

Poškodba vijaka na glavi bencinskega motorja osebnega avtomobila s prostornino 1,8 litra

Damage of a screw on the head of a 1,8 l gasoline engine

BORUT KOSEC¹, LADISLAV KOSEC¹, FRANČIŠEK BIZJAN², POLONA ŠKRABA¹

¹Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za materiale in metalurgijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana; E-mail: borut.kosec@uni-lj.si

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana

Received: October 2, 2003 Accepted: 10.12.2003

Izvleček: V okviru predstavljene raziskave smo analizirali vzroke za poškodbo vijaka na glavi bencinskega motorja osebnega avtomobila s prostornino motorja 1,8 l. Poškodba do dokončne porušitve je nastajala določen čas in je posledica skupnega neugodnega vpliva okolice in menjajočih se mehanskih in temperaturnih obremenitev.

Abstract: In the presented investigation the causes of the screw damage on the head of a 1.8 liter gasoline car engine were examined.

The damage was the result of common disadvantageous environmental influences and reversed mechanical and temperature loads.

Ključne besede: vijak, tesnilni sklop, poškodba, razpoka, prelom.

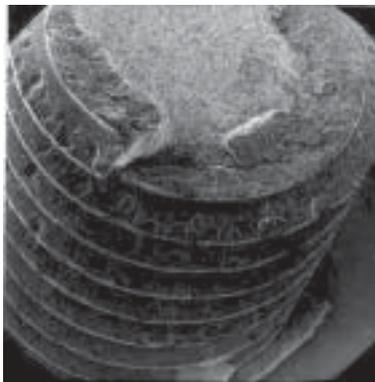
Keywords: screw, seal coupling, damage, crack, fracture.

1 UVOD

Preiskali smo porušen vijak tesnilnega sklopa bencinskega motorja osebnega avtomobila, s prostornino motorja 1,8 l (slika 1).

Prelomljena dela vijaka sta bila dobro ohranjena. Oba sta bila rahlo naoljena (mastna), prelomi pa tudi prekriti s tanko plastjo umazanije.

Način porušitve, mehanizem in vzroki poškodbe se v opisanem in njemu podobnih primerih lahko raziščejo in ugotovijo s pomočjo analize prelomne površine^[1,2]. Zato prelomna površina po nastanku ne sme biti



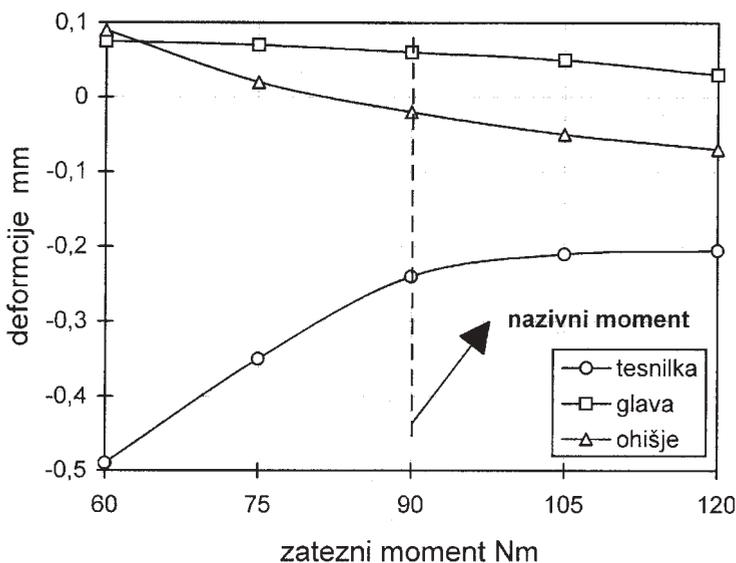
Slika 1. Del porušenega vijaka s prelomom (SEM), povečava 10x.

Figure 1. Part of the destroyed screw with fracture surface (SEM), magnification 10x.

Vijak, ki je bil predmet naše raziskave je bil tog. Togi vijaki se uporabljajo vedno manj, ker zagotavljajo ob trajnem posedanju vedno manjšo tesnilno silo, medtem ko elastični vijaki zagotavljajo kljub posedanju dovolj veliko tesnilno silo. Vijak vpliva na lastnosti sklopa s svojo obliko, z dolžino prostega dela, z velikostjo glave in podložke. Prosti del vijaka lahko vpliva na nastanek plastičnih deformacij tesnilnega sklopa, če ne dopušča tako velikih raztezov kot jih ima sklop^[9]. Pravilno izbrana podložka je iz kvalitetnega materiala (se ne deformira), in razmeroma velika (da se površinski tlak porazdeli na čim večjo površino), kar omogoča razmeroma majhne tlačne deformacije sestavnih delov sklopa. Število vijakov in razporeditev okoli valja naj bi bila taka, da so premice, ki povezujejo središča vijakov dejansko tangente na krog – rob valja.

