

## **VIDAUS DEGIMO VARIKLIO ŽVAKIŲ EROZIJA IR JOS TYRIMO PRIETAISAS**

### **SPARK PLUG EROSION IN SI ENGINE AND EROSION TEST DEVICE**

Audris Šimakauskas

Vilniaus Gedimino technikos universitetas  
audris@skdn.com

*Gauta 2012-04-30, pateikta spaudai 2012-09-07*

Straipsnyje nagrinėjama vidaus degimo variklio žvakių elektrodų erozija. Apžvelgiami naujausi darbai žvakių erozijos tema. Pateikti elektrodų analizės rezultatai (dėvėjimosi priklausomybė nuo kibirkšties iškrovos energijos, gamybos technologijos ir naudojamų degalų). Aprašytas VGTU sukurtas prietaisas automobilio kibirkštinio uždegimo žvakės erozijai tirti, paaiškintas jo veikimo principas. Pateikti bei apibendrinti tirtų žvakių erozijos eksperimentų rezultatai bei išvados.

*Elektrodai, erozija, kibirkštimis uždegimas*

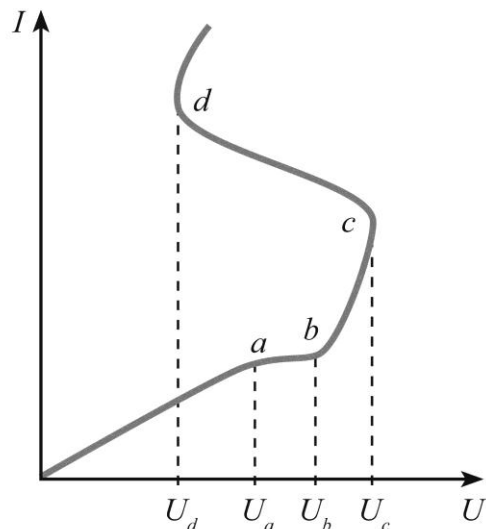
### **Įvadas**

Vidaus degimo variklio (VDV) darbo mišinio uždegimo žvakių elektrodų erozijos problema tokia pat sena, kaip ir aukštos įtampos uždegimo sistema. Aukštos įtampos kibirkštis buvo panaudota jau pirmiesiems dujomis dirbantiems vidaus degimo varikliams.

### **Literatūros apžvalga**

Kibirkštis dujose (dujų pramušimas) įvyksta, kai jos pakankamai jonizuojamos ir per pramuštą kanalą teka tam tikro dydžio srovė. Net ir normaliose sąlygose dujose yra jonų, tačiau jų būna labai mažai. Sudarant dujų voltamperinę charakteristiką, kai, matuojant tokių dujų laidumą, matavimo grandinėje naudojamas žemos įtampos šaltinis, srovė grandinėje pradžioje bus labai maža. Didinant šaltinio įtampą, daugėja jonų tarp matavimo grandinės elektrodų ir srovė didėja beveik tiesiškai proporcingai įtampos didėjimui (1 pav.). Toliau didinant įtampą, srovės augimo greitis mažėja, o vėliau beveik visai sustoja. Tuomet jonų kiekis, nutekantis į elektrodus per vienodus laiko tarpus, prilygsta tarp elektrodų atsirandančių jonų kiekiui. Srovė grandinėje mažai priklauso nuo įtampos didėjimo. Tai sotes srovė. Ši voltamperinės charakteristikos dalis (ab) labai

