

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Ivo Kraus

Kvantitativní metalografická analýza jako součást komplexního studia fyzikálních vlastností materiálů

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 13 (1968), No. 2, 83--99

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137234>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1968

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>

tj.

$$1 + \Phi U = (1 - Q^{1/n} \exp(-V_n/(nU)))^{-1}.$$

Optimální hodnota úhrnného užitečného parametru P je podle (12,2)

$$P = M/Z \equiv M_1/Z_n = \left(\prod_{i=1}^n (q_i - 1) \right) / (Q^{1/n} \exp(-V_n/(nU)) - 1)^n.$$

(Dokončení článku v příštím čísle.)

KVANTITATIVNÍ METALOGRAFICKÁ ANALÝZA JAKO SOUČÁST KOMPLEXNÍHO STUDIA FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLŮ

IVO KRAUS, Praha

ÚVOD

Metody fyzikálního nebo mechanického studia látek jsou stejně jako získané experimentální výsledky vždy závislé na povaze studovaného objektu. Aby byla měření reprodukovatelná, musí být prováděna za stejných podmínek a na stejně definovaných materiálech. Jednou z vlastností, které určují každou látku, a tedy i kov, je struktura. Její charakteristika pomocí kvantitativní metalografie je proto nezbytnou součástí popisu studovaných vzorků při sledování libovolných fyzikálních veličin.

Soustavný výzkum struktury kovů a slitin jako určujícího činitele jejich mechanických a fyzikálně chemických vlastností nastal v polovině minulého století, kdy se začalo ke studiu kovů používat mikroskopu. Od těch dob se stala mikroskopická analýza (optická a v posledních dvaceti letech i elektronová) nejrozšířenější metodou zkoumání kovových materiálů¹⁾.

Zpočátku se metalografický výzkum omezoval hlavně na kvalitativní charakteristiku vnitřní stavby. Tak byl objeven např. perlit, martenzit aj. Pro úkoly výroby se však samotný kvalitativní rozbor ukázal jako nedostatečný. Ke kontrole kvality kovů a slitin v průmyslových podmínkách byly proto vypracovány speciální stupnice struktur pro polokvantitativní charakteristiku nekovových příměsí (např. grafit v litině). Ale ani použití těchto srovnávacích metod nevedlo k získání kvantitativních hodnot potřebné přesnosti pro objektivní zhodnocení struktury.

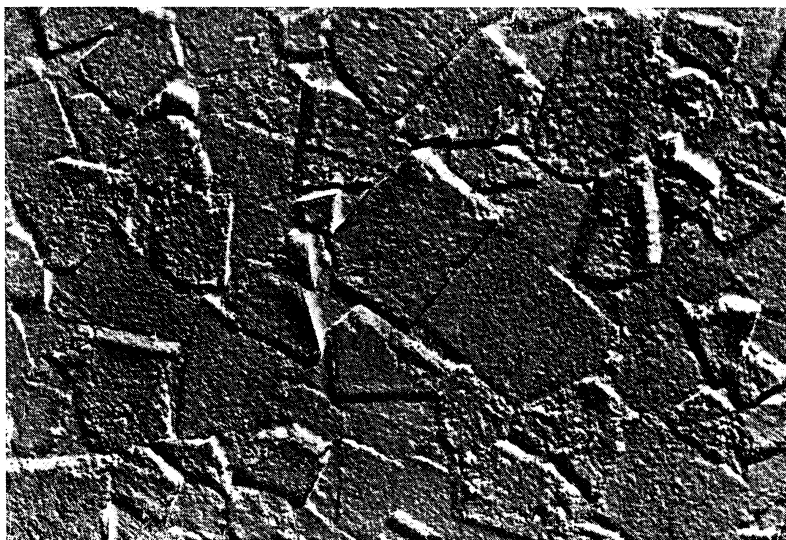
¹⁾ Popisovaná metoda však není omezena jen na tyto látky — naopak pro zkoumání kovů a slitin byla přenesena z oblasti věd geologických. Stejně metody optické analýzy struktury se používá v keramice (keramografie). Pouze příprava výbrusu (nábrusu) je odlišná; pozorování struktury keramických materiálů může být v některých případech uskutečněno i v procházejícím světle.

Vědecké práce z kvantitativní metalografie se objevily teprve v třicátých letech našeho století. Byla vypracována celá řada metod, jimiž je možno s různou přesností charakterizovat strukturu studovaného kovu nebo slitiny. Z novější literatury se těmito otázkami zabývají např. SALTYKOV [1], BLANTER [2], RHINES a DE HOFF [3], z českých autorů LIKEŠ [4], ČECH a OLIVERIUS [5].

Cílem tohoto článku je seznámit čtenáře nejen s hlavními úkoly kvantitativní metalografie, ale dát i stručný návod k jejich řešení.

ÚKOLY KVANTITATIVNÍ METALOGRAFIE

Na metalografickém výbrusu kovového materiálu se po vhodném naleptání objeví soustava nepravidelných obrazců, které jsou tvořeny hranicemi náhodných řezů prostorových částic – zrn²⁾.



Obr. 1. Přehledná struktura soustavy 94% WC + 6% Co. Zvětšení 15000×. Snímek byl zhotoven metodou jednostupňové kolodiové repliky stínované platinou na československém stolním elektronovém mikroskopu TESLA BS 242.

Nejjednodušším případem metalografické struktury je polyedrická struktura monofázové soustavy. V praxi však zpravidla jde o systémy vícesložkové; jako příklad

²⁾ Význam termínů částice a zrno není dosud v naší ani zahraniční literatuře jednotný. Zatímco některé práce jich užívají jako synonym, jinde se setkáme s pojmem částice pouze u vícefázových soustav (např. částice grafitu v šedé litině, částice TiC ve slitině TiC-Ni-Mo). V tomto článku budeme používat názvu zrno pouze pro element struktury monofázové soustavy. Tam, kde je text shodný pro oba termíny, nahrazuje název částice i element jednosložkového materiálu.

