

2. Mikroskopie v odraženém světle, popis a funkce odrazového mikroskopu

2.1. Odrazový mikroskop

2.2. Pozorování leštěných vzorků pod mikroskopem s odraženým světlem

2.3. Příprava nábrusů a leštěných výbrusů

2.4. Praktické rady pro používání mikroskopu (procházející a odražené světlo)

2.1. Odrazový mikroskop

Zdroj světla

Pro studium nábrusů minerálů v odraženém světle je vyžadován zdroj vysoké intenzity, zejména kvůli nízkému jasů zobrazení při zkřížených nikolech. Používají se wolfram-halogenové žárovky z křemenného skla, wolframové světlo (zdroj A) dává poli žlutý odstín. Mnoho mikroskopujících dává přednost použití modrého korekčního filtru, který změní barevný odstín na denní světlo (zdroj C). Monochromatický světelný zdroj (barevné světlo odpovídající velmi omezenému rozsahu viditelného spektra) je používán v kvalitativní mikroskopii jen zřídka. Monochromatické filtry pro čtyři standardní vlnové délky (470 nm, 546 nm, 589 nm a 650 nm) mohou být užitečné pro porovnání jasů koexistujících minerálů, zvláště když jsou kvantitativní měření jasů snadno dostupné.

Polarizátor

Polarizované světlo se obvykle získává použitím polarizačního filtru, který by měl být chráněn před teplem lampy skleněným tepelným filtrem. Polarizátor je optimálně fixován v orientaci, aby mohl poskytnout osvětlovací dopadající světlo ve směru východ-západ. Je však vhodné, aby bylo možné polarizátorem otáčet v případě potřeby usměrnění jeho orientace, nebo jako alternativu k otáčení analyzátoru.

