

BAKALAUREUSETÖÖ LÜHIKOKKUVÕTE

Erosioonkulumine on väga tõsine probleem tänapäeva soojus- ja elektri jaamade katlaseadmetes. Kahjulike gaaside väljalaske vähendamiseks on kasutusele võetud keevkihttehnoloogia. Kuumad gaasid kannavad lisaks põlevas kütuses sisalduvatele orgaanilisele materjalile ka mineraalseid osakesi, selle tulemusena toimub katla tööpindade jt. detailide erosioon. TTÜ Triboloogia ja materjali katsetuste teaduslaboratooriumis on olemas unikaalne erosioonikatsemasin CAK-HET, mis võimaldab katsetada materjale erosiooni tingimustes temperatuuril kuni 650 °C ning abrasiivosakeste kiirusel kuni 80 m/s. Katse käigus juhitakse abrasiivosakesed vaid katsekeha esipinnale. Ülejäänud katsekeha pinda mõjutab ainult kuumgaaskorrosioon. Oksiidkihi kasvamise tõttu on raske mõõta kulumist katsekeha geomeetria või pinna topograafia muutumise järgi. Mõõtmaks kulumist kaalukao järgi on tarvis vähendada ülejäänud pinnete oksüdeerumist. Vaja on kasutada nn „maski“, milleks võiks sobida mõni PVD (füüsikalise aurustamise teel valmistatud) pinne. Töö eesmärgiks on sadestada erinevaid PVD pindeid ning uurida nende oksüdeerumise kineetikat. Väikseima oksüdeerimiskiirusega pinnet võiks tulevikus kasutada ülejäänud pindade kaitsmiseks erosioonkatsete läbiviimise ajal.

Sageli kasutatakse tähtsate komponentide kaitsmiseks energia valdkonnas erinevaid pindamismeetodeid, et tõsta kulumis- ja/või erosioonkulumiskindlust. Nende pinnete katsetamine on keerulisem kuna kõrgtemperatuurse erosioonkatse jooksul oksüdeeruvad nii pinne kui ka aluspinne. Nende oksüdeerumise intensiivsus on tavaliselt erinev ja seda on raske prognoosida. Väga tihti on aluspinna oksüdeerumine (kaalu kasv) intensiivsem kui erosioonkulumine (kaalu kadu) ja katse tulemust ei saa interpreteerida. On olemas mõned meetodid, kuidas seda oksüdeerumisprotsessi arvesse võtta või vähendada. Näiteks, on võimalik tekitada oksiidikiht enne erosioonkatsetamist või arvutada, kuidas oksüdeerub iga katsekeha eraldi, et see hiljem arvutusvalemisse viia. Lisaks PVD „maski“ kasutamisele on tähtis pakkuda sobiv alusmaterjal, mis ei oksüdeeru (või oksüdeerub minimaalselt) ja sobib „maski“ jaoks antud katsetemperatuuride vahemikus. Erinevus pinna ja aluspinna soojuspaisumistegurites põhjustab termopingete arenemist ja võib viia pinna pragunemiseni või maha eemaldumiseni.

Sobiva aluspinna väljaselgitamiseks valiti 5 erinevat materjali:

1. Hardox 400; kulumiskindel sulam. Tihti kasutatakse võrdlusmaterjalina. Ei sobi temperatuuridel üle 250 °C. Kasutatakse oksüdeeruva metalse materjali näidisena.
2. Teras 45 (C45/1.0503 EN10083). Kasutatakse oksüdeeruva metalse materjali näidisena.
3. Roostevaba teras AISI 316. Laialt kasutatav teras.
4. Kroomkarbiidi baasil kermis (Cr₃C₂ + 15 % Ni). Kuumuskindel kermis.
5. Volframkarbiidibaasil kõvasulam (WC + 15% Co). Tavaliselt ei kasutata temperatuuridel üle 600° C. Laialt kasutatakse PVD-ga pinnatud lõikeriistade alusmaterjalina.

Katsekahad said sügavalt märgitud teemantfreesiga ja siis puhastatud (lihvitud teemant käiaga). Lihvimise efekti mõju selgitamiseks osa Cr₃C₂ + 15 % Ni kermisest lihviti ja osa jäi lihvimata (Joonis 3). Pingete kontsentratsiooni vähendamiseks katsekehade servad ümardati (nüristati).

Katsekehad jagati kahte võrdsesse gruppi ja kaeti kahe erineva PVD pindega. Katsetamiseks valiti välja kaks Tallinna Tehnikaülikooli pindamislaboris enim kasutamist leidnud pinnet (TiAlN ja AlCrN). See on väga oluline, kuna kiire ja taskukohane (PVD seadmes on alati olemas vaba maht katsekehade paigaldamiseks) katsekehade kaitsmine on otsustavaks näitajaks erosioontellimuste saamiseks ja sooritamiseks.