(obr. 1) je uveden snímek přehledné struktury slinutého karbidu soustavy WC-CO (94% WC + 6% Co).

! Úplnou kvantitativní charakteristikou struktury kovů a slitin rozumíme stanovení těchto údajů:

I. V rovině výbrusu soustavy

1. Statistické rozdělení řezů částic podle jejich velikosti
2. Střední rozměr částic
3. Počet částic na jednotkové ploše
4. Relativní podíl složek soustavy
5. Délka hranic částic jednotlivých složek soustavy na jednotkové ploše

II. V objemu soustavy

1. Statistické rozdělení částic podle velikosti
2. Střední rozměr částic
3. Počet částic v jednotkovém objemu
4. Relativní podíl složek soustavy
5. Plocha hranic částic jednotlivých složek soustavy v jednotkovém objemu
6. Parametry spojitosti fází

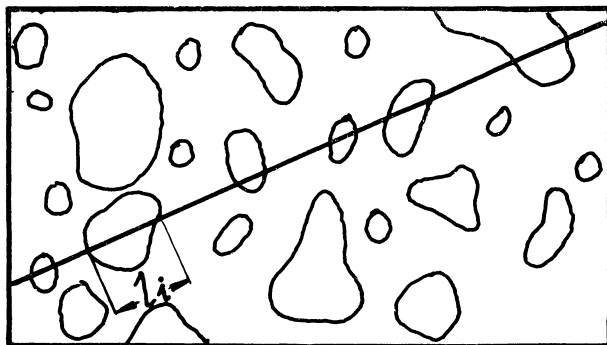


Obr. 2. Struktura soustavy 94% WC + 6% Co. Zvětšení 12000 \times . Snímek obsahuje extrémně velkou částici karbidu wolframu vzniklou koalescencí.

Uvedené úkoly je nutno zjišťovat v náhodném místě struktury, které neobsahuje žádné anomálie jako jsou např. extrémně veliké částice vzniklé koalescencí (obr. 2).

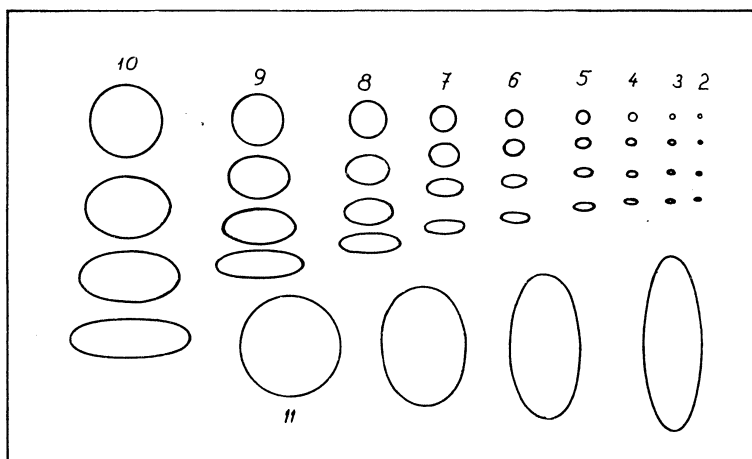
STUDIUM STRUKTURY V ROVINĚ VÝBRUSU SOUSTAVY

Základním úkolem, který musíme při úplné kvantitativní charakteristice struktury kovových materiálů v rovině výbrusu provést, je statistické rozdělení řezů částic podle velikosti jejich plochy nebo podle délky úseček měřicí přímky.



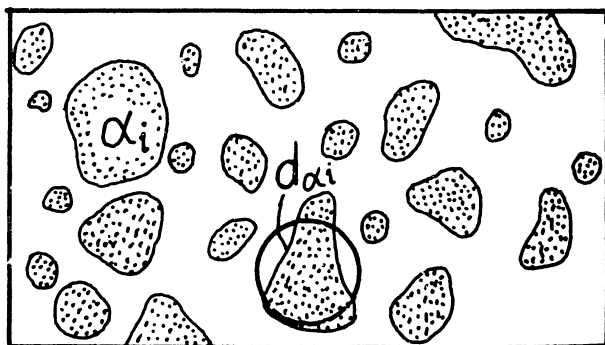
Obr. 3. Náhodně proložená měřicí přímka protíná řezy částic v úsečkách l_i .

Rozdělení úseček l_i měřicí přímky (obr. 3). Na snímku výbrusu se proloží tolik měřících přímek, aby celkový počet protnutých řezů částic byl větší než 200 až 250. Úsečky, v nichž jsou částice na snímku protínány, rozdělíme podle jejich délky do několika rozměrových tříd. Grafické znázornění četnosti řezů v jednotlivých rozměrových třídách se nazývá *rozdělovací křivka* (velmi často se užívá také znázornění ve formě frekvenčního histogramu). Jak ještě dále ukážeme, závisí tvar frekvenční křivky, resp. histogramu na počtu zvolených rozměrových tříd.



Obr. 4. Šablona pro stanovení velikosti ploch řezů částic.

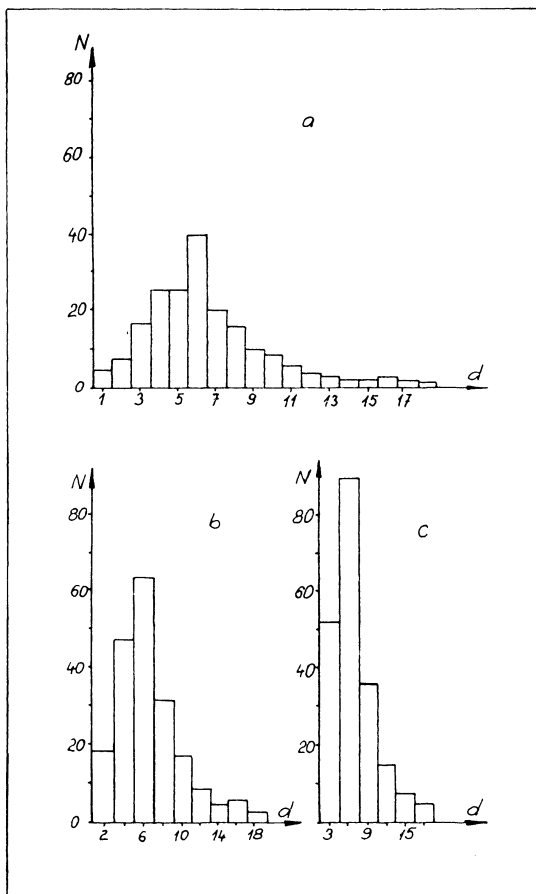
Rozdělení ploch řezů částic nebo rozdělení průměrů d_{ai} kruhů o ekvivalentní ploše. Jiné kritérium, podle něhož se vynáší rozdělovací křivka, je rozdělení ploch řezů částic. Vizualní klasifikaci velikosti řezů lze urychlit použitím srovnávací stupnice (obr. 4).



