

# TEMPERATURA IN SPREMEMBE MIKROSTRUKTURE V OSCILATORNEM MIKROKONTAKTU, SEGRETEM ZARADI TRENJA

## TEMPERATURE AND MICROSTRUCTURAL CHANGES AT THE OSCILLATORY SLIDING FRICTIONALLY HEATED MICROCONTACT

JOŽEF PEZDIRNIK<sup>1</sup>, J. VIŽINTIN<sup>1</sup>, F. VODOPIVEC<sup>2</sup>, A. RODIČ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

<sup>2</sup>IMT, Ljubljana

*Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19*

Raziskali smo spremembe, ki so nastale v mikrostrukturi materiala na kontaktni ploskvi in v neposredni okolici mikrokontakta v hidravličnem ventilu. Obravnavani mikrokontakti se pojavljajo lokalno na drsnih ploskvah površine oscilirajočega bata in stenah mirujoče izvrtine. Na mestu mikrokontakta lahko nastane poškodba, podobna mikrozvaru. Na mestih poškodb smo ugotavljali in analizirali spremembe mikrostrukture na površini mikrokontaktnih drsne ploskvice in pod njo. Ugotovili smo jih celo do globine cca 800  $\mu\text{m}$ . Nastale so v času kratkotrajnega porasta temperature v mikrokontaktu. Prispevek navaja temperature, o katerih sklepamo na osnovi spremembe mikrostrukture materiala v mikrokontaktu in pojava bele faze. V tem prispevku so obravnavane poškodbe, ki so nastale pri funkcionalnem industrijskem preskušanju hidravličnih tlačnih ventilov.

Ključne besede: drsno trenje v mikrokontaktu, temperatura, mikrostruktura materiala

We have searched the changes in material microstructure occurring at microcontact interface and in the material close to it inside of a hydraulic valve. The mentioned microcontacts occur locally on the sliding areas of oscillating piston and of the stationary bore wall. At the microcontact interface a damage can occur looking like a welded point. On the damage spots we have searched and analysed the microcontact's subsurface microstructure changes. The microstructure changes were found even up to the depth 800  $\mu\text{m}$ . They occurred in a short time of temperature rise in the microcontact. The paper states the temperatures which are considered to occur on the basis of material structural changes in the microcontact and on the basis of the white phase emergence. We are dealing with the damage which occurred at the functional industrial testing of the hydraulic pressure valves.

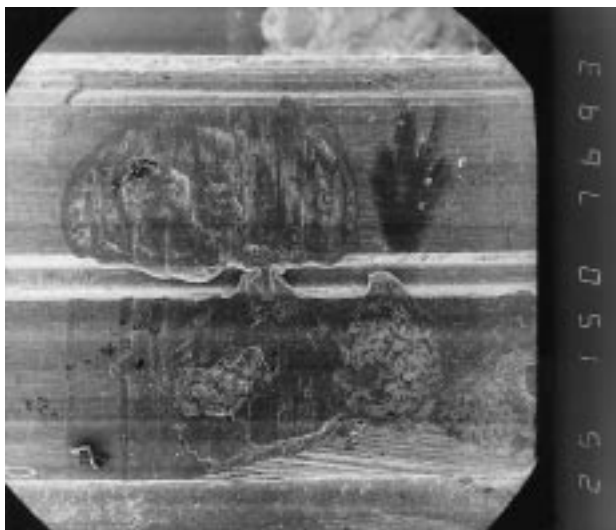
Key words: sliding friction in microcontact interface, temperature, microstructure of the material