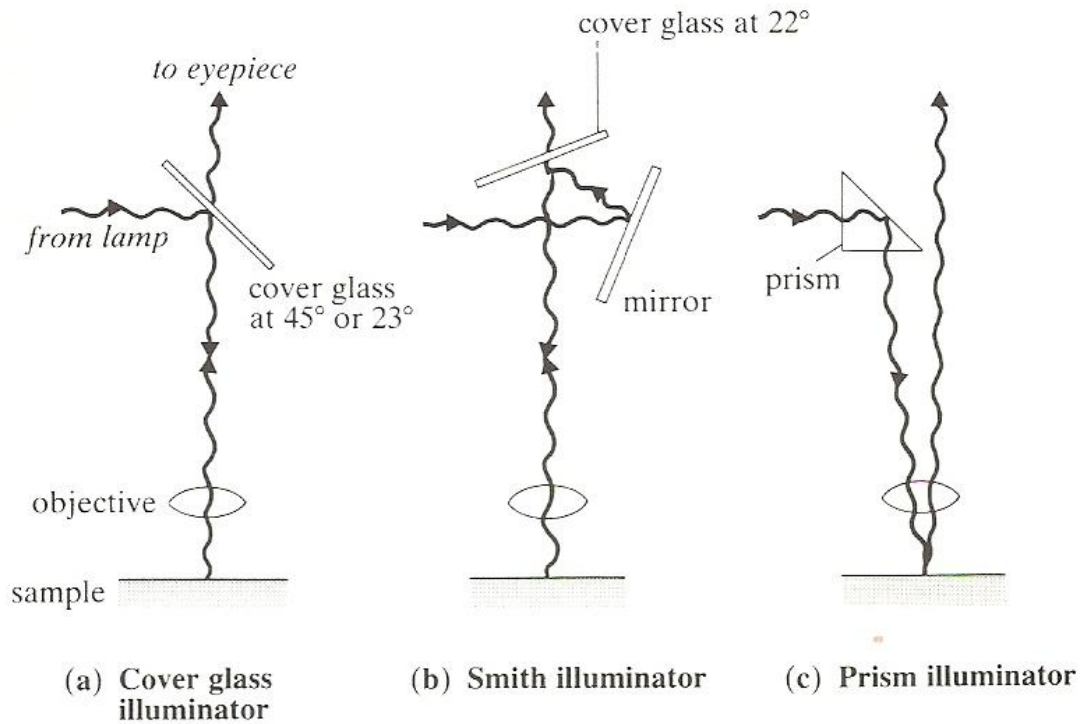
Incidentní iluminátor

Přístrojový iluminátor je umístěn nad objektivem a jeho účelem je odrazet světlo skrz objektiv na leštěný vzorek. Vzhledem k tomu, že odražené světlo se pohybuje zpět přes objektiv do okuláru, musí být možné, aby toto světlo prošlo skrz incidentní iluminátor. V incidentních iluminátorech se používají tři typy reflektorů (obr. 1):

a) Krycí sklo nebo tenká skleněná destička (obr. 1.a). Jedná se o jednoduché zařízení, ale je poměrně neúčinné kvůli ztrátě světla jak před, tak po odražení od vzorku. Jeho hlavní nevýhodou je však to, když při 45° sklonu dochází k nedostatečně rovnoměrnému zhášení (vyhasnutí) izotropního pole. To je způsobeno otáčením směru vibrací polarizovaného odraženého světla, které prochází asymetricky skrz krycí sklo po návratu směrem k okuláru. Tato nevýhoda je překonána snížením úhlu přibližně na 23° , stejně jako u Swiftových mikroskopů.

b) Zrcadlová skleněná deska nebo Smithův iluminátor (obr. 1.b). Je o něco méně účinný než krycí sklo, z důvodu nízkému úhlu (blížícího se kolmici) dopadu vracejícího se odraženého světla na tenkou skleněnou desku je vyhasnutí světla rovnoměrné a polarizační barvy jsou poměrně jasné.

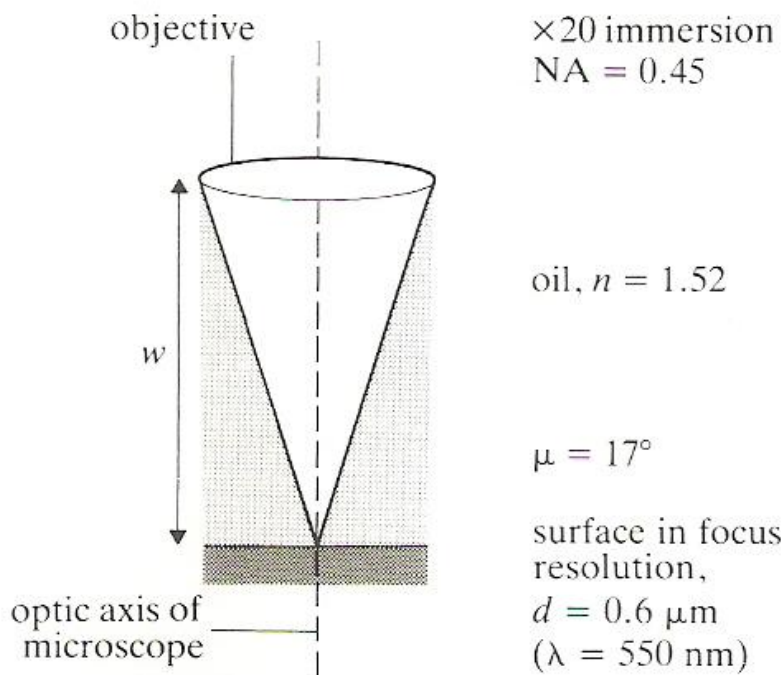
c) Hranol nebo celkový reflektor (obr. 1.c). Je účinnější, než skleněné destičky reflektoru, ale poměrně drahý. Dosahoval by 100% efektivitu, ale polovina světelného toku se ztratí, protože se používá pouze polovina clony objektivu.