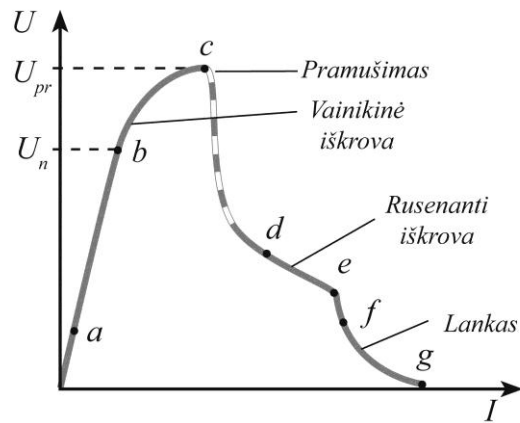
trumpa. Šiek tiek padidinus įtampą, srovė grandinėje pradeda didėti savaime. Jonų greitis tarp elektrodų padidėja tiek, kad susidūrę su neutraliomis molekulėmis, jie jas jonizuoja į teigiamus jonus ir neigiamus elektronus. Dalis jų rekombinuoja, tačiau visi rekombinuoti nespėja, ir srovė auga savaime (bc). Arčiau elektrodų esančios dujos ima švytėti. Tai savaiminės iškvos pradžia. Ji vadinama rusenančiaja. Girdimas silpnas užgesys. Jei elektros energijos šaltinis yra pakankamos galios, srovė grandinėje didėja, o įtampa tarp elektrodų krenta (cd). Prasideda elektros lanko iškvos dalis. Tolesnė iškvos eiga priklauso nuo elektros šaltinio galios ir energijos. Jei jų pakanka – kibirkštis stabilizuojasi. Jei energijos kiekis riboto dydžio (pavyzdžiui, energijos šaltinis – įkrautas kondensatorius), iškvos silpnės ir užges.



**1 pav.** Dujų voltamperinė charakteristika  
**Fig. 1.** Current voltage characteristic of the gas

Automobilio uždegimo sistemos žvakės tarpelio voltamperinė charakteristika sudėtingesnė negu aprašytoji. Kibirkšties šaltinio energijos impulso įtampa tarp žvakės elektrodų ir srovė kibirkšties kanale keičiasi bei priklauso nuo daugelio VDV bei uždegimo sistemos parametru. Tipinė įtampos kitimo kreivė pateikta 2 pav. (Банников, 1970).

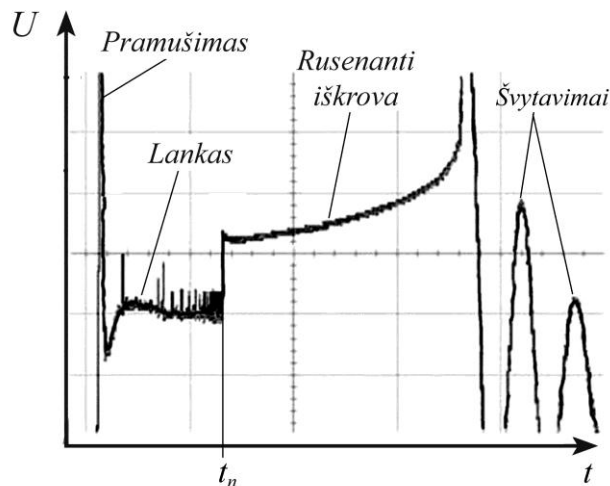
Uždegimo kibirkšties impulso pradžia galima laikyti laiką, kai įtampa tarp žvakės elektrodų pradeda didėti nuo nulio. Didėjant įtampai iki  $U_n$ , srovė tarp žvakės elektrodų būna labai maža. Iš pradžių ją sudaro laisvieji elektronai. Didėjant įtampai tarp žvakės elektrodų, tarp jų silpnėja elektros laukas. Laisvieji elektronai juda vis greičiau, jų atsiranda daugiau, bet srovė grandinėje dar maža. Praktiškai ją galima prilyginti nuliui.



**2 pav.** Automobilio uždegimo sistemos žvakės tarpelio voltamperinė charakteristika

**Fig. 2.** Current-voltage characteristic of the spark plug gap of the ignition system

Pramušimo taške ( $U_{pr}$ ) srovė didėja savaime. Procesai tarpelyje tarp žvakės elektrodų vystosi panašiai kaip buvo aprašyta anksčiau (2 pav., taškai b, c, d). Skirtumas toks, kad uždegimo sistemos impulso energija yra baigtinio dydžio ir, srovei tekant grandinėje, jos kiekis mažėja. Dėl to įtampa tarp žvakės elektrodų mažės greičiau negu sudarant voltamperinę charakteristiką, pateiktą anksčiau (1 pav.).



