

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

František Kroupa

Studium mechanických vlastností pevných látek

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 8 (1963), No. 4, 215--227

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138284>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1963

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>

Tabulka

Hustota neutronů na 1 cm ³	Účinek
10 ¹³	Ge-tranzistor: klesá zesilovací účinek Sklo: zabarvuje se
10 ¹⁴	Pokles luminiscenčních vlastností organických látek Ge: mění se elektrické vlastnosti
10 ¹⁵	Pokles luminiscenčních vlastností anorganických látek
10 ¹⁶	Buničina: zmenšuje se pevnost v tahu Org. látky a voda: vyvíjejí se plyny
10 ¹⁷	Polyetylén: zmenšuje se pevnost v tahu Buna: měkne
10 ¹⁸	Kaučuk: tvrdne Kovy: posunuje se mez pružnosti, zpevnění Polystyrol: zmenšuje se pevnost v tahu
10 ²⁰	Keramika: snižuje se tepelná vodivost a hustota Plastické hmoty: neupotřebitelné jako stavební materiál Uhlíkatá ocel: snižuje se plasticita
10 ²¹	Nerezavějící ocel: zvyšuje se pevnost a snižuje plasticita

K hlubšímu obeznámení s touto novou fyzikální problematikou je vhodná tato monografie: G. J. DIENES, G. H. VINEYARD: *Radiation Effects in Solids* (New York 1957); ruský překlad vydalo Izd. inostrannoj literatury, Moskva 1960.

STUDIUM MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ PEVNÝCH LÁTEK*)

FRANTIŠEK KROUPA, Praha

V posledních letech se dosáhlo závažného pokroku v hlubokém fyzikálním poznání podstaty mechanických neelastických vlastností pevných látek (v dalším budeme pro stručnost užívat názvu mechanické vlastnosti nebo plastická deformace). V technické praxi se dosud nejvíce využívá mechanických vlastností kovů a v souvislosti s novou perspektivou podstatného zlepšení jejich mechanických vlastností na základě hlubokého fyzikálního výzkumu se za jednu z nejvýznamnějších oblastí fyziky pevných látek pokládá fyzika kovů.

*) Z referátu předneseného na schůzi vědeckého kolegia fyziky ČSAV dne 12. 9. 1962.

Pod tímto názvem se přitom někdy chápe nikoli fyzika kovů v celé šíři (to je zkoumání struktury a všech vlastností kovů), nýbrž zkoumání mechanických vlastností kovů.

Pokusíme se nejprve ukázat, do jaké míry jsou mechanické vlastnosti shodné pro všechny typy pevných látek a do jaké míry jsou u kovů ovlivňovány specifičností kovové vazby.

Připojíme pak některé poznámky k fyzikálnímu výzkumu mechanických vlastností pevných látek (včetně kovů) v ČSSR.

KOVY

Všimněme si nejprve různých definicí kovů.

Chemická definice pokládá kovy za prvky, které tvoří zásadotvorné kysličníky a které ve styku s kyselinami vytvářejí soli. Řada látek, které běžně pokládáme za kovy, ovšem tak vyhraněné vlastnosti nemá. Chemická definice si všímá vlastností jednotlivých atomů, a není proto použitelná pro kovy jako pevné látky, kdy velký kolektiv atomů nabývá nových vlastností. Jisté pojtíko mezi chemickou a fyzikální definicí můžeme nalézt v tom, že atomy kovů, tj. prvků elektro pozitivních, snadno „uvolňují“ elektrony.

Technická fenomenologická definice charakterizuje kovy jako látky (nejen tedy prvky, ale také např. slitiny), které mají velkou elektrickou a tepelnou vodivost, jsou neprůhledné, mají vysoký lesk, jsou dobře tažné a mají velkou pevnost. Jestliže první dvě jmenované vlastnosti jsou pro kovy skutečně typické, můžeme zvláště pro poslední dvě vlastnosti, tažnost a velkou pevnost, najít řadu příkladů, kdy nekovové pevné látky předčí kovy. Tak např. již málo znečištěný wolfram nebo některé oceli při nízké teplotě nejsou tažné, ale vysloveně křehké, naproti tomu řada iontových krystalů, např. ThJ nebo AgCl, se snadno plasticky tváří. Monokrystaly čistého hliníku mají velmi malou pevnost, naproti tomu tenká monokrystalová vlákna kuchyňské soli mají pevnost několika set kg/mm^2 , to je asi stokrát větší. Již z těchto příkladů se ukazuje, že tažnost a pevnost různých typů pevných látek závisí silně na zpracování a těmito vlastnostmi se kovy od ostatních látek neliší principiálně.

Ve fyzice se často fenomenologicky charakterizují kovy jako takové pevné látky, jejichž elektrická vodivost při nízkých teplotách směrem k absolutní nule stoupá. Tato vlastnost již kovy definuje fyzikálně jednoznačně.

Hlubší mikrofyzikální definici kovů přineslo teprve zkoumání jejich atomové struktury. V prvním přiblížení je správný obraz o struktuře kovů znám již přes šedesát let: v kovech jsou atomy vázány tzv. kovovou vazbou, při které v uzlech pravidelné atomové mřížky jsou uloženy kladné ionty, mezi nimiž se volně pohybují některé z obvodových elektronů jako tzv. elektronový plyn.