Obr. 1. Incidentní iluminátory

Objektivy

Objektivy jsou lupy a jsou proto popisovány z hlediska jejich zvětšovací síly, např. $\times 5$. Rovněž mohou být popisovány číselnou clonou (obr. 2), přičemž obecným pravidlem je, že čím vyšší číselná clona, čím větší je možné zvětšení. Je vhodné si uvědomit, že pro objektivy, u kterých je popisováno stejné zvětšení, rozhoduje vyšší číselná clona, která vede k jemnějšímu zobrazení detailů, k menší hloubce zaostření a k jasnějšímu obrazu. Objektivy jsou navrženy pro použití buď na vzduchu (suché), nebo s imerzním olejem mezi čočkou objektivu a vzorkem. Použití imerzního oleje mezi čočkou objektivu a vzorkem vede ke zvýšení hodnoty numerické clony (obr. 2). Objektivy s nízkým výkonem mohou být obvykle použity buď pro procházející nebo odražené světlo, ale při vysokém zvětšení ($> \times 10$) lze dobré snímky získat pouze se speciálním typem objektivu pro příslušné světlo.



Obr. 2. Numerická clona a rozlišení. $NA = n \sin \mu$, kde NA je numerická clona, n je index lomu imerzního média a μ je polovina úhlu světelného kužele vstupujícího do objektivových čoček (pro vzduch, $n = 1,0$). $d = 0,5\lambda / NA$, kde d = rozlišení (vzdálenost mezi dvěma body, které lze rozeznat) a λ je v μm ($1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$). Pracovní vzdálenost (w v diagramu) závisí na konstrukci čoček: pro stejné zvětšení mají obvykle olejové imerzní čočky kratší vzdálenost než suché objektivy.

Objektivy pro mikroskopii v odraženém světle jsou také známé jako metalurgické objektivy. Achromatické objektivy jsou korigovány pro chromatickou aberaci, která způsobuje vlivem disperzních efektů v obraze barevné lemy. Planochromáty jsou také korigovány kvůli sférické aberaci, která způsobuje ztrátu zaostření od středu čočky; apochromáty jsou podobně korigovány, ale trpí chromatickým rozdílem zvětšení, které musí být odstraněno použitím kompenzačních okulárů.

Analyzátor

Analyzátor se může během mikroskopického pozorování vysunovat a zasunovat do optické soustavy mikroskopu a otáčet se malými úhly během pozorování vzorku. Důvodem rotace

analyzátoru je zvýšení účinků anizotropie. Stejně jako polarizátor je obvykle vyroben z polarizačního filtru. U některých mikroskopů je analyzátor pevně orientován a polarizátor je navržen tak, aby se otáčel. Účinek je v obou případech stejný, ale je snadnější vysvětlit chování světla, pokud se předpokládá otáčivý analyzátor.

Bertrandova čočka

Bertrandova čočka se v mikroskopii v odraženém světle používá jen málo, zvláště mezi začátečníky. Získané polarizační údaje jsou podobné interferenčním údajům transmisní mikroskopie, liší se ale způsobem získání a využitím.

Izotropní minerály vytvářejí černý kříž, který není ovlivněn rotací stolku, při otáčení analyzátoru se ale rozděluje se na dvě isogyry. Barevné okraje isogyr souvisejí s disperzí rotačních vlastností.