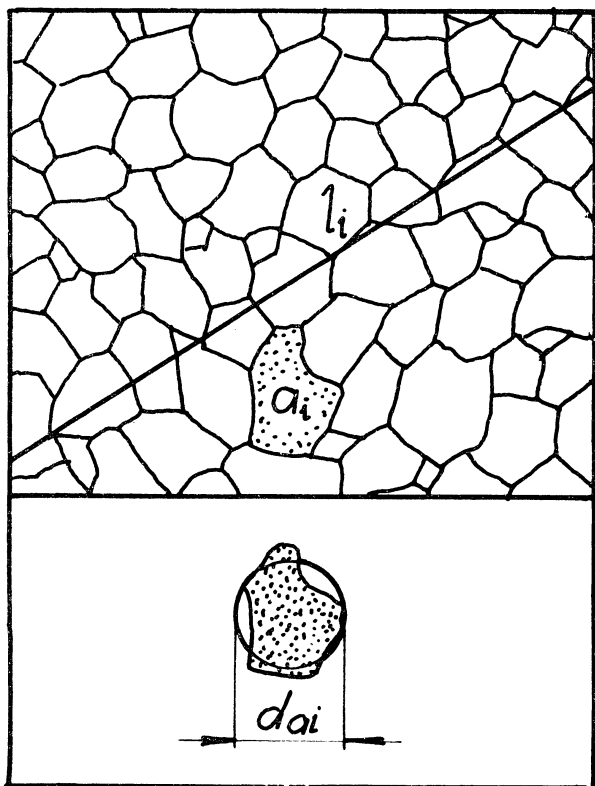
Obr. 5. Vyhodnocování frekvenčního rozdělení řezů částic podle velikosti plochy, resp. průměru příslušného kruhu ekvivalentní plochy.

Šablona je zhotovena z celuloidu, na němž jsou plochy částic seřazeny na stupnici tvaru kružnic a elips, přičemž následující kružnice (elipsa) je dvakrát větší než předchozí. Pro průměry kružnic to odpovídá geometrické řadě s koeficientem $\sqrt{2}$. Jemnějšího rozdělení se používá jen zřídka. Geometrické stupnice jsou účelné z toho důvodu, že velikosti částic a zrn jsou velmi často rozděleny logaritmicky. Vlastní vyhodnocování snímku se provádí tak, že plochu řezu přiřadíme některému obrazu

Obr. 6a, b, c. Tvary frekvenčních histogramů (závislost četnosti částic na rozměrové třídě) pro tři různé velikosti rozměrových tříd. Na osu úseček jsou vyneseny průměry d příslušných kruhů ekvivalentní plochy, na osu pořadnic četnosti N řezů v jednotlivých třídách.

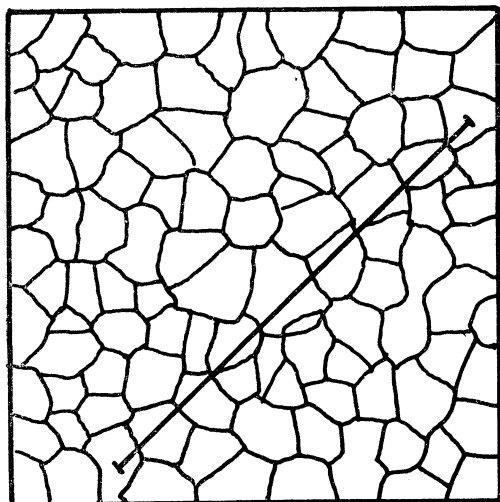


šablony (obr. 5). Plochy řezů nebo průměry kroužků ekvivalentní plochy rozdělíme dále do několika rozměrových tříd. Výsledkem je frekvenční křivka nebo histogram. Tvary frekvenčních histogramů získaných z téhož snímku pro různé velikosti rozměrových tříd jsou znázorněny na obr. 6a, b, c.



Statistické rozdělení ploch řezů částic monofázové soustavy, tj. zrn, podle velikosti se provádí zcela analogicky (obr. 7).

Obr. 7. Určování statistického rozdělení řezů zrn podle velikosti úseček měřicí přímky, velikosti ploch řezů a průměrů kruhů o ekvivalentní ploše.



Pro stanovení střední velikosti částic byla vypracována řada metod, z nichž nejužívanější jsou tyto:

Obr. 8. Náhodně proložená měřicí přímka protíná $8 \times$ hranice částic struktury.

