

TEHNOLOGIJA NAŠTRCAVANJA VAGONSKIH OSOVINA POSTUPKOM PLAMENA GORIVOGL PLINA

THERMAL SPRAYING TECHNOLOGY OF WAGON SHAFTS USING FLAME SPRAYING

Ivan SAMARDŽIĆ¹⁾, Marko MARIĆ²⁾, Pejo KONJATIĆ³⁾

Ključne riječi: naštrcavanje postupkom gorivog plina, vagonske osovine, reparacija

Key words: thermal spraying, flame spraying, wagon shafts, reparation

Sažetak: Sve brži razvoj tehnike i tehnologije je prisutan u svim granama industrije uključujući i proizvodnju željezničkih vozila za prijevoz robe i putnika željeznicom gdje je sve prisutniji zahtjev za većom brzinom kretanja željezničkih vozila kao i za povećanjem njihove nosivosti. U takvim uvjetima eksploracije povećana je mogućnost pojave oštećenja i pogrešaka na sklopovima željezničkih vozila, pa tako i na osovinskom sklopu. Takva oštećenja je moguće reparirati različitim postupcima, a jedan od njih je i postupak naštrcavanja koji je opisan u ovom radu.

Abstract: Faster development of technology in all parts of industry is also present in railway industry. In railway production of railway vehicles, for transportation of people and goods, demands for higher velocities and higher carrying capacity are required. In such exploitation conditions possibility of damage occurrence is increased in all parts of railway vehicles as well as in shaft assembly. Such damage is possible to repair using various processes and one of them is thermal spraying process which is described in this paper.

¹⁾ Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Trg I. B. Mažuranić 2, HR-35000 Slavonski Brod, ivan.samardzic@sfsb.hr

²⁾ Remont i proizvodnja željezničkih vozila, Dr. Mile Budaka 2, HR-35000 Slavonski Brod, marko.maric@rpvsb.hr

³⁾ Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Trg I. B. Mažuranić 2, HR-35000 Slavonski Brod, pejo.konjatic@sfsb.hr

1. UVOD

Svi konstrukcijski materijali pa tako i materijali korišteni u proizvodnji željezničkih vozila za prijevoz robe i putnika podložni su štetnim promjenama kao što su trošenje, korozija, pojava pukotina i sl. koje im smanjuju uporabnu vrijednost. Štetne promjene prate konstrukcijske materijale od njihova sirova oblika, ugradnje u poluproizvod, proizvod i njegovo korištenje pa sve do otpreme na otpad, odnosno na reciklažu. Zaštita i reparacija se može obavljati različitim postupcima, a jedan od njih je i tehnologija naštrcavanja koja se još naziva i metalizacija prskanjem ili sopiranje prema izumitelju Švicarcu M.U. Schopu.

Naštrcavanje materijala je postupak u kojem se dodatni materijal nanosi na osnovni materijal i na taj način stvara prevlaka preko osnovnog materijala, a svrha naštrcavanja materijala na metalne i nemetalne konstrukcije je:

- zaštita od mehaničkog trošenja,
- postizanje određenih fizikalnih svojstava površine,
- povećanje dimenzija istrošenih dijelova,
- postizanje estetskog dojma,
- zaštita od korozije [1].

Ukoliko se dodatni materijal pri postupku naštrcavanja zagrijava kako bi se rastalo i nanio na osnovni materijal stvarajući na taj način prevlaku preko osnovnog materijala, postupak se naziva toplinsko naštrcavanje.

2. TOPLINSKO NAŠTRCAVANJE

Kada se žele dobiti posebna svojstva površine materijala na koji se vrši naštrcavanje: otpornost na trošenje (W i Cr – karbidi), otpornost na koroziju (Zn, Al, Ni – prevlake), otpornost na visoke temperature i dekorativna svojstva, koristi se tehnika toplinskog naštrcavanja [2]. Suština tehnike toplinskog naštrcavanja materijala sastoji se u tome da se električnim ili kemijskim putem dodatni materijal zagrijava do rastaljenog stanja i naštrcava brzom strujom zraka ili drugog plina na podlogu na koju se želi nanijeti prevlaka. Mlaz kapljica udara o podlogu pri čemu se kapljice spljošte, naglo hладe i skrućuju u kružne pločice promjera do 0,1 mm, debele do 0,05 mm. Procesom stezanja pločice stisnu mikroizbočine podloge prianjajući na podlogu tzv. sidrenjem. U dalnjem procesu na poluskrutnute pločice udaraju nove kapljice stvarajući prevlaku djelomično zavarivanjem, djelomično sidrenjem. Pri oblikovanju prevlake ne dolazi do potpunog slijevanja kapljica pa su zbog toga prevlake porozne i hraptave [2].