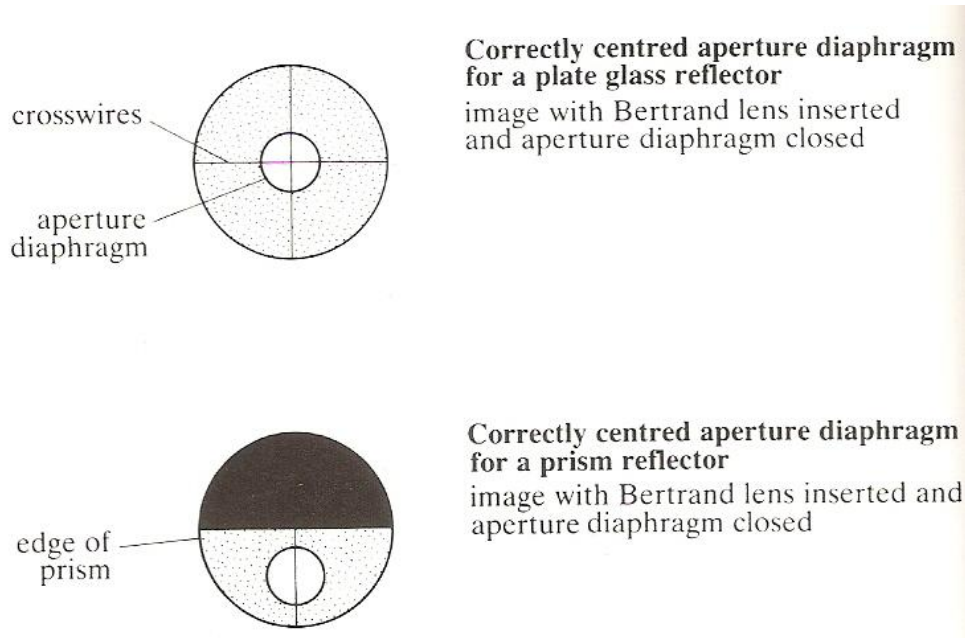
Nastavení světla

Odrazové mikroskopy jsou obvykle navrženy tak, aby poskytovaly kritický Kohlerův typ osvětlení (Galopin a Henry 19728). Znamená to, že otvor clony a vlákno žárovky lze vidět pomocí konoskopického světla (se zasunutou Bertrandovou čočkou) a diagram zorného pole lze vidět pomocí orthoskopického světla (s vysunutou Bertrandovou čočkou).

Odrazový mikroskop má obvykle k dispozici reostat lampy, který umožňuje měnit intenzitu světla. Pro uspokojivé pozorování pomocí zkřížených nikolů je potřebný velmi intenzivní zdroj světla. Při pozorování v PPL je však zpravidla nejlepší ponechání reostatu na doporučené hodnotě výrobce, což by mělo vést k barevné teplotě zdroje A. Problém při použití snížené intenzity osvětlení pro snížení jasu obrazu je, že se změní celková barva obrazu. V ideálním případě by filtry s neutrální hustotou měly být používány ke snížení jasu, pokud ho pozorovatel pociťuje jako nepříjemný. V tomto ohledu jsou binokulární mikroskopy pro oči méně namáhavé než monokulární mikroskopy.

Otevření clony snižuje rozlišení, snižuje hloubku zaostření a zvyšuje jas. V ideálním případě by měla být clona jen částečně otevřena pro pozorování v PPL, ale plně otevřena při použití zkřížených nikolů. Pokud je otvor clony nastavitelný, dá se pozorovat pomocí Bertrandovy čočky, nebo odstraněním okuláru. Otvor clony ve správně centrované poloze pro reflektory ze skleněného sklíčka a hranol je vyobrazen na obr. 3.

Diagram zorného pole iluminátoru se používá jednoduše pro seřízení rozptýleného světla. Může být zaměřen a měl by být v ohnisku ve stejné pozici, jako vzorový obrázek. Diagram zorného pole by měl být otevírán, dokud nezmizí ze zorného pole.