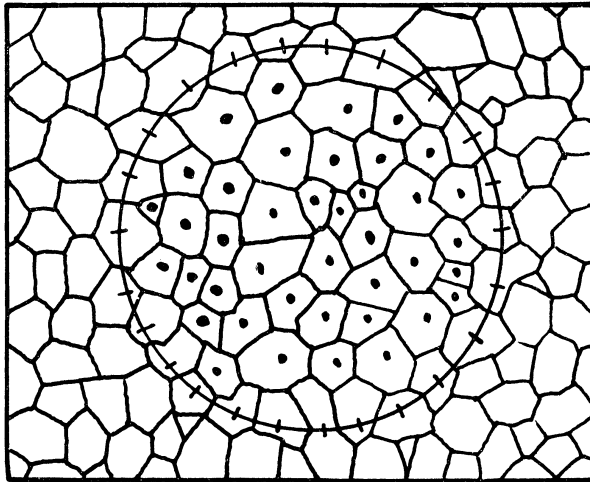
a) Lineární střední velikost částic \bar{L} je dána počtem hranic n_L protnutých měřicí přímkou délky L (obr. 8):

$$(1) \quad \bar{L} = \frac{L}{n_L}.$$

b) Střední plocha řezu částice \bar{A} je dána počtem částic n_A uvnitř plochy kruhu nebo jiného geometrického útvaru známé velikosti plochy A :

$$(2) \quad \bar{A} = \frac{A}{n_A}.$$

Je nutno poznamenat, že elementy struktury protnuté hranicí geometrického obrazce musíme uvažovat jen zčásti (obr. 9); při kružnici přispívá k celkovému počtu uvnitř jen 0,67 protnutých částic a v případě pravoúhelníka má tento faktor hodnotu 0,5.



Obr. 9. Stanovení střední plochy řezu částice.

c) Stanovení velikosti nejčastěji se vyskytujících částic porovnáním se sérií standardních obrázků (obr. 10).

Je-li u struktury znám frekvenční histogram, zjistíme střední průměr částice ze vztahu

$$(3) \quad D = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i},$$

kde x_i je hodnota průměru částice v i -té rozměrové třídě a m_i označuje frekvenci

i -té třídy. Dosadíme-li do tohoto vzorce výsledky znázorněné graficky v obr. 6a, b, c, dostaneme v případě nejjemnějšího dělení ($x_1 = 1$) hodnotu $D = 6, 7$; pro $x_1 = 2$ rovněž $D = 6, 7$, dělení s $x_1 = 3$ odpovídá $D = 6, 8$.

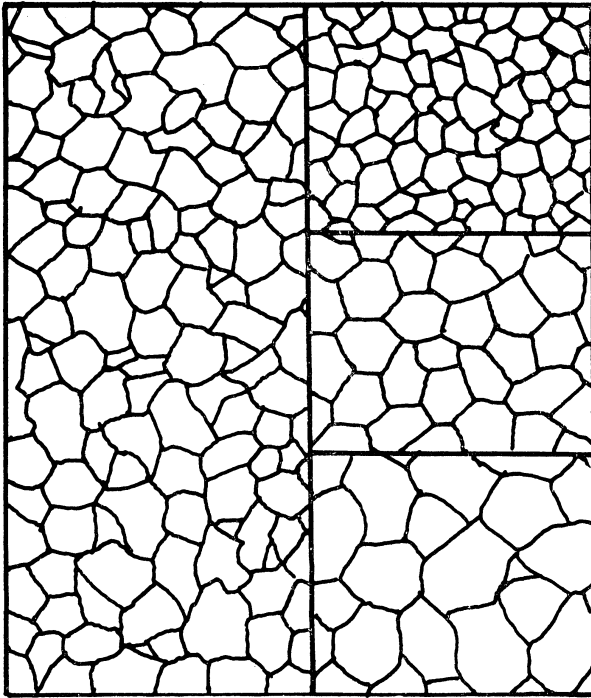
Střední plochu řezu za předpokladu kulového tvaru částice ($x_i = D_i$) stanovíme z výrazu

$$(4) \quad F = \frac{\pi \sum_i m_i D_i^2}{4 \sum_i m_i} .$$

Jsou-li x_i udány přímo v mm, je zřejmé, že počet elementů struktury N' na ploše 1 mm^2 bude reciprokou hodnotou F , tedy

$$(5) \quad N' = \frac{1}{F} .$$

Stanovením relativního podílu složek soustavy v rovině výbrusu se budeme zabývat zároveň s objemovým řešením tohoto úkolu v následující kapitole.



Obr. 10. Standardní stupnice velikosti částic a snímek zkoumané struktury.

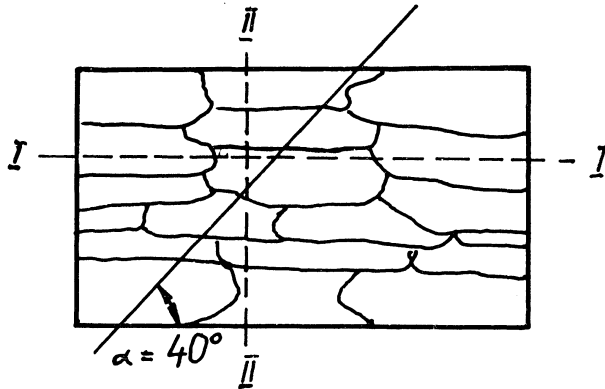
Délku hranic částic $\sum p$ (v mm) na jednotkové ploše (1 mm^2) zjistíme ze vztahu

$$(6) \quad \sum p = \frac{\pi}{2} m ,$$

kde m je střední počet průsečíků na 1 mm náhodně proložené přímkou hranicemi částic dané struktury. Úsečka na obr. 8 protíná 8 hranic ($m = 8$). Proložíme-li takových přímek na plochu struktury velké množství, přesvědčíme se, že m je statistická veličina. Do vztahu pro $\sum p$ proto dosazujeme střední počet průsečíků, který

odpovídá maximu příslušné rozdělovací křivky; u struktury znázorněné na obr. 8 jde o hodnotu $11,6 \text{ mm}^{-1}$. Pro $\sum p$ potom nalezneme $18,2 \text{ mm} \cdot \text{mm}^{-2}$.

V případě orientovaných struktur je k určení středního počtu průsečíků hranic nutno použít přímek, které jsou vzhledem ke směru orientace skloněny pod úhlem 40° (obr. 11).



Obr. 11. Poloha měřicí přímký při stanovení délky hranic částic v orientované struktuře.