Ovim postupkom mogu se nanijeti svi metali, a pri samom postupku podloge se slabo griju, obično od 50 do 200 °C, pa se prevlake mogu nanositi i na metale i na nemetale. Toplinskim naštrcavanjem mogu se prevlačiti i toplinski osjetljive podloge, odnosno one podloge koje se grijanjem lako rastale, raspadnu ili zapale (npr. poliplast, karton, tekstil, drvo, gips, beton, keramika, staklo itd.), ali se pri tome moraju uvesti posebne mjere opreza.

Postupci toplinskog naštrcavanja se razlikuju prema:

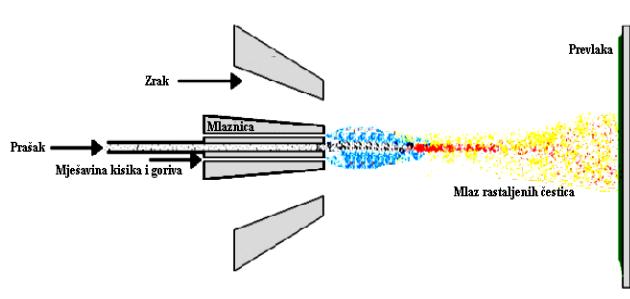
- načinu zagrijavanja materijala (izgaranjem ili električnim lukom),
- vrsti korištenog dodatnog materijala (prašak ili žica),
- atmosferi u kojoj se rastaljene čestice raspršuju (zrak), vakuum ili inertni plin).

Postoji više načina izvođenja toplinskog naštrcavanja, a u nastavku je opisan postupak toplinskog naštrcavanja gorivim plinom koji se koristi u reparaciji vagonskih osovina.

3. OPIS POSTUPKA NAŠTRCAVANJA GORIVIM PLINOM

Naštrcavanje gorivim plinom pripada tehnologiji naštrcavanja u kojoj se zapaljiva goriva miješaju sa oksidirajućim agensima, pri tome stvarajući plamen. Ovaj plamen tali materijal, a komprimirani zrak otpuhuje rastaljene čestice na površinu koja se naštrcava. Naštrcavanje gorivim plinom je podijeljeno u dvije, komercijalno jako značajne tehnologije naštrcavanja. Tehnologija koja koristi mlaz plina nastalog izgaranjem, koji je slobodan u otvorenom okruženju poznata je pod nazivom naštrcavanje plamenom. Ako postupak koristi mlaz plina koji je nastao unutarnjim izgaranjem gorivog plina pri velikim brzinama strujanja i tlaka, i to takvim da je pri izlazu brzina mlaza brža od zvuka, poznat je pod nazivom HVOF postupak naštrcavanja (eng. High Velocity Oxy-Fuel spraying).

3.1 Naštrcavanje plamenom gorivog plina



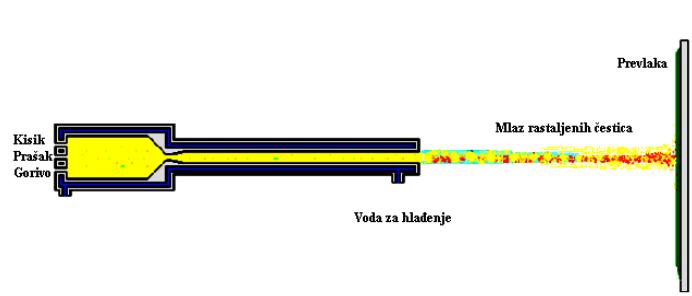
Slika 1. Shematski prikaz naštrcavanja plamenom [6]

Na slici 1 prikazan je tipičan uređaj za naštrcavanje plamenom. Prašak se dovodi u uređaj za naštrcavanje gdje se tali u plamenu na samom ulazu u pištolj za naštrcavanje. Stabilizirajući mlaz vrućeg zraka pomaže pri sužavanju mlaza rastaljenog materijala. Vrući ekspandirajući plinovi u plamenu pokreću rastaljene čestice prema površini koja se naštrcava. Omjer kisika i goriva kreće se od 1:1 do 1,1:1. Kao gorivi plin najčešće se koriste acetilen i propan. Što je manji udio kisika, atmosfera plamena je više karbonizirajuća, dok veći udio kiska stvara oksidirajuću atmosferu. Ovaj omjer ima direkstan utjecaj na svojstva naštrcanog sloja.