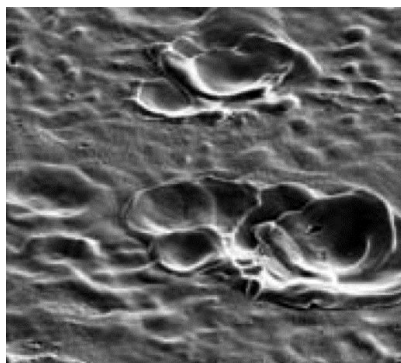
**3 pav.** Antrinės uždegimo ritės apvijios įtampos forma (Jeanvoine *et al* 2007)

**Fig. 3.** Voltage vs. time curve of a single spark discharge and its phases. (Jeanvoine *et al* 2007).

Jei uždegimo impulso energijos pakaks, tarp žvakės elektrodų susiformuos elektros lankas (bus didelė dujų jonizacija). Išlydžio tarp žvakės elektrodų kanale temperatūra pasieks 10 000 °C. Srovė (kelių amperų eilės) įkaitins žvakės elektrodų metalą, jis lydysis ir tam tikras jo kiekis išgaruos. Mažėjant impulso energijai, mažės srovė, silpnės dujų jonizacija. Dalis jonų rekombinuos, elektros iškrova iš lanko būsenos pereis į rusenančiąją. Įtampa tarp žvakės elektrodų padidės (3 pav., taškas  $t_n$ ). Čia kibirkšties temperatūra dar sieks 2 000–3 000 °C ir žvakės elektrodų metalas dar garuos. Uždegimo impulso energija mažės toliau, mažės ir srovė kibirkšties grandinėje. Kai srovė sumažės maždaug iki 10 mA, dujose ji sukurs mažiau jonų negu jų rekombinuos, ir kibirkštis užges. Tuo momentu sukauptos uždegimo impulso energijos dar šiek tiek bus likę, todėl, kibirkščiai užgesus, uždegimo sistemos grandinėse vyks nežymūs elektriniai švytavimai (3 pav.). Elektros procesai kibirkšties grandinėje rusenančios iškrovos metu būna gana ramūs, tačiau lanko iškrovos metu kibirkšties grandinėje teka palyginti didelė srovė. Kibirkšties kanale tuo metu vyksta sudėtingi švytavimai (3 pav.).

Elektros iškrovos voltamperinės charakteristikos parametrai labai priklauso nuo tarpelyje tarp elektrodų esančių dujų būsenos ir sudėties, slėgio, temperatūros, elektrodų medžiagos ir formos.

Tarpelyje tarp žvakės elektrodų elektros išlydžio metu galima išskirti tris charakteringas dalis: katodo, anodo ir kanalo įtampos kritimus. Geometriniai kibirkšties prie žvakės elektrodų (katodo ir anodo) matmenys yra žymiai mažesni už kibirkšties kanalo ilgį, tačiau prie pramušto tarpelio katodo ir anodo yra didžiausias įtampos kritimas ir čia išsiskiria didžioji kibirkšties šiluminės energijos dalis. Energijos tankis katodo ir anodo kibirkštinės iškrovos taškuose būna didžiausias. Ten būna aukšta temperatūra. Elektrodų medžiaga kibirkšties srovės tekėjimo vietose įkaista, lydosi, išgaruoja ir išmetama su atidirbusiomis vidaus degimo variklio dujomis. Žvakės elektrodų paviršiuje atsiranda krateriai (4 pav.). Vadinasi, atstumas tarp elektrodų tose vietose padidėja. Šilumos kiekis, išsiskiriantis kibirkšties galuose (tarp elektrodų) ir iškrovos kanale priklauso nuo elektrodų medžiagos, impulso poliariškumo ir jo parametru.