Při metalografickém studiu struktury slitin se někdy setkáváme s částicemi značně protáhlého nebo dokonce jehlovitého tvaru (karbidy, jehly martenzitu atd.). V tomto případě lze částici charakterizovat dvěma rozměry: nejmenším a největším. O těchto speciálních otázkách pojednává např. BLANTER v [2].

STUDIUM STRUKTURY V OBJEMU SOUSTAVY

Přímé studium objemové struktury kovů a slitin není možné, neboť výchozí údaje o objemové stavbě těchto materiálů se získávají z charakteru struktury v ploše výbrusu.

Nejúplnější charakteristikou objemové stavby je statistická představa o rozdělení částic (zrn) určitého tvaru podle rozměrů. Metodika tohoto určení objemové stavby záleží v přepočtu frekvenčního histogramu řezů částic viditelných v rovině výbrusu na rozdělení částic podle rozměrů v odpovídajícím objemu. Pro případ aproximace částic na kulový tvar byla tato úloha řešena několika metodami. Uvedme si jednu z nejjednodušších — vypracovanou Saltykovem a popsanou podrobně v [2]. Jak vyplývá z podstaty metod zkoumání objemové struktury, musí být prvním krokem konstrukce statistického rozdělení řezů částic podle velikosti v rovině výbrusu: plochy jednotlivých řezů na jednotce plochy výbrusu jsou rozděleny do úzkých rozměrových tříd a zjišťuje se počet řezů příslušných do každé třídy.

Četnost skutečných částic N_i v objemové jednotce (např. v 1 mm^3) v určité roz-

měrové třídě je pak dána výrazem

$$(7) \quad N_i = \frac{1}{\Delta} (k_1 n_1 - k_2 n_2 - k_3 n_3 - \dots),$$

kde Δ je interval (např. 0,01 mm, liší-li se rozměrové třídy průměrů částic o 0,01 mm), $n_1, n_2, n_3 \dots$ absolutní frekvence, tj. počty řezů na jednotce plochy (např. 1 mm²) výbrusu, $k_1, k_2, k_3 \dots$ tabelované koeficienty [2].

Vypočtené veličiny $N_1, N_2, N_3 \dots$ udávají počet částic o rozměrech 1 $\Delta = 0,01$ mm (průměry kulových částic v této třídě jsou 0–0,01 mm), 2 $\Delta = 0,02$ mm (průměry 0,01–0,02 mm), 3 $\Delta = 0,03$ mm atd. Nalezené hodnoty charakterizují rozdělení částic v objemu 1 mm³ a lze z nich sestavit křivku rozměrových četností. Tato metoda je dostatečně přesná jen při dobrém přiblížení tvaru částic ke kouli a při velkém počtu (200–250) měřených průřezů částic (zrn) na výbruse.

Celkový počet částic N v objemové jednotce (1 mm³) je dán součtem absolutních frekvencí N_i :

$$(8) \quad N = \sum N_i.$$

Plochu povrchu částic S_0 v objemové jednotce (v mm² . mm⁻³) lze stanovit ze vztahu

$$(9) \quad S_0 = \pi \Delta^2 (N_1 + 4N_2 + 9N_3 + \dots + x^2 N_x),$$

kde $\Delta \dots$ šířka rozměrové třídy (např. 0,01 mm), $N_1, N_2, N_3 \dots$ počet částic dané velikosti v 1 mm³.

Celkový objem částic v jednotce objemu V_0 (v mm³ . mm⁻³) udává vzorec

$$(10) \quad V_0 = \frac{\pi \Delta^3}{6} (N_1 + 2^3 N_2 + 3^3 N_3 + \dots + x^3 N_x).$$

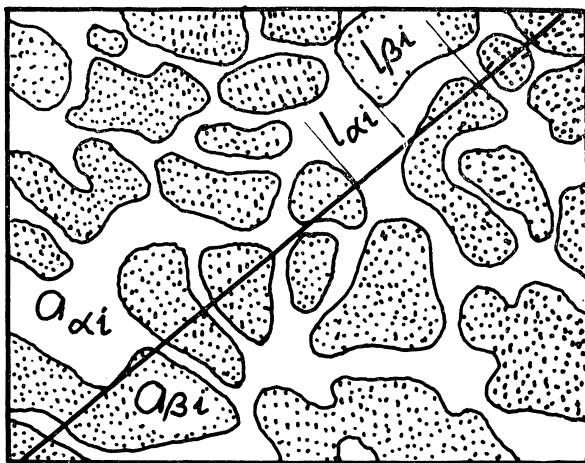
Velmi často je nutné určit pouze některou z uvedených charakteristik. Potom je použití právě popsané metody, která je sice jednoduchá, avšak velmi pracná, nevhodné. V dalším proto alespoň ve stručnosti ukážeme jiný přístup k řešení těchto otázek.

Jak již bylo řečeno, jedním z hlavních úkolů kvantitativního rozboru metalografické struktury vícetřídkových soustav je stanovení objemového podílu zkoumané fáze. Při řešení této úlohy vycházíme z principu, podle něhož je poměr objemů fází ve slitině dán přímo poměrem ploch těchto fází v rovině náhodně vedené neuspořádanou strukturou nebo poměrem součtu úseček libovolně orientované měřicí přímky, které leží v uvažovaných fázích (obr. 12):

$$(11) \quad \frac{\sum_i V_{\alpha i}}{\sum_i V_{\beta i}} = \frac{\sum_i a_{\alpha i}}{\sum_i a_{\beta i}} = \frac{\sum_i l_{\alpha i}}{\sum_i l_{\beta i}}.$$

Ke stanovení poměru ploch se používá v podstatě tři metod: planimetrické, přímkové a bodové.

a) Planimetrické metody se v běžné metalografii užívá zřídka, neboť je příliš pracná. Patří sem např. měření ploch planimetrem, dále jejich stanovení pomocí jemné čtvercové sítě přikládané na mikrosnímek, resp. na matnici metalografického mikroskopu, nebo metoda váhová, při které se určuje poměr vah celé mikrografie a vystříhané zkoumané fáze.