Sila prednapetja vijaka (natezna statična obremenitev) je začetna sila, ki omogoča potrebno tesnilno silo. Med obratovanjem se pojavi še dinamična obremenitev, ki je po obliki in amplitudi zelo podobna spreminjanju tlaka v valju, kar pomeni, da se vijaki raztezajo in krčijo skladno z vrtilno frekvenco motorja, velikost raztezka pa je odvisna tudi od tlaka v valju oziroma obremenitve motorja.

Od značilnosti tesnilnega sklopa, kamor sodi tudi pravilna izbira tesnilke, je odvisen tudi način zatezanja vijakov glave motorja^[10]. V praksi se uporablja zatezanje z momentom oziroma zatezanje z momentom in kotnim zasukom (kombinacija). V obeh primerih se upošteva postopno zatezanje po stopnjah, kar velja za vse vijake enako in v določenem vrstnem redu glede na postavitev vijakov (križni ali krožni vrstni red zatezanja, začetek



Slika 3. Deformacije delov tesnilnega sklopa pri tlaku v valju in različnih momentih zatezanja.
Figure 3. Deformations of the seal coupling parts at the pressure in cylinder and different stretch moments.

pa je običajno na sredini glave v smeri navzven). V tem primeru se ne pojavljajo prisilna stanja deformacij, kar zagotavlja ugodno razporeditev površinskega tlaka in dolgo življenjsko dobo tesnilke.

Vijaki se zatezajo z momentom postopoma v stopnjah; ko je končana ena stopnja na vseh vijakih po določenem vrstnem redu sledi druga stopnja... V takih primerih se običajno uporablja toge vijake, ki pa so občutljivi na spremembe (posedanje) v tesnilnem sklopu. Če bi se v tem primeru vijak zategnil samo enkrat, potem bi moral biti začetni moment tako velik, da bi bila trenutna največja sila po zatezanju oziroma pri zagonu večja od dopustne. Temu se izognemo z večkratnim zatezanjem: 1. zatezanje pri vgradnji, 2. zatezanje po prvem preizkusnem teku motorja in 3. zatezanje po opravljenih približno 1000 do 2000 km. V tem času se predpostavlja, da se tesnilni sklop v največji meri že posede tako, da se lahko tesnilna sila vzdržuje s pomočjo elastičnosti tesnilnega sklopa. Seveda je potrebno pred vsakokratnim zatezanjem vijak odviti za približno 30°, da se odpravi statično trenje in da se vijak nato zategne s končnim momentom.

Pri tesnilnem sklopu, ki je tog se uporabljajo elastični vijaki, kjer se z enkratnim zatezanjem kljub posedanju doseže dovolj velika tesnilna sila. Elastični vijak omogoča obremenitve tudi preko napetosti tečenja, s tem pa omogoča tudi večjo silo prednapetja – oziroma za isto silo se lahko uporabi tanjši vijak ali manj kvalitetno jeklo. Zaradi tega pa mora biti predobremenitev vijaka točno nastavljena, kar se lahko doseže z zatezanjem z zasukom pod določenim kotom. Pri tem je vpliv tornih sil odpravljen, sila tesnjenja pa je odvisna le od vzmetne konstante in

napetosti tečenja vijaka. Zatezanje se izvaja v kombinaciji momentov. Vijaki se zategnejo najprej z določenim momentom, da se doseže približno enako izhodiščno stanje. Druga stopnja zatezanja je po kotih, kar se lahko izvaja stopenjsko ali pa samo enkrat, vse ostalo je enako oziroma podobno kot pri zatezanju z momentom.

Momenti zatezanja ali pa koti močno vplivajo na raztezke sklopa in s tem na njegovo življenjsko dobo (slika 3). Površinski tlak na tesnilko mora biti vedno dovolj velik, tudi v primerih, ko ohišje ali glava drsita po tesnilki, kar se dogaja pri neenakomernih raztezkih delov sklopa; pri segrevanju motorja, nenadnih spremembah obremenitve in pri ohlajanju motorja.

