Vysoká škola: strojní a textilní ~~v Liberci~~

Katedra: obrábění a ekénomiky

Fakulta: strojní

Školní rok: 1978/79

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro Martina Waldea

obor strojírenská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Fyzikální metody hodnocení obráběcích vlastností karbidu křemíku a kysličníku hlinitého

Pokyny pro vypracování:

1. Provedení rešerše literatury
2. Příprava vzorků SiC z čistých surovin
3. Čistění technického SiC
4. Erozivita prášků SiC, Al_2O_3
5. Měření rychlostí částic při erozivitě
6. Mechanoluminiscenční hodnocení prášků SiC
7. Zhodnocení výsledků

[illegible] právo se řídí směrnicemi [illegible] 31

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, Studentská 5
PSČ 461 17

Rozsah grafických laboratorních prací:

10 stran

Rozsah průvodní zprávy:

40 stran

Seznam odborné literatury:

1. P.Jetleb: DP VŠST Liberec
2. J.Pecenka DP VŠST Liberec 1978

Sborník : Proc. of conf.on silicon carbide,USA

Výzkumná zpráva L.Sodomky o karbidu křemíku.

Vedoucí diplomové práce: RNDr RNDr Lubomír Sodomka CSc

Konsultanti: RNDr Lubomír Sodomka CSc
Ing Petr Karbo Benátky nad Jizerou

Datum zahájení diplomové práce: 9.10.1978

Datum odevzdání diplomové práce: 25.5.1979

L. S.

Prof.Ing. Jaroslav Draský, CSc
Vedoucí katedry

Doc.RNDr Bohuslav Stříž, CSc
Děkan

V Liberci dne 9.října 1978

Vysoká škola strojní a textilní

L I B E R E C

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

Zaměření

obrábění a ekonomika

Katedra obrábění a ekonomiky

Fyzikální metody hodnocení obráběcích vlastností karbidu křemíku a kysličníku hlinitého

Martin W A L D E

DP - ST - 1451/79

Vedoucí práce : RNDr. Lubomír SODOMKA, CSc

Konzultant : RNDr. Lubomír SODOMKA, CSc
VŠST Liberec, katedra fyziky

Rozsah práce:

Počet stran 50

Počet obrázků 16

Počet výkresů 25

DT: 546.41 261 Datum: V Liberci 25. 5. 1979

Vysoká škola strojní a textilní

L I B E R E C

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 8

Strojírenská technologie

Zaměření

obrábění a ekonomika

Katedra obrábění a ekonomiky

Fyzikální metody hodnocení obráběcích vlastností karbidu křemíku a kysličníku hlinitého

Martin W A L D E

DP - ST - 1451/79

Vedoucí práce : RNDr. Lubomír SODOMKA, CSc

Konzultant : RNDr. Lubomír SODOMKA, CSc
VŠST Liberec, katedra fyziky

Rozsah práce:

Počet stran 50

Počet obrázků 16

Počet výkresů 25

DT: 546.41 261

Datum: V Liberci 25. 5. 1979

O B S A H :

1.	Úvod	5
2.	Karbid křemíku - SiC	7
2.1.	Výroba karbidu křemíku	7
2.2.	Vlastnosti karbidu křemíku	8
2.3.	Použití karbidu křemíku	9
3.	Metody hodnocení fyzikálních vlastností karbidu křemíku	11
3.1.	Abrazivita karbidu křemíku	11
3.2.	Tvrdost karbidu křemíku	11
3.3.	Luminiscence karbidu křemíku	12
3.3.1.	Rentgenoluminiscence	12
3.3.2.	Fotoluminiscence	12
3.3.3.	Katodoluminiscence	14
3.3.4.	Mechanoluminiscence	14
3.4.	Elektrická pevnost	15
4.	Čistění technického SiC a výroba SiC z čistých surovin	17
4.1.	Příprava pokusu	17
4.1.1.	Příprava směsi	17
4.1.2.	Získání technických krystalů SiC	18
4.1.3.	Výroba kelímků	18
4.1.4.	Plnění kelímků	18
4.2.	Provedení pokusu	20
4.3.	Výsledek pokusu	20
4.4.	Závěr	23

5.	Mechanoluminiscenční měření prášku karbidu křemíku	24
5.1.	Mechanoluminiscence	24
5.2.	Experimentální zařízení pro studium mechanoluminiscence	25
5.3.	Úkol měření	25
5.3.1.	Rozbor úkolu měření	26
5.4.	Vlastní měření	28
5.5.	Výsledky měření a závěr	29
6.	Tryskací zařízení s uzavřeným okruhem	34
6.1.	Popis tryskacího zařízení	34
6.2.	Zhodnocení zařízení podle zkušeností získaných při měření	34
7.	Návrh nového tryskacího zařízení s uzavřeným okruhem	37
7.1.	Všeobecné požadavky na tryskací zařízení	37
7.2.	Technický popis zařízení	38
7.2.1.	Ovládací a vyměnitelné prvky zařízení	39
7.3.	Funkce aparatury	39
8.	Sestavení programu pro optimální seřízení tryskacího procesu	41
8.1.	Použité matematické vztahy	41
8.2.	Vývojový diagram	45
8.2.1.	Vysvětlivky k použitým symbolům	46
8.3.	Program v jazyce FORTRAN IV	47
8.4.	Závěr	47
9.	Zhodnocení a závěr	48
10.	Seznam použité literatury	50

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval sám s použitím uvedené literatury.

Martin Valde

V Liberci 25. května 1979

1. Ú V O D

V technické praxi se stále častěji setkáváme s nekonvenčními způsoby obrábění materiálů volným brusivem různé zrnitosti. Je to způsobeno neustále rostoucími nároky na přesnost a jakost povrchu obráběných ploch. Mezi tyto způsoby obrábění patří především následující technologie :

1. Erozivní obrábění - částice abraziva, nesené nosným prostředím (obvykle vzduchem či jiným plynným nebo kapalným prostředím) naráží na povrch opracovávaného materiálu určitou rychlostí a pod určitým úhlem. Tím dochází k rozrušování povrchu materiálu.
2. Ultrazvukové obrábění - při této technologii urychluje zdroj kmitání abrazivní částice smíšené s kapalinou (voda ap.). Pohybující se částice narážejí na povrch materiálu a opracovávají jej.
3. Abraze a broušení - částice jsou fixovány v rovinné desce či kotouči, který se pohybuje po povrchu obráběného materiálu a opracovávají jej za současného působení vnější přitlačovací síly.
4. Lapování a leštění - podstatou této technologie je obrábění částicemi, které se pohybují volně a jsou tlačeny k opracovávanému povrchu jinou plochou. Abrazivní částice jsou roztýleny v brusné pastě, která se nanáší mezi obě plochy.

Z uvedených technologií je pro experimentální účely, pro teoretické a analytické zpracování nejpřístupnější eroze.

V praxi je otryskávání předmětem zájmu především pro možnost využití při opracovávání tvrdých a křehkých povrchů, pískování a brokování, matování a kreslení na sklo ap.

Na druhé straně je však eroze jevem nežádoucím. Například v pneumatické dopravě, kdy je sypký materiál dopravován tlakem vzduchu a naráží na dopravní potrubí, dochází ke značnému opotřebení. Erozní jevy lze pozorovat i na lopatkách plynových a vodních turbin, na vstupním zařízení a lopatkách kompresorů proudových leteckých motorů.

Při experimentálních měřeních erozivity je zapotřebí věnovat pozornost výběru vhodného abraziva, jeho složení, velikosti zrna a vlivům geometrického uspořádání - např. tvar trysky, vzdálenost trysky od vzorku, úhel dopadu částic na zkoumaný povrch.

2. K A R B I D K Ř E M Í K U - SiC

Karbid křemíku má řadu dobrých vlastností použitelných v technice. Jeho vysoká tvrdost jej dovoluje využívat jako abraziva, jeho chemická a tepelná stálost umožňuje jeho využití jako ohnivzdorného materiálu v metalurgii, při konstrukci strojů a při stavbě chemických aparatur.

2.1. V ý r o b a k a r b i d u k ř e m í k u

Karbid křemíku se vyrábí v pecích, které nesou název podle svého konstruktéra E.G. Achesona. Výroba probíhá reakcí mezi kysličníkem křemičitým a uhlíkem podle rovnice

$$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO$$

při teplotě vyšší než 2000°C. Při této teplotě vzniká šesterečná modifikace karbidu křemíku od zeleného po černý. Při teplotě nižší než 2000°C může reakce proběhnout jen pozvolna, vzniká krychlová modifikace, která je žlutá a vyskytuje se v malých krystalcích.

Surovinami pro průmyslovou výrobu karbidu křemíku jsou koks a písek. Pec má vodorovné dno, které se snímatelnými stěnami vytváří koryto. Délka pece bývá až 12m a průměr okolo 3,5 m. Vsázkou je směs ze 60 % písku a 40 % koksu. Pro zvýšení pórovitosti se přidávají dřevěné piliny. Přísadou je chlorid sodný, který ve formě chloridů odstraňuje z tavby železo a hliník, které ve směsi představují nečistoty. Na počátku procesu jsou parametry napětí 500V a proud okolo 5500A. V průběhu procesu se napětí snižuje až na 200V a proud se zvyšuje na 20000A. Elektrody jsou

grafitové, umístěné na obou koncích pece. Po roztavení následuje pomalé chladnutí. Sejmou se stěny pece a směs se roztřídí do tří skupin - nezreagovaná směs, brusná zrna (hroudy) a grafit. Nezreagovaná směs se použije při další tavbě jako součást nové vsázky. Část obsahující brusná zrna se čistí, drtí, láme a potom třídí. Obecně se tímto způsobem připravují tři druhy Karbidu křemíku :

1. Šedý karbid křemíku, který splňuje většinu požadavků, kladených na brusný materiál.
2. Zelený karbid křemíku, který má vyšší čistotu než šedý. Vzniká tehdy, není-li v peci recirkulovaný materiál směsi - použije-li se ke tvorbě směsi pouze čerstvý písek a koks. Zelený SiC se používá k broušení nástrojů s břitovými destičkami ze slinutých karbidů, kde jeho světlejší barva umožňuje lépe sledovat broušení. Brusné vlastnosti jsou téměř shodné s vlastnostmi šedého SiC. Používá se též v elektrických topných odporech, kde svými elektrickými vlastnostmi předčí obvyklé materiály.
3. Černý karbid křemíku - má rozdílné elektrické vlastnosti, což je způsobeno přídavkem 1% Al do vsázky (ve formě Al_2O_3). Ve srovnání s předchozími dvěma druhy je méně významný.

2.2. V l a s t n o s t i karbidu křemíku

Karbid křemíku se vyskytuje ve dvou hlavních modifikacích. Je to šesterečná modifikace alfaSiC a krychlová modifikace beta SiC. Při teplotě asi 1950°C dochází k transformaci modifikací, kdy se modifikace betaSiC mění nevratně v modifikaci alfaSiC.

Koeficient teplotní roztažnosti krystalů SiC

Teplota (°C)	Lineární koeficient teplotní roztažnosti SiC (1.10^{-6}/°C)
0	2,118
100	2,666
200	3,214
300	3,763
400	4,510

Tvrdost karbidu křemíku v Knoopově stupnici je 2 480. Tvrdost je silně závislá na orientaci krystalů a je ovlivněna přítomností nečistot. Ostatní mechanické vlastnosti krystalů SiC je obtížné určit.

Elektrické vlastnosti SiC umožňují jeho použití v těchto součástkách různých zařízení : topné odpory, pevné odpory, proměnné odpory, diody, tranzistory a elektroluminiscenční zařízení. V topných elementech je čistý zelený SiC ve formě lisovaných tyčinek.