Obr. 12. Určení objemových podílů strukturních složek.

b) U přímkové metody se zjišťuje poměr součtu úseček ležících ve zkoumané fázi k celkové délce úsečky náhodně proložené strukturou. Je-li l délka celé úsečky a Δl součet jejich částí ležících na ploše zkoumané fáze α , je relativní velikost plochy F_α fáze α dána vztahem

$$(12) \quad F_\alpha = \frac{\Delta l}{l}.$$

V praxi se na výbrus pokládá n úseček stejné délky l ; průměrná relativní hodnota plochy fáze α je

$$(13) \quad F_\alpha = \frac{1}{nl} \sum_{i=1}^n \Delta l_i.$$

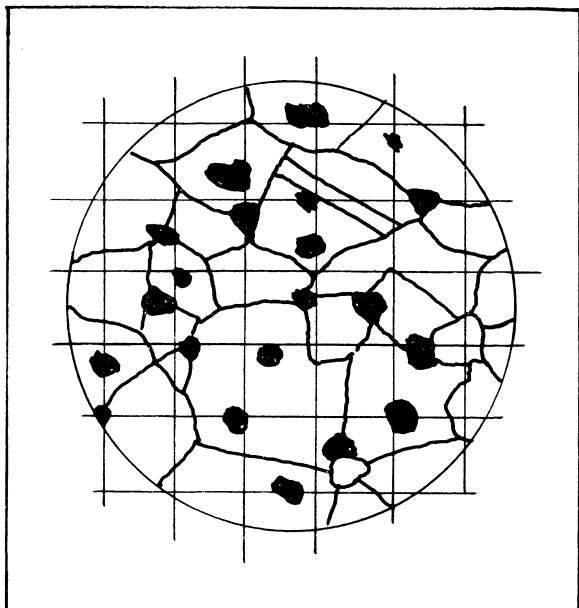
Přesnost této metody jakožto metody statistické je určena jednak počtem náhodných proložením přímky a její délkou, jednak strukturou samou, tj. tvarem a rozložením strukturních částic.

c) Bodová metoda — metoda počítání bodů — je od svého založení GLAGOLEVEM

[6] v roce 1933 prakticky dominující metodou měření plochy v metalografii. Podobně jako se stanovovala plocha nepravidelných obrazců počítáním políček přiloženého milimetrového papíru, počítají se při bodové metodě průsečíky pravidelného čtvercového rastru, které zasahují zkoumanou fází. Počet zásahů x dělený celkovým počtem bodů n sítě udává plošný a tím i objemový podíl fáze:

$$(14) \quad F_{\alpha} = \frac{x}{n}.$$

Překrytí rastru s mikroskopickým obrazem se může provést na fotografii nebo lze vsadit destičku s rastrem přímo do okuláru (obr. 13). U metalografických prací je



Obr. 13. Plošná analýza prováděná metodou počítání bodů.

zorné pole okuláru téměř vždy malé vzhledem k celé ploše výbrusu. Proto musí být proměřena četná pole, a to pokud možno pravidelně po celé ploše. Šířka posunu sítě (délka strany čtverce) má odpovídat zhruba střední velikosti částic (zrn) zkoumané fáze. Počet vyhledaných bodů je dán požadovanou přesností, která roste s odmocninou z počtu bodů (obvykle 500 zásahů). Rastrem může např. být i hexagonální síť.

Jednoduché vztahy mezi průměrnými hodnotami vyplývajícími z plošné, přímkové a bodové analýzy výbrusu a mezi skutečnými rozměry částic odvodil např. FULLMAN [7]. V dalším bude uvedeno jeho řešení pro případ struktury obsahující částice fáze, které mají tvar koulí stejné velikosti.

Jestliže kovový vzorek obsahuje částice fáze α rozptýlené ve tvaru koulí stejné velikosti, pak se na výbrusu objeví kruhové plochy fáze α s poloměry od 0 do r , kde r je poloměr koulí. Uvažujme krychli jednotkových rozměrů vyříznutou ze studovaného materiálu. Je-li zkoumán řez vzorkem rovnoběžný s jednou ze stěn krychle, je průměrný počet částic N_S na jednotkové ploše roven počtu částic N_V v jednotkovém objemu násobenému pravděpodobností p_1 , že rovina řezu protíná kouli umístěnou v libovolném místě uvnitř jednotkové krychle. Protože ze všech rovin řezu rovnoběžných s jednotkovou hranou krychle protínají kouli jen ty roviny, jejichž vzdálenost není větší než $2r$, bude pravděpodobnost průseku koule rovinou rovnoběžnou se stěnou krychle $p_1 = 2r$, takže dostaneme

$$(15) \quad N_S = N_V p_1 = N_V 2r .$$

Poměrný objem sledované fáze f je potom

$$(16) \quad f = N_V V = N_V \frac{4}{3} \pi r^3 = N_S \bar{s} = N_S \frac{2}{3} \pi r^2 ,$$

kde \bar{s} je průměrná plocha řezu koulí v libovolně orientované rovině výbrusu.

Uvažujme dále opět krychli jednotkových rozměrů. Jestliže touto krychlí prochází libovolná přímka rovnoběžná s hranou, pak počet koulí N_L protnutých přímkou je roven počtu koulí v jednotkovém objemu N_V násobenému pravděpodobností p_2 , že přímka protne kouli nacházející se v krychli. Všechny možné přímky protínají jednotkovou plochu – plochu stěny krychle. Polohy, v nichž bude přímka protínat kouli, jsou obsaženy v ploše πr^2 . Pravděpodobnost průchodu přímkou koulí je tedy πr^2 , takže

$$(17) \quad N_L = N_V p_2 = N_V \pi r^2 .$$

Pro poměrný objem sledované fáze f máme nyní

$$(18) \quad f = N_V V = N_V \frac{4}{3} \pi r^3 = N_L \bar{l} = N_L \frac{4}{3} r ,$$

kde \bar{l} je průměrná délka úseček, v nichž přímka protíná koule stejné velikosti.