### 1 UVOD

Pogonsko-krmilna hidravlika v strojih in postrojenjih deluje danes do tlakov 40 MPa, včasih celo več. Visoki tlaki lahko povzročijo sorazmerno velike sile tudi znotraj hidravličnih sestavin. V hidravličnih ventilih sta pogosto dva kovinska elementa v oscilatornem drsnem kontaktu in se neka prečna sila prenaša z oscilirajočega bata na mirujočo pušo. Prečna sila nastane zaradi nepravilne oblike valja vsaj enega od obeh elementov in zaradi razlike tlakov med eno in drugo stranjo tega elementa<sup>1,2</sup>. Razlika tlakov je seveda nujna za funkcionalno delovanje ventila. Ker površini nimata idealnih oblik, se prečna sila prenaša le preko nekaj vršičkov, ki kot izbokline izstopajo s površin elementov. Obravnavamo plastično deformirane vršičke, ki se segrejejo zaradi trenja. Dotikalno ploskvico stika deformiranega vršička s površino drugega elementa imenujemo mikrokontakt. Dvig temperature v mikrokontaktu je odvisen od materiala, torne sile ter od frekvence in amplitude translatornega nihanja. Na mestih mikrokontaktov se lahko pojavijo poškodbe, ki imajo videz točkastih zvarov. Takšna poškodba je približno krožne ali elipsaste oblike, dolžine od nekaj desetink milimetra pa do 2 mm. Na teh mestih pride do sprememb mikrostrukture materiala do neke globine.

### 2 EKSPERIMENT

Hidravlični predkrmiljeni varnostni ventil je bil pri industrijskem preskušanju obremenjen v območju nominalnih delovnih parametrov - tlakov in hidravličnih tokov. To je bilo rutinsko funkcionalno preskušanje predkrmiljenega varnostnega ventila, zato ga na tem mestu ne bomo opisovali. Znotraj ventila se je pojavila prečna sila, ki je pritisnila krmilni bat ob steno izvrtine - puše<sup>1</sup> (slika 1). Zaradi normalnega pulzirajočega delovanja črpalke je bil bat izpostavljen translatornim oscilacijam. Žal pri tovrstnem preskušanju prečne sile ter frekvence in amplitude nihanja bata niso in ne morejo biti poznane. Le domnevno frekvenco nihanja je mogoče izračunati iz geometrije in vrtilne hitrosti črpalke. Zaradi zadosti velike prečne sile in takšnih oscilacij, da je bila s trenjem vnesena toplota v posamezen mikrokontakt v kratkem času zadosti velika, so se pojavile poškodbe z videzom mikrozvarov. Videz takšnega krmilnega bata tlačnega ventila in poškodbe na njem so razvidne v <sup>2</sup>, sliki 7.1 in 7.2. Površino poškodb smo analizirali z vrstičnim elektronskim mikroskopom. Ugotovili smo, da je del jekla na kraju vsaj dveh poškodb prešel v tekoče stanje, del pa je bil v testastem. Ti dve poškodbi prikazuje **slika 1**. Zaradi translatornega gibanja - osciliranja bata v puši - je bil testasti del izrinjen v utor, ki poteka