**4 pav.** Krateriai, atsiradę varinio elektrodo paviršiuje po 1 000 iškrovų azoto atmosferoje (Jeanvoine *et al* 2007)

**Fig. 4.** Craters observed on the surface of copper electrodes after 1000 discharges in nitrogen

Svarbiausias elektrodų erozijos rodiklis yra tarpelio tarp žvakės elektrodų didėjimo greitis. Jis priklauso nuo iš žvakės elektrodų išgaravusio metalo kiekio arba po vieno kibirkšties impulso žvakės elektroduose atsiradusios duobutės gylio. Tai priklauso nuo kibirkšties impulso energijos. Jei impulso srovė yra  $i$ , įtampa  $u$ , o jo veikimo laikas  $t_i$ , tuomet jo energiją  $W_i$  bus galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$W_i = \int_0^{t_i} iudt \quad (1)$$

Iš uždegimo žvakės elektrodų išgaruojančio metalo kiekį  $Q_i$ , galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$Q_i = kW_i f \quad (2)$$

čia:  $f$  – kibirkštinių impulsų skaičius,  
 $k$  – proporcingumo koeficientas.

Metalų kibirkštinę eroziją jau daugelį metų tyrinėja ne tik automobilių uždegimo žvakių gamintojai. Elektros kibirkšties erozijos reiškinys ilgą laiką buvo sėkmingai naudojamas metalinių gaminių paviršiaus apdorojimui. Dėl to jis plačiai pateikiamas įvairiuose informacijos šaltiniuose. Tiriami įvairių metalų ir jų lydinių elektrodai, dirbantys ore ir dujose, atmosferos ir didesniame slėgyje, keičiant elektrodų formą ir atstumą tarp jų.

Keičiant slėgį, sidabro, vario, nikelio ir platinos medžiagas, ištirta katodo erozija oro ir azoto aplinkoje (Jeanvoine *et al* 2007). Bandymais nustatyta, kad, didinant elektrodų aplinkos slėgį, visais atvejais didėja elektros išlydžio lanko fazė. Tai paaiškinama tuo, kad plazma kibirkšties kanale labiau suspaudžiama. Dėl to didėja kibirkšties srovės tankis prie katodo. Elektros lanko fazė vykstant iškrovai ore ir azote gerokai skiriasi. Naudojant vario, platinos ir nikelio elektrodus elektros lanko fazė būna ilgesnė azote negu ore (deguonyje). Kai elektrodai sidabriniai, viskas yra atvirkščiai – elektros lanko fazė ilgesnė yra ore. Didinant elektrodų aplinkos slėgį, skirtumas išauga. Esant sidabro elektrodams pastebėtas skirtumo maksimumas, kai slėgis yra 5–6 barai.

Elektrodų paviršius buvo įvertintas po 1 000 išlydžių atlikus bandymus oro ir azoto atmosferoje esant 7 barų slėgiui. Po bandymo azoto atmosferoje katodo paviršių visais atvejais dengė tokie patys krateriai (4 pav.), kuriuos padarė elektros lanko išlydis. Apžiūrėjęs katodo paviršių po 1 000 išlydžių ore, pastebėta, kad kraterių kraštai lygesni. Tik katode iš nikelio nepastebėta didelio skirtumo tarp bandymų oro ir azoto atmosferose. Sidabro elektroduose po bandymų oro atmosferoje kraterių nebuvo, tačiau paviršių dengė dideli sidabro oksido plotai ir jis tapo šiurkštus.

Seriburi ir kt. (2001) tyrimai atlikti keičiant tarpelį tarp elektrodų nuo 0,175 iki 2 mm bei jų plotį (0,100–0,350), aukštį (0,020–0,160), kibirkšties energiją (5 ir 10 mJ), kibirkšties energijos šaltinio parametrus (dvigubos transformacijos įtampa ir

kondensatoriaus, įkrauto aukšta įtampa, šaltiniai), elektrodų gamybos technologiją, elektrodų metalą (nikelis, sidabras, platina).

