

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Karel Šobra

Sledování postupného explosivního přepalování tenkých drátků pomocí vysokofrekvenční fotokomory

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 5-6, 724--729

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137366>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Po zkrácení činitelem $\frac{1}{2}w^2$ nám vyjde přímo Steinerova věta:

$$I = ma^2 + I_0. \quad (4)$$

S hlediska tohoto odvození je Steinerova věta přímým důsledkem skládání elementárních pohybů, z nichž vzniká otáčení kolem pevné osy a je vlastně vyjádřením zákona o zachování energie pro tento případ. Oba dva členy na pravé straně dostávají názorný význam: Prvý z nich je příspěvek postupného pohybu těžiště, druhý je způsoben rotací kolem těžiště. Z postupu odvození je ihned patrné, že je zvětšení momentu setrvačnosti k ose, která neprochází těžištěm, způsobeno právě postupným pohybem tělesa, který je součástí rotace okolo pevné osy a na který se neprávem často zapomíná.

KAREL ŠOBRA

(Ústav technické fyziky ČSAV — Praha)

SLEDOVÁNÍ POSTUPNÉHO EXPLOSIVNÍHO PŘEPALOVÁNÍ TENKÝCH DRÁTKŮ POMOCÍ VYSOKOFREKVENČNÍ FOTOKOMORY

V článku je na snímcích přepalování měděných a wolframových drátků ukázáno použití vysokofrekvenční fotokomory velmi jednoduché konstrukce. Uvedené obrázky rovněž doplňují dosavadní oscilografická měření a fotografická pozorování přepálení, prováděná jinými výzkumníky.

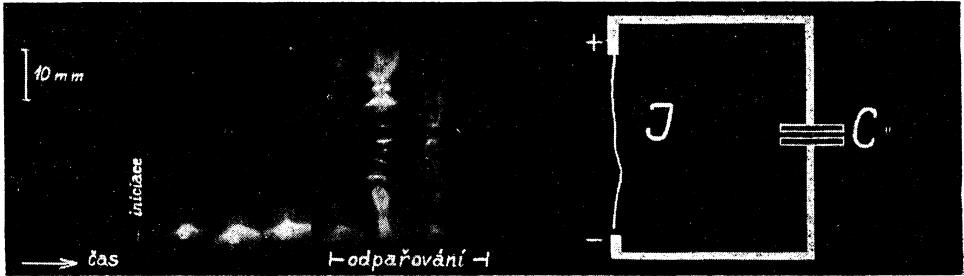
Necháme-li vybit kondensátor přes slabý drátek, nastane prudké ohřívání drátku, případně podle experimentálních podmínek, explosivní odpaření. Při tomto procesu je možno dosáhnout ve velmi krátkém čase vysokých teplot — až několik desítek tisíc stupňů, což dává možnost na příklad vysokointenzivních světelných spektrálních zdrojů. Lze také sledovat chování různých materiálů při průchodu vysokointenzivního proudu, řádově i 10^8 A/cm², se současným pozorováním platnosti Ohmova zákona za těchto podmínek. Kromě okolností, že drátové pojistky byly dříve jedinou možností ochrany elektrické sítě před přetížením, je v procesu přepálení drátku několik problémů, které byly velmi intenzivně sledovány za účelem praktického užití přepálení drátku.

Jako hlavní měřicí metoda se jeví sledování elektrických veličin při přepálení a následujícím samostatném výboji pomocí oscilografu. Touto metodou se zabýval Ing. W r a n a [1] a jeho výsledky byly v poslední době znovu několika autory potvrzeny [2, 3]. Pomocí této metody bylo zjištěno, že drátky z některých materiálů, na př. z mědi, jeví v průběhu vybíjecího proudu kondensátoru přetřžku podle počátečního napětí různé dlouhou, zatím co u jiných kovů (wolfram a pod.), se tato pauza neprojeví. Tento jev byl vysvětlen takto:

U měděného drátku nastává v prvním stadiu průchodu proudu ohřívání vlivem vnitřního ohmického odporu, což má za následek roztavení, případně až explosivní odpaření drátku. Tím nastává přerušování vybíjecího okruhu a proud klesne na nulu a na takto vzniklém jiskřišti se objeví celé zbytkové napětí kondensátoru. Při dostatečném počátečním napětí je i toto zbytkové napětí dostatečně vysoké a vzniká v excitovaných párách mědi z drátku normální jiskrový výboj, provázený

opětným poklesem napětí a novým průběhem proudu. Prerušení průběhu proudu je pochopitelně různě dlouhé, podle počátečního napětí kondensátoru [2].