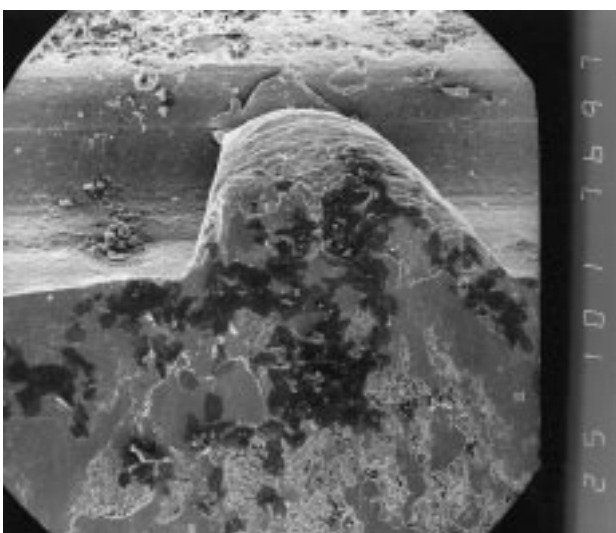


**Slika 1:** Poškodbi ob razbremenilnem utoru na batu hidravličnega ventila

**Figure 1:** Two damage besides the unloading groove on the piston of a hydraulic valve

po obodu, pravokotno na smer gibanja bata. Takšni utori zelo pogosto nastopajo na površinah krmilnih batov hidravličnih ventilov in so namensko izdelani. Glede na njihovo funkcijo jih imenujemo razbremenilni utori. Eden je razviden poleg poškodb na **sliki 1**. Jeklo v testastem stanju, nagneto v utor, je tudi razvidno s **slike 2**, ki v večji povečavi prikazuje levo poškodbo s **slike 1**. Bat je bil izdelan iz jekla z oznako 90MnV2 po ISO. Bolj natančno smo analizirali le poškodbo na batu, s katerim je v zvezi ves nadaljnji opis.

Površinsko plast nekaterih poškodb smo delno odbrusili na metalografskem brusnem papirju gradacije 4000. Po tem brušenju smo pod optičnim mikroskopom opazi-



**Slika 2:** Delček jekla, izrinjenega v utor, v testastem stanju

**Figure 2:** A small part of steel in the pasty phase forced out into the groove

li, da ima površina na mestu poškodbe veliko drobnih razpok v beli fazi.

Nato smo površino jedkali z nitalom in jo analizirali pod mikroskopom. Po analizi smo tem plastem ročno odbrusili še plast debeline cca 15  $\mu\text{m}$  ter na tej globini ponovno analizirali mikrostrukturo materiala.

Neposredno ob nekaterih poškodbah smo napravili radialni prerez bata ter nato do mesta poškodbe material odstranjevali prav tako z ročnim brušenjem, da ni prišlo do znatnega dviga temperature, ki bi povzročil dodatno in nezaželeno spremembo mikrostrukture.

### 3 REZULTATI, UGOTOVITVE IN DISKUSIJA

Po jedkanju z nitalom se je na mestih poškodb odkrila mikrostruktura na novo zakaljenega martenzita in zaostalega avstenita. Martenzit je bil bolj grobo igličast kot v osnovni mikrostrukturi. Iz tega sklepamo, da je bila temperatura bistveno višja od tiste, ki je predpisana za kaljenje jekla 90MnV2. Po nadaljnjem odbrušenju plasti debeline cca 15  $\mu\text{m}$  je bila pod mikroskopom pri 50 do 200-kratnih povečavah v bližini utora razvidna zvrtnična bela plast. Del, viden kot popolnoma bela plast, je bil nedeformirana oziroma v utor nagrmdena bela plast. Sivi predeli pa so bili material, ki je bil zaradi lokalne obremenitve in oscilatornega gibanja bata plastično deformiran. Njegova struktura je zaostali avstenit ter nekaj martenzita.

**Sliki 3 in 4** prikazujeta mikrostrukturi, ki sta nastali pri ponovnem kaljenju. Pri tem prikazuje **slika 3** martenzit in zaostali avstenit ter belo fazo. Martenzitne igle so izredno grobe. Zato s precejšnjo gotovostjo sklepamo, da je bila temperatura na tem mestu višja od 1100°C. Na **sliki 4** je prikazana tudi značilna kalilna razpoka. Za primerjavo je nadalje na **sliki 5** prikazana osnovna mikrostruktura hidravličnega bata tudi v globini cca 15  $\mu\text{m}$  pod površino, torej mikrostruktura, ki ni bila obremenjena z lokalnimi napetostmi zaradi lokalne pritiskne sile in tudi ne z lokalnim porastom temperature zaradi trenja. To je mikrostruktura po kaljenju v hladilnem olju in nato nizkem popuščanju, kar je predpisana toplotna obdelava teh elementov.