2.3. P o u ž i t í karbidu křemíku

Karbid křemíku je využíván v různých oblastech průmyslu. Nejdůležitější oblastí je technologie broušení. I když jeho abrazivní vlastnosti byly již překonány netradičními materiály (karbid a nitrid boru), zůstává SiC stále nejužívanějším, nejrozšířenějším a nejlevnějším brusivem. Používá se jednak jako volné brusivo a nebo jako vázané pojivem v kotoučích.

Další oblastí použití karbidu křemíku je polovodičová tech-

nika. V současnosti se používá při výrobě diod, tranzistorů, termorezistorů a fotorezistorů pro registraci ultrafialového záření apod.

V chemickém průmyslu se karbid křemíku používá jako výchozí surovina při výrobě $SiCl_4$, který je důležitou surovinou v průmyslu silikonových hmot. Dále se používá jako rafinační činidlo při lití železa a oceli. Vysoký bod tání, chemická stálost, vysoká mechanická pevnost, dobrá vodivost tepla a vysoká odolnost vůči teplotním rázům dovolují použití karbidu křemíku pro výrobu cihel, trubek a tvarových částí pro výměníky tepla. Dále je z něj možno vyrobit tavící nádoby a retorty, které mají tu vynikající vlastnost, že na nich neulpívají zbytky roztaveného materiálu.

3. METODY HODNOCENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ KARBIDU KŘEMÍKU

3.1. Abrazivita karbidu křemíku

V průmyslu je ve velkém měřítku využíváno abrazivních vlastností SiC. Na této vlastnosti je založeno opracování povrchu materiálu broušením, což je technologie, která nabývá stále většího významu s nutností vyrábět stále přesnější strojní součásti. Rozvoj broušení klade stále větší nároky na brusné nástroje. Splnění tohoto úkolu vyžaduje stálé prohlubování znalostí o abrazivních materiálech a o pochodech probíhajících při abrazi. Rovněž je nutné porovnávat abrazivní vlastnosti různých brusných materiálů a posuzovat jejich kvalitu a vhodnost k použití v této technologii. Při studiu abrazivity je třeba uskutečnit pokusy za různých podmínek a sledovat vliv fyzikálních parametrů na úběr materiálu. Jedná se především o zjištění závislosti úběru na přítlačné síle a na čase a porovnat vliv poměru množství pojiva a abrazivního prášku a zhodnotit různé druhy abrazivního materiálu. Tato metoda umožňuje pouze kvalitativní hodnocení abrazivity karbidu křemíku a není dostatečně přesná.

3.2. Tvrdost karbidu křemíku

Účelem měření mikrotvrdosti zrn SiC je vzájemné odlišení modifikací alfaSiC a betaSiC od sebe. Obě modifikace jsou si energeticky podobné, proto při výrobě vznikají obě. Tvrdost SiC podle Mohsovy stupnice je mezi 9,2 až 9,3 stupněm. Nejvhodnějším přístrojem pro měření tvrdosti SiC je Knoopův mikrotvrdoměr se

speciálním identorem.Identor má tvar protáhlého kosočtverce s úhly mezi protilehlými stranami 130° a 172°30´. Úhlopříčky jsou v poměru 1 : 7. Tvrdost SiC je 2 480.

Vzhledem k tomu, že se modifikace alfaSiC a betaSiC od sebe tvrdostí příliš neliší, zdá se být metodika měření mikrotvrdosti zrn modifikací k jejich rozlišení málo vhodná.

3.3. L u m i n i s c e n c e karbidu křemíku

Luminiscence karbidu křemíku je středem zájmu již od objevení elektroluminiscence. V současné době je tohoto jevu využíváno při výrobě luminiscenčních diod a polovodičových laserů, které mohou pracovat bez chlazení i při pokojových teplotách. Z těchto i jiných hledisek se intenzivně studuje luminiscence na monokrystalech karbidu křemíku, které jsou pro tyto účely připravovány s definovanou čistotou.

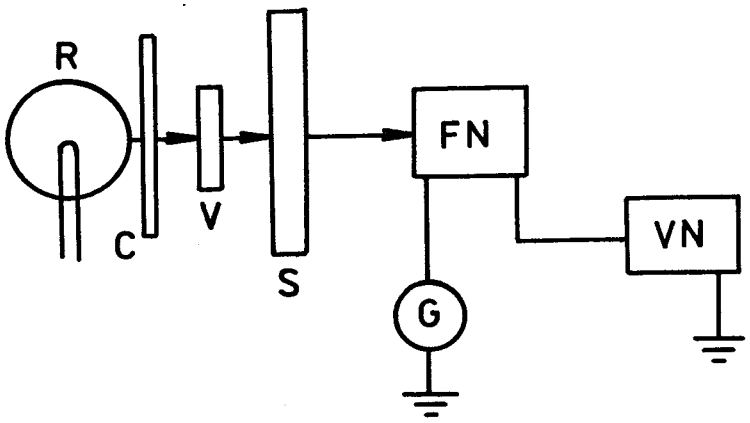
3.3.1. Rentgenoluminiscence

Prášky karbidu křemíku jsou ozařovány rentgenovým zářením s cílem budit v nich rentgenoluminiscenci. Princip snímání rentgenoluminiscence a schema zapojení aparatury je na obr. 1.

3.3.2. Fotoluminiscence

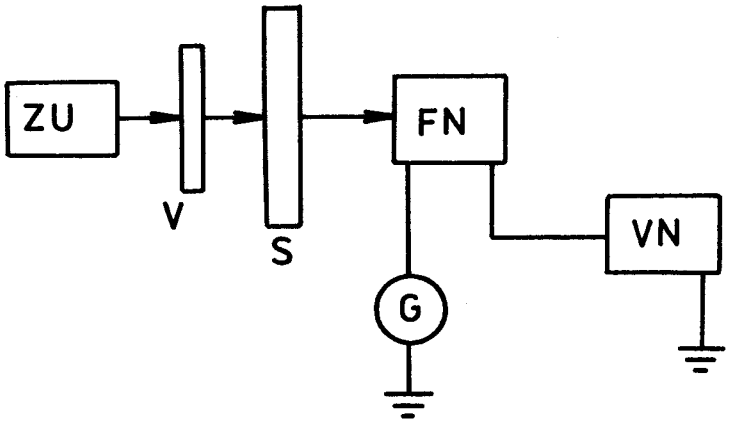
Fotoluminiscence SiC se budí zářením ze zdroje ultrafialového záření. Měření je možné provést dvěma způsoby :

1. Ultrafialové záření prochází přes vzorek SiC a filtry ve spektrometru a pak je snímáno fotonásobičem. Schéma zapojení aparatury je na obr. 2.
2. Ultrafialové záření prochází vzorkem SiC a štěrbinou o šířce



R ... rentgenka
VN... zdroj vys. napětí
FN... fotonásobič
C ... clona
V ... vzorek SiC
G ... galvanometr
S ... spektrometr

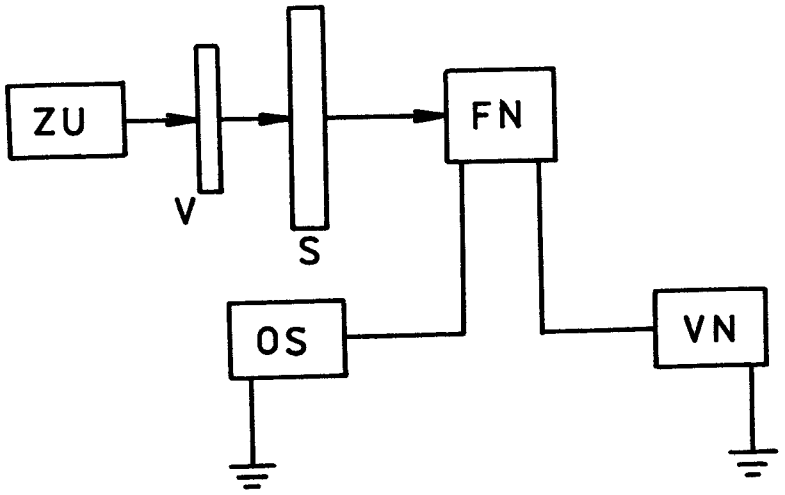
Obr. 1. Schema zapojení aparatury pro sledování rentgenoluminiscence



ZU ... zdroj ultrafialového záření
S ... spektrometr
FN ... fotonásobič
VN ... zdroj vysokého napětí
V ... vzorek
G ... galvanometr

Obr. 2. Schema zapojení aparatury pro měření fotoluminiscence

1 mm do spektrometru, který má tvar bubnu, na jehož obvodu jsou vsazeny monochromatické filtry. V ose bubnu je uložen fotonásobič, který je zapojený na zdroj vysokého napětí a na osciloskop. Na osciloskopu se zachycují fotoluminiscenční spektra. Uspořádání a schéma zapojení aparatury je na obr. 3.



ZU ... zdroj ultrafialového záření
OS ... osciloskop
VN ... zdroj vys. nap.
FN ... fotonásobič
V ... vzorek
S ... spektrometr

Obr. 3. Schema zapojení aparatury pro měření fotoluminiscence s použitím osciloskopu

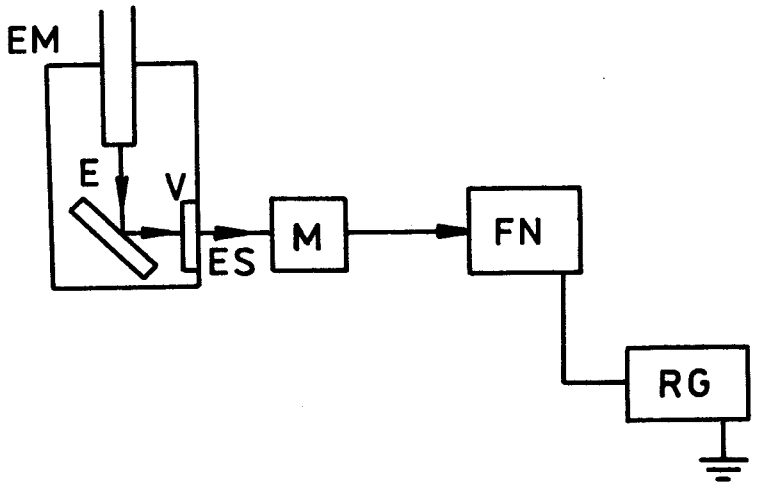
Podle práce[1] všechny zkoumané vzorky vykazovaly fotoluminiscence s výrazným maximem v oranžové oblasti (okolí vlnové délky λ = 580 mm). Podle RNDr. L. Sodomky CSc, je ve vzorcích přítomen mangan.

3.3.3. Katodoluminiscence

Katodoluminiscence vzniká buzením elektronů v elektronovém mikroskopu, kdy svazek svazek elektronů dopadá na vzorek. Záření emitované ze vzorku prochází monochromátorem, z něhož se snímá fotonásobičem. I při tomto měření se projevuje silná katodoluminiscence v oranžové oblasti. Schema zapojení je na obr. 4.

3.3.4. Mechanoluminiscence

Mechanoluminiscence je vzbuzována dopadem vzorků SiC na překážku. Tento druh luminiscence bude popsán ve zvláštní kapitole.