Iz diagrama na sliki 3 je razvidno, da v praksi relativnih raztezkov tesnilnega sklopa ne moremo popolnoma odpraviti. S pravilnim zatezanjem pa jih lahko vzdržujemo v območju, ki še zagotavlja zadostno življenjsko dobo (doba trajanja) tesnilke.

3. PREISKAVE POŠKODBE

Razpoke v navojih vijakov se pokažejo že z opazovanjem z lupo, še bolj učinkovite pa so neporušne preiskave z uporabo penetrantov^[11].

Za opisane vrste preiskave poškodb so primerni elektronski mikroskopi, med njimi najbolj vrstični elektronski mikroskop (SEM) in svetlobni, optični mikroskopi z odbito svetlobo (OM). Prvi so učinkoviti pri opazovanju prelomov in drugih vrst površin, drugi pa so uspešni pri raziskavah mikrostrukture materialov pri čemer jim lahko veliko pomagajo tudi prvi^[12].

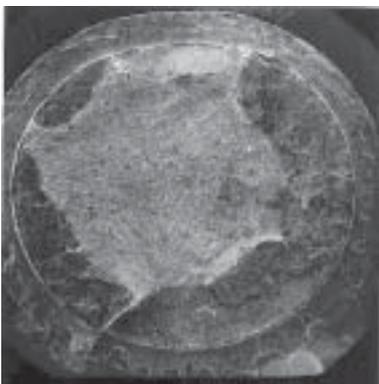
Prelomne površine in ostali del vijaka smo najprej očistili s pomočjo organskega topila, prelom pa še na poseben način tako, da smo ga vtisnili v razmehčano plastično snov, ki sname s površine vse tujke.

Vijak smo prerezali tudi v osni smeri in opazovali tudi razpoke, ki so se začele na dnu sosednjih navojev.

3.1 Rezultati preiskave

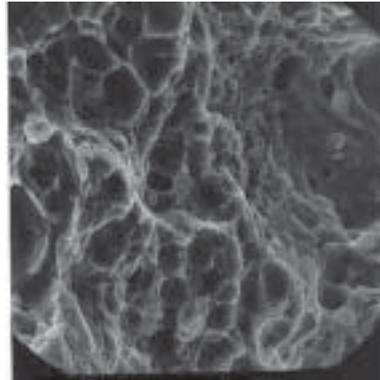
Prelom vijaka poteka v ravnini enega od navojev. Prelomna površina ima dva značilna dela: temen prekinjen zunanji obroč in svetlo sivi del v jedru, ki pa na dveh mestih seže do površine na dnu navoja (slika 4).

Temen zunanji obroč prelomne površine je nastal zaradi t.i. korozijske utrujenosti. Razpoka zaradi korozijske utrujenosti potrebuje določen čas za začetek in tudi raste z določeno hitrostjo. Nastane takrat, ko je jeklo v stiku z medijem, ki povzroča korozijo in je istočasno tudi obremenjeno s spreminjajočimi se mehanskimi napetostmi (zaradi obremenitve in/ali deformacije).



Slika 4. Prelom vijaka (SEM), povečava 10x.

Figure 4. Screw fracture (SEM), magnification 10x.



Slika 5. Duktilen prelom v jedru vijaka (SEM), povečava 3000x.

Figure 5. Ductile fracture in the screw core (SEM), magnification 3000x.

Te vrste razpoka nastane le zaradi istočasnega učinkovanja obeh korozije in menjajočih (po velikosti, lahko pa tudi po predznaku) napetosti. Zaradi učinkovanja le enega, korozije ali menjajočih napetosti, razpoka ne bi nastala in rasla.

Prelom v jedru vijaka je nastal v trenutku, ker je bilo jeklo vijaka preobremenjeno čez svojo trdnost. Duktilen (žilav) prelom je značilen za preobremenitev jekla in predhodno plastično deformacijo (slika 5).

V primerih kot je opisani, ali v primerih enostavne utrujenosti materiala, začne v področju kritične obremenitve rasti več razpok, izmed katerih praviloma ena zraste v prelom. Tudi v obravnavanem primeru je začelo na dnu navojev rasti več razpok (slika 6), v nekaterih navojih tudi po dve ali tri, ki so zrasle v dolžino od nekaj 10 do več 100 mm.



Slika 6. Razpoka zaradi korozijske utrujenosti v dnu navoja (OM), povečava 100x.

Figure 6. Corrosion fatigue crack in the thread bottom (OM), magnification 100x.

Jeklo vijaka je bilo toplotno obdelano - poboljšano. V jeklu ni bilo napak, ki izvirajo iz izdelave in predelave. Trdota jekla je bila med 400 – 410 HV, kar ustreza preračunani trdnosti okoli 1400 MNm⁻².