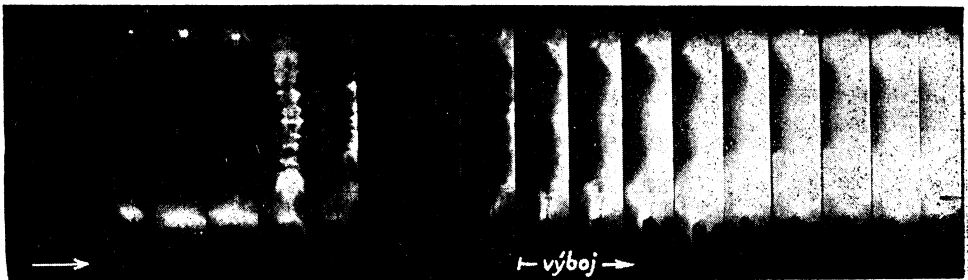
Naproti tomu wolframový drátek se průchodem vybíjecího proudu ohřívá na tak vysokou teplotu, že se sníží průrazná pevnost plynu v okolí drátku, což má za následek, i při nízkém gradientu napětí podél drátku, samostatný průboj po



Obr. 1

povrchu drátku, respektive v ionisovaném plynu okolí drátku, případně ještě dříve než dojde k přerušení drátku. Proto také nenastává přetržka v průběhu proudu, nýbrž zkratový proud se při průboji jen prudce zvýší.

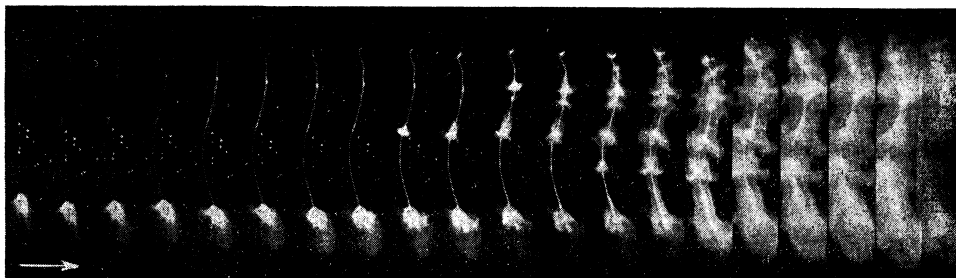
Tento výklad, vycházející z měření elektrických veličin, bylo nutno potvrdit jinou měřicí, případně pozorovací metodou. Touto metodou je zaznamenávání světelných jevů, odehrávajících se při přepálení drátku. Jelikož toto přepálení i následující výboj probíhají ve zlomcích sekundy, je jasné, že normální fotografický nebo filmovací přístroj, podobně jako lidské oko, zachytí pouze celkový světelný efekt, což by pro popsání jevu nemělo význam. Bylo proto nutno sestavit řadu speciálních aparatur, které dávaly buď plynulý obraz jevu [3, 4], nebo které dávaly pomocí elektrooptických uzávěrek stojící obrázek, což je pro tento účel výhodnější [3, 5]. Aparatury druhého typu, využívající Faradayův nebo Kerrův efekt stáčení polarizační roviny světla, umožňují velmi krátké expozice, až zlomků mikrosekund, a tím pohled na stav drátku v kterémkoli okamžiku jeho přepalování. Potřebné aparatury jsou velmi složité a nákladné a jejich hlavní nevýhodou je, že je jimi většinou možno získat pouze jediný obrázek z celého jevu. Získání většího počtu obrázků naráží na technické obtíže, neboť je k tomu třeba složitých, těžce ovladatelných zařízení. Nestacionárnost jevu a hlavně jeho



Obr. 2

neuniformita, vedou ke snaze o pozorování jednotlivých fází průběhu přepálení jednoho drátku ve všech podrobnostech.

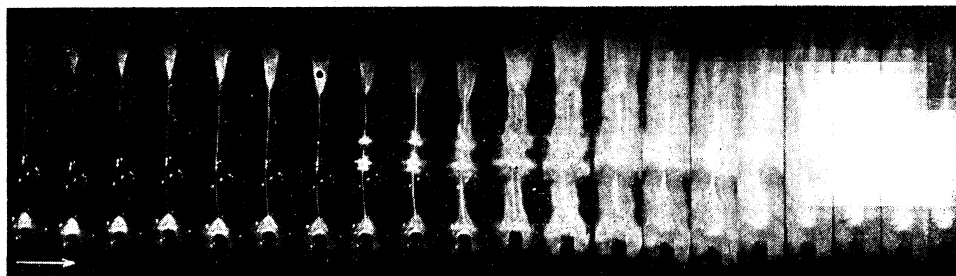
V našem ústavě byla před časem postavena pro sledování elektrojiskrových výbojů vysokorychlostní fotografická kamera velmi jednoduché konstrukce [6], která umožňuje z jevu, odehrávajícího se ve zlomcích vteřiny, řádově v rozmezí desetitisícin vteřiny, případně i z kratších jevů, zaznamenat 20 stojících, po sobě