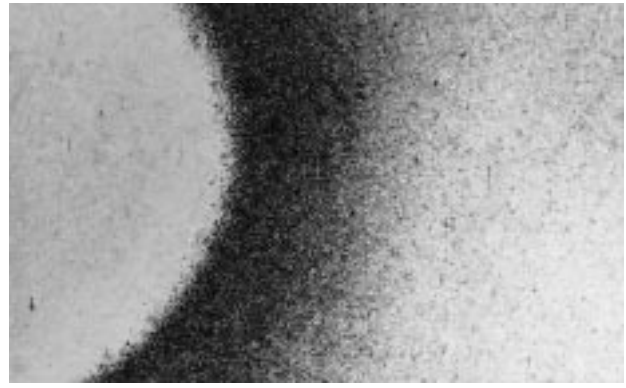


**Slika 3:** Martenzit, zaostali avstenit in bela faza

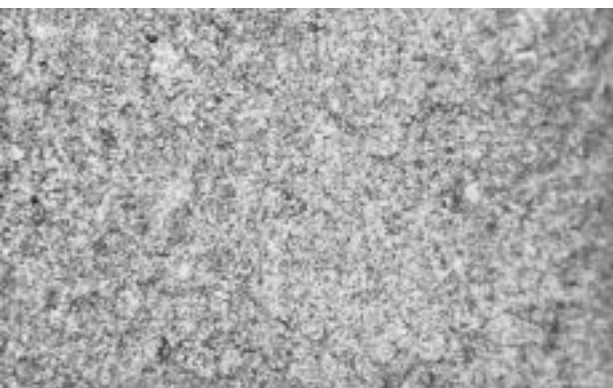
**Figure 3:** Martensite, avstenite and white phase



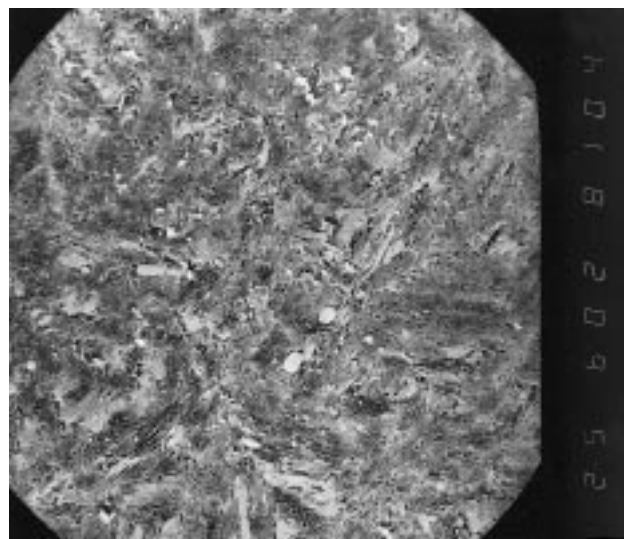
**Slika 4:** Razpoka v martenzito-avstenitni mikrostrukturi  
**Figure 4:** A crack in the martensite-avstenite microstructure



**Slika 6:** Del poškodbe in spremembe mikrostrukture materiala ob njej  
**Figure 6:** A part of the damage and the changes of the material



**Slika 5:** Osnovna mikrostruktura materiala preskušanelega bata  
**Figure 5:** Basic microstructure of the material of the tested piston



**Slika 7:** Martenzit, zaostali avstenit in karbidi  
**Figure 7:** Martensite, avstenite and carbides

Nadalje nam **slika 6** prikazuje, prav tako po ročnem odbrušenju materiala in jedkanju, videz dela poškodbe in prehoda v osnovni material. Desna stran slike prikazuje belo fazo (nataljeni del), temni del v sredini ponovno zakaljeno plast in plast višje popuščene mikrostrukture kot osnovno jeklo. Na levi strani **slike 6** pa je osnovna mikrostruktura pregledovanega bata.