Pasirinktas 20 Hz elektros iškvovos (kibirkštinių impulsų) dažnis. Vieno bandymo apimtis 1–1,5 mln. impulsų. Apdorojus bandymų duomenis, paaiškėjo, kad:

- elektrodų dėvėjimasis nepriklauso nuo tarpelio tarp elektrodų dydžio;
- labiau dėvisi mažų matmenų elektrodai;
- didėjant kibirkšties iškvovos energijai, intensyvėja elektrodų erozija;
- elektrodų erozija priklauso nuo jų gamybos technologijos, nes nuo to priklauso elektrodų medžiagos struktūra;
- elektrodų erozija priklauso nuo jų medžiagos ir yra tuo mažesnė, kuo didesnė jos lydymosi temperatūra. Mažiausiai erodavo platinos elektrodai. Jos lydymosi temperatūra 1768,4 °C. Nikelio – 1452,2 °C, vario – 1 083 °C.

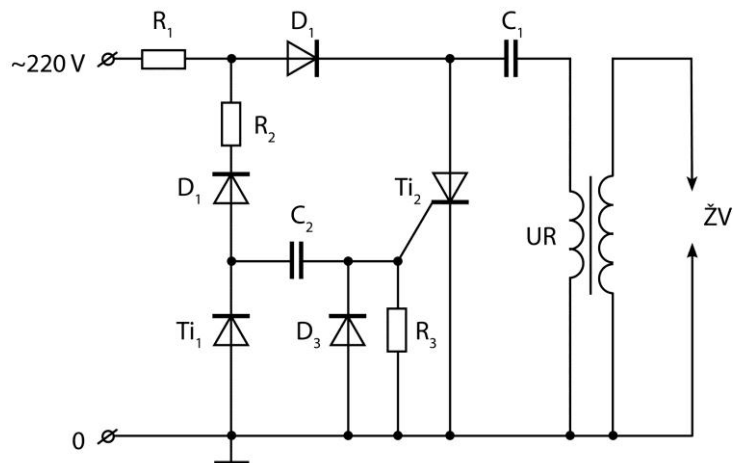
Nagrinėjant elektrodų eroziją kibirkštinio išlydžio metu (Llewellyn-Jones 1963) daugiausia dėmesio skiriama fiziniams procesams tarp elektrodų kibirkštinio išlydžio metu bei elektrodų medžiagos erozijos lygčiai.

Vidaus degimo variklio, dirbančio gamtinėmis dujomis, žvakių elektrodų erozija išsamiai nagrinėta darbe (Lin *et al* 2005). Žvakių elektrodų pagrindą sudarė nikelis. Elektrodų galuose buvo platinos-volframo lydinio ir iridžio intarpai. Pateikti mikroskopinės ir metalurginės (naujų ir naudotų žvakių) elektrodų analizės rezultatai. Iš jų matyti, kad žvakių elektrodų erozijai didelę įtaką turi ne tik kibirkštinė elektros iškvova, bet ir naudojami degalai ir tepalai. Žvakių, dirbusių 2000–4000 valandų elektrodų paviršiuje atsirado kalcio oksido nuosėdų. Jos blogino žvakių darbą, greitino elektrodų metalo eroziją. Naudotų žvakių elektrodų metalas buvo suaižėjęs.

Vidaus degimo variklio žvakių elektrodai jos darbo metu oksiduojasi. Kokią įtaką metalo erozijai elektros išlydžio tarp žvakės elektrodų metu turi jų oksido sluoksnis, ištyrė ir atsakė (Barrientos *et al* 2003) straipsnio autoriai. Katodui buvo pasirinktas neoksiduotas bei įvairiu storiu oksiduotas metalas RuAl, anodui – platina. Tarpelis tarp elektrodų – 1 mm, aplinka – oras, slėgis – 9 barai. Pramušant tarpelį tarp elektrodų ir keičiant katodą, turintį įvairaus storio oksido sluoksnį, buvo matuojamas atsiradusio kraterio tūris. Nustatyta, kad, didėjant oksido sluoksnio storiui, kraterio tūris taip pat didėja, didėja ir prarasto metalo kiekis, o tuo pačiu ir elektrodo erozija. Paaiškėjo, kad iškvovos metu plazma visada ardo oksido sluoksnį, kol pasiekia gryną metalą.