Obr. 3

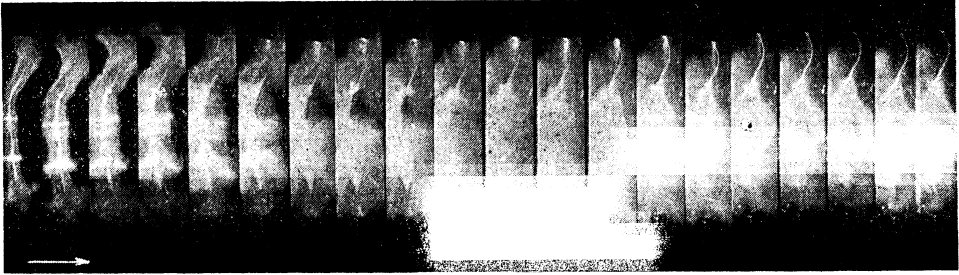
v stejných časových intervalech následujících snímků s expozicí řádově mikrosekund, t. j. miliontin vteřiny. Uvedená aparatura byla orientačně použita i pro zaznamenání přepalování slabých drátků. Jelikož bylo dosaženo zajímavých výsledků, které velmi názorně obrazově doplňují dosavadní publikace tohoto oboru, považujeme za příhodné seznámit s výsledky pracovníky v oboru elektrických výbojů, případně upozornit na jednoduchou konstrukci experimentálního zařízení, které umožňuje fázově sledovat jevy, které dosud nemohly být souhrnně zaznamenány.

Elektrické schéma uspořádání pokusu je na obr. 1. Napětí z pracovní kapacity C velikosti $560 \mu\text{F}$, bylo přivedeno na sledované jiskřiště J , představované dvěma tyčovými elektrodami z mědi o $\varnothing 3 \text{ mm}$, vzdálenými od sebe 35 mm . Slabý drátek, jehož přepalování bylo právě sledováno, pevně připojený k horní elektrodě — anodě, visel vlně přes jiskřiště. Mezi druhým, volným koncem drátku a spodní elektrodou — katodou, byla vzdálenost asi 1 mm , která představovala iniciační jiskřiště. Toto jiskřiště bylo probíjeno vysokonapětovým impulsem, synchronizovaným s fotokamerou, čímž bylo možno nastavit podle přání začátek jevu a sledovat tak libovolně jeho různé fáze. Zapalovací jiskřiště rovněž umožnilo podle prvního záznamu iniciační jiskry spolehlivě určit začátek sledovaného jevu; odpadlo spínací zařízení, které by případně mohlo ovlivnit hlavní výbojový okruh.



Obr. 4

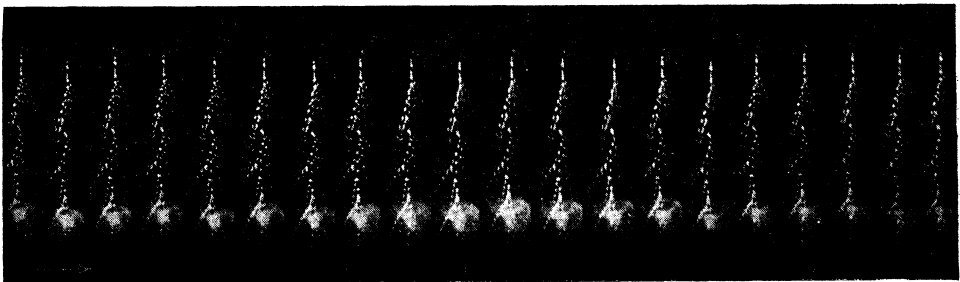
Při všech dále uvedených snímcích bylo užito jednotlivých exposic $5 \mu \text{ sec}$, při čemž jednotlivé obrázky následovaly po $10 \mu \text{ sec}$, takže celkový čas, zaznamenaný na jedné fotografii, představuje jev trvající $200 \mu \text{ sec}$, t. j. dvě desetitisíciny vteřiny. Při vyšších obrazových frekvencích jsou jednotlivé změny po sobě následujících obrázků nepatrné a pro posouzení celého jevu se tedy uvedená expoziční doba ukázala jako nejvýhodnější.