3.2 HVOF postupak naštrcavanja (High Velocity Oxygen Fuel Spray)

Ovaj postupak naštrcavanja je razvijen u kasnim 70-im i ranim 80-im godinama prošlog stoljeća što čini ovaj postupak relativno novom inovacijom u industriji toplinskog naštrcavanja [3]. HVOF postupak se razlikuje od konvencionalnog plamenog naštrcavanja u smislu da je izgaranje unutar mlaznice i da su protoci plina mnogo veći nego kod konvencionalnog naštrcavanja plamenom (500 litara kod HVOF postupka, a 100 do 200 litara kod konvencionalnog naštrcavanja) [4]. Zbog većeg protoka plina, javlja se puno veći unutarnji tlak kod HVOF nego kod konvencionalnog postupka naštrcavanja.

Na slici 2 prikazan je tipičan uređaj za HVOF naštrcavanje. Prašak se ubrizgava aksijalno u mlaznicu gdje se miješa sa plinom koji izlazi iz komore za izgaranje nadzvučnom brzinom (od 400-500 m/s) [6]. Plin nastaje izgaranjem goriva u komori za izgaranje. Mogu se koristiti različite vrste goriva kao što su: acetilen, kerozin, propan, propilen i vodik. Širok raspon goriva koje se može koristiti u ovom postupku omogućava odabir najekonomičnijeg goriva potrebnog za postizanje prevlake željenih karakteristika. Temperatura plina i odgovarajuća temperatura čestica koje se naštrcavaju na osnovni materijal su funkcije vrste i omjera mješavine goriva i kisika.



Slika 2. Shematski prikaz HVOF postupka naštrcavanja [6]

4. UVJETI EKSPLOATACIJE I KARAKTERISTIKE OŠTEĆENJA OSOVINE

Zbog mogućnosti odvijanja prijevoza putnika i robe željeznicom osim stabilnih kapaciteta potrebni su i mobilni kapaciteti, odnosno vozna sredstva – lokomotive i vagoni. Dok lokomotive osiguravaju vučnu silu, vagoni imaju zadatku prijevoz putnika i robe na različite udaljenosti. Vagon je sastavljen od više sklopova, a pod pojmom sklopa vagona podrazumijevamo više dijelova koji međusobno povezani čine jednu cjelinu. Glavni sklopovi teretnih i putničkih vagona su: osovinski sklop, sklop osovinskog ležaja, ogibljenje, ovješenje, okretno postolje, postolje vagona, sanduk vagona, odbojnici, vučna oprema i sustav za kočenje. Jedan od sklopova vagona koji je izložen različitim i najvećim opterećenjima u eksploataciji i ako tako možemo reći najvažniji sklop za kretanje vagona po kolosijeku, je osovinski sklop (slika 3).



Slika 3. Osovinski sklop za teretne vagonе

Vagonske osovine su izložene naprezanjima na savijanje pod djelovanjem tereta koji se prevozi. U statičkom pogledu, osovine se mogu smatrati kao ravna greda sa dva oslonca i dva prepusta, na čije krajeve (rukavce) djeluje teret. Vagonske osovine se proračunavaju na savijanje, a koliko su važan dio sklopa govori i činjenica da je koeficijent sigurnosti sedam puta veći od proračuna za rukavce i devet puta za tijelo osovine. Na osovinskim sklopovima tijekom njihove uporabe javljaju se kvarovi, koji izuzetno nepovoljno mogu utjecati na sigurnost u prometu. Kvarovi se grupiraju u dvije skupine i to u kvarove uslijed nenormalnog istrošenja dijelova osovinskog sklopa i oštećenja na dijelovima osovinskog sklopa. Na osovinu za teretne

vagone, jedina površina na kojoj se mogu sanirati oštećenja postupkom toplinskog naštrcavanja materijala, je površina dijela osovine koji se zove rukavac. Oštećenja površine rukavca za kotrljajući ležaj najčešće nastaje kao posljedica okretanja unutarnjeg prstena valjkastog ležaja oko rukavca osovine. Okretanje prstena nastaje iz slijedećih razloga:

- kvar u kotrljajućem ležaju uslijed čega blokira ležaj i
- nepridržavanja tolerancija ležaja ili promjera rukavaca kod izrade osovine uslijed čega nastaje labav spoj.

