

Hodnotenie mikroštruktúry ložiskových ocelí

**STN 42 0240 - Ocele na valivé ložiská. Technické
dodacie predpisy.**

**DIN EN ISO 643.2003 – hodnotenie pôvodného
austenitického zrna**

DIN 50 602:1985 – hodnotenie nekovových vtrúsenín

**SEP 1520 - mikroskopická skúška tvorby karbidov v
oceliach s radmi obrázkov**

Akosť valivých ložísk má podstatný vplyv na technickú úroveň a prevádzkovú spoľahlivosť strojov. Zlepšenie akosti valivých ložísk sa prejaví predovšetkým zvýšením ich trvanlivosti, na čo má vplyv správna konštrukcia ložiska, jeho rozmerová presnosť, akosť povrchu hotových valivých ložísk, akosť použitej ocele a jej tepelné spracovanie.

S ohľadom na vysoké požiadavky na ocele na valivé ložiská má zásadný význam okrem iného:

- chemické zloženie
- mikročistota
- makroštruktúra
- mikroštruktúra.

Požiadavky na chemické zloženie

Ložiskové ocele sú podľa použitia zaradené medzi ocele konštrukčné, napriek tomu, že ich chemické zloženie, a tým súčasne ich vlastnosti zodpovedajú viac oceliam nástrojovým.

Ocele pre valivé ložiská sú nadeutektoidné chrómové ocele so základným obsahom uhlíka okolo 1 % a s obsahom chrómu najčastejšie okolo 1,5 %.

Cr

- zužuje oblasť γ
- $\uparrow$ % - krúžky (1,4 – 1,65 %)
- $\downarrow$ % - telieska – gulôčky, valčeky
- $\uparrow$ prekaliteľnosť $\Rightarrow$ $\uparrow$ výslednú tvrdosť po kalení, odolnosť proti opotrebeniu, mechanické hodnoty

Mn

- $\uparrow$ prekaliteľnosť, hlavne u krúžkov väčšej hrúbky steny

Si

- zužuje oblasť γ
- bráni tvorbe okují $\Rightarrow$ zväčšuje sa nebezpečenstvo vzniku hlbšej oduhličenej vrstvy
- $\downarrow$ kritickú rýchlosť ochladzovania $\Rightarrow \uparrow$ prekaliteľnosť
- $\downarrow$ difúznu rýchlosť C v Fe
- sťažuje dosiahnutie $\downarrow$ tvrdosti po žíhaní $\Rightarrow$ bráni sferoidizácii karbidov a $\uparrow$ pevnosť základnej hmoty

Chemické zloženie sa volí s cieľom získať dostatočnú prekaliteľnosť

Na súčasti valivých ložísk sa však používajú aj iné ocele, napr. ocele cementačné, prípadne nehrdzavejúce a pre ložiská pracujúce pri zvýšených teplotách aj ocele rýchlorezné.

Pre ložiská väčších rozmerov sa používajú modifikované ocele so zvýšenou prekaliteľnosťou, ktorá sa dosahuje pridaním mangánu a molybdénu (prvkov zvyšujúcich prekaliteľnosť).

	Chemické zloženie [%]					
Značka	≤ C	≤ Mn	≤ Si	Cr	Mo	Iné
14 109	1,10	0,50	0,35	1,30-1,65	-	Cu ≤ 0,25; (Ni + Cu) ≤ 0,50
14 209	1,10	1,20	0,65	1,30-1,65	-	Cu ≤ 0,25; (N + Cu) ≤ 0,50
80MoCrV4016	0,85	0,35	0,25	3,75-4,25	4,00-4,50	V (0,90-1,10)
100Cr6	1,10	0,45	0,35	1,35-1,65	-	-
100CrMo7	1,05	0,45	0,40	1,65-1,95	0,20-0,40	-
100CrMnMo7	1,05	0,90	0,40	1,60-1,95	0,20-0,40	-
X75WCrV1841	0,80	0,40	0,40	3,75-4,50	≤0,60	V (1,00-1,25) W(17,5-19,0)
X80WMoCrV654	0,88	0,40	0,40	3,80-4,50	4,70-5,20	V(1,70-2,00) W (6,00-6,70)

Požiadavky na mikročistotu

Životnosť valivých ložísk závisí od množstva, druhu, tvaru, veľkosti a rozloženia inklúzií a od ich fyzikálnych vlastností.