### **Žvakių erozijos tyrimo prietaisas**

Automobilio kibirkštinio uždegimo žvakių erozijai tirti VGTU Automobilių transporto katedroje buvo sukurtas prietaisas (5 pav.).



**5 pav.** Žvakių erozijos tyrimo prietaiso principinė schema

**Fig. 5.** The principal scheme of the spark plug erosion test device

Jis veikia panašiai kaip talpinė uždegimo sistema, t. y. impulsiniame režime, bet maitinamas iš 220 V kintamos įtampos tinklo. Energijos kaupiklis yra kondensatorius C<sub>1</sub>, jo energiją transformuoja standartinė uždegimo ritė UR.

Teigiamo kintamos įtampos pusperiodžio metu srovė iš tinklo teka per balastinį rezistorių R<sub>1</sub>, diodą D<sub>1</sub>, kondensatorių C<sub>1</sub> bei uždegimo ritės UR pirminę apviją. Įkraunamas kondensatorius C<sub>1</sub>. Neigiamo pusperiodžio metu srovė teka per D<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>1</sub>. Tokiu būdu įkraunamas kondensatorius C<sub>2</sub>. Nevaldomas tiristorius Ti<sub>1</sub> atsidaro pasiekus jo pramušimo įtampą. Tuomet kondensatorius C<sub>2</sub> prijungiamas prie masės ir teigiamas impulsas atidaro tiristorių Ti<sub>2</sub>. Prie pirminės uždegimo ritės apvijos prijungiamas teigiamo pusperiodžio metu įkrautas kondensatorius C<sub>1</sub>, tada antrinėje UR apvijoje indukuojasi aukšta įtampa (apie 20 kV) ir pramušamas žvakės tarpelis.

Kintamos įtampos tinklo dažnis yra 50 Hz, todėl stendas generuoja 50 kibirkščių per sekundę. Juo galima imituoti realios uždegimo sistemos darbą ir apskaičiuoti automobilio nuvažiuotą kelią žinant stendo darbo laiką. Keičiant kondensatoriaus C<sub>1</sub> talpą, keičiama uždegimo kibirkšties trukmė.

### **Bandymų rezultatai. Elektrodo erozijos įvertinimas**

Bandymų rezultatai glaudžiai siejami su automobilio uždegimo sistema. Panaudoti realių žvakių elektrodai. Bandymų tikslais – ištirti žvakės elektrodų eroziją esant skirtingoms kibirkšties impulso trukmėms. Čia pateikiami pradinio elektrodų tyrimo duomenys.

Kadangi eksperimentai atliekami esant atmosferos slėgiui, tarpelis tarp žvakės elektrodų turi būti didesnis už standartinį. Taip daroma ir kituose eksperimentuose (Seriburi *et al* 2001). Be to Christopher (1999) pažymi – norint

sumažinti pradinio degimo židinio susidarymo laiką vidaus degimo variklyje, pageidaujama padidinti žvakės tarpelį iki 2,5 mm (susidarius tokio dydžio židiniui, liepsna toliau plinta labai greitai). Tarpelio dydis (2 mm) pasirinktas norint išsaugoti kiek galima realesnes sąlygas. Nekeičiant žvakės elektrodų konstrukcijos, nėra galimybės, kad šoninis elektrodas būtų virš centrinio esant 2 mm tarpeliui.

Ekspirimentuose pasirinktos dvi kibirkšties trukmės – 0,1 ir 2 ms. Šios reikšmės pasirinktos atsižvelgiant į realių uždegimo sistemų minimalią ir maksimalią kibirkšties trukmę. Trukmė matuota oscilografu PeakTech 4030.

Visos žvakės fotografuotos fotoaparatu Canon EOS 1000D naudojant makro objektyvą. Duomenys apdoroti programa Adobe Photoshop CS5.