EM ... elektronový mikr.
E ... svazek elektronů
V ... vzorek
RG ... registrace
FN ... fotonásobič
M ... monochromátor
ES ... emitované světlo

Obr. 4. Schema zapojení aparatury pro měření katodoluminiscence

3.4. Elektrická pevnost

Karbid křemíku, který se vyrábí pro technické účely je znečistěn příměsemi. Abrazivní vlastnosti karbidu křemíku se s rostoucím množstvím příměsí neliší tak radikálně jako většina ostatních vlastností, důležitých především v elektrotechnickém průmyslu. Je zřejmé, že SiC vyrobený pro brousící techniku je zcela nepoužitelný pro elektrotechniku. Proto je snahou výrobců zlepšovat strukturní i chemické parametry prášků a tím zvyšovat i rozsah jejich využitelnosti. Základní studií je otázka vztahu mezi výchozími surovinami a konečným produktem.

Při studiu elektrických vlastností monokrystalů SiC používaných v polovodičové technice a elektrotechnice, radiotechnice a atomové fyzice je výzkum zaměřen na určování termoelektrické síly, elektrického odporu a hladiny tepelné energie betaSiC. Ty-

to zkoušky však nejsou důležité pro karbid křemíku, používaný jako abrazivum. Znalost elektrických vlastností však může být vodítkem pro rozlišení jeho jednotlivých druhů. K tomuto účelu poslouží určení elektrické pevnosti volně sypaného prášku SiC.

Porovnáním hodnot, naměřených při pokusech vyplývá, že existující rozdíly elektrických vlastností rozlišují i vzorky SiC podle druhu. SiC zelený má mnohem vyšší elektrickou pevnost než SiC šedý. Je to způsobeno menším množstvím nečistot přítomných ve směsi a tím, že obsahuje menší množství grafitu.

4. ČISTĚNÍ TECHNICKÉHO SiC A VÝROBA SiC Z ČISTÝCH SUROVIN.

Úkolem tohoto experimentu bylo získání chemicky čistých krystalů karbidu křemíku z čistých surovin a dále pokus o difuzní vyčistění technických krystalů karbidu křemíku. Čistý karbid křemíku o známém chemickém složení bude sloužit pro měření mechanoluminiscence a erozivity na definovaných vzorcích.

4.1. Příprava pokusu

4.1.1. Příprava směsi

Pro pokus bylo nutné připravit směs křemíku a uhlíku ve stechiometrickém poměru. Na přípravu prášku křemíku bylo použito odpadu z n.p. Tesla Rožnov pod Radhoštěm. Polykrystaliský křemík pro polovodiče ve formě tyčí byl nejprve rozdrcen a potom upraven prosévánim přes síta na zrnitost prášku 220. Pro výrobu směsi byl, jako druhá složka, použit grafit (spektrální prášek) o přibližně stejné zrnitosti.

Výpočet váhového množství obou složek :
Křemíku bylo naváženo 265,94 g. Reakce probíhá podle rovnice

Si + C = SiC
28,086 + 12,01 = 40,096 g směsi

Si .... 28,086 g
C .... 12,01 g
SiC .... 40,096 g

Na 28,086 g Si je zapotřebí 12,01 g C
Na 265,94 g Si je zapotřebí x g C

$$x = \frac{12,01 \cdot 265,94}{28,086} = 113,72 \text{ g C}$$

Při přípravě směsi Si a C ve stechiometrickém poměru se k 265,94 gramům Si přidalo 113,72 g C. Promísením obou složek bylo vytvořeno 379,66 g směsi křemíku a uhlíku.

4.1.2. Získání technických krystalů SiC

Krystaly karbidu křemíku byly získány s kusem ztuhlé taveniny (na nemž byly vykrystalizovány) z n.p. Karborundum Benátky nad Jizerou. Krystaly měly tvar destiček o ploše 0,5 až 1 cm^2 a tloušťka se pohybovala v rozmezí od 1 do 3 mm. Po oddělení od polykrystalické fáze vzorku byly krystaly připraveny pro uskutečnění pokusu.

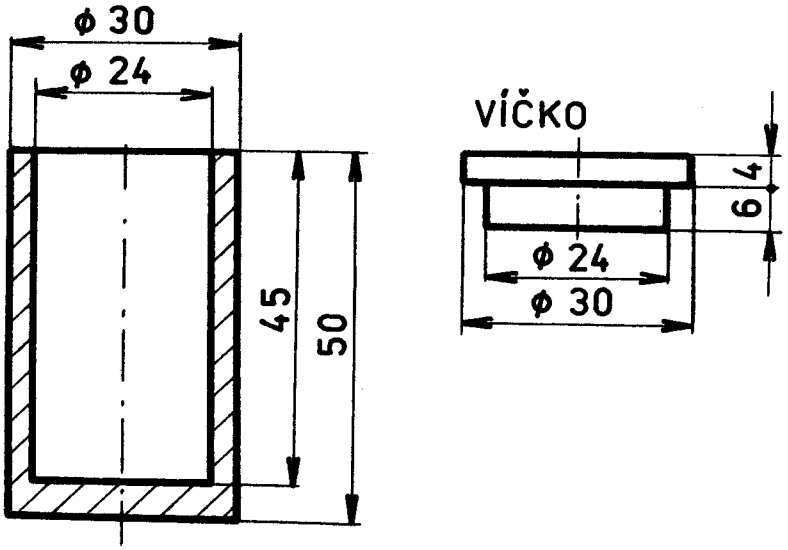
4.1.3. Výroba kelímků

Pro potřeby pokusu byly vyhotoveny kelímky podle výkresu na obr. 5. Polotovarem byly kruhové grafitové tyče o ⌀ 30 mm.

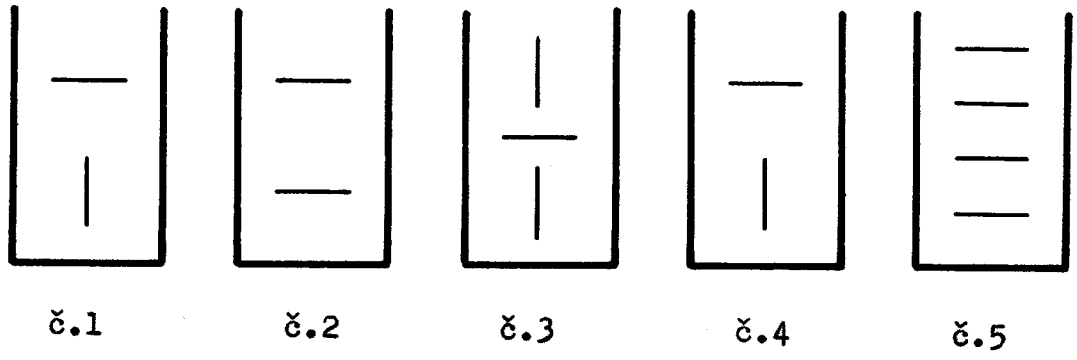
4.1.4. Plnění kelímků

Bylo vybráno 5 kelímků, u kterých osazení víčka těsně a ztuha zapadalo do dutiny kelímku. To proto, aby při manipulaci s kelímky nedošlo k náhodnému a nežádoucímu vysypání obsahu a tím k jeho znehodnocení.

Kelímky byly naplněny připravenou směsí křemíku a uhlíku, do níž byly postupně zasazovány krystaly karbidu křemíku, které v kelímcích slouží jako zárodečné krystaly, na kterých by měl narůst čistý karbid křemíku. Dále tam jsou proto, aby se mohlo vyzkoušet, zda-li se krystaly při vysokých teplotách difuzně vyčistí. Obr. 6 schematicky znázorňuje v jaké poloze a v jakém



Obr. 5. Grafitový kelímek.



Obr. 6. Schematické znázornění počtu a polohy krystalických destiček v kelímcích.

počtu byly krystalické destičky umístěny v jednotlivých kelímcích. Po naplnění byla směs pečlivě upěchována a úbytek, vzniklý pěchováním, byl doplněn tak, aby se směs po uzavření kelímku dotýkala víčka.

4.2. Provedení pokusu

Naplněné a uzavřené kelímky byly odvezeny do Jabloneckých skláren n.p., provoz Josefův Důl. Zde se vložily do většího grafitového kelímku o ⌀ 250 mm a ten byl umístěn do elektrické vakuové pece, která se používá pro tavení křemene, z kterého se potom táhnou trubky pro chemický průmysl. Pec je na obr. 7.

Zahřívání bylo provedeno podle diagramu na obr. 8. Pro všechny tři případy zahřívání byl tlak v peci 66,67 Pa. Pec nebyla vybavena teploměrem a proto jsou teploty odhadnuty s chybou ± 50°C. Odhad provedli podle příkonu pece a podle zkušeností pracovníci obsluhy pece.

4.3. Výsledek pokusu

Při posledním zahřátí na 2200°C došlo k popraskání kelímků vlivem tepelné roztažnosti směsi obsažené v kelímcích. Víčko bylo dobře utěsněno a proto směs, která se se vzrůstající teplotou objemově roztahovala, roztrhla kelímky. Porušení kelímků je na obr. 9.

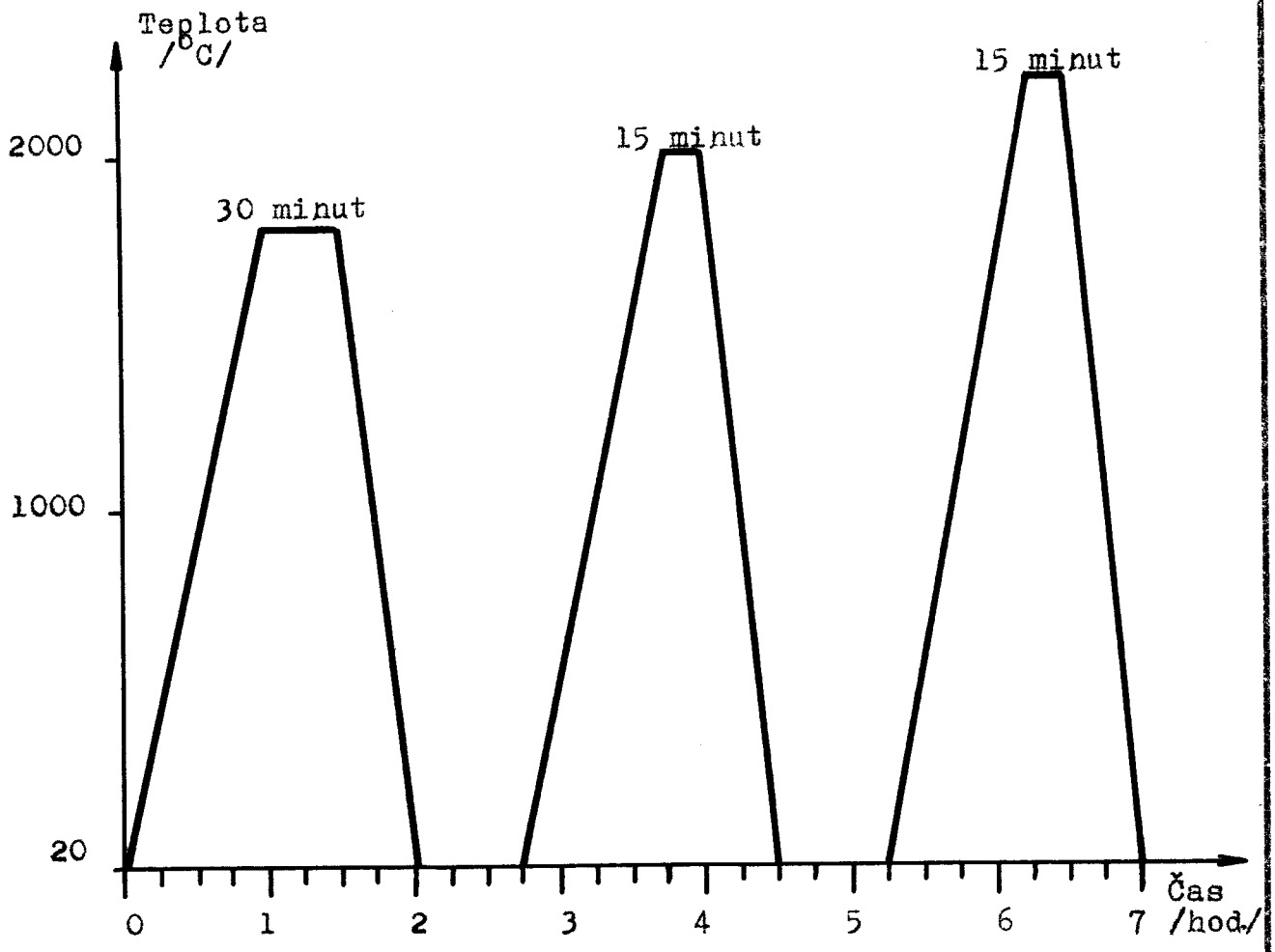
Jako první byl rozebrán kelímek č.3. Uvnitř kelímku vznikla sintrovaná látka (zpečená), která se obtížně drtila. Při vnitřním obvodu kelímku měla vzniklá látka žlutozelenou barvu až do hloubky od 1 do 3 mm. Podle RNDr. L. Sodomky, CSc se jedná o