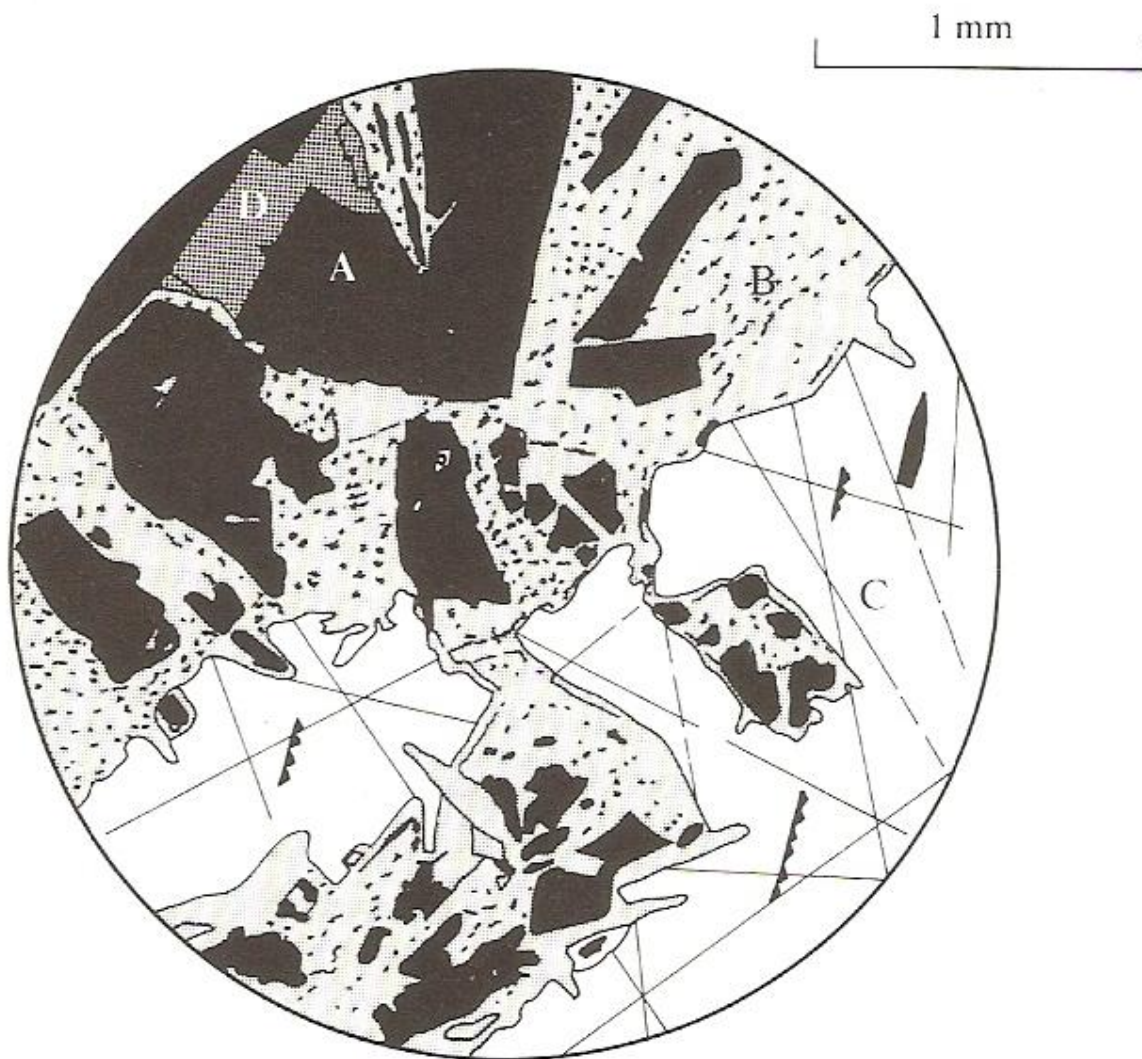
Obr. 3. Centrování clony (aperturního diagramu)

2.2. Pozorování leštěných vzorků pod mikroskopem s odraženým světlem

Pozorovatel, který poprvé vidí leštěný vzorek rudy nebo horniny, často zjišťuje, že interpretace pozorovaného obrazu je poněkud obtížná. Jedním z důvodů je to, že většina studentů pozoruje několik let v polarizačním mikroskopu, než se dostane k pozorování v odraženém světle, a mají tendenci interpretovat jasné (světlé) oblasti jako průhledné a tmavé oblasti jako neprůhledné, u leštěných úseků je to ale naopak! Nejlepší je začít zkoumat leštěný úsek, např. jako je znázorněn na obr. 4 pomocí zvětšení nízkého výkonu a rovinného polarizovaného světla, za kterých lze pozorovat většinu následujících znaků:

a) Transparentní fáze jsou tmavě šedé, protože odrážejí jen malý podíl dopadajícího světla, zpravidla 3-15%. V oblastech průhledných minerálů jsou občas viděny světlé části a jsou důsledkem odrazu povrchů pod leštěným povrchem.