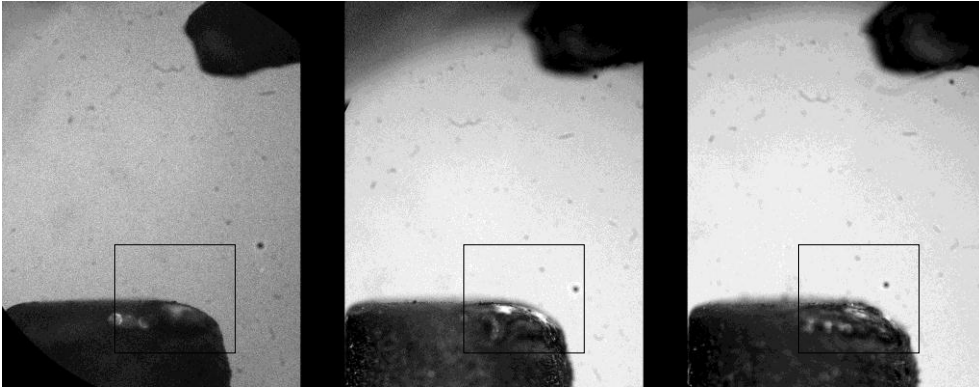


**6 pav.** Žvakės elektrodų erozijos bandymas Nr. 1. Parinkti šie dydžiai: uždegimo žvakė BCP6ES su nikelio elektrodais, tarpelis tarp elektrodų 2 mm (bandymai atlikti natūralioje oro atmosferoje), impulso trukmė 0,1 ms, apskaičiuotas nuvažiuotas kelias, atitinkantis stendo darbo laiką – 5 000, 10 000 ir 20 000 km.

**Fig. 6.** Test of spark plug erosion No 1. Test data: type of spark plug NGK BCP6ES (nickel electrode), spark plug gap 2 mm (air atmosphere), spark duration 0,1 ms. Calculated distances corresponding to the bench working time are 5 000, 10 000 and 20 000 km.

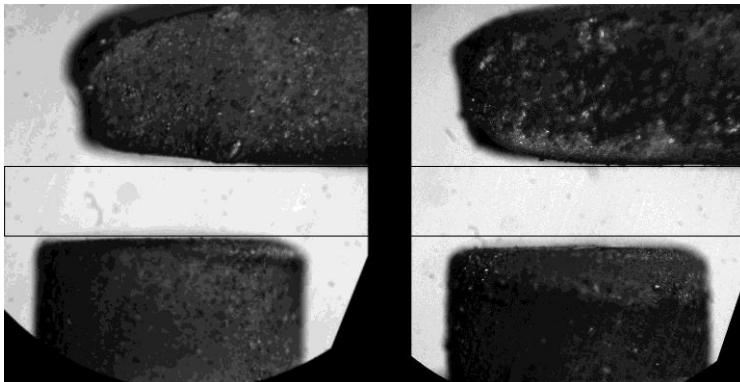
Šio bandymo metu kibirkšties trukmė nėra didelė, pastebima nežymi centrinio žvakės elektrodo šoninės dalies erozija.





**7 pav.** Žvakės elektrodų erozijos bandymas Nr. 2. Parinkti šie dydžiai: uždegimo žvakė BCP6ES su nikelio elektrodais, tarpelis tarp elektrodų 2 mm (bandymai atlikti natūralioje oro atmosferoje), impulso trukmė 2 ms, apskaičiuotas nuvažiuotas kelias, atitinkantis stendo darbo laiką – 5 000, 10 000 ir 20 000 km.  
**Fig. 7.** Test of spark plug erosion No. 2. Test data: type of spark plug NGK BCP6ES (nickel electrode), spark plug gap 2 mm (air atmosphere), spark duration 2 ms. Calculated distances corresponding to the bench working time are 5000, 10 000 and 20 000 km.

Šio bandymo metu padidinta kibirkšties trukmė iki 2 ms pakeitus kondensatoriaus  $C_1$  talpą (5 pav.). Pastebima ženkliai centrinio žvakės elektrodo šoninės dalies erozija.