Pinnet (TiAlN ja AlCrN) sadestatiioon-plasmakaar seadmega Platit π -80 abil. Proovid asetati hoidjale koos teiste detailidega (Joonis 4,5).

Kalo-test meetodit kasutati pinnete paksuse määramiseks. Käesolev katsemeetod võimaldab lühikese aja jooksul mõõta pinnete paksust. Meetodis kasutatakse kindla läbimõõduga pöörlevatkuuli. Kuul surutakse väikese jõuga (vähem kui kuuli kaal) pinnatud keha vastu ja pannakse pöörlema etteantud pöörlemissagedusega. Teemant suspensioon (1 μ m) asetatakse kontaktpunktile, mis põhjustab pinna kulumise. Jälje kuju kopeerib kuuli kuju (poolsfäär) kuna kuul on mitu suurusjärku suurem kui teemandi osakene.

Meie katsel oli palli läbimõõt 15 mm, pöörlemiskiirus 100 m-1, protsessi kestus – 20 sekundit. Hiljem toimus jälje pildistamine optilise mikroskoobiga, vajalike suuruste mõõtmine (Joonis 6-9)

ja paksuse arvutamine. Proovi 3_9 TiAlN pinne paksus – 3,61 μm , proovi 3_17 AlCrN pinne paksus – 1,75 μm .

Pinna ja aluspinna adhesiooni hindamiseks kasutati Rockwelli meetodi. Teemantotsik (tipu raadiusega 200 μm ja koonuse nurgaga 120°) surutakse materjalisse ja uuritakse PVD pinnal tekkinud defekte (Joonis 11,12). Katset korrati neli korda igamaterjaliga. Näidatakse ka HRA kõvadust, kuid see illustreerib pigem aluspinna omadust, kuna pinna paksus on palju väiksem kui jäljendi sügavus ning mõju on minimaalne. Väikesed praod on nähtavad. On olemas kohesiivne pinna kihistumine (klass 1 VDI 3198 standardi järgi). See on päris hea tulemus. Keskmine kõvadus proovi 3_9 puhul oli 53,6 HRA. Keskmine kõvadus proovi 3_17 (AlCrN/AISI 316) puhul oli 53,2 HRA (Joonis 14,15). On näha, et pinde struktuuris on praod ka väljaspool katse piirkonda. Sellel katte adhesioon on ka vastuvõetav ja vastab klassile 1 VDI 3198 standardi järgi.

Oksüdeerumiskindluse määramine jagati kahte etappi. Esimese etapi eesmärgiks oli määrata kriitiline temperatuur, mis vastab tähelepanu väärivamõõdetava oksüdeerumise algusele. Järgmisel etapil sai uuritud oksüdeerumise kestvuse mõju katsekehadele 800 °C temperatuuril, et selgitada välja kui kiiresti kaob PVD pinnete kaitseefekt (mõju). Katsekehad kaaluti enne ja pärast katsetamist ja arvutati kaalumuuutus (Tabel 5-6). Iga katsekeha pindala mõõdeti ja arvutati oksüdeerumise suhtelised (eri) väärtused mgsm^2 .

Esimesel etapil hoiti katsekehi 5 tunni jooksul järk järgult temperatuuridel 500, 600, 700, 800, 900 ja 1000 °C. Katse kestvus valiti maksimaalset kõrgtemperatuurset erosioonkatset silmas pidades, mis hõlmas kuumutamise, erosioon katsetamise ja jahutamise kogukestvist. Iga katsekeha katsetati alguses kõige madalamal temperatuuril ning siis järgmisel 100 °C võrra kõrgemal temperatuuril kuni 1000 °C-ni või kuni temperatuurini, millal oksüdeerumine oli juba katastroofiline. Oksüdeerumiskatse kuumutamise ja jahutamise intensiivsus oli programmeeritud kui 5.5 °C minutis, et välistada materjali purunemist termopingete tõttu. Katsete läbiviimiseks kasutati PID termokontrolleriga Nabertherm L 9/13 ahju. Tabelite 5 ja 6 andmete paremaks esitlemiseks koostati Graafikud (Joonis 16,17).

Esimese etapi andmete alusel saame teha järeldusi, et kõikide katsekehade oksüdeerumine temperatuuride diapsoonis 500 – 700 °C on minimaalne (vähem kui 0,01 mg). Alates 800 °C on oksüdeerumine juba tähelepanuvääriv kõikide pinde/aluspinde kombinatsioonide puhul.