Současná přesná definice kovů je založena na tzv. pásové teorii pevných látek, vybudované za použití vlnové mechaniky kolem r. 1928. Studium chování elektronů v periodickém poli jader atomů (uložených v uzlových bodech krystalu) vedlo k tomu-

to výsledku: energetické hladiny elektronů (v případě jednoho atomu mají elektrony obíhající kolem jádra jen zcela určité diskrétní energie) se rozštěpí a vytvářejí pásy, uvnitř kterých je tak velké množství přípustných diskrétních energetických hladin tak málo se energií lišících, že přípustné energie je možno uvnitř určitého pásu pokládat za spojitě rozložené. Elektrony však nemohou nabývat energií, jejichž hodnoty leží mezi jednotlivými pásy. Podle toho, jak jsou energie elektronů v krystalu rozděleny do jednotlivých pásů, můžeme pevné látky rozdělit do tří skupin. Jsou-li pásy elektrony zcela vyplněny (a je-li energetický rozdíl mezi posledním naplněným pásem a nejbližším energeticky vyšším, avšak prázdným pásem velký, např. větší než 1, 5 eV), je látka izolátorem. Elektrony nemohou přijímat energii po malých hodnotách, např. vlivem elektrického pole, a nemohou proto vést proud. Je-li energetický rozdíl mezi naplněným a nenaplněným pásem menší (např. menší než 1 eV), mohou, zvláště při vyšších teplotách, alespoň některé elektrony vlivem tepelné nebo jiné excitace přejít do nenaplněného pásu a vést tak proud; látka se pak nazývá vlastním polovodičem (u jiných typů polovodičů je přechod do nenaplněného pásu umožněn přítomností dalších energetických hladin souvisejících s nečistotami v krystalu). Je-li některý z pásů naplněn elektrony jen zčásti nebo překrývá-li se s dalším nenaplněným pásem, je látka kovem. Elektrony z takového pásu mohou prakticky spojitě přejímat energii a vést např. elektrický proud.

Podstatný rozdíl mezi kovy a ostatními pevnými látkami záleží tedy ve volné pohyblivosti velkého počtu elektronů a ve zvláštnosti kovové vazby, kterou je možno chápat jako interakci mezi kladnými ionty (to je jádru s pevně vázanými elektrony, jejichž energie jsou v zaplněných pásech) a elektronovým plynem, to je s elektrony z nezaplňného (vodivostního) pásu.

Některé vlastnosti kovů, jejichž mikrofyzikální mechanismus souvisí úzce s tímto rozdělením elektronů, jsou pro kovy typické a liší se řádově od vlastností ostatních pevných látek. Mezi takové vlastnosti patří např. elektrické, tepelné a optické vlastnosti kovů, dnes již dobře teoreticky vysvětlené. Patří mezi ně i tvorba slitin a fázové přechody, jejichž hlubší teorie je však teprve v počátcích. Naproti tomu např. feromagnetismus nesouvisí přímo s kovovou vazbou, je způsobován interakcí elektronů v zaplněných pásech u některých látek. Většina kovů není feromagnetická a naproti tomu známe dnes mnoho feromagnetických látek nekovových.

Všimněme si nyní mechanických vlastností.

MECHANICKÉ VLASTNOSTI PEVNÝCH LÁTEK

Hlubší fyzikální výzkum mechanických (neelastických) vlastností pevných látek se rozvíjel teprve po r. 1920. Byl umožněn zvláště tím, že se podařilo uměle vypěstovat monokrystaly různých látek kovových a nekovových. Do r. 1934 se pak nahromadilo mnoho experimentálního materiálu. Tak bylo zjištěno, že k trvalé neboli plastické deformaci krystalů dochází trojím způsobem:

1. skluzem, tj. vzájemným posunutím dvou částí krystalu proti sobě podél určité krystalické roviny;

2. dvojčatěním, tj. přeskupením části krystalu tak, že mřížka je v ní symetrická k zbývající části krystalu vzhledem k určité krystalografické rovině;

3. štěpením, tj. oddělením dvou částí krystalu podél určité krystalografické roviny.

Všimněme si podrobněji skluzu. Dochází k němu, dosáhne-li složka smykového napětí v rovině skluzu ve směru skluzu hodnoty T_k ; tato hodnota se nazývá kritické skluzové napětí. Velikost T_k je silně závislá na obsahu nečistot krystalu, na jeho zpracování a na teplotě. U velmi čistých krystalů, kovů i nekovů, byla naměřena hodnota T_k mezi 0.01 až 1 kg/mm². Teoretický rozbor ukázal, že k tomu, aby skluz nastával v celé rovině současně, tj. aby se jedna část krystalu posouvala po druhé jako tuhý celek, bylo by třeba napětí podstatně většího, řádově asi 1000 kg/mm². Řádový nesouhlas s naměřenou hodnotou vedl k důsledku, že skluz se nešíří v celé skluzové rovině současně, ale postupně. Existují tedy v krystalu rozhraní mezi oblastí již posunutou a ještě neposunutou, které jsou zřejmě speciálními čárovými poruchami krystalové mřížky. Tyto poruchy byly nazvány dislokace. Můžeme tedy říci, že skluz je způsobován pohybem dislokací v krystalu. K tomuto názoru dospělo v r. 1934 nezávisle několik fyziků, nejjasněji z nich G. I. TAYLOR.