Kvar u osovinskom sklopu manifestira se zagrijavanjem ležaja, a tek u radionici je moguće utvrditi razlog zagrijavanja. Zakretanjem unutarnjeg prstena kotrljajućeg ležaja oko rukavca osovine, dolazi do oštećenja površine rukavca. Oštećenja se manifestiraju u vidu brazgotina na rukavcu koje imaju okomit smjer na os osovine, a nastaju zbog toga što je materijal iz kojega se izrađuje unutarnji prsten ležaja znatno tvrdi od materijala iz kojeg se izrađuje osovinica. Na slici 4 prikazan je rukavac osovine oštećen zakretanjem unutarnjeg prstena kotrljajućeg ležaja po rukavcu.



Slika 4. Rukavac osovine oštećen zakretanjem unutarnjeg prstena kotrljajućeg ležaja po rukavcu

Oštećenja rukavca osovine (istrošenje – dubina brazgotine) gdje je dopuštena sanacija može biti maksimalno do 3 mm po promjeru (debljini) rukavca, odnosno do 1,5 mm po strani rukavca.

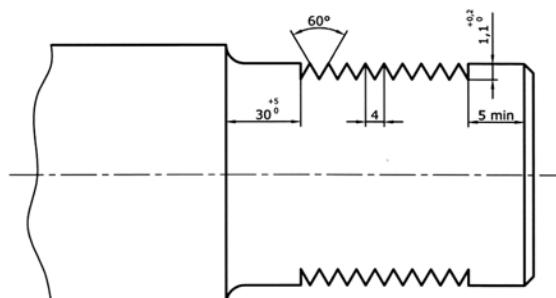
5. NAŠTRCAVANJE MATERIJALA NA ISTROŠENE DOSJEDE OSOVINA TERETNIH VAGONA PLAMENOM GORIVOGL PLINA

U nastavku je obrađen konkretan problem koji se dogodio na teretnom vagonu Eas-z broj 31 78 5950 718 -6. U željezničkoj postaji Slavonski Brod. Osoba zadužena za pregledavanje vagona je na tovarenom vagonu serije Eas-z broj 31 78 5950 718 -6 utvrdila neispravnost "zagrijavanje kotrljajućeg ležaja" na osovinici broj 7134, u okretnom postolju tipa Y 25 CSB broj 5480. Propisanom procedurom vagon je isključen iz prometa zbog kvara na osovinskom sklopu i dopremljen u radionicu na popravak. Nakon demontaže, pranja i čišćenja osovine vagona pristupilo se kontroli dimenzija kako bi se utvrdilo da li su dimenzije u propisanom polju

tolerancije, a ukoliko na rukavcu osovine postoje i oštećenja, onda je potrebno što preciznije izmjeriti njihovu dubinu i površinu. Nakon izmjera i analize oštećenja na rukavcu osovine, zaključeno je da rukavac osovine nema propisane dimenzije. Radi labavog spoja između unutarnjih prstena ležaja i rukavca osovine, došlo je do zakretanja unutarnjih prstena ležaja oko rukavca osovine što je uzrokovalo i zagrijavanje ležaja, a okretanjem unutarnjih prstenova ležaja oko rukavca osovine nastala su oštećenja rukavca osovine. Oštećenja su u dopuštenim granicama te je moguća sanacija oštećenja, odnosno popravak rukavca. Maksimalna dubina oštećenja rukavca je 0,8 mm.

S obzirom na vrstu i dimenzije oštećenja rukavca osovine, priprema površine rukavca za toplinsko naštrcavanje je provedena po slijedećem tehnološkom postupku:

- rukavac osovine je dobro očišćen kao i njegova okolina,
- odstranjen je umorni materijal sa oštećenih mesta kako bi se došlo do "zdrave" osnovne podloge,
- priprema površine rukavca osovine je izvršena obradom odvajanja čestica na tokarskom stroju tip TES 4-350 (slika 5).