Temperatuuril 800 °C sobib TiAlN paremini Hardox 400 ja teras 45 kaitsmiseks, kuna nendel on väiksem erinevus soojuspaisumistegurite vahel (9-15 ja 9-10 x 10⁻⁴K⁻¹) võrreldes AISI 316 (16-18 x 10⁻⁴K⁻¹). Kõrgel temperatuuril (900 ja 1000 °C) ei saa kasutada Hardox 400 ja teras 45, nende katastroofilise oksüdeerumise tõttu. Sel juhul sobib paremini AISI 316; AISI 316-le sobib paremini AlCrN pinne (max. 900 °C) kuna ta on oksüdeerumiskindlam kui TiAlN (max. 700 °C). Temperatuuridel üle 800 °C toimub TiAlN pinna eemaldumine (kaalukadu) (Joonis 18).

Optilise mikroskoobi abil leiti, et temperatuuril 800°C on WC + 15 % Co (B15_3 ja B15_4) aluspinnaga pindedkahjustatud (Joonised 19-26). AlCrN kahjustatud kohtades (poorid ja struktuuri defektid) kasvasid oksiidist koonused (Joonis 19-22). Kõige intensiivsem oksiidi kasv TiAlN pinnal oli nurkades (Joonis 24-26).

Temperatuur 800 °C sai valitud teise etapi jaoks kuna ta põhjustas minimaalse aga tähelepanuväärse oksüdeerumise. See temperatuur on kõrgem kui maksimaalselt saavutatav erosioonkatse temperatuur (650 °C). Kui mingi pinne/aluspinne kombinatsioon oksüdeerub minimaalselt sel tingimusel (800 °C) siis on kindlustunne, et temperatuuril 650 °C ta töötab veelgi paremini. Katse kestvuse mõju oksüdeerumisele sai uuritud 40 tunni jooksul. Katsetati ainult parimaid aluspindu, vaadates esimese katse etapi tulemusi (AISI 316, Hardox 400, teras 45). Uuriti kineetikat kasutades summaarset katse kestvust 2, 5, 10, 20 ja 40 tundi. Esimese katse kestvus oli 2 tundi. Hiljem samad katsekehad uuriti veelkord, näiteks teise lisakatse kestvus oli 3 tundi, mis kokku annab 5 tundi ja nii edasi. Teise etapi tulemused on kajastatud Tabelis 7 ja 8.

Teise eksperimendi jooksul terasest 45 ja Hardox 400 (pindega TiAlN ning AlCrN) proovide kaalu juurdekasv oli suurem, kui roostevabast terasest AISI 316 proovil. Seepärast oli mugavam kõrvutada eraldatud graafikuid. Graafikute alusel (Joonis 27-30) võib teha järelduse, et roostevaba terasest AISI 316 proov kannatab kõrgeid temperatuure paremini kui teised proovid. Aga kui kõrvutada roostevaba terase AISI 316 tulemusi kahe erineva pindega TiAlN ja AlCrN, siis saab teha järelduse, et pinne AlCrN kannatab eksperimendi määratud tingimusi paremini, kui pinne TiAlN.

Teise etapi jooksul kombinatsioonid teras 45 ja Hardox 400 aluspinnaga oksüdeerusid väga intensiivselt. Oksüdeerumine oli mitu suurusjärku kõrgem, kui AISI 316 korral. Nende optilised

pildid on toodud Joonistel 31-35. Vaatamata sellele, et teras 45 ja Hardox 400 aluspinnaga katsekehade oksüdeerumine oli lubamatult kõrge, suutis TiAlN pinne kaitsta neid paremini.

Temperatuuri 800 °C jaoks sobis AISI 316 aluspinnaks hästi. Sellele aluspinnale sobis parim AlCrN pinne kuna selle kombinatsiooni oksüdeerumine oli 40 tunni jooksul minimaalne ja praktiliselt ei arenenud.

Järelduseks on see, et need tulemused on väga tähtsad kõrgtemperatuursete erosioonkatsete läbiviimiseks. Kui on võimalik, siis tuleb katsepinnad (mida katsetakse erosioonmeetodiga) pihustada AISI 316 aluspinnale, mis tõsiselt vähendab oksüdeerumist. Kui katsekehad (täismaterjalist või pihustatud kihiga) on juba valmistatud oksüdeeruva aluspinnaga (sarnasel teras 45 või Hardox 400-ga) siis tuleb aluspinna kaitsmiseks kasutada PVD „maski“.

PVD „maski“ saab kasutada ka AISI 316 aluspinna puhul oksüdeerumiskindluse tõstmiseks. „Maski“ tekitamiseks sobib nii TiAlN kui ka AlCrN PVD pind. Terasele 45 või Hardox 400-le, temperatuuridel kuni 650 °C, sobib paremini TiAlN, pinde ja aluspinde väiksema soojuspaisumistegurite erinevuse tõttu. Lisaks saab PVD pinnet kasutada tööstuses (näiteks elektrijaamadel) oksüdeerumiskindluse tõstmiseks, remondikulude vähendamiseks.