Tento názor znamenal revoluci v názorech na mechanické vlastnosti krystalů; nejde o děje, za něž by byla odpovědná pravidelná krystalová mřížka, neboť všechny neelastické vlastnosti jsou způsobovány poruchami krystalové mřížky, v první řadě dislokacemi. Pouze elastické vlastnosti jsou důsledkem vlastností pravidelné krystalové mřížky. Později se ukázalo, že nejen skluz, ale i ostatní dva základní procesy plastické deformace jsou způsobovány dislokacemi. Dvojčatění vzniká pohybem tzv. dvojčatových dislokací, kdežto štěpení (které nastává např. při lomu) je důsledkem předchozí, třebaš někdy i velmi malé, plastické deformace skluzem nebo dvojčatěním.

Plastická deformace je však dějem neobyčejně složitým. V krystalu je ohromné množství nejrůznějších poruch, které dělíme na bodové (vakance, intersticiální a cizí atomy), čárové (nejvýznamnější z nich jsou dislokace), plošné (vrstevné chyby, hranice mezi mozaikovými bloky nebo hranice mezi zrny u polykrystalických látek, povrch) i objemové (např. precipitáty, různé konfigurace bodových poruch) vedle různých poruch v rozdělení elektronů, které pro plastickou deformaci nemají význam (alespoň v prvním přiblížení).

Základní význam pro plastickou deformaci mají dislokace, které ji způsobují svým pohybem. O průběhu plastické deformace však rozhoduje interakce dislokací se všemi vyjmenovanými poruchami a interakce dislokací navzájem.

Jenom v některých velmi speciálních případech nehrají dislokace hlavní roli, jako např. při tečení některých krystalů při velmi vysokých teplotách, kdy mohou převážovat difúzní procesy, avšak i ty jsou silně ovlivněny přítomností dislokací.

Hlavní myšlenky teorie dislokací o skluzu jsou nyní takové: v nedeformovaných krystalech je velká hustota dislokací, které vznikají různými procesy již v průběhu

růstu krystalů. Kritické skluzové napětí je takové napětí, při kterém se dislokace v krystalech mohou pohybovat a přemáhat odpor, který jejich pohybu kladou různé poruchy v mřížce, např. precipitáty nebo ostatní dislokace. V dalším průběhu plastické deformace hustota dislokací stále stoupá a dochází k zpevňování; dislokace si navzájem v pohybu překážejí.

Tyto děje probíhají stejně v různých typech pevných látek, v kovech i nekověch. Jaká je tedy příčina toho, že některé iontové krystaly jsou velice křehké? Tato otázka byla již v podstatě v posledních letech vyřešena. Ukázalo se, že typicky křehké krystaly, jako NaCl a KCl, jsou velmi snadno plasticky deformovatelné, vytvoříme-li štěpením čerstvé povrchy. Jejich plastičnost na vzduchu za několik vteřin zanikne; zachová se však trvale, jsou-li krystaly uchovány ve vakuu, v oleji nebo např. v héliové atmosféře. Pravděpodobné vysvětlení tohoto děje je takové, že do povrchu krystalu vniká kyslík a dusík a vytváří vrstvu, která brání výstupu dislokací na povrch.

Křehkost není tedy podstatnou vlastností iontových krystalů a může být odstraněna vhodným zpracováním. Lze tedy očekávat, že keramické látky, jako např. MgO, bude možno vhodnou technologií v budoucnu válcovat podobně jako kovy.

Zajímavých vlastností krystaly nabývají, neobsahují-li žádné dislokace. Takové krystaly se podařilo již připravit z různých kovů i nekovů ve formě tenkých monokrystalických vláken (tzv. whiskerů); z germania a křemíku byly připraveny i velké krystaly bez dislokací. Whiskery mají pevnost danou meziatomovými silami a deformují se pouze elasticky až do napětí řádově 1000 kg/mm². Překročí-li se však toto napětí, změní se vlastnosti whiskerů skokem. Dojde lokálně ke skluzu, vytvoří se dislokace a whisker se již dále deformuje jako čistý krystal s dislokacemi při napětí řádově 1 kg/mm².

Ukázali jsme, že plastická deformace probíhá v podstatě podobně u všech typů pevných látek. Vlastnosti dislokací, a tedy i průběh plastické deformace, jsou však též ovlivněny dvěma veličinami, které jsou ostře závislé na průběhu meziatomových sil; jsou proto ovlivněny i typem vazby v krystalu.

Prvou z těchto veličin je PEIERLSOVO-NABARROVO napětí, tj. napětí, kterého je třeba k pohybu dislokace v krystalu bez dalších poruch. U většiny dosud zkoumaných látek je P.-N. napětí velmi malé a jeho vliv na plastickou deformaci je zanedbatelný. Větších hodnot nabývá u křemíku, germania a pravděpodobně též u železa.

Druhou veličinou je energie vrstevných chyb. U krystalů s malou energií vrstevné chyby jsou dislokace rozštěpené na dvojici tzv. parciálních dislokací spojených úzkým pásem vrstevné chyby. Vlastnosti rozštěpených dislokací se značně liší od vlastností dislokací nerozštěpených, tak např. rozštěpené dislokace nepadají roviny skluzu příčným skluzem.