Kombinací vztahů N_L a N_S dostaneme výraz pro poloměr koulí stejné velikosti:

$$(19) \quad r = \frac{2}{\pi} \frac{N_L}{N_S} .$$

Tento vztah dovoluje stanovení poloměru částic na základě znalosti počtu částic protnutých přímkou na jednotkové délce N_L a počtu řezů N_S na jednotkové ploše výbrusu.

Ze vztahů pro N_L a N_S nalezneme vztah udávající počet částic v jednotkovém objemu

$$(20) \quad N_V = \frac{\pi}{r} \frac{N_S^2}{N_L} .$$

Pro poměrný objem fáze f pak máme po dosazení za N_V a r :

$$(21) \quad f = N_V V = \frac{\pi N_S^2}{4 N_L} \frac{4}{3} \pi \frac{8 N_L^3}{\pi^3 N_S^3} = \frac{8 N_L^2}{3\pi N_S}$$

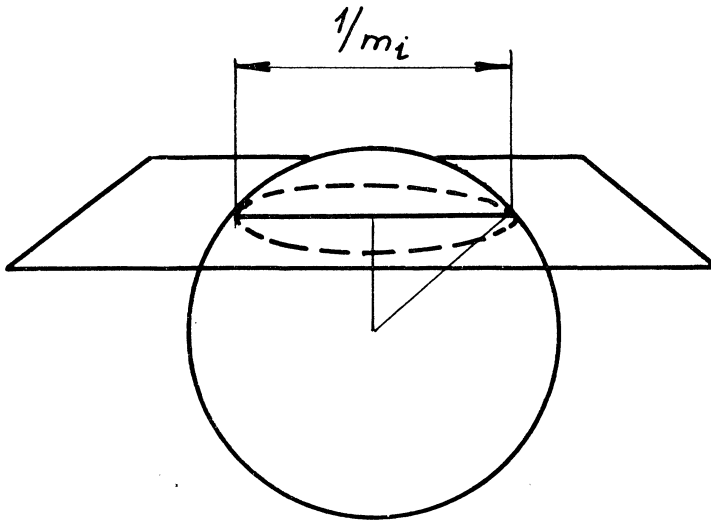
Fullman provedl dále analýzu pro systém stejných částic tvaru kruhových desek a válců a získal tyto vztahy:

kruhová deska ($r \gg t$; t je tloušťka desky)

$$(22) \quad r = \frac{N_L}{N_S},$$

$$(23) \quad t = \frac{f}{2N_L},$$

$$(24) \quad N_V = \frac{2 N_S^2}{\pi N_L},$$



Obr. 14. Ke vztahu pro střední poloměr nesterjně velkých kulových částic.

válec ($H \gg r$; H je výška válce)

$$(25) \quad r = \frac{1}{\pi} \frac{N_L}{N_S}$$

V případě nesterjně velkých částic odvodil Fullman analogické vztahy pro koule a kruhové desky:

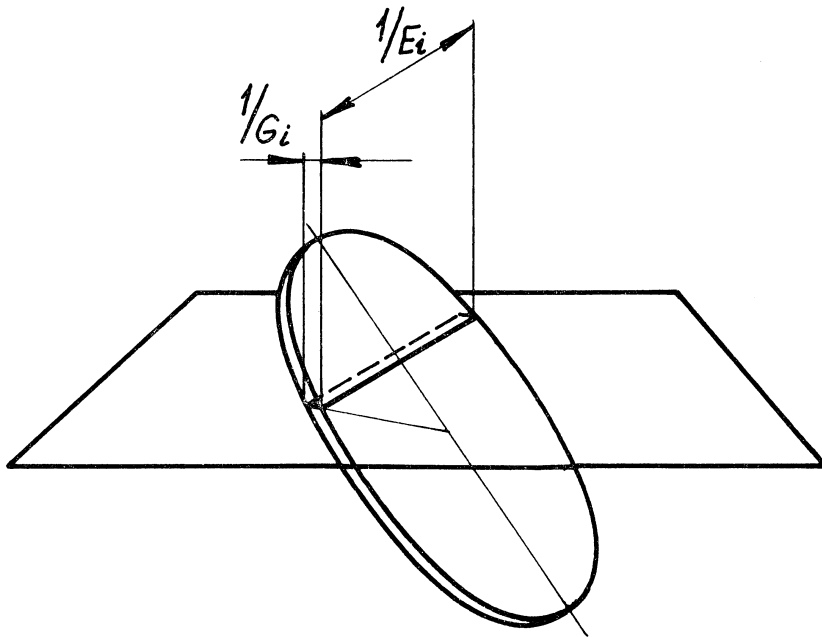
kulová částice (obr. 14)

střední poloměr

$$(26) \quad \bar{r} = \frac{\pi}{4\bar{m}},$$

$$(27) \quad N_V = \frac{2\bar{m}}{\pi} N_S,$$

kruhová deska (obr. 15)



Obr. 15. Ke vztahům pro charakteristiku nestejně velkých částic tvaru kruhových desek.

střední poloměr desky

$$(28) \quad \bar{r} = \frac{\pi}{4\bar{E}},$$

střední tloušťka desky

$$(29) \quad \bar{t} = \frac{\pi}{4\bar{E}} \bar{G},$$

$$(30) \quad N_V = \frac{8\bar{E}}{\pi^2} N_S.$$

Celkový povrch částic v objemu kovu může být stanoven metodou náhodně vedených měřících přímek na snímku výbrusu. Jde-li o izometrické struktury (izo-

metrická struktura se liší od orientované neuspořádanosti svých částic) souvisí povrch částic $\sum S$ v objemu s počtem m hranic, které protíná měřicí přímka na jednotkové délce v rovině výbrusu vztahem

$$(31) \quad \sum S = 2m .$$

Protíná-li např. měřicí přímka na délce 1 mm 28 hranic částic, tj. $m = 28 \text{ mm}^{-1}$, potom $\sum S = 56 \text{ mm}^2 \cdot \text{mm}^{-3}$. Řešení složitějšího případu orientovaných struktur (kov tvářený za studena apod.) nalezne čtenář v citované literatuře.