Tie nekovové inklúzie, ktoré majú menší súčiniteľ teplotnej rozťažnosti ako základná oceľová matrica, sú pri kalení matricou stláčané, čím vzniká vnútorné napätie. Nekovové inklúzie, nachádzajúce sa na funkčných plochách ložiska, alebo v ich blízkosti, pôsobia potom ako koncentrátores kontaktného napätia a stávajú sa zárodkami porušenia (kontaktná únava), ktoré sa šíri v závislosti od polohy inklúzií a nimi vyvolanej koncentrácie napätia.

S narastajúcim počtom zaťažovacích cyklov vzniká na kontaktných plochách poškodenie - pitting, ktoré pokračuje vylupovaním dotykových vrstiev ocele a končí zničením ložiska.

Podľa pôvodu sa nekovové inklúzie rozdeľujú na **exogénne** a **endogénne**.

Exogénne sa dostávajú do ocele pri tavbe a odlievaní ocele (napr. z výmurovky pece). Ocele pre valivé ložiská sú preto dnes väčšinou vyrábané v elektrických oblúkových peciach s cieľom minimalizovať množstvo nekovových inklúzií. Okrem klasického spôsobu výroby sa používajú ešte zvláštne výrobné pochody, napr. pretavovanie pod troskou.

Endogénne inklúzie sú produktom reakcií, ktoré prebiehajú pri tavení a odlievaní (dezoxidácia, desulfurácia a pod.). Sú to oxidy, globulárne inklúzie (hlinitany, kremičitany) a sulfidy.

Nekovové inklúzie majú vplyv na rôzne vlastnosti ložiskových ocelí.

Vplyv na obrábateľnosť. Globulárne inklúzie, ktoré sú tvrdé a krehké, zhoršujú obrábateľnosť ocele a otupujú obrábacie nástroje. Pri dokončovacích operáciách (brúsenie, superfinišovanie, atď.) sa inklúzie vydrolia, vytrhnú zo základnej hmoty a spôsobujú povrchové vady na funkčných plochách ložísk.

Vplyv pri tvárnení. Nekovové inklúzie sa hromadia na hraniciach pôvodných austenitických zŕn (napr. FeS). Pretože FeS, alebo eutektikum Fe – FeS má nízky bod topenia, spôsobuje v oblasti tvárniacich teplôt lámavosť za červeného žiaru. Preto sa pridáva mangán, ktorý viaže síru na MnS, a tým obmedzuje vznik FeS. Tieto inklúzie sú plastickejšie a lepšie sa tvárnia.

Vplyv na mechanické vlastnosti.

Niektoré inklúzie v ložiskových oceliach sú tvárne (sulfidy, poloplastické kremičitany).

Po väčšom stupni tvárnenia ocele majú tvárne inklúzie pretiahnutý tvar v smere tvárnenia (sulfidy) a tvrdé inklúzie sú vydrolené do riadkov (hlinitany). Takto usporiadané inklúzie v smere tvárnenia spôsobujú pokles ťažnosti a sú príčinou rozdielnych hodnôt mechanických vlastností v priečnom a pozdĺžnom smere. Drobné globulitické inklúzie túto anizotropiu nevyvolávajú.

Pri malom stupni tvárnenia sú inklúzie zvyčajne na hraniciach zŕn a znižujú mechanické hodnoty.

Vplyv na trvanlivosť.