P.-N. napětí a energie vrstevné chyby charakterizují tedy významné vlastnosti dislokací a mohou v některých případech ovlivňovat plastickou deformaci jako jeden z hlavních faktorů. Zdá se však, že typem vazby nejsou tyto vlastnosti podstatně ovlivněny. Tak např. P.-N. napětí některých iontových krystalů je malé podobně jako u většiny kovů, energie vrstevných chyb různých kovů se od sebe liší o několik

řádů. Velké P.-N. napětí některých homeopolárních krystalů, jako germania a křemíku, může však být odpovědné za jejich křehkost při nižších teplotách.

Upozorníme ještě na hlavní směry výzkumu plastické deformace pevných látek, tj. teorie dislokací v širším smyslu. Rozlišíme tři hlavní směry:

1. Teorie dislokací v užším smyslu

studuje vlastnosti samotných dislokací a jejich interakce s jinými poruchami v jednoduchých podmínkách. Jde o obor, který je již za maximem svého rozvoje. Základní vlastnosti dislokací jsou již objasněny a také experimentálně ověřeny. To, že dislokace v krystalu existují a jsou odpovědné za plastickou deformaci, je možno pokládat za nesporný fakt a slovo teorie v názvu teorie dislokací můžeme již chápat jako označení souhrnu poznatků uceleného oboru, nikoli však jako označení hypotézy. Nechceme ovšem říci, že by teorie dislokací byla plně vypracována a již uzavřena. Mnohé její části jsou teprve na počátku rozvoje, jako atomová teorie dislokací, zkoumající skutečné rozložení atomů v okolí jádra dislokace (při řešení většiny úloh spojených s rozvojem teorie dislokací se až dosud vystačilo s užitím metod teorie pružnosti). Rychle se rozvíjí i matematická teorie tzv. spojitého rozložení dislokací, která je vhodná k popisu velkého počtu dislokací. Znamená současně významné zobecnění teorie pružnosti a očekává se od ní mikrofyzikální odvození matematické teorie plastičnosti. V počátcích je také studium vlastností dislokací pohybujících se rychlostí blízkou rychlosti zvuku.

2. Výklad plastické deformace pro konkrétní materiály v konkrétních podmínkách

Tento hlavní směr je neobyčejně rozsáhlý, neboť zahrnuje složité a značně odlišné děje, např. též únavu materiálů, vznik křehkého lomu, tečení. Již pouhý výklad základního procesu, chování monokrystalu při prostém tahu, může být značně odlišný pro různé materiály nebo i pro tentýž materiál různě zpracovaný nebo s různými nečistotami. Nejvíce poznatků bylo zatím nashromážděno pro LiF a pro kovy s kubickou plošně centrovanou mřížkou, jako Al a Cu, v poslední době též pro hexagonální kovy, zvláště Zn. Poměrně málo je prostudována plastická deformace kovů s kubickou prostorově centrovanou mřížkou, jakou má např. α Fe.

Přitom pro výklad křivky napětí — prodloužení monokrystalů kubických plošně centrovaných kovů jsou k dispozici nejméně tři mikrofyzikální teorie budované důsledně na vlastnostech dislokací. Tyto teorie jsou však zcela odlišné a není mezi nimi dosud rozhodnuto. Vidíme tedy, že konkrétní výklad plastické deformace na základě teorie dislokací je dnes v samých začátcích. K vybudování tohoto oboru je třeba ještě mnoho experimentální práce, a to zvláště práce spojené s přímým pozorováním dislokací. Z řady dosud užívaných metod slibuje přinést nejvíce přímé pozorování dislokací elektronovým mikroskopem na průchod.

Podle používaného materiálu se výzkum dosti jasně dělí do dvou skupin:

a) používá se jednoduchých materiálů, jako monokrystalů čistých látek, bikrystalů nebo i polykrystalických, ale záměrně zjednodušených látek;

b) používá se skutečných technických materiálů, které jsou zpravidla velmi složité. Práce skupiny a) se snaží o hlubší fyzikální výklad, tedy o poznání z hlediska přírodních věd, práce skupiny b) se snaží o bezprostřední využití mikrofyzikálního zkoumání k zlepšení technických materiálů nebo alespoň k výkladu jejich vlastností.

Postup a) je vědecky logický a postupným přechodem k látkám složitějším nebo někdy i jen použitím výsledků na látky složitější by měl vést k stejnému výsledku, o který se snaží skupina b).

3. Studium vlivu plastické deformace na vlastnosti pevných látek

Principiálně je již objasněn vliv dislokací např. na vlastnosti elektrické a některé vlastnosti magnetické a optické, velmi málo je však prostudován např. vliv plastické deformace na fázové transformace.

Můžeme tedy celkově říci, že zatímco základy teorie dislokací jsou již vybudovány, jsou aplikace teorie dislokací ve fyzice (výklad plastické deformace a její vliv na vlastnosti pevných látek) a zvláště v technice (zlepšení vlastností materiálů) v samých začátcích. Z fyzikálního hlediska tvoří zkoumání mechanických vlastností pevných látek jednotný obor, ve kterém kovy nezaujímají mezi ostatními pevnými látkami odlišné postavení.

Plastická deformace pevných látek (rozumíme krystalických) však probíhá kvalitativně zcela odlišně od plastické deformace látek nekystalických, např. amorfních nebo makromolekulárních.