- b) Absorbující fáze (opakní, neboli rudní nerosty) jsou šedé až jasně bílé, protože odrážejí mnohem více dopadajícího světla, zpravidla 15-95%. Některé opakní minerály jsou zbarvené, ale jejich barevné odstíny jsou obvykle poměrně slabé.
- c) Otvory, jamky, praskliny a prachové částice jsou černé. Odraz od krystalových tvarů v dutinách může způsobit zvláštní efekty, jako například velmi světlé skvrny světla.
- d) Škrábance lesklých povrchů minerálů se objevují jako dlouhé rovné nebo zakřivené čáry, často končící na hranicích zrna nebo v jamkách. Silné jemné poškrábání může způsobit změnu vzhledu minerálů. Škrábance na ryzích kovech mají například tendenci rozptýlit světlo a způsobit barevné efekty.
- e) Částičky vody, nebo oleje mají tendenci způsobovat kruhové tmavé nebo iridescentní obrazce a poukazují na potřebu vyčistit leštěný povrch.
- f) Oxidace a navětrání minerálů jsou indikovány zvýšením intenzity barev, které bývá poměrně variabilní. Sulfidy, jako je bornit, mají tendenci rychle se oxidovat. Odstranění navětrání vyžaduje obvykle několik minut přešetění.
- g) Leštěný povrch má z důvodu odlišné tvrdosti minerálů tmavé nebo světlé linie podél kontaktů zrn. Malá, měkká, jasná zrna mohou budít dojem, že svítí, a díry mohou mít neurčité tmavé okraje kvůli leštění.



Obr. 4. Schématické znázornění leštěné části vzorku olovnaté rudy. Transparentní fáze, např. fluorit (A), baryt (B) a zalévací pryskyřice (D) jsou tmavě šedé. Jejich jas závisí na indexu lomu. Fluorit je téměř černý. Absorbující (opakní) fáze, např. galenit (C), jsou bílé. Otvory, jamky a trhliny jsou černé. Všimněte si černých trojúhelníkových štěpných jamek v galenitu a čtých jamek v barytu, které nevyplyvají ze špatného leštění, ale z přítomnosti mnoha fluidních inkluzí. Škrábance se objevují jako dlouhé rovné nebo zakřivené čáry; jsou v galenitu poměrně hojné, protože je měkký a snadno dochází k jeho poškrábání.