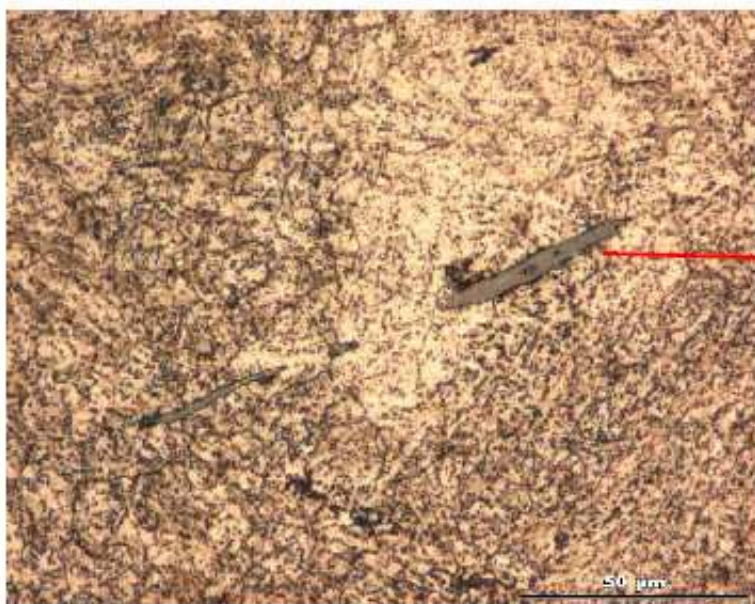
Mikročistota je považovaná za jeden z rozhodujúcich činiteľov, ktorý ovplyvňuje trvanlivosť ložiskových ocelí. Trvanlivosť je daná počtom cyklov do vzniku únavových javov (pittingov), ktoré sa prejavia vydrolením materiálu.

Aj keď výsledky skúšok o škodlivosti jednotlivých inklúzií nie sú zhodné, môžeme uvažovať, že na trvanlivosť ložiskovej ocele majú nepriaznivý vplyv všetky druhy inklúzií, aj keď v rôznej miere.

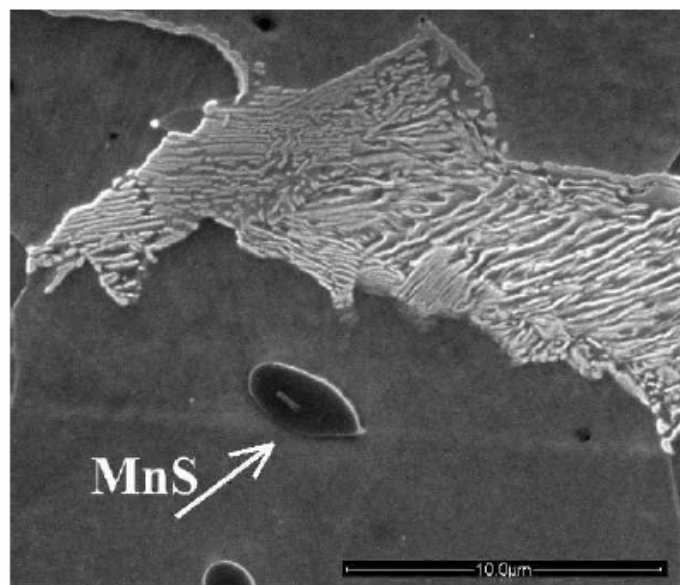
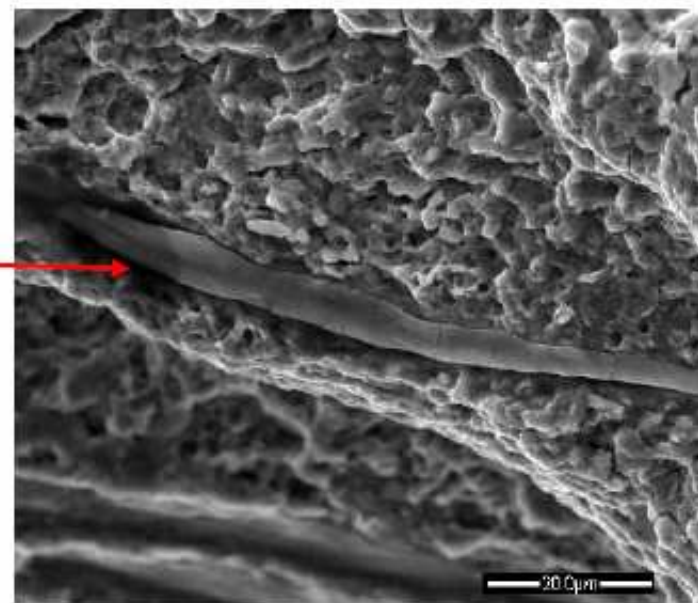
Za najhoršie sú považované hlinitany. Sú to nekovové, tvrdé, ostrohranné a nedeformovateľné inklúzie, vydrolené do riadkov.

Ako menej škodlivé sú označované poloplastické a plastické kremičitany.

Najmenej škodlivé sú sulfidy.