Obr. 5

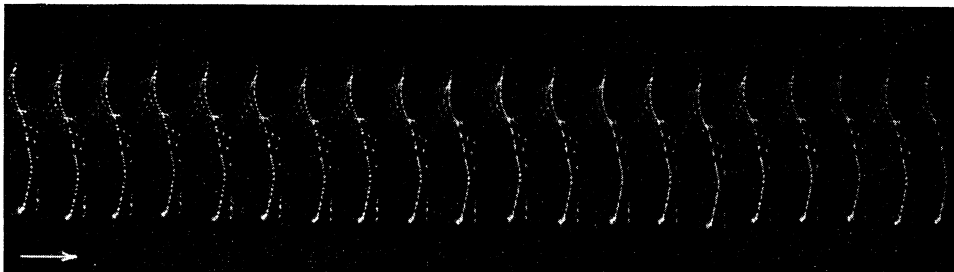
Na obr. 2 je uveden rozvoj přepálení holého měděného drátku $\varnothing 0,2 \text{ mm}$, při počátečním napětí kondensátoru 400 V . Z časového sledu snímků je vidět, že asi po $60\text{--}70$ mikrosekundách od iniciačního pulsu, tedy od počátku protékání proudu drátkem, začne se tento explosivně odpařovat a během $20\text{--}30 \mu \text{ sec}$ se úplně zplyní, načež následuje pauza v průchodu proudu. Asi po $30\text{--}40 \mu \text{ sec}$ nastává samostatný průboj jiskřištěm a výboj hoří přes páry drátku. Snížili-li se počáteční napětí kondensátoru a tím i zbytkové napětí po přerušení drátku, nastane pouze explosivní odpaření drátku. Tento případ uveden na obr. 1, při napětí kondensátoru 300 V . Naopak zvýšení napětí má za následek zmenšování pauzy v proudu, až i její úplné vyhlazení. Uvedené výsledky pozorování plně souhlasí s pozorováními uváděnými jinými autory [2, 3] i pokud se týče časového rozdělení přepálení, přes to, že v jejich případech bylo jiné uspořádání pokusu, především vyšší počáteční napětí kondensátoru a proto i delší drátek, a případně menší kapacita pracovního kondensátoru.

Přepalování wolframového drátku má, jak již bylo uvedeno, naprosto odlišný charakter. Na obr. 3 je ukázán postup přepálení holého wolframového drátku $\varnothing 0,15 \text{ mm}$, při počátečním napětí kondensátoru 500 V . Nejprve nastává dlouhé ohřívání drátku na vysokou teplotu, což se projeví zvyšováním intenzity záření



Obr. 6

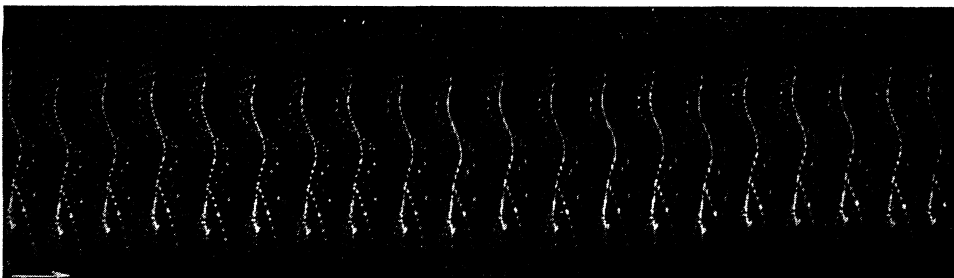
drátku. Toto prvé období není na rozvoji zaznamenáno a trvá 200—230 μ sec. Potom nastává na některém mechanicky zeslabeném místě drátku jeho přetavení, nebo spíše ohřátí na tak vysokou teplotu, že v ionisovaném okolí drátku nastane průboj. Plasma tohoto samostatného výboje se kuželovitě šíří a postupuje po povrchu drátku, až spojí celé jiskřiště a nastane bez přerušování drátku v jeho



Obr. 7

okolí samostatný výboj. Příklad postupu plasmatu a rozšíření výboje podél žhnoucího drátku je dobře patrný na obr. 4, pořízeném za stejných výbojových podmínek jako předcházející. Postupující fázi samostatného výboje ukazuje další obrázek, na kterém je patrna stálá přítomnost kompaktního žhnoucího drátku během celého výboje. Tato okolnost, i to, že wolframový drátek po sepnutí proudu vydrží bez porušení puls přibližně sedmkrát déle než měděný za přibližně stejných podmínek, odpovídá vyššímu nákladu na tavení a odpařování wolframu.