Obr. 7. Elektrická vakuová pec

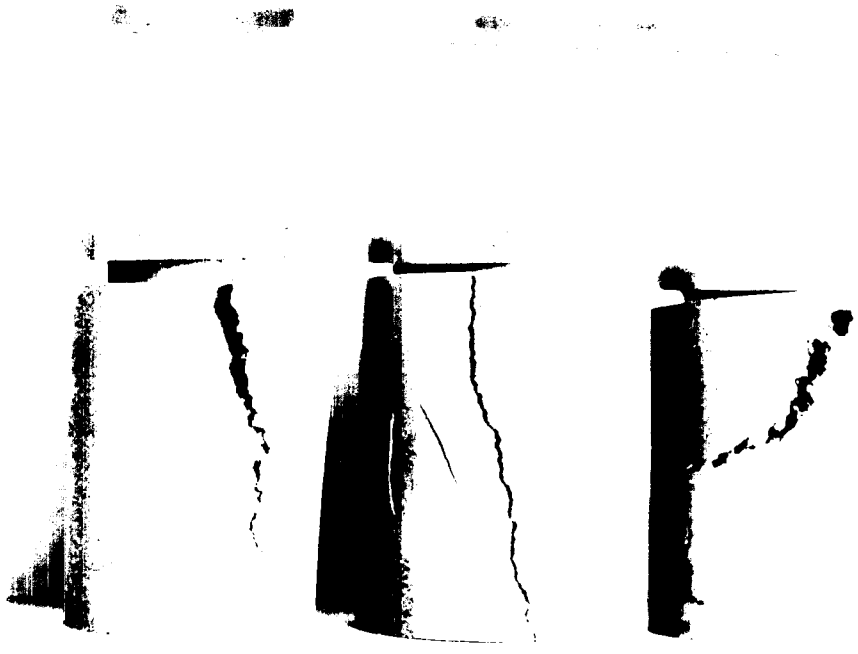
zárodky čistého karbidu křemíku. Po rozdrcení bylo zřejmé, že vzniklá látka má abrazivnější vlastnosti než původní směs. Po opláchnutí vyjmutých krystalů bylo na první pohled vidět, že k vyčistění krystalů ani k nárůstu nových čistých krystalů nedošlo.

4.4. Z á v ě r

Výsledek pokusu byl tedy téměř negativní. Část pokusu, prováděná ve sklárnách v Josefově Dole (zahřívání), byla závislá na výrobním programu závodu, který vyrovnával skluz ve výrobním plánu vzniklý na počátku roku. Pokus probíhal zároveň s naplno běžící výrobou.

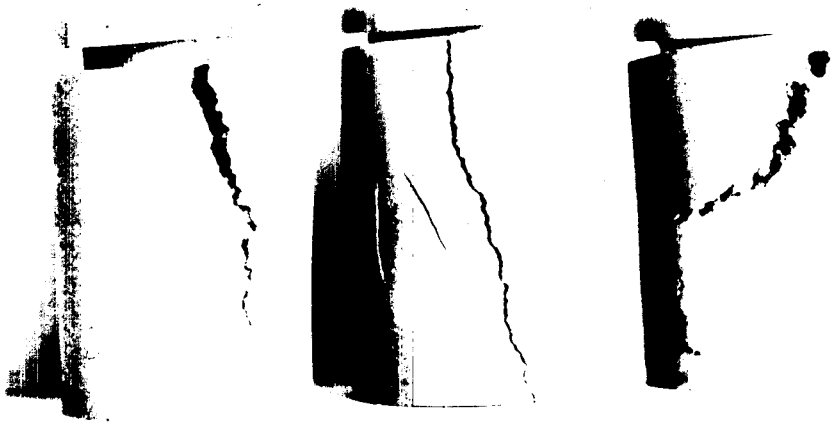


Obr. 8. Diagram zahřívání kelímků v peci.



Obr. 9. Porušení kelímků vlivem roztažnosti obsažené směsi.

Byl rozebrán kelímek č. 3 a zbylé kelímky byly ponechány



Obr. 9. Porušení kelímků vlivem roztažnosti obsažené směsi.

Byl rozebrán kelímek č. 3 a zbylé kelímky byly ponechány v původním stavu pro pokračování experimentu. Při opakování pokusu doporučuji, k získání úspěšnějších výsledků, zajistit minimálně 24 hodinové zahřívání a zvýšení teploty na hodnotu okolo 2500°C. Dále navrhuji,aby kelímky byly z pece vyjímány postupně např. první po 6 hodinách, druhý po 9 hod., třetí po 12 hod. atd. Tímto postupem by bylo možné zjistit optimální dobu zahřívání při dalších daných parametrech. Při plnění kelímků je nutné nechat část objemu dutiny kelímku prázdnou, aby se kelímek opět neroztrhl při zahřívání vlivem teplotní roztažnosti obsažené směsi.

5. MECHANOLUMINSCENČNÍ MĚŘENÍ PRÁŠKU SiC.

5.1. Mechanoluminiscence

Obrábění proudem částic abrazivního materiálu, nesených vzduchem nebo jiným plynným či kapalným prostředím, nazýváme eroze. Schopnost materiálu reagovat na proud volného brusiva je tzv. erozivita materiálu. Při určování erozivity dopadem částic na průhledné materiály (sklo, plexisklo ap.) bylo zjištěno, že některé prášky, mezi něž patří i některé vzorky karbidu křemíku, vykazují mechanoluminiscence,tj. že v místě dopadu vzniká záření, které je možno snímat a měřit.

Při výstupu částic z trysky před jejich dopadem na překážku dochází k rozptylu částic při vzájemných srážkách, takže dopadají na překážku s určitým rozdělením rychlostí. Na překážce pak vytvářejí kráter, jehož profil odpovídá rozdělení rychlostí částic při dopadu na překážku. Tvar profilové křivky se velmi podobá Gaussově rozdělovací křivce. Podobnou křivku získáme i proměřením stopy mechanoluminiscenčního záření zachycené na film za průhlednou překážkou.

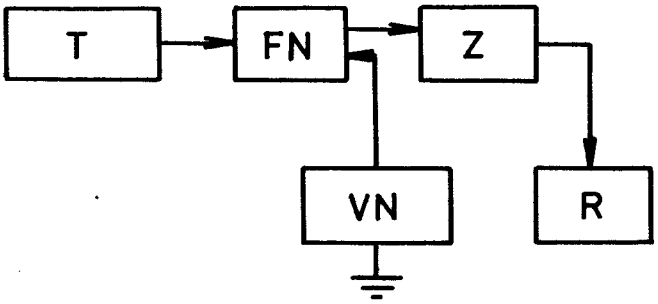
Užijeme-li za překážku podléhající erozi standardního materiálu, jakým mohou být např. krystal křemene nebo levnější sklo přesného složení a s danými fyzikálními a mechanickými parametry, můžeme jeho úběrem za jinak stejných podmínek experimentu popisovat brusné schopnosti a další charakteristiky volného brusiva.

Poněvadž mechanoluminiscence je určena,podobně jako mecha-

nické vlastnosti materiálů ,mechanickými procesy, probíhajícími při jejich deformaci při srážkách s překážkou, lze očekávat, že i mechanoluminiscence může být v budoucnosti vhodným ukazatelem mechanických vlastností volného brusiva. Výhodou techniky mechanoluminiscenčního hodnocení je vysoká citlivost proti měřením mechanickým.

5.2. Experimentální zařízení pro studium mechanoluminiscence

Pro studium mechanoluminiscence bylo sestaveno zařízení podle ideového návrhu RNDr. L. Sodomky, CSc. Uspořádání jednotlivých prvků je na obr. 10 (blokové schema).



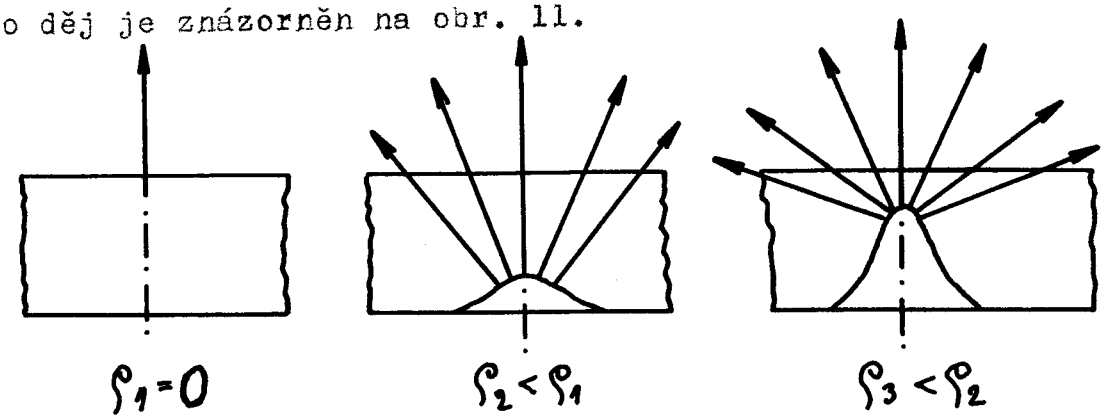
T - tryskací zař. s uzavř. okruhem
FN - fotonásobič M12 FC 25A
VN - zdroj vysokého napětí TESLA VN 31
Z - lineární zesilovač
R - registrační zařízení POTENCIOMETRIC RECORDER OH - 814/1

Obr.10. Blokové schema zařízení pro měření mechanoluminiscence

5.3. Úkol měření

V práci [1] bylo provedeno měření mechanoluminiscence prášku karbidu křemíku (SiC 150 zelený). Při opakovaném otryskávání stejného vzorku skla, vždy po dobu 10 sekund, byl zjištěn úbytek mechanoluminiscenční zářivosti ve směru normály plochy vzorku v závislosti na čase. Podle autora výše uvedené práce je úbytek

zářivosti způsoben rostoucí křivostí kráteru způsobeného erozí. Rostoucí křivost kráteru ς má za následek rozptyl světla. Tento děj je znázorněn na obr. 11.