OČEKÁVANÉ FYZIKÁLNÍ VÝSLEDKY A TECHNICKÉ APLIKACE

Základy teorie dislokací a základní názory na průběh plastické deformace jsou již objasněny; teprve v příštích letech se však očekává hluboké a detailní vyřešení široké problematiky plastické deformace pevných látek. V souvislosti s vyřešením těchto otázek a se současně probíhajícím rozvojem technologie v laboratorním měřítku je možno očekávat, že bude vyřešena též laboratorní příprava pevných látek kovových i nekovových s libovolnými žádanými mechanickými vlastnostmi; jediným omezením bude pevnost daná meziatomovými silami, to je řádově 1000 kg/mm^2 .

Vysoká pevnost není ovšem jediná žádaná mechanická vlastnost; bude možno v laboratorním měřítku připravit i materiály různě houževnaté, nepodléhající únavě, nepodléhající tečení při vysokých teplotách atd. Cestou k ovládnutí všech těchto vlastností je poznání a ovládnutí vlastností dislokací a všech ostatních poruch mřížky a jejich vhodné rozložení v pevných látkách.

Je obtížné odhadnout dnes dobu, za kterou se dojde k těmto výsledkům. Malá část z nich je již vyřešena, vyřešení některých dalších je otázkou pouze několika let. Vzhledem k ohromnému rozmachu studia mechanických vlastností pevných látek na celém světě, prudkému stoupání počtu pracovníků a množství vynakládaných prostředků je možno střízlivě odhadnout, že fyzikální problematika bude v podstatě vyřešena

v době deseti až dvaceti let; řadu závažných výsledků lze očekávat již v době velmi blízké.

Před úvahou o technických aplikacích si nejprve všimněme současného stavu; vzhledem k tomu, že v technické praxi (s výjimkou stavebnictví) se dosud převážně využívá mechanických vlastností kovů, všimněme si výsledků metalurgie a technologie kovů.

Na základě mnohaletých zkušeností, empirického a technického výzkumu (nikoliv tedy na základě hlubších fyzikálních poznatků) byly vyvinuty kovové materiály, které velmi dobře vyhovují pro většinu potřebných aplikací. Jsou známy i různé slitiny vynikajících vlastností; tak např. v poslední době za použití tzv. termomechanického zpracování (kombinace válcování a následujícího zakalení) byly získány oceli s pevností kolem 350 kg/mm^2 a přitom houževnaté. V těchto ocelích jsou fázové transformace probíhající při kalení ovlivněny předchozí plastickou deformací (z teoretického hlediska jde o děj, jak jsme se dříve zmínili, velmi málo prostudovaný). Na metalurgii a technologii prováděné tradičními způsoby byly vynaloženy obrovské částky a kovové materiály získané velkovýrobou jsou poměrně levné.

Pro některé speciální účely moderní techniky však dosavadní materiály plně nevyhovují nebo jsou velmi drahé, nebo se používá kovů, kterých je ve světovém měřítku nebo alespoň v některých zemích nedostatek.

Zlepšování mechanických vlastností kovových materiálů bylo na základě zkušeností prováděno (bez znalostí podstaty plastické deformace, tedy bez užití teorie dislokací) cestou, kterou jako jednu z možností dodatečně vysvětluje teorie dislokací: do materiálu byly zaváděny různé překážky pohybu dislokací ať již v podobě hranic zrn, precipitátů (a polí napětí kolem nich), dalších dislokací, různých fází ve slitinách atd. Výsledky, kterých praxe z hlediska teorie neuvědoměle dosáhla, můžeme pokládat za velmi dobré.

Stojíme nyní před otázkou, do jaké míry může hluboké poznání podstaty mechanických vlastností závažně ovlivnit další zlepšování technických materiálů anebo zda můžeme očekávat přímo revoluční změny v další jejich výrobě a použití (s určitostí předpokládáme, že fyzika podá vysvětlení všech dějů deformace v technických materiálech).

Fyzikální výzkum ukázal praxi zatím jednu zcela novou cestu ke změně mechanických vlastností: odstranit dislokace, jako se to podařilo u whiskerů. Tato cesta vede k materiálům největší možné pevnosti, ovšem současně k té zvláštní vlastnosti, že jakmile se tato pevnost někde (třebas jen na velmi malém objemu) překročí, materiál se dále deformuje neobyčejně snadno (neobsahuje-li další překážky pohybu dislokací). Takový materiál se zřejmě hodí jen na některé aplikace, např. vážně se uvažuje o možnosti vyrábět z whiskerů lana, a to jejich slepováním. Zbývá ovšem ještě vyřešit další technologické problémy, zvláště velkovýrobu whiskerů.

Hlavní směrnice, která plyne z dosavadních výsledků, vhodně měnit množství a rozložení poruch mřížky, není, jak jsme ukázali, z hlediska dosavadního vývoje technických materiálů nová. Zdá se však, že uvědomělé vyvíjení materiálů tímto

směrem, založené na hlubokých a detailních fyzikálních poznatcích, může vést k daleko lepším a pravděpodobně i levnějším materiálům, než dokázala anebo v dohledné době dokáže zkušenosť a technický výzkum.