Mikrostrukture posameznih plasti smo opazovali in nekatere posneli tudi z vrstičnim elektronskim mikroskopom, torej pri večjih povečavah. **Slika 7** prikazuje na novo nastali martenzitet z zaostalim avstenitom ter karbide. Z ozirom na mikrostrukturo sklepamo, da je le-ta nastala po ohladitvi s temperature cca 1000°C, kar je bila domnevno kratkotrajna lokalna temperatura neposredno ob poškodovanem mikrokontaktu; poškodba z videzom mikrozvara.

Nekatere poškodbe smo opazovali tudi v prečnem, to je v radialnem, prerezu bata. Takšen prerez preko poškodbe z videzom mikrozvara prikazuje **slika 8**. Na površini je razvidna tanka neenakomerna plast bele faze in nadalje spremembe mikrostrukture v globino.

Po eksperimentu, ki je obravnavan v tem prispevku, smo izvedli veliko število preskusov tudi v laboratoriju. Tu smo delali z različnimi materiali preskušancev ter različnimi, vendar v teh primerih znanimi, pritisknimi si-



**Slika 8:** Radialni prerez skozi poškodbo na batu hidravličnega ventila  
**Figure 8:** Radial cross-section through the damage on the piston of a hydraulic valve

lami, frekvencami in amplitudami. Preskušanci so bili geometrijsko podobni batu in puši s kakršnim je bil izveden industrijski preskus, obravnavan v tem prispevku. Pri izbranih parametrih smo dobili prav tako poškodbe z videzom točkastih zvarov. Izdelali smo tudi matematični

model za izračun temperatur in časa, v katerem pride do porasta temperature v mikrokontaktu do maksimalne vrednosti. Tudi z matematičnim modelom smo izračunali najvišje vrednosti temperatur v mikrokontaktu preko 1000°C, za čas porasta temperature od 50°C do najvišje vrednosti pa reda velikosti nekaj desetink sekunde.

Pri tem velja omeniti, da se v materialu mikrokontakta in v njegovi neposredni okolici zaradi obremenitve s prečno silo pojavijo tlačne in strižne napetosti<sup>3</sup>, ki domnevno spremenijo tudi toplotno prevodnost materiala. Velika lokalna obremenitev namreč povzroči plastično deformacijo posameznega vršička v mikrokontaktu. Tu se lokalno deformira kristalna mreža materiala, kar seveda spremeni nekatere njegove lastnosti na tem mestu.

#### 4 SKLEP

Analiza površine poškodb kaže, da je toplotna energija, ki je v mikrokontaktu povzročena s trenjem, dvignila temperaturo na mikrokontaktne stiku obeh elementov do tališča materiala.

Z analizo sprememb mikrostrukture na mestih mikrokontaktov, kjer je prišlo do poškodb ter v njihovi neposredni bližini, smo ugotovili, da je vsaj za kratek čas prišlo do lokalnega porasta temperature celo do tališča jekla, iz katerega je bil izdelan bat. Podobne poškodbe so se pojavile tudi na batu soležnih stenah izvrtine - puše. Ta metoda ugotavljanja visokih temperatur v mikrokontaktu je dobrodošla predvsem zato, ker merjenje temperatur v mikrokontaktu na mestu poškodbe praktično ni izvedljivo. Za poskus izvedbe takšnih meritev temperature bi bile potrebne drage, dolgotrajne in natančne predhodne meritve geometrijskih parametrov preskušancev.

#### 5 LITERATURA

- <sup>1</sup> J. Pezdirmik, J. Vižintin: Tribološke razmere v hidravličnih ventilih, *Slotrib 96*, Zbornik predavanj mednarodne konference o tribologiji, 1996, 292-307
- <sup>2</sup> J. Pezdirmik: Raziskava vpliva translatorskih nihanj na tribološke lastnosti batnih drsniških ventilov, *Doktorska disertacija*, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1997
- <sup>3</sup> S. Kosmač: Porazdelitev napetosti na in pod dotikalno površino z upoštevanjem sile trenja, *Magistrsko delo*, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1994
- <sup>4</sup> DIN 17007