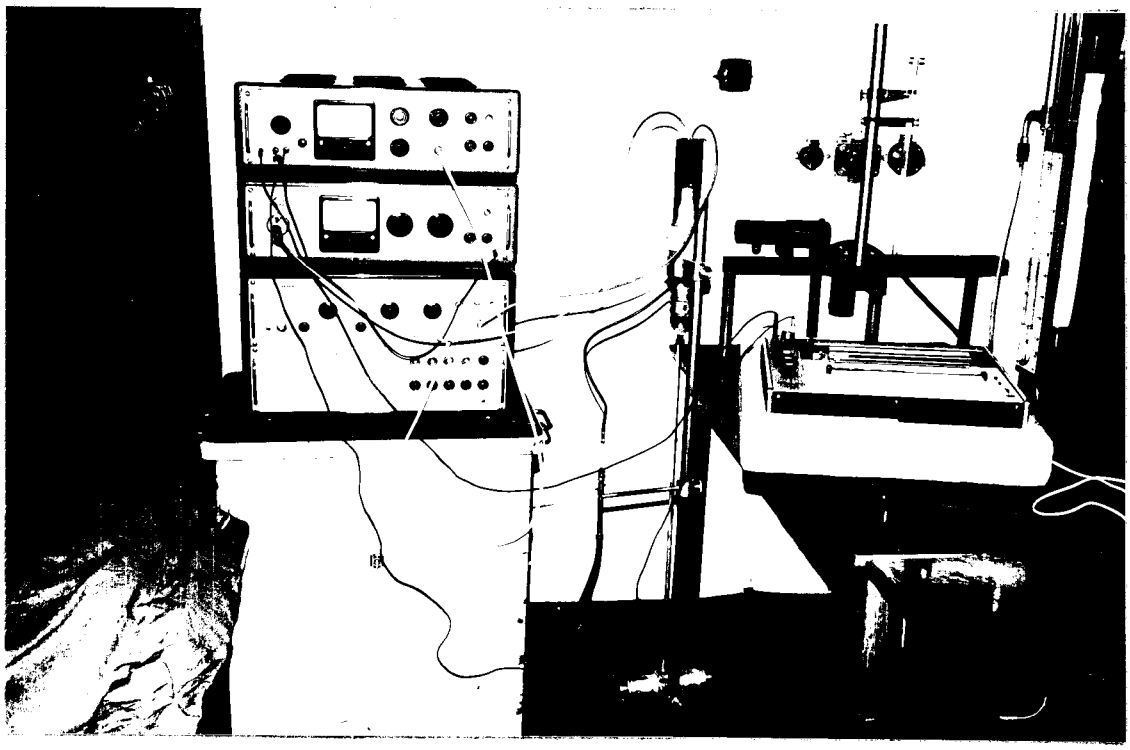


Obr. 11. Vliv velikosti kráteru na rozptyl světla.

Mým úkolem bylo provedení měření mechanoluminiscence prášku SiC 150 zelený na vzorku skla a provést totéž měření na vzorku korundu.

5.3.1 Rozbor úkolu měření

Na korundu by neměl vzniknout žádný kráter (nebo jen velmi malý) a tedy by ani neměl nastat rozptyl světla, způsobující úbytek záření ve směru normály plochy vzorku. Bude-li přesto zjištěn úbytek mechanoluminiscenční zářivosti na čase, bude to vlivem špatné konstrukce směšovací komory tryskacího zařízení. Směšovací komora není schopna zajistit konstantní poměr vzduchu a prášku ve směsi. Koncentrace prášku se mění s časem.



Obr. 12. Zařízení pro měření mechanoluminiscenčního záření připravené k měření.

5.4. Vlastní měření

Před započetím tryskání byl zásobník úplně naplněn abrazivním práškem SiC 150 zelený. Potom byla polovina sloupce prášku vpuštěna regulační jehlou do směšovací komory. Toto opatření bylo provedeno vzhledem k závadám směšovací komory, uvedených v kapitole 6.

MĚŘENÍ 1 :

Jako první byl otryskáván vzorek z tvrzeného skla. Tryskání probíhalo při tlaku 0,2 MPa po dobu jedenácti, bezprostředně na sebe navazujících, desetisekundových intervalů.

Během měření bylo nutné zajistit co největší tmu, protože fotonásobič reaguje i na velmi malé změny intenzity světla. Proto byl nástavec tryskacího zařízení s fotonásobičem zakryt černým přehozem. Napětí z fotonásobiče bylo tak veliké, že nebylo nutné zařaďovat do obvodu zesilovač. Pomocí speciálního kabelu byl fotonásobič připojen přímo na registrační zařízení.

Napětí na zdroji vysokého napětí bylo 1,8 kV, rozsah registračního zařízení byl 5 mV a posuv papíru 0,00416 $m.s^{-1}$(údaj na registru - 1500 $cm.hod^{-1}$). Naměřená funkční závislost úbytku mechanoluminiscenční zářivosti ve směru normály plochy vzorku na čase je vynesena v grafu na obr. 13.(Křivka 1).

MĚŘENÍ 2 :

Jako druhý byl otryskáván vzorek z korundu. Před začátkem tryskání byla výška sloupce prášku v zásobníku upravena (odpuštěním do směšovací komory) na stejnou hodnotu jako v měření 1.

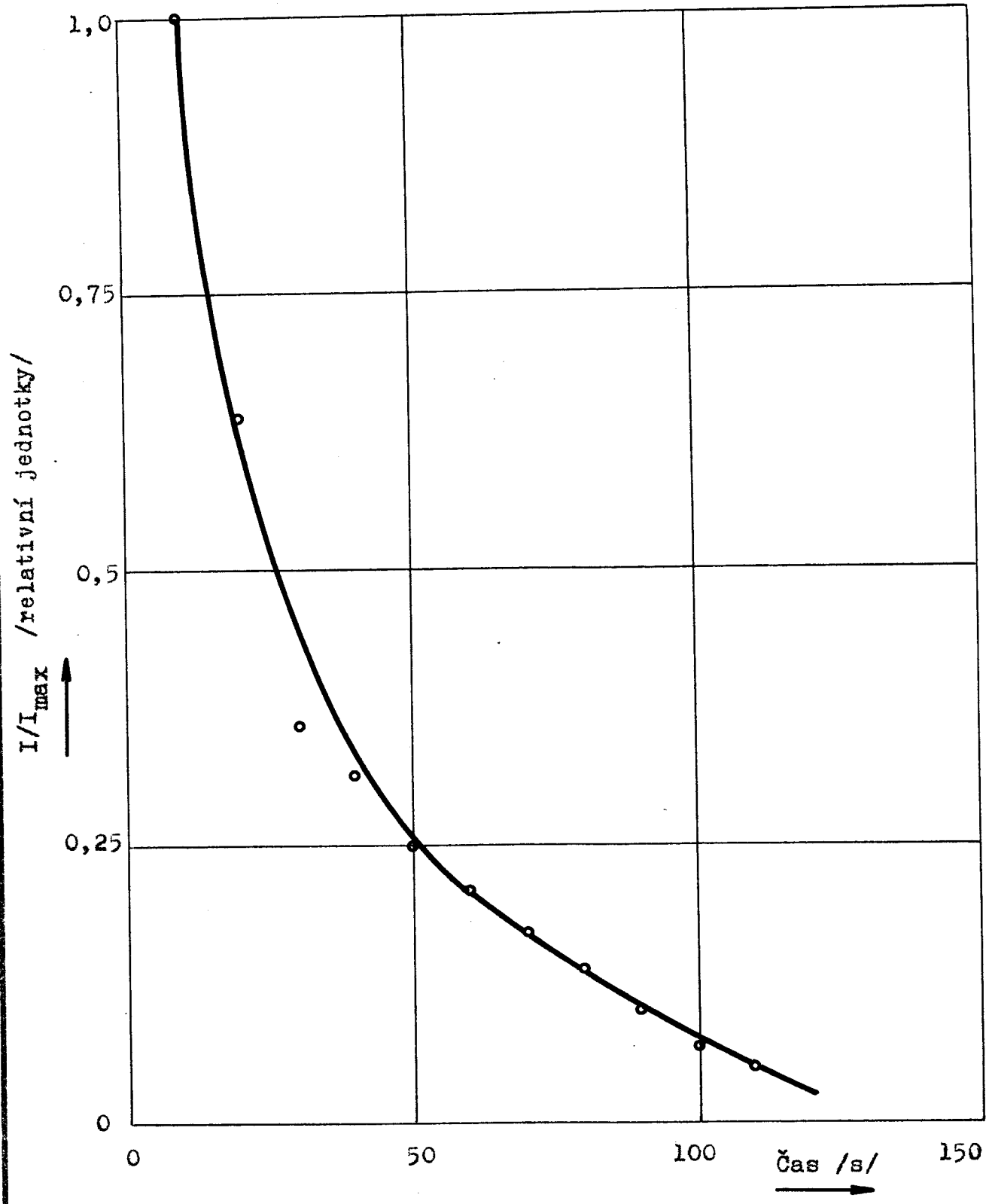
Parametry : tlak vzduchu 0,2 MPa, počet desetisekundových intervalů - 6, VN 1,15 kV, rozsah registru 5 mV a posuv papíru 0,00416 $m.s^{-1}$. Funkční závislost je vynesena v grafu na obr. 14. (Křivka 2).

MĚŘENÍ 3 :

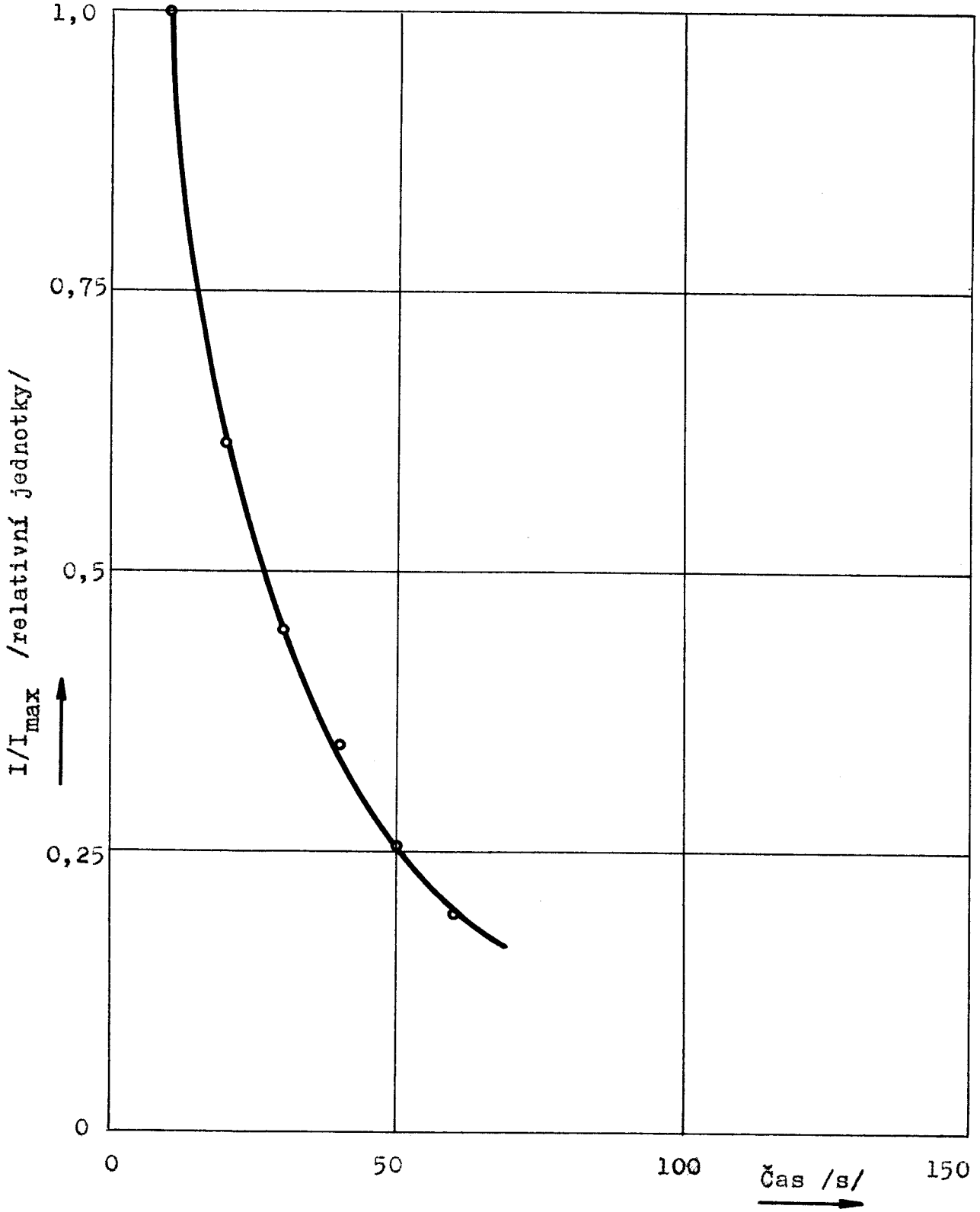
Ve třetím měření bylo zopakováno měření mechanoluminiscenční zářivosti SiC na vzorku korundu. Parametry byly stejné, jen počet intervalů byl 7. Funkční závislost je vynesena v grafu na obr. 15. (Křivka 3).

