88) [SIST EN 10083-1] zahtevana	Stružen	Vroče kovan
Material	42CrMo4	42CrMo4	42CrMo4
Vsebnost C (%)	[0,38–0,45]	0,44	0,41
Cr (%)	[0,90–1,20]	1,2	1,10
Mo (%)	[0,15–0,30]	0,22	0,25
Mn (%)	[0,60–0,90]	0,71	0,75
Si (%)	[< 0,40]	0,30	0,30
Poskus na poševni podlagi $F/kN$ ;	87,7	85,2**	103,3*
Trdota na glavi (HV)	320–380	402**	410**

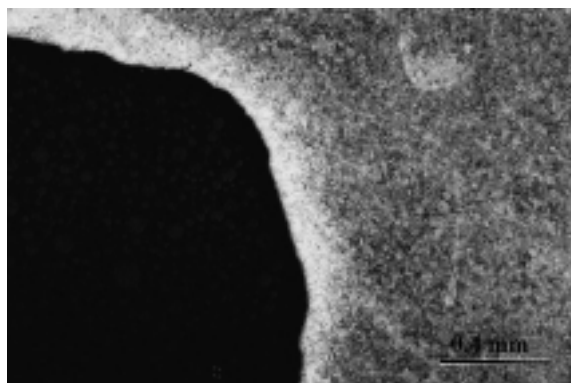
\* povprečna vrednost petih meritev; \*\* povprečna vrednost desetih meritev

Za stružen vijak je bil izbran enak material kot za vroče kovan (jeklo 42CrMo4) z namenom, da bi



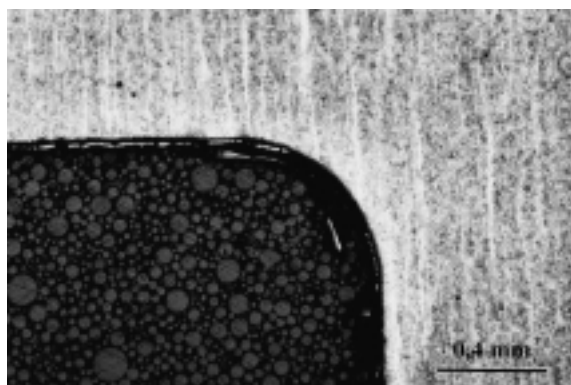
**Slika 1:** Primerjava trdot (HV) na prehodu glave vijaka v steblo. Toplo kovan vijak (levo); Stružen vijak (desno)

**Figure 1:** A comparison of hardness between forged and lathed bolt. Picture represents head of the bolt.



**Slika 2:** Vroče kovan vijak. Mikrostruktura na prehodu glave vijaka v steblo. Povečava 50-kratna

**Figure 2:** Forged bolt. Microstructure on the cross point between head and shank of the bolt. Magnification 50 x



**Slika 3:** Stružen vijak. Mikrostruktura na prehodu glave vijaka v steblo. Povečava 50-kratna

**Figure 3:** Lathed bolt. Microstructure on the cross point between head and shank of the bolt. Magnification 50 x

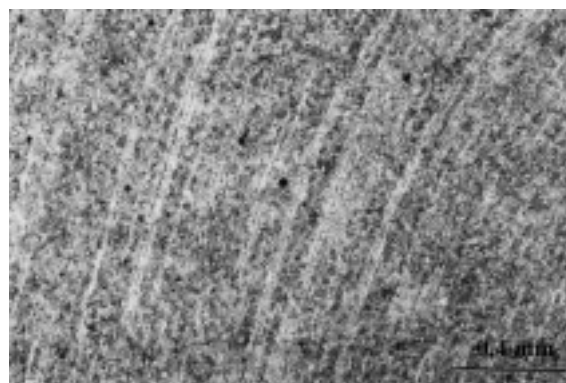
ugotovili, ali je mogoče za stružene vijake uporabiti enak material in ob tem še vedno zadostiti vsem zahtevam glede kvalitete.

Vroče kovani in struženi vijaki so bili izdelani iz surovcev okroglega prereza, ki se jih je najprej razrezalo na dolžino 70 mm. Na enem koncu je bil surovec vijaka plamensko segret in skovan. Na predelu, kjer je bil kasneje zvaljan navoj, pa se je surovce postružilo in nato zvaljalo navoj približno na premer srednjega premera navoja.

Struženi vijaki so bili postruženi na premer vijaka, na koncu pa je bil puščen material za izdelavo glave, ki je bila kasneje obdelana na šestkoten profil, ter zvaljan navoj.

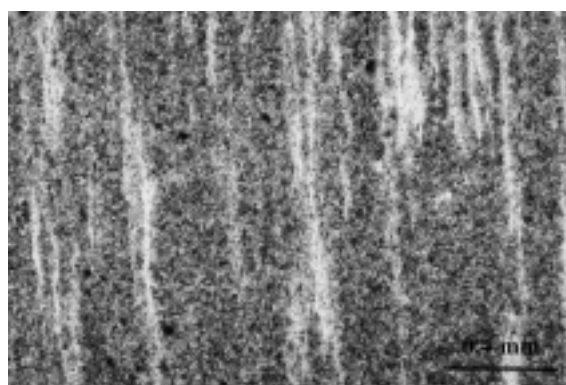
Vsi vijaki so bili nato toplotno obdelani. Segreti so bili na temperaturo 850 °C (25 min), kaljeni v olju temperature (25 ± 5)°C ter nato še 20 min popuščani na temperaturi 550 °C.