Vedle běžných charakteristik struktury jako je střední velikost částic a jejich rozdělení podle rozměrů se v posledních letech zavádí nová důležitá charakteristika – stupeň srůstu částic nebo stupeň spojitosti fází. K vyjádření tohoto parametru se určuje

- a) střední velikost společné plochy částice s ostatními částicemi téže fáze,
- b) střední počet kontaktů připadajících na částici,
- c) střední plocha jednoho kontaktu.

Těmito otázkami se na konkrétním případě soustavy karbidů wolframu-kobalt zabývá např. GURLAND v [8]. Jak je uvedeno v [9], lze kvalitativně usoudit na stupeň spojitosti jednotlivých fází dvoustupňové soustavy i jinou metodikou než kvantitativní metalografií, např. rentgenografickou strukturní analýzou.

ZÁVĚR

Kvantitativní metalografická analýza prováděná pomocí metalografického nebo elektronového mikroskopu je nejpoužívanější metodou k získání údajů o velikosti a vzájemných vztazích strukturních elementů složek kompaktních kovových vzorků. Kromě toho doplňuje metody, které umožňují stanovit velikost výchozích částic (prášků) studovaných vzorků (speciálně v práškové metalurgii). Tak se stává kvantitativní metalografie nezbytnou součástí komplexního fyzikálního a mechanického studia nejrůznějších materiálů.

Závěrem děkuji ing. asistentce G. Gosmanové z fakulty technické a jaderné fyziky ČVUT v Praze za zhotovení snímků povrchu slinutých karbidů wolframu na elektronovém mikroskopu (obr. 1 a 2) a za podnětnou diskusi při zpracování tohoto článku.

Literatura

- [1] SALTYKOV S. A., *Stereometrická metalografie*, SNTL, Praha 1962.
- [2] BLANTER M. E., *Metodika issledovanija metallov i obrabotki opytnych dannych*, Metallurgizdat, Moskva 1952.
- [3] RHINES F. N., DE HOFF R. T., *Quantitative Metallography*, Mac-Graw-Hill, N. York 1965.

- [4] LIKEŠ J., Rozpravy ČSAV, řada techn. věd., 1 74, 1964.
 [5] ČECH B., OLIVERIUS P., Pokroky práškové metalurgie 3, (1963), 3—30.
 [6] GLAGOLEV A. A., Engineer. Mineral. Journ. 135 (1934), 399.
 [7] FULLMAN R. L., Journal of Metals 5, 1, (1953), 447—452.
 [8] GURLAND J., Jernkont. Ann. 147 (1963), 14—21.
 [9] KRAUS I., Kandidátská disertační práce, FTJF ČVUT, Praha 1966.

Infračervená spektroskopie zjišťuje obsah amorfni složky

nejen v polymerech, ale i v anorganických látkách, např. ve fosforečnanu vápenatém. U tohoto materiálu se k měření dá použít absorpčního pásu u 17 μm , který je u amorfni složky jednoduchý, kdežto u krystalické je výrazný dublet. Charakteristikou je poměr plochy mezery mezi oběma vrcholy k ploše pásu; vztah mezi touto veličinou a koncentrací krystalické složky je lineární.

Sk

Keramika ve strojírenství

nalézá stále širší uplatnění. Vedle přírodních materiálů (steatit, porcelán) se užívá i syntetických na bázi kysličníků hlinitého, zirkoničitého a hořečnatého. Keramika předčí kovy v pevnosti v tlaku a v odolnosti vůči agresivnímu prostředí, vysokým teplotám a ořezu; má však menší pevnost v tahu a zejména rázovou pevnost. Pozoruhodné příklady použití: radiátory ústředního topení (v NDR), kolejnice a kola úzkorozchodných drah (v Číně), trysky a škrtky v chemickém a potravinářském průmyslu (při sušení mléka nelze korund nahradit žádným kovem). Byly zhotoveny pružiny ze steatitu. Keramiku lze též stříkat na kovy jako antikoroziční povlak.

Sk

Zvýšené nebezpečí nepodařených přistání letadel na betonových plochách souvisí s nemožností brzdít letadlo pomocí pneumatik: ty kloužou na tenké vrstvě vody podobně jako vodní kluzák. Jednoduchá pomoc je vyřiznutí rovnoběžných asi 1/2 cm hlubokých a 2—5 cm vzdálených rýh na povrchu pneumatiky. Tím se poruší souvislost vodního pláště.

— XO —

Existuje elektromotor, jehož rotor může vykonávat současně dva pohyby: rotační a translační ve směru osy. Motor má dva nezávislé vzájemně podél osy posunuté statory a axiálně volně pohyblivý rotor se vždy nastaví do optimální polohy vůči právě zapnutému statorovému vinutí. Těto novinky může být využito např. při řezání, vrtání, popř. míchání materiálů.

— XO —

Křemenné oscilátory se ukazují jako velmi vhodné pro kmitočtové standardy, vykazují však mírný dlouhodobý chod a stárnou. Naproti tomu rezonátor pracující s paprskem cesiových par má naprosto zanedbatelný dlouhodobý chod, avšak jeho výstupní signál v krátkých intervalech (pod 100 vteřin) zdatelně kolísá. Vhodným elektronickým uspořádáním vzájemné kompenzace chyb se podařilo nyní firmě Hewlett-Packard vyvinout přenosný kmitočtový standard, který je schopen sloužit jako primární (tj. bez jakékoliv vnější závislosti). Toto zařízení dovoluje nastavit synchronizaci libovolných časových zařízení na libovolném místě zeměkoule s časovým rozdílem daleko pod 1 miliontinu vteřiny: bylo vypočteno, že jeho časový údaj by se lišil o 1 vteřinu proti standardnímu „skutečnému“ času až po několika tisících let.

— XO —