5.5. Výsledky měření a závěr

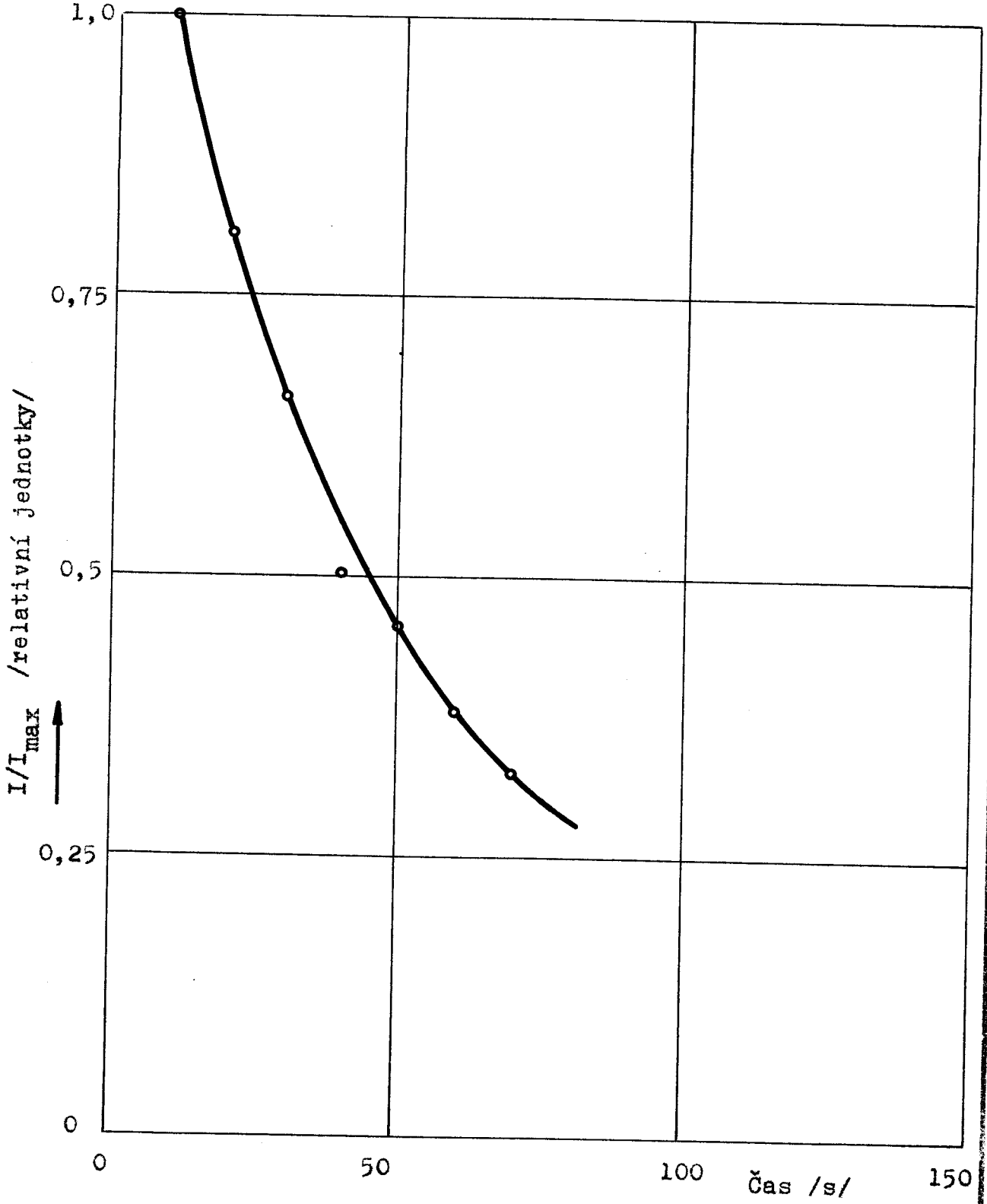
Výsledky měření jsou uvedeny v grafech. Křivka 1 má, až na malé odchylky, shodný tvar s křivkou naměřenou v práci[1]. Křivky 2 a 3 mají pouze podobný tvar jako křivka 1, důležité však je, že klesají s rostoucím časem (dobou tryskání). I když na korundu nevznikl žádný kráter, byl zjištěn úbytek mechanoluminiscenční zářivosti ve směru normály plochy vzorku v závislosti na délce tryskání. Je tedy zřejmé, že tento úbytek zářivosti byl způsoben zmenšující se koncentrací abrazivního prášku v tryskací směsi. Není však možné jednoznačně vyvrátit tvrzení z práce[1], že úbytek mechanoluminiscenční zářivosti nastal vlivem rozptylu světla v závislosti na rostoucí křivosti kráteru. Na záznamu z registračního zařízení je vidět, že průběh závislosti úbytku zářivosti na čase v měření 1 je mnohem strmější než v měřeních 2 a 3. Z toho usuzuji, že při měření 1 byl způsoben úbytek zářivosti nejen zmenšující se koncentrací prášku ve směsi při tryskání



Obr. 13. Funkční závislost úbytku mechanoluminiscenční zářivosti ve směru normály plochy vzorku na čase při otryskávání skla.



Obr. 14. Funkční závislost úbytku mechanoluminiscenční zářivosti ve směru normály plochy vzorku na čase při otryskávání korundu.



Obr. 15. Funkční závislost úbytku mechanoluminiscenční zářivosti ve směru normály plochy vzorku na čase při otryskávání korundu.

v závislosti na čase, ale i rostoucí křivostí vznikajícího kráteru. Není možné posoudit, který z těchto dvou jevů má větší vliv na úbytek zářivosti a proto doporučuji pokračovat v experimentálních měřeních mechanoluminiscenční zářivosti karbidu křemíku až po vyrobení a odzkoušení nové tryskací aparatury, navržené v kapitole 7 této práce.

6. TRYSKACÍ ZAŘÍZENÍ S UZAVŘENÝM OKRUHEM.

Tato kapitola se zabývá v současné době existujícím tryskacím zařízením s uzavřeným okruhem, na kterém byla provedena měření uvedená v kapitole 5.

Vývoj a zdokonalování tryskacího zařízení pro experimentální měření erozivity a s ní spojené mechanoluminiscence trvá již několik let. Posledním vývojovým stupněm je tryskací zařízení s uzavřeným okruhem tryskání.

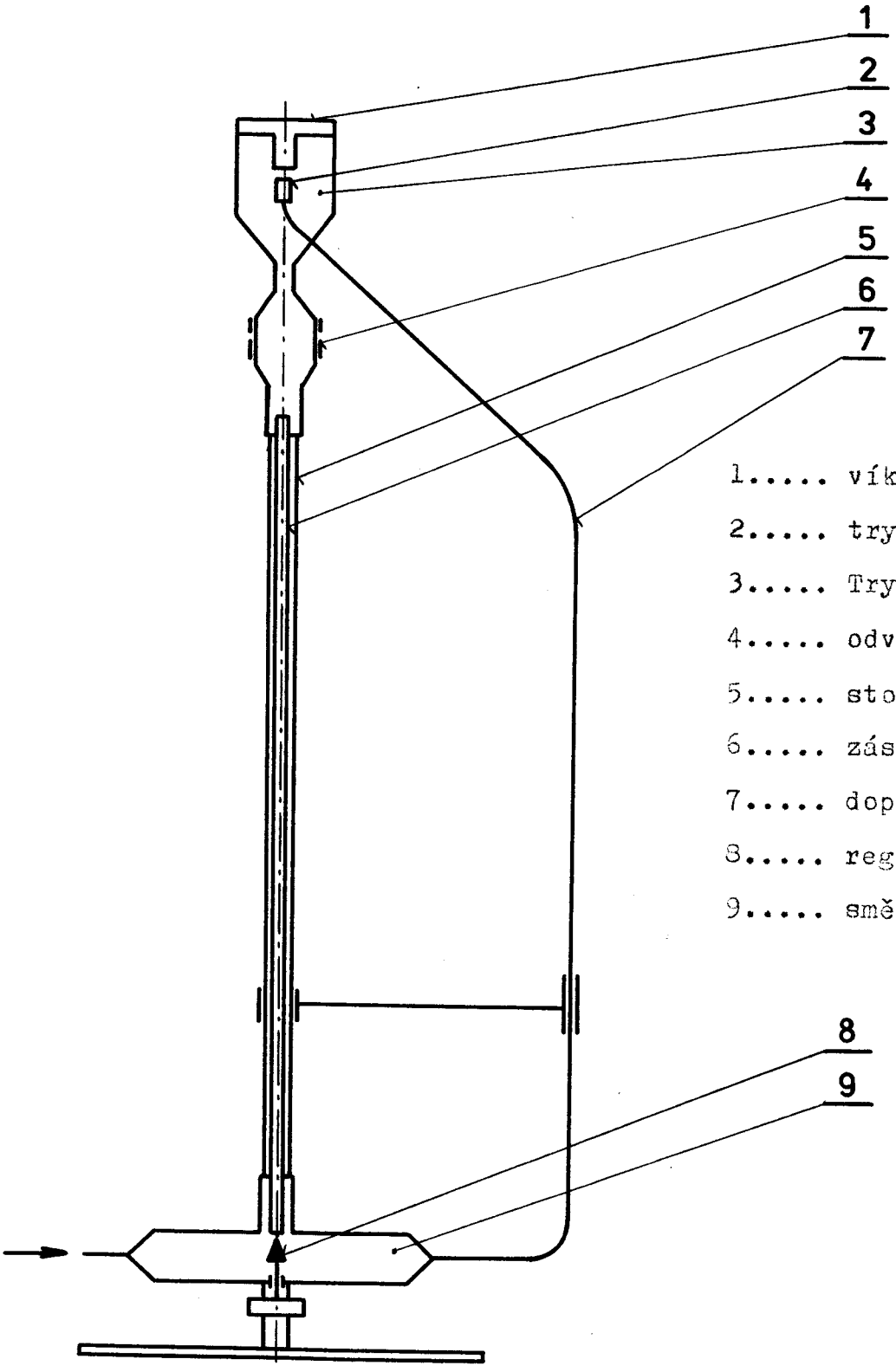
6.1. Popis tryskacího zařízení

Při návrhu zařízení autoři nemohli využít žádných zkušeností, neboť podobné zařízení není doposud nikde používáno a ani literárně nebyla tato problematika zpracována.