MnS

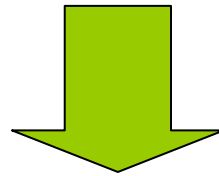


Sulfidy

– sú to alebo sulfid manganatý (MnS), alebo podvojný sulfid manganatý a železnatý ($x\text{FeS} \cdot y\text{MnS}$)

Vtrúseniny

- **Mikroskopické** - max. plocha v reze je **0,03 mm²**
(táto plocha odpovedá v mikroskope pri zv. 100x dĺžke vtrúseniny 100 µm a šírke 3µm)
- **Makroskopické** – prekračujú plošnú medznú hodnotu



Stupeň čistoty

(údaj o obsahu nekovových vtrúsenín – sulfidov a oxidov)

Metóda M – určujú sa maximálne dĺžkové hodnoty vtrúsenín

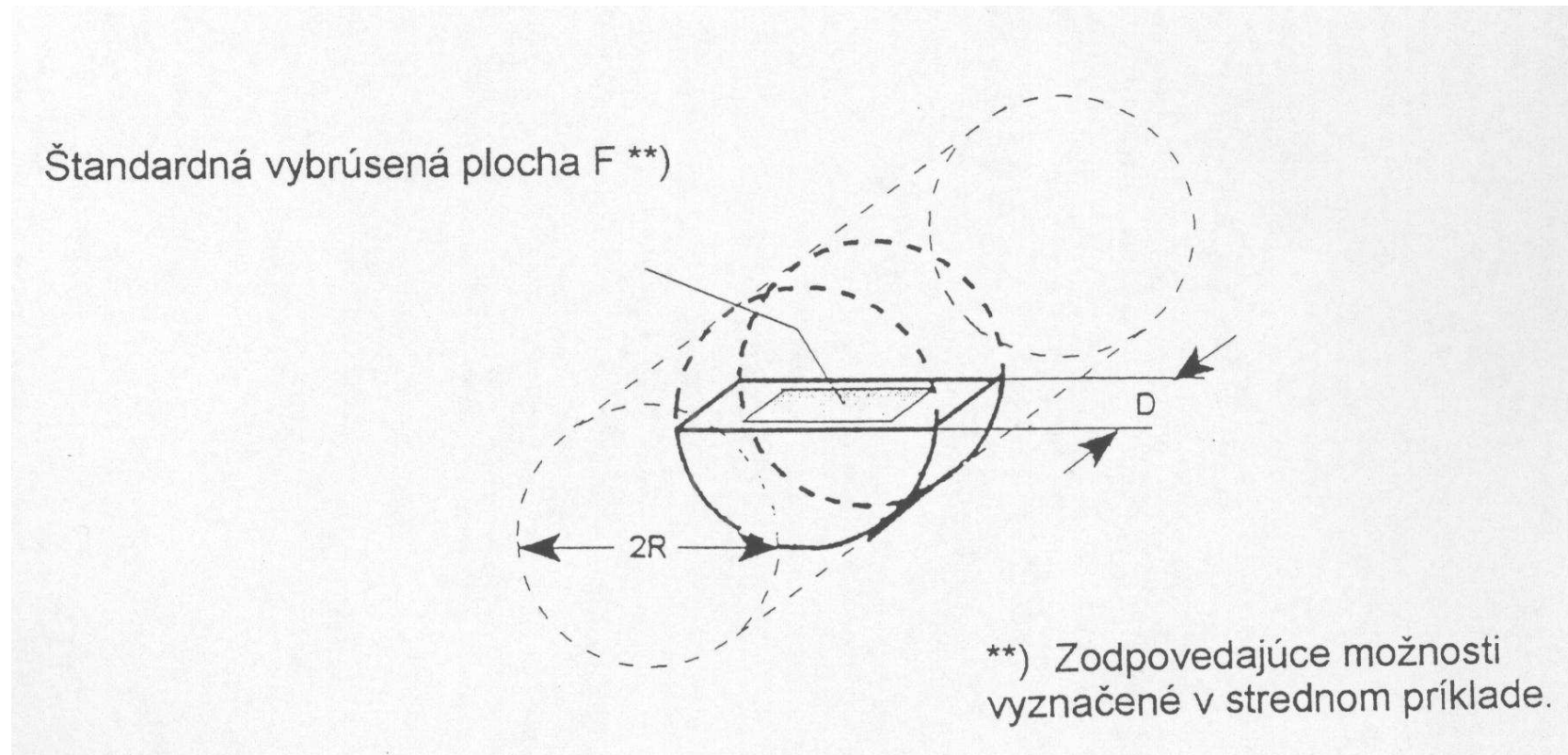
Metóda K – určuje sa plošný podiel vtrúsenín v štruktúre