Slika 5. Skica obrađenog rukavca osovine prije naštrcavanja

5.1 Osnovni materijal za naštrcavanje

Osovina je izrađena od nelegiranog ugljičnog čelika čija je kemijska čistoća izražena slijedećim uvjetima:

- sadržaj fosfora (P) < 0,05 %
- sadržaj sumpora (S) < 0,05 %
- zbroj P + S > 0,09 %

Kod ovog čelika sadržaj ostalih elemenata (osim ugljika) ne prelazi slijedeće vrijednosti:

- mangan	1,20 %
- silicij	0,50 %
- nikal	0,20 %
- krom	0,30 %
- molibden	0,05 %
- vanadij	0,05 %
- bakar	0,30 %

5.2 Naštrcavanje materijala na rukavac osovine

Obzirom da su oštećenja na rukavcu osovine bila veća od 0,5 mm, kao dodatni materijal za naštrcavanje koristio se METCO 405, "nikl – aluminid" kao sloj za vezivanje. Prije početka naštrcavanja dodatnog materijala na rukavac osovine, rukavac osovine je bilo potrebno

predgrijati na temperaturu oko 30 °C. Predgrijavanje je potrebno kako bi se postigla što bolja mikrodifuzija iskre na rukavcu osovine čime se postiže kvalitetniji mikrozavar, odnosno metalurški spoj između osnovnog i dodatnog materijala za naštrcavanje. Nakon predgrijavanja rukavca osovine pristupilo se postupku nanošenja (naštrcavanja) dodatnog materijala uređajem tipa METCO E 10, pod određenim tlakom i određenom brzinom. U uređaju se zapravo događa promjena stanja dodatnog materijala, odnosno dodatni materijal se iz oblika žice pretvara u oblik prskajućih iskri, gdje se rastaljena zraka raspršuje u iskre koje u plastičnom stanju prianjaju na rukavac osovine (osnovni materijal). Na slici 6 prikazan je uređaj za toplinsko naštrcavanje plamenom gorivog plina.

Posmak uređaja (pištolja) za naštrcavanje potrebno je podešiti na način da se dobije što jednoličnija struktura naštrcanog sloja na rukavcu osovine, a za odabrani kvalitet žice (dodatni materijal za naštrcavanje METCOLOY 2 Ø3,2) posmak je podešen na 3 do 6 mm po okretaju rukavca osovine. Vezivni sloj METCO 405 (nikl – alumirid) je naštrcan samo u jednom prolazu po površini rukavca osovine.



Slika 6. Postupak toplinskog naštrcavanja plamenom gorivog plina i naštrcani rukavac osovine

Rastojanje zračne kape uređaja pištolja za naštrcavanje od rukavca osovine podešen je na način koji osigurava dobro prianjanje i kvalitetnu strukturu naštrcanog sloja. Dužinu vrha žice koji viri iz zračne kape uređaja (pištolja) za naštrcavanje potrebno je isto tako podešiti da užareni vrh žice bude isturen do te mjere dok se ne postigne taljenje bez naštrcavanja. Pridržavanjem navedenih pravila osigurava se dobro prianjanje naštrcanog sloja na rukavac osovine i kvalitetna struktura naštrcanog sloja [6].

5.3 Obrada naštrcane površine rukavca osovine

Nakon naštrcavanja dodatnog materijala na rukavac osovine potrebno je dopustiti da se rukavac osovine ohladi na normalnu temperaturu. Nakon što se rukavac osovine ohladio na normalnu temperaturu, obavila se obrada rukavca osovine odvajanjem čestica i to tehnološkim postupkom tokarenja i brušenja.