Zařízení je zkonstruováno tak, aby se prášek umístěný ve skleněné trubici 6 (zásobníku) mísil s nosným prostředím ve směšovací komoře 9. Při oddálení jehly 8 pomocí šroubu začne prášek vnikat do prostoru směšovací komory, do které je přiváděn stlačený vzduch. Vzniklá směs je přivedena hadicí 7 do trysky 2. Tlak v prostoru tryskací komory se vyrovnává s tlakem atmosferickým přes odvzdušňovač 4. Abrazivní částice padají zpět do zásobníku. Schema tryskacího zařízení s uzavřeným okruhem je na obr. 16.

6.2. Zhodnocení zařízení podle zkušeností získaných při měření

Zařízení má řadu závad, bránících uskutečnění většího



1..... víko
2..... tryska
3..... Tryskací komora
4..... odvzdušňovač
5..... stojan
6..... zásobník
7..... dopravní potrubí
8..... regulační jehla
9..... směšovací komora

Obr. 16. Tryskací zařízení s uzavřeným okruhem.

množství měření erozivity a mechanoluminiscence na vzorcích z různých materiálů za stejných tryskacích podmínek, kdy by potom výsledky jednotlivých měření mohly být vzájemně porovnatelné.

Největší závada zařízení spočívá v chybné konstrukci směšovací komory. Ukázalo se, že regulační jehla přívodu prášku se k regulaci nedá prakticky použít. Je-li otvor pro vnikání prášku do směšovací komory úplně uzavřen jehlou, prášek do komory nevniká, nedochází k mísení abrazivního prášku s nosným prostředím a tím ani ke tryskání. I při velmi malém poklesu jehly dochází ke vnikání nosného prostředí (stlačeného vzduchu) do zásobníku zespod. Sloupec abrazivního prášku v zásobníku je nadzdvihován a k tryskání opět nedochází. Nastavení optimální polohy regulační jehly je možné jen s velkými obtížemi po delším čase a ani tehdy tryskání nemůže trvat déle než jednu nebo dvě sekundy, protože prášek se usazuje v kuželovité části spodku tryskací komory a tím se neustále mění výška sloupce prášku v zásobníku. Se změnou výšky sloupce prášku se mění i jeho tíha a nastává opět vnikání nosného prostředí zespod do zásobníku.

Před započetím tryskání je nutné určitý objem prášku nechat napadat do tryskací komory. Prášek je po spuštění aparatury unášen nosným prostředím a otryskává vzorek. Koncentrace prášku se však mění.

7. NÁVRH NOVÉHO TRYSKACÍHO ZAŘÍZENÍ S UZAVŘENÝM OKRUHEM.

V návrhu nového zařízení bylo využito zkušeností a poznatků z minulé konstrukce a některé osvědčené prvky byly převzaty.

7.1. Všeobecné požadavky na tryskací zařízení

1. Musí mít k dispozici dostatečně vysoký a stavitelný tlak nosného prostředí nesoucího abrazivní částice.
2. Nosné prostředí musí být mísitelné s abrazivním práškem v různých poměrech.
3. Abrazivní prášek se musí zachycovat uvnitř obvodu.
4. Pro kontinuální provoz aparatury je výhodné, aby aparatura tvořila uzavřený okruh, ve kterém by prášek mohl neustále cirkulovat.

Hlavním požadavkem na nové tryskací zařízení je zajištění konstantních podmínek při tryskání. Stabilitu tryskacího procesu rozhodujícím způsobem ovlivňuje směšovací komora, která musí zajistit požadovanou koncentraci směsi. Jelikož se měření často opakuje v krátkých časových intervalech, je nutné, aby se přívod tryskacího prášku do směšovací komory automaticky uzavřel ihned po každém přerušení tryskání a aby se po opětném spuštění aparatury opět otevřel. Tyto požadavky se podařilo v novém konstrukčním návrhu splnit.

7.2. Technický popis zařízení
/výkres DP - 00 - 00 - viz. příloha/

Stejně jako předchozí, tak i nově navržené zařízení se skládá ze zdroje nosného prostředí (stlačeného vzduchu), směšovací komory, tryskací komory s odvzdušňovačem, dopravního potrubí a zásobníku. Zcela nový je regulátor přívodu abrazivního prášku, který není, jako dříve, umístěn ve směšovací komoře. Všechny díly jsou sestaveny do uzavřeného okruhu a umístěny na stojanu.

Směšovací komora je řešena injektorovým způsobem. Stlačený vzduch je přiváděn od zdroje do trysky /11/. Vrstva vzduchu, která projde větší rychlostí tryskou, se rozšíří až za otvorem injektoru. Proto vzduch nejen nevniká do zásobníku prášku /37/, nýbrž prášek nasává svým podtlakem těsně za ústím trysky. Pod zásobníkem prášku je umístěna přívodní tryska, na kterou je zespod navlečena hadička /30/ z měkké pryže. Pod tryskou je píst /14/ držený v levé krajní poloze pružinou /38/. V pístu je podélná drážka, do které zapadá hadička /30/ a tím je zamezeno úniku prášku za klidu i za pohybu mezi vodící plochy pístu.

Tryskací komora je ve tvaru válce s kuželovým dnem a otvorem pro padání zpětného prášku. Shora je našroubováno víko /8/ s nástavcem pro umístění fotonásobiče. Uvnitř tryskací komory je otryskávací tryska /20/. Tryskací komora je oproti předchozí řešena tak, že je usnadněn přístup k montáži hadice /35/, která se dříve velmi obtížně prováděla. Prostor pod tryskou je zvětšen, aby odražené částice zpětně neovlivňovaly vlastní proces tryskání. K vyrovnání tlaku slouží odvzdušňovač /6/, ve kterém dochází k unikání vzduchu přes tkaninový filtr do okolí a odfiltrovaný

prášek padá zpět do zásobníku tvořeného skleněnou trubicí. Dopravní potrubí je řešeno s co nejmenším počtem přerušení a s tím souvisejících spojů, které způsobují tlakové ztráty.

Celá konstrukce je provedena ve formě stavebnice, což umožňuje výměnu součástí, které nejvíce podléhají erozi. Téměř u všech dílů je navržena povrchová úprava - černění, které má kromě ochrany proti korozi výhodu i v tom, že nebude docházet k nežádoucím odrazům světla při měření mechanoluminiscence.

7.2.1. Ovládací a vyměnitelné prvky zařízení

1. Vzduchová tryska i tryska pro přívod prášku jsou vytvořeny s různými průměry a jejich kombinacemi je možné libovolně měnit poměr mezi práškem a stlačeným vzduchem, tvořících tryskací směs.
2. Také otryskávací tryska je vytvořena s několika průměry. Podle použitého průměru se bude měnit tvar kráteru na otryskávaném vzorku.
3. Síla působící na píst je úměrná přiváděnému tlaku vzduchu. Aby nedocházelo k rázům po spuštění aparatury, je možné měnit tuhost pružiny pomocí šroubu 12. Při tlaku 0,2 MPa je síla na píst rovna 62 N.
4. Vzdálenost vzorku od trysky je nastavitelná šroubováním víka a je možné ji odměřovat podle stupnice vyryté na tělese tryskací komory.

7.3. F u n k c e a p a r a t u r y

Do zásobníku nasypeme abrazivní prášek shora při odšroubovaném víku tryskací komory.

Přívod stlačeného vzduchu je proveden dvěma paralelními větvemi (hadicemi), jak do vzduchové trysky, tak k pístu. Po spuštění tryskání nastane posunutí pístu do pravé krajní polohy. Příčný průvrt v pístu sr dostane pod přiváděcí trysku prášku a prášek začne padat do směšovací komory. Zde se mísí se vzduchem a vzniklá směs stoupá dopravním potrubím k otryskávací trysce. Po průchodu tryskou dojde k nárazu částic prášku na vzorek. Částice po odražení padají zpět do zásobníku. Celý proces tryskání není časově omezen až do chvíle, kdy by došlo při dalším tryskání k provrtání vzorku. Při výměně náplně abrazivního prášku se nejprve odpojí hadice /36/ od tryskací komory a prášek se vyfouká do předem připraveného sáčku. Potom nasypeme novou náplň stejným způsobem jako na začátku.

8. SESTAVENÍ PROGRAMU PRO OPTIMÁLNÍ SEŘÍZENÍ TRYSKACÍHO PROCESU.

Kombinace průměrů trysek a další již zadané parametry např. drsnost povrchu potrubí, hmotnost částic abrazivního prášku atd.- to vše vedlo k sestavení programu pro počítačové řešení optimálního seřízení aparatury a tím i tryskacího procesu. Vyšlo se ze vztahů uvedených v pracích [6] a [7].

8.1. Použité matematické vztahy.

Při sestavování programu se vyšlo z následujících vztahů :

1. Výpočet vznášecí rychlosti

Při rovnováze sil, které působí na částici, setrvává částice ve stejné výši, tj. vznáší se v proudu vzduchu. Pro tento stav platí rovnice

$$\frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \gamma_T = \psi \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{w_s^2}{2g} \cdot \gamma_V$$

ze které získáme vznášecí rychlost

$$w_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g \cdot d_e \cdot \gamma_T}{\psi \cdot \gamma_V}}$$

kde

$$d_e = 1{,}24 \cdot \sqrt[3]{\frac{G_T}{\gamma_T}}$$

d_e /m/ ..... ekvivalentní průměr částice

G_T /kg/ ..... hmotnost částice

γ_T /kg.m^{-3}/.. měrná hmotnost prášku

γ_V /kg.m^{-3}/.. měrná hmotnost vzduchu

$g = 9{,}81$ /m.s^{-2}/ ... tíhové zrychlení

φ ..... součinitel odporu vzduchu při pohybu částic

2. Výpočet minimální rychlosti vzduchu

Při pohybu směsi prášku a vzduchu v potrubí narážejí částice v okraji proudu na stěny a zbrždují se. Vliv těchto i dalších ztrát, které při pohybu směsi nastávají, je vyjádřen součinitelem odporu f. Při určité minimální hodnotě rychlosti w_{Tmin} začne odpor prudce stoupat, tj. rychle roste hodnota součinitele tření, prášek se v potrubí hromadí a to se ucpává. Při vyšší rychlosti prášku než je w_{Tmin} je součinitel odporu malý a téměř konstantní. Podle měření pro různé hodnoty měrné hmotnosti prášků leží tato minimální rychlost v rozmezí 10 až 18 m/s. Skutečná rychlost w_l má být bezpečně větší než tato minimální hodnota

$$w_l = 18 + w_s \quad /m.s^{-1}/$$

3. Výpočet rychlosti tryskací směsi před vstupem do tryskací komory.

Byl použit výpočet podle Backa, který ze všeobecné rovnice pro pohyb plynů v potrubí

$$w_v \cdot \frac{dw_v}{g} + v.dp + dR + dh = 0$$

kde w_v /m.s^{-1}/ ... rychlost vzduchu

v /m^3.kg^{-1}/... měrný objem vzduchu

h /m/ ..... výška uvažovaného průřezu nad základní rovinou

$$dR = \frac{\lambda}{D} \cdot dL \cdot \frac{w_v^2}{2g} \cdot \gamma_v \quad \ldots\ldots \text{elementární ztráta třením}$$

$$\lambda = \left(\frac{K}{D}\right)^{0,314} \cdot 10^{-2} \quad \ldots\ldots \text{součinitel tření podle Hopfa}$$

odvodil vztahy pro tlak na začátku resp. na konci linky :

$$p_1 = p_2 \cdot \sqrt{1 + C}$$

kde p_1 /Pa/ .... tlak na začátku linky (absolutní)

p_2 /Pa/ .... barometrický tlak na konci linky

$$C = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{w_2^2}{p_2 \cdot v_2} \cdot \frac{L}{D} \cdot \left(\frac{K}{D}\right)^{0,314}$$

w_2 /m.s^{-1}/ .. rychlost před vstupem do tryskací komory

$v_2 = \frac{1}{\gamma_{v_2}}$ /m^3.kg^{-1}/ .. měrný objem vzduchu před vstupem do tryskací komory