DIN 50 602 – K4

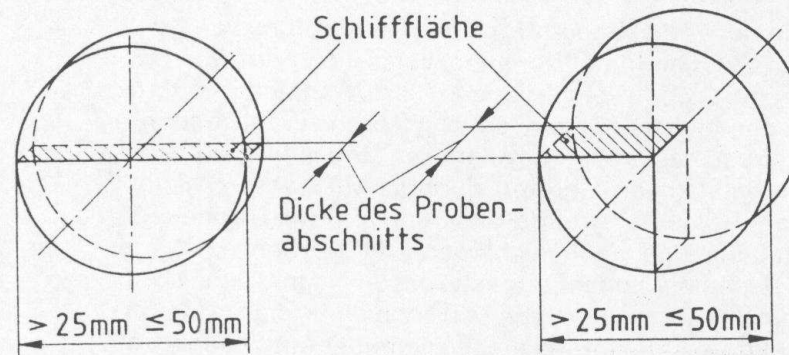
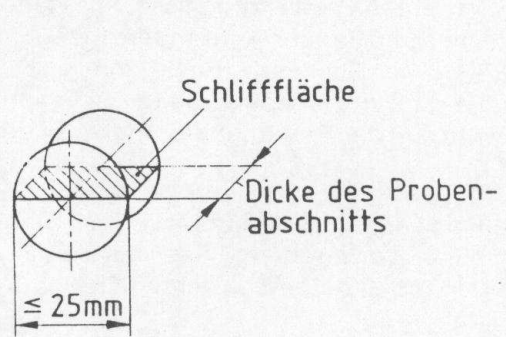


(súčtová hodnota veľkosti vtrúsenín vzhľadom na plochu 1000 mm²).

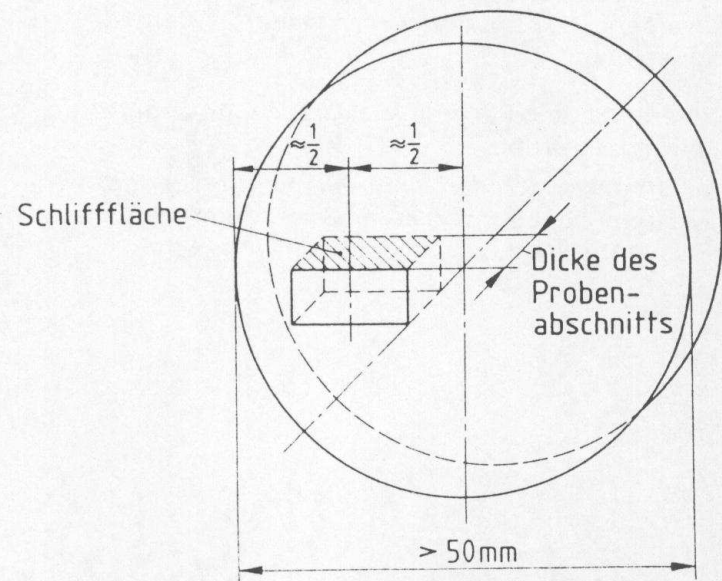
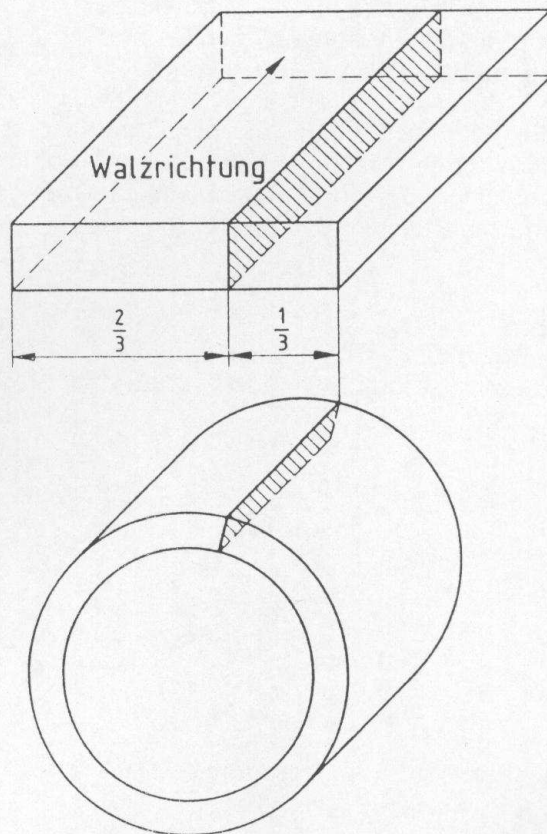
- hodnotí sa na neleptaných metalografických výbrusoch (6 vzoriek)
- metóda DIN 50 602 – v priechnom reze