2.3. Příprava nábrusů a leštěných výbrusů

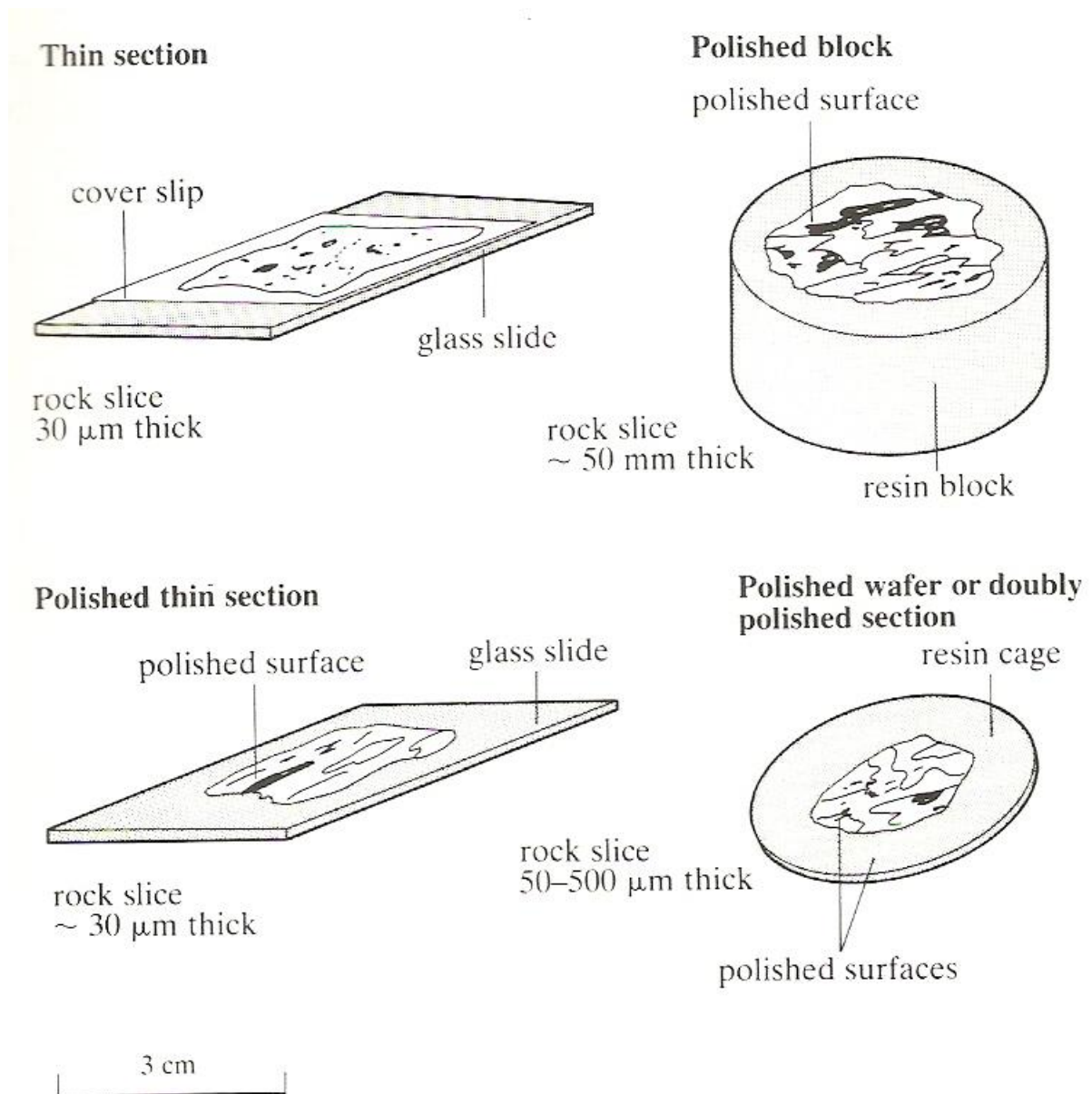
Na obr. 5 jsou zobrazeny tři nejběžnější typy leštěných výbrusů. Příprava leštěného povrchu vzorku horniny nebo rudy je více či méně komplikovaný proces, který se skládá z pěti etap:

- 1) Řezání vzorku diamantovou pilou.
- 2) Lepení vzorku na sklo, nebo zalití v pryskyřici za studena.
- 3) Broušení povrchu do plochého tvaru pomocí karborundových prášků a vody na skleněném, nebo kovovém povrchu.
- 4) Leštění povrchu pomocí diamantového zrna a olejnatého lubrikantu na poměrně tvrdém papírovém kole.
- 5) Vyčištění povrchu pomocí prášku Al_2O_3 a vody jako maziva na relativně měkkém látkovém kole.

Existuje mnoho variant tohoto postupu, detaily obvykle závisí na povaze vzorků, leštících materiálech a vybavení, které je k dispozici. Ať už je použita jakákoli metoda, vzorek by měl mít plochý lesklý povrch bez vystupujícího, nebo sníženého reliéfu a bez poškrábání. Technika používaná Britským geologickým průzkumem je popsána Listerem (1978).