Kromě toho pokládáme za pravděpodobné, že fyzikální výzkum objeví další principiálně nové cesty k měnění a zlepšování mechanických vlastností pevných látek. Může to být např. měnění vlastností samotných dislokací; jednu z možností naznačuje nedávná teorie P. B. HIRSCHÉ o úloze stupňů na dislokacích při zpevňování kovů s kubickou mřížkou plošně centrovanou.

Při technickém využití fyzikálních výsledků budou ovšem spolurozhodovat též otázky ekonomické. Vzhledem k ohromné spotřebě materiálů a nesmírným dosavadním investicím při zpracování kovů klasickými způsoby můžeme jako prvé aplikace očekávat aplikace na kovové materiály pro speciální účely, vyráběné v menších množstvích, nebo zlepšení využívající dosavadních zařízení. V tom se liší situace např. od rychlého zavedení polovodičů do výroby; jejich vysoká cena nebyla vzhledem k malé spotřebě materiálu rozhodující.

Zcela nové cesty ovšem teorie dislokací odkrývá pro krystalické materiály nekovové. Nově objevená možnost jejich plastického tváření by měla vést k rozvoji nového průmyslu a nových aplikací. Řada otázek technologických musí být ovšem řešena v laboratorním měřítku. Zvláště významné aplikace je možno očekávat u látek keramických, kde nově objevené vlastnosti mechanické spolu s jejich chemickou odolností se mohou uplatnit zvláště při vyšších teplotách.

Vcelku je tedy již dnes jasno, že fyzikální výzkum mechanických vlastností přinese výsledky nesmírné hospodářské důležitosti pro techniku. Vedle postupného systematického zlepšování mechanických vlastností pak může vést uplatněním zcela nových principů k zásadním změnám ve výrobě a zpracování jak kovových, tak nekovových materiálů a k revoluci v konstrukcích strojů a staveb budoucnosti. V blízké budoucnosti pak můžeme očekávat postupné sblížování fyzikálního výzkumu, technického výzkumu a výroby pevných látek.

ZAMĚŘENÍ FYZIKÁLNÍHO VÝZKUMU MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ PEVNÝCH LÁTEK V ČSSR

Základní fyzikální výzkum mechanických vlastností pevných látek v ČSSR je zařazen v státním plánu pod názvem „Mikrofyzikální podstata mechanických vlastností pevných látek“.

Je rozvíjena teorie dislokací a její aplikace na výklad plastické deformace v některých konkrétních případech.

Experimentální práce jsou dosud prováděny převážně na kovech a jsou zaměřeny v různých proporcích na 3 hlavní skupiny: kovy s mřížkou prostorově centrovanou, s mřížkou hexagonální a s mřížkou plošně centrovanou.

Ve FÚ ČSAV se studuje mikrofyzikálně, metodami umožňujícími zviditelnění

jednotlivých dislokací, plastická deformace kubických prostorově centrovaných kovů, zvláště slitiny železa a křemíku, a v poslední době se přechází na čisté železo.

Mezi kovy s kubickou prostorově centrovanou mřížkou patří technicky nejvýznamnější kovy, jako většina ocelí, Mo, W, Nb atd. Přesto jsou z fyzikálního hlediska dosud nejméně prozkoumané; je to proto, že je obtížné připravovat monokrystaly. Oddělení mechanických vlastností pevných látek FÚ ČSAV zvládlo již v r. 1958 přípravu monokrystalů některých slitin železa a zařadilo se tak mezi několik málo laboratoří ve světě v tomto směru.

U této skupiny kovů nebylo dosud ani jasno, jaká je krystalografie skluzu a jak v průběhu skluzu dislokace vznikají a jsou brzděny. Pracovníci FÚ ČSAV podali zatím nejúplnější odpověď na otázku první a rovněž i odpověď na otázku druhou, kterou ve stejné době, nezávisle a při poněkud odlišných experimentálních podmínkách podobně vyřešily výsledky laboratoře General Electric v USA.

Na matematicko-fyzikální fakultě KU se studuje plastická deformace zinku, tj. kovu s mřížkou hexagonální, dosud spíše makroskopickými metodami s mikrofyzikální interpretací na základě teorie dislokací. Bylo dosaženo významných výsledků při vysvětlení různých vlivů na zpevnění zinku.

U kovů s mřížkou plošně centrovanou, kterým se dosud ve světě věnovala největší pozornost a které jsou proto také nejvíce prozkoumány, je výzkum správně zaměřen jen na některé speciální dosud nevyřešené otázky; koná se v ÚFPL ČSAV. Studují se slitiny na bázi hliníku. Významných výsledků bylo dosaženo při studiu počátečních stadií precipitace některých prvků v Guinierovy-Prestonovy zóny. Začíná se dále se studiem vlivu poruch vzniklých po zakalení na elektrické vlastnosti ušlechtilých kovů, zvláště platiny.

Vedle toho se v ÚFPL rozvíjejí některé další práce s bezprostředním významem pro praxi, založené zvláště na aplikaci rentgenových metod. Vcelku jsou práce v ÚFPL zaměřeny zatím více na studium struktury než procesu plastické deformace.

Ve FÚ KU jsou v počátcích práce se studiem plastické deformace iontových krystalů, zvláště AgCl, který projevuje zajímavé analogie ke kovům s kubickou prostorově centrovanou mřížkou (zakřivené skluzové pásy).