6. ISPITIVANJE KVALITETE NAŠTRCANOG SLOJA

Da bi pouzdano znali da li naštrcani sloj odgovara propisanoj razini kvalitete potrebno je izvršiti ispitivanja naštrcanog sloja (prevlake). Naštrcani sloj (prevlaka) se redovito ispituje odmah nakon naštrcavanja i to po unaprijed planiranoj proceduri. Ukoliko se radi o velikim serijama izradaka, ispitivanja se najčešće provode na statistički odabranim uzorcima. Ukoliko se

radi o pojedinačnom izratku na koji se vrši naštrcavanje onda se ispitivanje naštrcanog sloja vrši samo na tom izratku. Kvaliteta naštrcanog sloja ocjenjuje se na temelju važećih standarda, internih propisa i zahtjeva naručitelja (korisnika usluga). U konkretnom primjeru, kvalitetna naštrcanog sloja na rukavac osovine ispitivala se:

- vizualnim pregledom,
- pregledom strugotine nakon obrade naštrcanog sloja odvajanjem čestica (tokarenjem),
- makrografskom snimkom strugotine,
- ispitivanjem kemijskog sastava strugotine,
- mjerljem površinske tvrdoće po Vickersu,
- mjerljem prionljivosti dodatnog materijala na ravnim pločama od istog osnovnog materijala kao i rukavac osovine i
- rendgenskim snimanjem.

Rendgenskim ispitivanjem naštrcanog sloja, nadena poroznost je u granicama dopuštenog (ispod 1,5 %). Struktura naštrcanog sloja je ujednačena i pokazuje kontinuirani i čvrst spoj s osnovnim materijalom (rukavcem osovine).

Mjerljem površinske tvrdoće po Vickersu u devet ispitnih točaka, dobiveni su rezultati dali prosječno rasipanje od 2 % što zadovoljava traženu kvalitetu. Metalizirana osovina na obrađenom rukavcu ima prosječnu tvrdoću 217 HV. Radi usporedbe, nova osovina na obrađenom rukavcu ima površinsku tvrdoću u prosjeku 212 HV.

Prionljivost dodatnog materijala mjerena je na ravnim pločama od istog osnovnog materijala i u pet proba rezultat je bio slijedeći:

F ₁ mjereno	49 N/mm ²
F ₂ mjereno	44 N/mm ²
F ₃ mjereno	50 N/mm ²
F ₄ mjereno	47 N/mm ²
F ₅ mjereno	48 N/mm ²

Dobiveni rezultati su zadovoljavajući i osiguravaju prijenos dinamičke sile po rukavcu pod najtežim uvjetima eksploatacije.

7. ZAKLJUČAK

Postupak naštrcavanja je srođan postupku zavarivanja, ali u odnosu na zavarivanje ima brojne prednosti. Te prednosti su:

- tanak sloj nanošenja (0,5 – 1 mm),
- manje deformacije radnog komada (podloge),
- nemiješanje osnovnog s dodatnim materijalom,
- mogućnost naštrcavanja nezavarljivih metala i legura,
- zahtjevi za obradom površina pri naštrcavanju su mali,
- uređaji su jeftiniji i troše se male količine dodatnog materijala,
- dodatni materijal može biti u obliku žice ili praška različite granulacije, a po sastavu mogu biti metali različitih vrsta (npr. Ni, Cr, tvrdi metali) keramika, te različite vrste oksida.

U prikazanom primjeru uspješno je obavljena reparacija dijela osovinskog sklopa, te su mehanička i tehnološka svojstva bitna za funkciranje proizvoda zadovoljena za ponovnu upotrebu istog. Zbog toga i zbog relativno jeftinog uređaja za sam postupak, kao i zbog male količine dodatnog materijala postupak naštrcavanja je prihvatljiv i opravdan u reparaciji osovinskih sklopova.

8. LITERATURA

- [1] Esih, Ivan – Dugi, Zvonimir, "Tehnologija zaštite od korozije", Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 1992: str. 9-92
- [2] Gojić, Mirko, "Tehnike spajanja i razdvajanja materijala", Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, 2003: str. 24-26
- [3] Kreye H., Scmwetzke R., and Zimmermann S. "High Velocity Oxy-Fuel Flame Spraying-Process and Coating Characteristics", ASM International August 1996: str. 452-453.
- [4] Smith, Ronald W. and Fast, Ronald D. "The Future of thermal Spray Technology", Welding Journal vol. 73, July 1994: str. 43-55.
- [5] Tehničko-tehnološka dokumentacija poduzeća "Remont i proizvodnja željezničkih vozila" d.o.o. Slavonski Brod, 2000.
- [6] Thermal spray coatings page indeks, <http://www.gordonengland.co.uk/homepage.htm>, 2007.