Pri merjenju trdot smo ugotovili, da imajo struženi in vroče kovani vijaki višjo trdoto, kot je predpisana s standardom (**Tabela 1**). Na profilu prehoda vijaka iz glave v steblo smo narisali mrežo 1 mm × 1 mm in v vsakem polju mreže opravili po eno meritev trdote.



**Slika 4:** Vroče kovan vijak. Tok silnic Povečava 50-kratna

**Figure 4:** Forged bolt. Lines in microstructure. Magnification 50 x



**Slika 5:** Stružen vijak. Tok silnic. Povečava 50-kratna

**Figure 5:** Lathed bolt. Lines in microstructure. Magnification 50 x

Posamezne meritve trdot smo uvrstili v določeno skupino, pri kateri smo določili tudi barvo (**Slika 1**). Pri tem smo ugotovili prednostno ureditev v sredini kovanega vijaka, na struženem pa ne. Kovani vijaki so v sredini glave bolj mehki, medtem ko je porazdelitev trdot struženih vijakov bolj naključna.

Vijake smo preskusili tudi na trgalnem stroju na poševni podlagi s kotom 10°. Vroče kovani vijak se je porušil v navoju vijaka pri višjih silah, kot je to predvideno s standardom. Stružen vijak pa se je od deset preskusnih primerov v osmih porušil na prehodu glave vijaka v steblo, v dveh primerih pa je dosegel približno enako porušno silo kot vroče kovani vijaki (**Tabela 1**).

Na **slikah 2 in 3** je prikazana mikrostruktura na prehodu glave vijaka v steblo pri vroče kovanem in pri struženem vijaku. S **slike 3** so razvidne silnice valjanja, ki so izceje legirnih elementov in so na prehodu prekinjene; v primeru, prikazanem na **sliki 2**, pa se silnice ukrivijo in s tem ohranjajo neprekinjen tok materiala, ki je še nazorneje prikazan na **sliki 4**. Na **sliki 5** je prikazan tok silnic na struženem vijaku.

Ker je bila trdota v obeh primerih vijakov, tako pri struženem kot pri vroče kovanem, enaka ter da je preskus trdnosti vijaka pokazal, da je v vseh primerih vroče kovan vijak preстал preskus, stružen pa se je porušil na prehodu glave vijaka v steblo, lahko sklepa-

mo, da je pri izdelovanju proizvajalec uporabil ustrezne pogoje kaljenja in popuščanja. Iz rezultatov opravljenih meritev lahko sklepamo, da proizvajalec struženih vijakov ne sme obravnavati kot kovane, temveč mora izbrati primernejši material, blažji radij na prehodu glave v steblo in/ali vrsti jekla ustrezno toplotno obdelavo, ter pravilnost izbire potrditi še z dodatnimi analizami in poskusi.

## 5 SKLEPI

V okviru predstavljene raziskave smo analizirali lastnosti in kvaliteto jeklenih vijakov dimenzije M12, izdelanih po postopkih hladnega oziroma vročega kovanja ter struženja.

Hladno in toplo kovani vijaki so se porušili pri večjih obremenitvah kot je predpisano, struženi pa nekaj kilonjutnov pod predpisano silo oz. nad njo.

Na prehodu glave v steblo vijaka so silnice valjanja pri struženih vijakih prekinjene (prekinjen tok mate-

riala), pri toplo kovanih vijakih pa se silnice valjanja le ukrivijo in s tem ohranjajo neprekinjen tok materiala, zato je izdelava struženih vijakov iz materiala 42CrMo4 kvalitete 10.9 dvomljiva.

## 6 LITERATURA

- <sup>1</sup> Decker H.K.: *Machinenelemente – Gestaltung und Berechnung*, Carl Hanser Verlag, München, 1975, 83–102
- <sup>2</sup> Richter F.: *Physikalische Eigenschaften von Stählen und ihre Temperaturabhängigkeit*, Mannesmann Forschungsbericht 930, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1983
- <sup>3</sup> Bickford J. H.: *Handbook of Bolt and Bolted Joints*, Marcel Dekker Inc., London, 1998, 69–74, 1–33
- <sup>4</sup> Kosec B., Kosec L., Bizjan F., Škraba P.: *Practical Failure Analysis*, 2(2002)5, 57–60
- <sup>5</sup> Powel G. W.: *Failure Analysis and Prevention (Vol. 11)* – AMS, Materials Park, Ohio, 1995
- <sup>6</sup> Standard ISO 898-1:1988
- <sup>7</sup> Standard SIST EN 10083-1:1996