Zaměření je tedy vcelku správné a perspektivní.

Z hlediska rozvoje základního výzkumu je účelné ještě více soustředit práci na řešení perspektivních problémů struktury kovů a plastické deformace a dále v mnohem širším měřítku, jakož i rychleji rozvinout práce na studiu mechanických vlastností iontových krystalů; na některých fyzikálních pracovištích jsou pro to dobré předpoklady v již zvládnuté technologii přípravy monokrystalů. O koordinaci a spolupráci je dobře postaráno, a není tedy zapotřebí organizačních změn.

Zařazení skupin studujících mechanické vlastnosti do rámce větších kolektivů, které se z širšího hlediska věnují výzkumu pevných látek, lze považovat za výhodné, neboť umožňuje komplexnější zkoumání struktury a poruch mřížky, jakož i zjišťování souvislosti mezi mechanickými a jinými vlastnostmi pevných látek. Přístrojového vybavení se plně využívá a zčásti tvoří (rentgeny, elektronové mikroskopy) nezbytná zaří-

zení též pro ostatní směry výzkumu pevných látek. K urychlení a rozšíření prací je však třeba jednotlivá pracoviště vybavit pracovními plochami, dalšími pracovníky a přístroji.

NAUKA O MATERIÁLU

Péči o základní výzkum v oblasti nauky o materiálu je pověřeno vědecké kolegium nauky o materiálu (VKNM) ČSAV.

Vzhledem k předchozí činnosti ústavů ČSAV, které mu podléhají, se kolegium pro nejbližší dobu zaměřilo pouze na problematiku kovů, kdežto o ostatní technicky důležité materiály (keramické, makromolekulární) se alespoň zčásti starají jiná kolegia.

Uvedeme některé názory VKNM o zaměření a organizaci výzkumu v oblasti nauky o materiálu, speciálně nauky o kovech a slitinách.

Nauka o kovech se dotýká širokého rozsahu průmyslové činnosti od zpracování rud přes výrobu oceli a jiných technických kovů a slitin, jejich zpracování na polotovary v hutních závodech až po zpracování v konečné výrobky a jejich využití.

Jde tedy o neobvykle komplexní obor, který se opírá o výsledky řady vědních oborů, zvláště fyziky, chemie a fyzikální chemie; jedním z nejdůležitějších těchto oborů je fyzika kovů v celé šíři, která se zabývá (z přírodovědeckého hlediska) strukturou a výkladem všech vlastností kovů. V tom je zahrnuta i část fyziky kovů vykládající jejich mechanické vlastnosti, které, jak jsme ukázali, řeší v současné době fyzika jednotně se studiem mechanických vlastností pevných látek, včetně nekovových.

Nauka o kovech má jako hlavní kritérium technický přínos při zpracování a využití kovů a nikoliv přínos přírodovědecký. Je možno mluvit o základním výzkumu v nauce o kovech; takovými základními problémy mohou být např. vývoj nových žárupevných materiálů, vyjasnění procesů mezi struskou a kovem atd.

VKNM se domnívá, že základní výzkum v oblasti nauky o kovech by se měl soustředit převážně na zlepšování mechanických vlastností oceli a jiných slitin, z rozsáhlé problematiky hutnictví pak na studium některých problémů teorie hutnických pochodů.

VKNM proto doporučuje v rámci ČSAV dobudovat centrální ústav v Brně pro základní výzkum v oboru nauky o kovových materiálech se zaměřením na pevnou fázi a Laboratorium fyziky kovů v Bratislavě, které bude mít těžiště práce ve fyzice kovů. Doporučuje dále věnovat v ČSAV pozornost teorii hutnických pochodů.

V ČSSR je vedle toho rozsáhlá síť výzkumných ústavů resortních, které zčásti řeší též některé problémy základního výzkumu nauky o kovech.

Na pracovištích provádějících základní výzkum v nauce o kovech se začíná stále intenzivněji pracovat též přímo ve fyzice kovů. Je to přirozené hlavně proto, že není dosud vyřešena řada důležitých problémů, zvláště z oblasti mechanických vlastností a tvorby slitin nezbytných k řešení otázek technických.

V budoucnosti je možno očekávat značné sblížení některých částí základního

výzkumu v nauce o kovech a fyziky kovů a pronikání moderních mikrofyzikálních metod zkoumání do technického výzkumu.

VKNM chce pečovat o úzkou spolupráci mezi pracovišti z oblasti nauky o materiálu, u nichž převládají především cíle technické, a pracovišti fyzikálními. Příkladem takové spolupráce je zajišťování základního výzkumu v oboru tečení kovů s mřížkou kubickou prostorově centrovanou, který bude v nejbližších letech koordinovaně řešen v materiálových ústavech akademických i resortních za využití fyzikálních výsledků FÚ ČSAV.

KOORDINACE A ROZDĚLENÍ ÚKOLŮ V OBLASTI VÝZKUMU FYZIKY KOVŮ

Technická sekce ČSAV svolala během r. 1961 několik porad s výše uvedeným názvem, na jejichž výsledky bychom chtěli upozornit.