Sníží-li se při wolframovém drátku počáteční napětí kondensátoru (v našem případě pod 300 V), dostáváme neméně zajímavé snímky. Obrázky 6, 7 a 8 ukazují takový fázový rozvoj v různých dobách pulsu. Drátek ohřátý na vysokou teplotu se protékajícím proudem a pravděpodobně za spolupůsobení elektrodynamických sil přetrhá na jednotlivé malé kousky, které jako zářící meteory padají k zemi a samostatný průboj jiskřištěm nenastává. Jelikož náš typ fotokomory nemá z důvodů jednoduchosti synchronisovanou uzávěrku, a hlavní část tvoří rotující rozmetací zrcátko (viz [6]), zaznamenává se vždy při každé otočce zrcátka, tedy v časových odstupech přibližně 3,5 tisíciny vteřiny, stav sledovaného předmětu. Jelikož při sledování přepálení wolframového drátku svítí jednotlivé kousky dlouhou dobu, jsou na uvedených snímcích patrné i další expozice padajících chladnoucích kousků wolframu. Podle světelných stop možno sledovat jak dráhu



Obr. 8

a rychlost letu částec, tak i dobu po kterou zůstávají rozžhaveny. Podobné světelné body jsou patrné i na *obrázcích* 3, 4 a 5, kdy nastával výboj, a tudíž potvrzují skutečnost, že i přes velmi intenzivní samostatný výboj zůstávají uvnitř plasmatu celistvé kousky wolframového drátku a neodpaří se jako u mědi.

Uvedené fotografie přepalování drátků ukazují mimo jiné rovněž důvody, které vedou při konstrukci tavných pojistek k použití lehce tavitelných a odpařitelných materiálů jak z důvodů potřebného vyššího napětí pro zapálení samostatného výboje v parách pojistkového drátku, tak i pro rychlost přerušení drátku a tím i jištění obvodu.

Ve zprávě snažili jsme se názorně doplnit experimentálně theoreticko-experimentální práce dřívějších autorů a zároveň upozornit na velmi jednoduché zařízení v oboru vysokofrekventní fotografie, které může pracovníkům různých oborů pomoci vyřešit základní problémy, narážející při experimentálním vyšetřování na potíže velmi krátkých fotografických exposic.

Literatura:

- [1] J. W r a n a, Archiv f. Elektrotech., sv. 33, 656, 1938;
- [2] B. E i s e l t, Zeitschr. f. Phys., sv. 132, 54, 1952;
- [3] N. N. S o b o l e v, ŽETF, sv. 17, 986, 1947;
- [4] J. A. A n d e r s o n — S. S m i t h, Astrophys. Journ., sv. 64, 295, 1926;
- [5] I. F. K v a r č h a v a — A. A. P l j u t t o, A. A. Č e r n o v — V. V. B o n d a r e n k o, ŽETF, sv. 30, 42, 1956;
- [6] K. Š o b r a, Čs. čas. fys., sv. 6, 55, 1956.

V. PUČÁLKA

ZJIŠTOVÁNÍ STRUKTURY KOVŮ ZA VYSOKÝCH TEPLOT

V článku je popsána fyzikální metoda zkoumání struktury kovů za vysokých teplot. Je podán přehled několika variací této metody podle způsobu ohřevu vzorku. Jsou uvedeny podmínky, za nichž je použití jednotlivých druhů ohřevu zvlášť vhodné.

Podrobněji je popsána jednoduchá aparatura, využívající ohřevu vzorku pomocí Jouleova tepla a jsou podány některé zkušenosti, získané při práci s touto aparaturou.

V závěru jsou na několika snímcích struktury ukázány možnosti využití této metody k provádění speciálních metalografických výzkumů.

Úvod

V poslední době stále stoupá potřeba slitin, které si zachovávají vhodné mechanické vlastnosti i při vysokých teplotách. Se stoupající potřebou takových slitin stoupají také požadavky na znalosti jejich struktury, aby na základě nových, podrobnějších znalostí mohly být vytvářeny slitiny další a vhodnější.

Zkoumání struktury kovů za vysokých teplot naráží na četné potíže. Všechny slitiny jeví totiž za zvýšené teploty zvýšenou chemickou aktivitu, takže vyleštěná část vzorku, zahřátého na vyšší teplotu se na vzduchu rychle pokrývá tenkou vrstvou oxidů, která strukturu zakrývá a znemožňuje tak její vyhodnocení. Musí se tedy zpracování vzorků odbývat za nepřístupu vzduchu v inertní atmosféře [1] nebo ve vakuu.

Celkem jsou dnes známy dvě zásadní cesty, které umožňují zjištění struktury kovů za vysokých teplot. Nejběžnější používaná je cesta chemická. Normálně vybroušený