L /m/ ..... výpočtová délka zařízení

D /m/ ..... průměr potrubí

K ..... součinitel drsnosti povrchu

Z tohoto vztahu lze vyjádřit rychlost w_2 jako funkci zvoleného tlaku p_1

$$w_2 = \sqrt{\frac{D^{1,314} \cdot (p_1^2 - p_2^2)}{\gamma_{v_2} \cdot 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot L \cdot K^{0,314}}}$$

4. Výpočet koncentrace směsi.

Koncentrace směsi je nejdůležitější veličinou pro správnou funkci tryskacího zařízení. Koncentrace směsi je váhový poměr

dopravovaného prášku a dopravního vzduchu

$$\mu = \frac{G_T}{G_V}$$

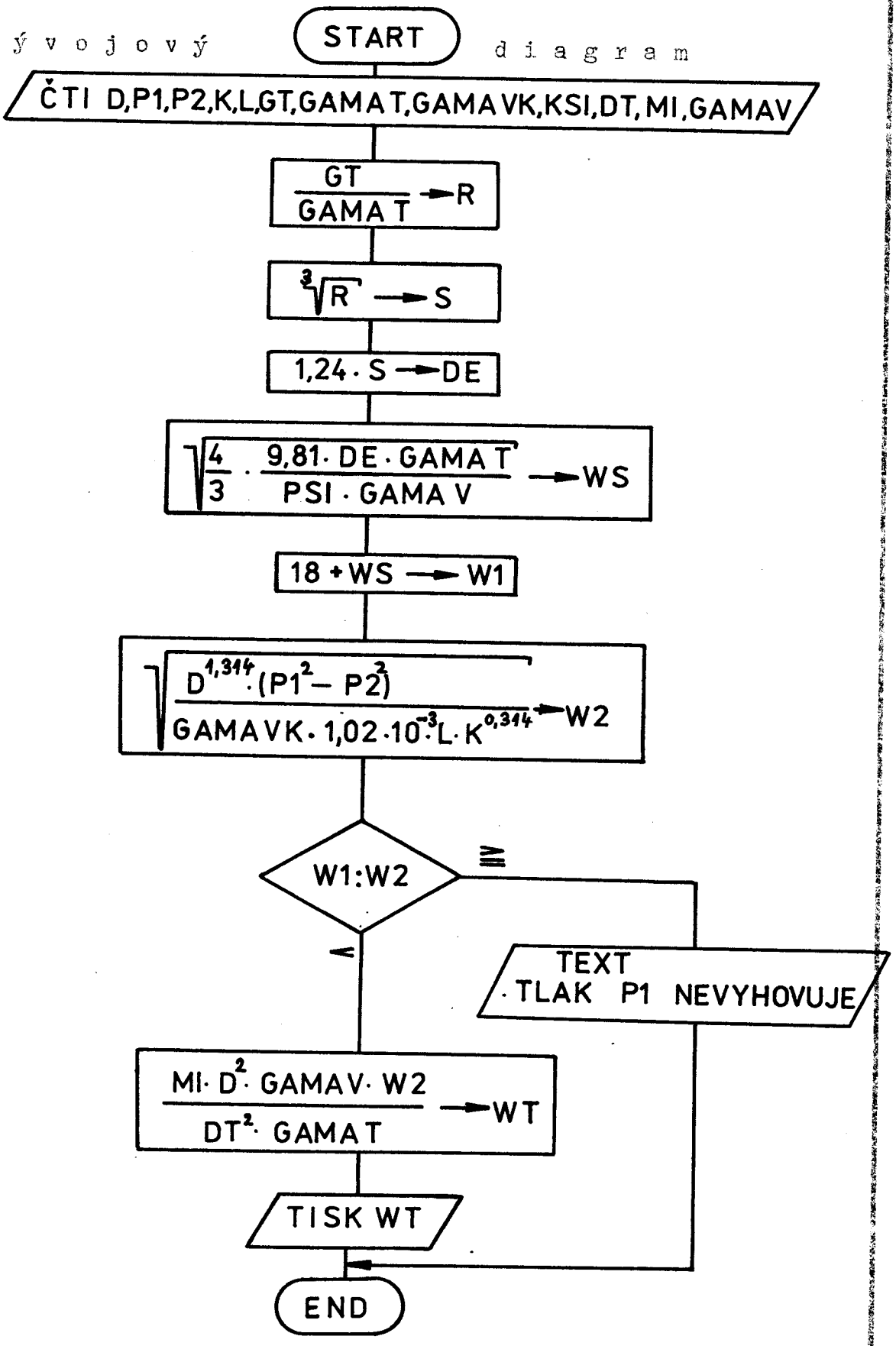
Hodnotu μ je nutné stanovit pro konkrétní podmínky experimentálně. Bývá udávána v literatuře v rozmezí 0,2 až 20. Při výpočtu optimálního seřízení aparatury se vyšlo ze zvolené koncentrace směsi μ, tlaku p_1 a průměru přiváděcí trysky D_T pro prášek. K těmto zvoleným parametrům byl odvozen vztah pro výpočet výtokové rychlosti tryskacího prášku do směšovací komory

$$w_T \cdot \frac{\pi \cdot D_T^2}{4} \cdot \gamma_T = \mu \cdot w_2 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

z toho

$$w_T = \mu \cdot \frac{D^2}{D_T^2} \cdot \frac{\gamma_V}{\gamma_T} \cdot w_2$$

8.2. Vývojový diagram



8.2.1. Vysvětlivky k použitým symbolům

D	/m/	průměr potrubí
L	/m/	výpočtová délka potrubí
K		součinitel drsnosti povrchu potrubí
P1 (p_1)	/Pa/	abs. tlak na začátku linky
P2 (p_2)	/Pa/	bar. tlak na konci linky
MI (μ)		koncentrace směsi vzduchu a prášku
GAMA VK (γ_{v_2})	/kg.m^{-3}/	měrná hmotnost vzduchu před vstupem do tryskací komory
GAMA V (γ_v)	/kg.m^{-3}/	měrná hmotnost vzduchu
GAMA T (γ_T)	/kg.m^{-3}/	měrná hmotnost tryskacího prášku
W2 (w_2)	/m.s^{-1}/	rychlost před vstupem do tr. komory
W1 (w_1)	/m.s^{-1}/	minimální přípustná rychlost vzduchu
WS (w_s)	/m.s^{-1}/	vznášecí rychlost
GT (G_T)	/kg/	hmotnost částice
PSI (ψ)		součinitel odporu při pohybu částice ve vzduchu
DE (d_e)	/m/	ekvivalentní průměr částice
WT (w_T)	/m.s^{-1}/	výtoková rychlost prášku do směšovací komory
DT (d_T)	/m/	průměr výtokové trysky pro tryskací prášek

8.3. Program v jazyce FORTRAN IV

```
REAL K,PSI,L,M
1 READ (1,100) D,P1,P2,K,L,GT,GAMA T,GAMA VK,PSI,DT,MI,GAMA V
DE = (GT/GAMA T)**(1/3)*1.24
WS = SQRT((4*9.81*DE*GAMA T)/(3*PSI*GAMA V))
W1 = 18 + WS
W2 = SQRT((D**1.314*P1**2 - P2**2)/(GAMA VK*1.02 E-3*/
   /L*K**0.314))
IF (W1 - W2) 2,3,3
2 WRITE (3,101)
WT = (MI*D**2*GAMA V*W2)/( DT**2*GAMAT)
WRITE (3,102) WT,P1
PAUSE
GO TO 1
3 WRITE (3,103)
PAUSE
GO TO 1
100 FORMAT (12 E 15.9)
101 FORMAT (17 H TLAK P1 VYHOVUJE)
102 FORMAT (31 H VYTOKOVA RYCHLOST PRASKU : WT = ,F 8.4/
          /28 X, 4H P1 = ,F 8.4)
103 FORMAT (19 H TLAK P1 NEVYHOVUJE)
END
```

8.4. Závěr

Pro zadané hodnoty počítač vypočítá výtokovou rychlost tryskacího prášku při zadaném tlaku vzduchu na začátku dopravní linky. Počítač upozorní, když tlak bude příliš malý.

9. Z H O D N O C E N Í A Z Á V Ě R.

Cílem této práce bylo zkoumání fyzikálních vlastností karbidu křemíku.

Měření mechanoluminiscence bylo prováděno na zařízení, které má značné nedostatky. Proto bylo v další části této práce konstrukčně přepracováno. Zjistil jsem, že úbytek mechanoluminiscenčního záření v závislosti na čase je způsoben nejen rostoucí křivostí kráteru vznikajícího na vzorku, ale i změnou koncentrace prášku v tryskací směsi. Po zajištění konstantních podmínek při tryskání bude možné mechanoluminiscenci používat jako kritéria pro hodnocení erozivity materiálů; dále pro hodnocení kvality a řezivosti prášků karbidu křemíku, což by při statistickém zpracování mělo velký význam pro výrobu brusných kotoučů (již před výrobou kotouče by byly známy vlastnosti prášku).

V experimentu, kdy jsem se pokusil o difuzní vyčistění technického SiC a o výrobu SiC z čistých surovin, nebylo dosaženo pozitivních výsledků. Doporučení pro opakování tohoto experimentu a podmínky jsou uvedeny v závěru příslušné kapitoly.

Největším přínosem této práce je návrh nového konstrukčního zpracování tryskacího zařízení s uzavřeným okruhem. Zařízení je zkonstruováno tak, že vyhovuje všem požadavkům na tryskací zařízení. Po odzkoušení a odstranění všech drobných nedostatků, bez kterých se žádná nová konstrukce neobejde, bude toto zařízení spolehlivě sloužit při experimentálním studiu erozivity a mechanoluminiscence. Výkresová dokumentace je zpracována a uvedena v příloze této práce.

Nakonec bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce RNDr. Lubomíru Sodomkovi, CSc za cenné rady a celkový dobrý přístup k vedení diplomové práce, Jiřímu Barillovi, studentu IV. ročníku, za nezištnou pomoc při sestavení aparatury a při vlastním měření mechanoluminiscence a za dobré rady a návrhy při řešení nové konstrukce tryskacího zařízení a konečně pracovníkům Jabloneckých skláren v Desné a Josefově Dole ing. J. Draxlerovi a ing. Řeřichovi za ochotu a pomoc při uskutečnění experimentu z kapitoly 4.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.

1. Pecenka, M. : Metody hodnocení fyzikálních vlastností SiC v brousící a leštící technice
DP VŠST Liberec, 1978

2. Herzán, P. : Fyzikální vlastnosti SiC
DP VŠST Liberec, 1977

3. Křivda, L. : Erozivita karbidu křemíku
DP VŠST Liberec, 1976

4. Jetleb, P. : Studium opracování materiálů tryskání prášků
DP VŠST Liberec, 1971

5. Sodomka, L. : Erozivita a mechanoluminiscence
Sborník prací VŠST Liberec, 1978, str. 75 - 82

6. Chlumský, V.: Kompresory, pneumatické a chladící stroje
SNTL Praha 1966

7. Haber, J. : Vzduchotechnika, doprava a zařízení
SNTL Praha 1953

8. Sodomka, L. : Eroze materiálů
Výzkumná zpráva 125/1 - c, 1974