Bylo konstatováno, že k dvoukolejnosti ve výzkumu v tomto oboru zatím nedošlo. Bylo rozhodnuto vyžádat od všech pracovišť přicházejících v úvahu (z ČSAV a resortních i závodních) plán úkolů ve fyzice kovů, základního výzkumu kovových materiálů i ostatních úkolů, které budou vyžadovat předchozího základního výzkumu materiálů. Po probrání zasláného materiálu se došlo k tomuto závěru:

Fyzika kovů a její aplikace při řešení konkrétních technických úkolů zejména v oboru materiálů, metalurgie a technologie bude nabývat stále větší důležitosti a její širší uplatnění je základní podmínkou k dosažení předpokládaného rozvoje příslušných technických oborů. Fyziky kovů je třeba plně využívat v práci všech technických pracovišť zmíněného směru a je nutno na těchto pracovištích ji rozvíjet. Protože dosavadní pracoviště zdaleka nestačí na řešení nejdůležitějších problémů a zejména na nejdůležitější aplikace, je třeba rozvoj pracovišť zabývajících se fyzikou kovů plně podporovat, a to jak na půdě ČSAV, tak i mimo ni.

Došlo se ještě k dalším konkrétnějším doporučením, z nichž hlavní bylo svolání tří odborných pracovních porad (o chování kovů za působení vnějších sil, o vícesložkových soustavách a o vlivu záření na kovy), jejichž účelem mělo být dosažení vzájemné informovanosti i kooordinace práce a zajištění příslušné spolupráce v statním plánu výzkumu. Tyto pracovní porady se konaly od června do září 1961 za účasti vědeckých a technických pracovníků jednotlivých pracovišť a splnily svůj účel. Dosáhlo se dobré vzájemné informovanosti a byla přijata řada doporučení ke koordinaci, k některým změnám a ke spolupráci; mnohé z nich jsou již realizovány.

NĚKTERÉ ZÁVĚRY

Shrneme alespoň některé závěry:

Hlubší rozbor ukazuje, že základní fyzikální výzkum mechanických vlastností je společnou jednotnou problematikou pro všechny typy pevných látek. Dosavadní fyzikální výzkum je správně zaměřen na perspektivní otázky, je třeba jej však dále

značně rozšířit v rámci dosavadních pracovišť a rozvinout nově též studium mechanických vlastností nekovových pevných látek.

Rovněž zaměření základního výzkumu v nauce o kovech je v ČSAV i v resortních ústavech správně zvoleno; nejdůležitějším úkolem pro nejbližší dobu je urychlené dobudování LSKV v Brně, dále pak LFK v Bratislavě a resortního VÚHŽ.

Z hlediska surovinové základny ČSSR lze považovat za účelné vybudování výzkumu mechanických vlastností keramik s perspektivou využívat jich místo kovů tam, kde je to výhodnější.

V nejbližší době se nejví v základním výzkumu potřeba reorganizací a změn, ale posílení dosavadních celků a další zlepšení jejich spolupráce.

Neuspokojivé jsou malé zahraniční styky, a to zejména se SSSR. Příčina je zvláště v tom, že obor mechanických vlastností nebyl od r. 1961 zahrnut do dohod mezi akademii a jiný styk není možný. Bylo by třeba co nejdříve zahrnout spolupráci mezi ČSAV a AN SSSR v oboru výzkumu mechanických vlastností pevných látek a fyzice kovů do dohod na r. 1963. Bylo by užitečné prodiskutovat též možnost zřízení mezinárodního ústavu pro studium mechanických vlastností pevných látek v SSSR, popř. v ČSSR.

Katoda nového typu

byla vyvinuta v moskevském Ústavu radiotechniky a elektroniky AV SSSR. V podstatě jde o plochou termokatodu z LaB_6 , při jejímž povrchu se pomocnou elektrodou vytváří silné elektrické pole, jež usnadňuje unikání elektronů z katody do vakua. Jsou zde tedy současně výhody katody termoemisioní a autoemisioní, což se příznivě projevuje v dosažených vlastnostech. Je-li poloměr emitující plošky 50μ , dává katoda proud 50 mA , takže je vhodná všude tam, kde se žádá bodový zdroj elektronů o velké proudové hustotě.

Vladislav Malát

O prašnosti ovzduší

Na základě měření z raket a družic se odhaduje, že na Zemi dopadá denně $10\,000$ tun kosmického prachu. Přepočteno na 1 km^2 , je to asi o 5 řádů méně než množství prachu, které vyrobí ve velkých městech lidé svou vlastní činností.

Ivan Soudek

Použití vznášedla

Vznášedla, jak se nazývají dopravní prostředky bez kol pohybující se na vzduchovém polštáři, který pod sebou vytvářejí silným ventilátorem, jsou ideálním dopravním prostředkem pro vojenské účely, avšak jejich využití pro civilní účely není zatím jasné. Ve Střední Americe slouží k dopravě banánů v močálovitých krajinách. Nyní bylo vznášedlo nasazeno ve Velké Británii k dopravě přes bahnitá a pískem zanesená ústí jedné řeky. Použitý stroj má délku 17 m , šířku $7,5 \text{ m}$, výšku asi 5 m , váhu 12 tun a pojme 24 osoby. Pohánějí jej čtyři spalovací turbíny o úhrnném výkonu $1\,700$ koní. Vzduchový polštář vytváří ventilátor o průměru 3 m , pohyb obstarávají vrtule.

Ivan Soudek