Zatímco zakryté výbrusy jsou i nadále oblíbené pro studium hornin a nábrusy pro rudy, leštěný výbrus je nepochybně nejuniverzálnějším preparátem a je obzvláště vhodný pro studium vzorků obsahujících různé minerály s nízkým až vysokým RI a variabilní absorpcí. Varianty zahrnují dvojitě leštěný výbrus, který odhaluje zónování sfaleritů a ultratenké (nejlépe dvojitě leštěné) výbrusy, které odhalují strukturní detaily v jemnozrnných uhličitanech. Částečně leštěné (až hrubé diamantové) odkryté tenké výbrusy jsou oblíbené pro petrografickou práci s katodoluminiscenční mikroskopií. Leštěné destičky jsou obtížné a časově náročné na přípravu, ale jsou nezbytné pro studium tekutých inkluzí v průhledných minerálech (Shepherd et al., 1985). Zkoumání minerálů za použití katodoluminiscence,

ultrafialové fluorescence, laserů a rentgenových mikroanalýz elektronového paprsku, vyžaduje ve všech případech leštěné výbrusy a použití těchto technik je proto prospěšné na základě předběžné studie vzorků v odraženém světle.



Obr. 5 Typy výbrusů a nábrusů

2.4. Praktické rady pro používání mikroskopu (procházející a odražené světlo)

Pozorování vždy začínáme při malém zvětšení objektivu mikroskopu. Je bezpečnější začít s povrchem vzorku v blízkosti objektivu a snižovat stolek, nebo zvedat stativ, aby se dosáhlo polohy zaostření. Leštěné vzorky musí být v rovině. Preparáty mohou být umístěny na malé kuličce z plastelíny na skleněném sklíčku a opatrně zatlačeny vyrovnávacím zařízením (tlačkou). Pečlivě opracované leštěné vzorky s rovnoběžnými plochami mohou být umístěny přímo na stolek. Celá pozorovaná plocha vzorku by měla být rovnoměrně osvětlena. Přesnější zkouškou je zaostřit na vzorky a poté zavřít otvor clony (viditelný pomocí Bertrandovy čočky) a otáčet stolkem. Pokud je vzorek v rovině, malý bod světla, který vidíte jako obraz, by se neměl otáčet.

Dobře leštěné povrchy vyžadují pečlivou přípravu a snadno se ničí. Nikdy se nedotýkejte leštěného povrchu, ani jej neotírejte ničím jiným, než čistou měkkou tkaninou, nejlépe navlhčenou v alkoholu. Nepoužívaný vzorek by měl být zakryt, nebo uschován v plastickém sáčku.

Přibližné nastavení polarizátoru a analyzátoru pro pozorování v odraženém světle lze nastavit poměrně snadno. Začněte tím, že vyberete preparát jasného izotropního minerálu, jako je např. pyrit. Otočte analyzátor a polarizátor do nulových poloh, které je potřeba označit na mikroskopu. Zkontrolujte, zda jsou nikoly zkřížené, co se projeví tím, že zrno je tmavé. Pomalu otáčejte analyzátozem, abyste získali co nejtmaší pole. Zkontrolujte polarizaci, nastavte analyzátor (a/nebo) polarizátor, dokud není dosažen dokonale vycentrovaný černý kříž. Pozorujte opticky homogenní část jednoosého minerálu, jako je ilmenit, nikelín, nebo hematit. Použitím zkřížených nikolů by měly být pozorovány čtyři místa zhášení po 90° a polarizační barvy viděné v každém kvadrantu by měly být stejné. Před studiem optických obrazců seříd'te polarizátor a analyzátor, dokud nebude dosaženo nejlepších výsledků (viz Hallimond 1970), pomocí objektivu s vysokým výkonem se ujistěte, zda je stolek dobře vycentrován.