3.2 Način nastanka poškodbe

Začetne razpoke v vijaku so nastale zaradi korozijske utrujenosti. Z menjajočimi napetostmi obremenjen vijak je bil v stiku s tekočino, ki je imela na jeklo korozijski učinek. Zaradi značilne oblike površine vijaka se na dnu navoja napetosti povečajo. Navoj vijaka je povaljan, kar je ugodno za

konstrukcijsko trdnost vijaka, vendar s tem učinek koncentracije napetosti ni odpravljen.

Razpoka zaradi korozijske utrujenosti je na mestu preloma zrasla v globino najdlje okoli 1,5 mm. Ta razpoka pa ima zaradi svoje oblike učinke izrazitega koncentriranja napetosti. Do preloma vijaka pa je verjetno prišlo pri privijanju, ko je posebej še zaradi zareznege učinka primarne razpoke napetost v prerezu vijaka preseгла njegovo trdnost.

ZAKLJUČEK

Tog vijak na glavi bencinskega motorja osebne avtomobila se je najprej poškodoval zaradi korozijske utrujenosti, katere posledica je bila do največ 1,5 mm globoka radialna razpoka, ki je začela na dnu enega od navojev. Številne podobne krajše razpoke so nastala tudi na dnu drugih navojev.

Končna poškodba vijaka pa je nastala s trenutno porušitvijo, ko je napetost, podkrepljena z zareznim učinkom razpoke zaradi korozijske utrujenosti, preseгла trdnost jekla v preostalem nosilnem prerezu vijaka.

SUMMARY

Damage of a Screw on the Head of a 1.8 Liter Gasoline Car Engine

The paper deals with the damage of a screw on the head of a 1.8 liter gasoline car engine.

The damage to the final fracture was nucleated in certain time period, and was the result of common disadvantageous environmental influences and reversed loads. The described cause or damage mechanism has the characteristic name corrosion fatigue.

In the presented case the crack caused by corrosion fatigue grew from the fracture sur-

face to a depth of around 1.5 mm. Numerous similar but shorter cracks appeared at the bottom of various threads. The final damage of the screw occurred in instantaneous failure, when the stress, accompanied by the notch effect of the corrosion fatigue cracks, exceeded the yield strength of the steel in the bearing cross-section of the screw. This most likely occurred during screwing or other similar actions, which caused similar instantaneous loading.

Keywords: screw, seal coupling, damage, crack, fracture

LITERATURA

- [1] BARER, R. D., PETERS, B. F. (1974): Why Metals Fail?. *Gordon and Breach Science Publishers, New York*, 190 p.
- [2] *Handbook of Case Histories in Failure Analysis*. Volume 1, ASM – International, Materials Park, Ohio, 1992, 338 p.
- [3] PARRINGTON, J. R., CHRISTIE, M. D. (2000): Put It in the Drawing and Make It Like the Drawing. *Proceedings of the 1st ASM International Conference on Failure Prevention*. Cleveland, 109 p.
- [4] KNOTT, J., WITHEY, P. (1993): Fracture Mechanics – Worked Examples. *The Institute of Materials, London*, 57 p.
- [5] KOVAČIČ, G., KOSEC, L., KOSEC, B. (2001): Preiskava poškodb na platišču kolesa letala. *Glasiilo SICOS 2*, pp. 8-14.
- [6] HEYES, M. A. (1998): Automotive Component Failures. *Engineering Failure Analysis 2*, pp. 129 – 141.
- [7] KOSEC, B., KOSEC, L., BIZJAN, F., ŠKRABA, P. (2002): Damage of a Screw in the Seal Coupling. *Practical Failure Analysis: 2*, pp. 57-60.
- [8] DECKER, K. H. (1980): Elementi strojeva. *IRO tehnička knjiga, Zagreb*, 93 p.
- [9] Allianz Handbook of Loss Prevention. *Allianz Versicherungs AG, Berlin*, 1987, 667 p.
- [10] BANDIER, D. (2002): The Taming of the Screw. *R&D – The Magazine of Research and Development 7*, pp. 37-41.
- [11] TRIMM, M. (2003): An Overview of Nondestructive Evaluation Methods. *Practical Failure Analysis 3*, pp. 17-31.
- [12] KOSEC, B., KOSEC, L., KOPAČ, J. (2001): Analysis of Casting Die Failures. *Engineering Failure Analysis 4*, pp. 355-359.