**8 pav.** Žvakės elektrodų erozijos bandymas Nr. 3 buvo atliekamas automobilyje SAAB 99. Variklis – 2 litrai. Žvakės – WR7DC+ su itrio elektrodais. Induktyvinė uždegimo sistema, impulso trukmė 1 ms. Degalai – suskystintos natūralios dujos (SND).  
**Fig. 8.** Test of spark plug erosion No 3. Test data: automobile SAAB 99. 2.0 litre engine, spark plugs – BOSCH WR7DC+ with yttrium electrodes, inductive ignition system, spark duration 1 ms, fuel – LPG

Tarpelio tarp elektrodų pokytis įvertintas palyginus fotografijas vaizdų apdorojimo programa Adobe Photoshop CS5. Priimant kad pradinis tarpelis buvo 0,7 mm (pateiktas gamintojo), po 20 000 km jis padidėjo iki 0,8 mm.

### Išvados

1. Daugiau eroduoja centrinis žvakės elektrodas.
2. Žvakių erozija priklauso nuo kibirkšties impulso trukmės. Erozija pastebima net esant nedidelei kibirkšties trukmei (0,1 ms), o esant 2 ms ji jau yra žymi.
3. Automobilyje atliktas bandymas parodė, kad dėl žvakės erozijos tarpelis tarp elektrodų padidėjo 0,1 mm nuvažiavus 20 000 km kai kibirkšties impulso trukmė 1 ms.

### Literatūra

1. Barrientos, I.; Lasagni, A.; Soldera, F.; Vivashohl, J.; Mücklich, F. Influence of the oxide layer in the erosion of metals caused by electrical plasma discharging. In *Jornadas Sam/Conamet/Simposio material*, 2003, p. 738-741.
2. Jacobs, C.; Performance ignition systems: electronic or breaker-point ignition system tuning for maximum performance, power, and economy. New York: HPBooks, 1999, p. 11-12.
3. Jeanvoine, N.; Jonsson, R.; Muecklich, F. Investigation of the arc and glow phase fractions of ignition discharges in air and nitrogen for Ag, Pt, Cu and Ni electrodes. In *JCPIG*. Prague, 2007, July 15-20, p. 284-287. Georgia institute of technology (Atlanta).
4. Lin, H. T.; Brady, M. P.; Richards, R. K.; Layton, D. M. Characterization of erosion and failure processes of spark plugs after field service in natural gas engines. In *Wear*, (2005), 259, p. 1063-1067.
5. Llewellyn-Jones. The mechanism of Electrode erosion in Electrical Discharges. Physical basis of the low erosion rate of the Platinum Metals. In *Platinum Metals Rew.*, Swansea: University College, 1963, 7, (2), p. 58-65.
6. Seriburi, P.; Kercher, D; Allen, M. G. An experimental study of microfabricated spark gaps: wear and erosion characteristics. In *Journal of Micromechanics and microengineering*. Atlanta: Georgia Institute of Technology, (2001), 11, p. 165-174.
7. Банников, С. П. Электрооборудование автомобилей. М.: Транспорт, 1970. 288 с.

Audris Šimakauskas

## SPARK PLUG EROSION IN SI ENGINE AND EROSION TEST DEVICE

The article deals with the internal combustion engine spark plug erosion and overviews recent works in spark plug erosion issue. The electrode analysis results are given (wear dependence on the spark discharge energy, manufacturing technology and fuel-efficiency). A description of the car spark erosion test device and its principle of operation are included. The article summarizes and analyzes spark plug erosion experimental results and conclusions.

*Electrodes, erosion, spark ignition.*

Аудрис Шимакаускас

## ЭРОЗИЯ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ ДВС И ПРИБОР ДЛЯ ЕЁ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе исследуется эрозия электродов свечи. Представлен обзор новейших работ в этой области (зависимость эрозии свечи от энергии разряда, технологии производства, типа топлива). Описано созданное устройство для исследования эрозии электродов свечи, объяснен принцип его действия. Представлены и обобщены данные экспериментов, сделаны выводы.

*Электроды, эрозия, энергия разряда.*