- pri brúsení vzoriek nesmú byť vtrúseniny vytrhávané, nesmie sa meniť ich tvar $\Rightarrow$ starostlivé brúsenie a čo najkratšie leštenie



Schlifffläche wahlweise nach Tabelle 1



Größe der Schlifffläche nach Vereinbarung

Typy vtrúsenín:

- SS** - sulfidické vtrúseniny v tvare čiary (sulfidy)
- OA** - oxidické vtrúseniny v rozpustnej forme (hlinitany)
- OS** - oxidické vtrúseniny v tvare čiary (kremičitany)
- OG** - oxidické vtrúseniny v globulárnom tvare

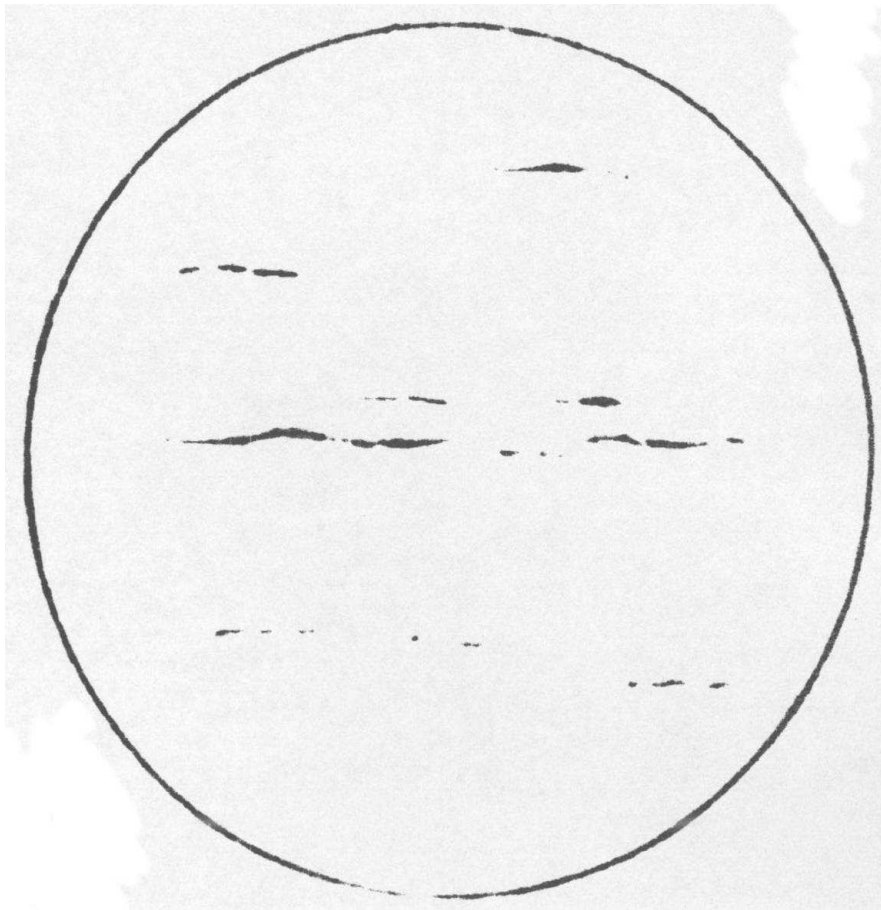
DIN 50 602 – K 4



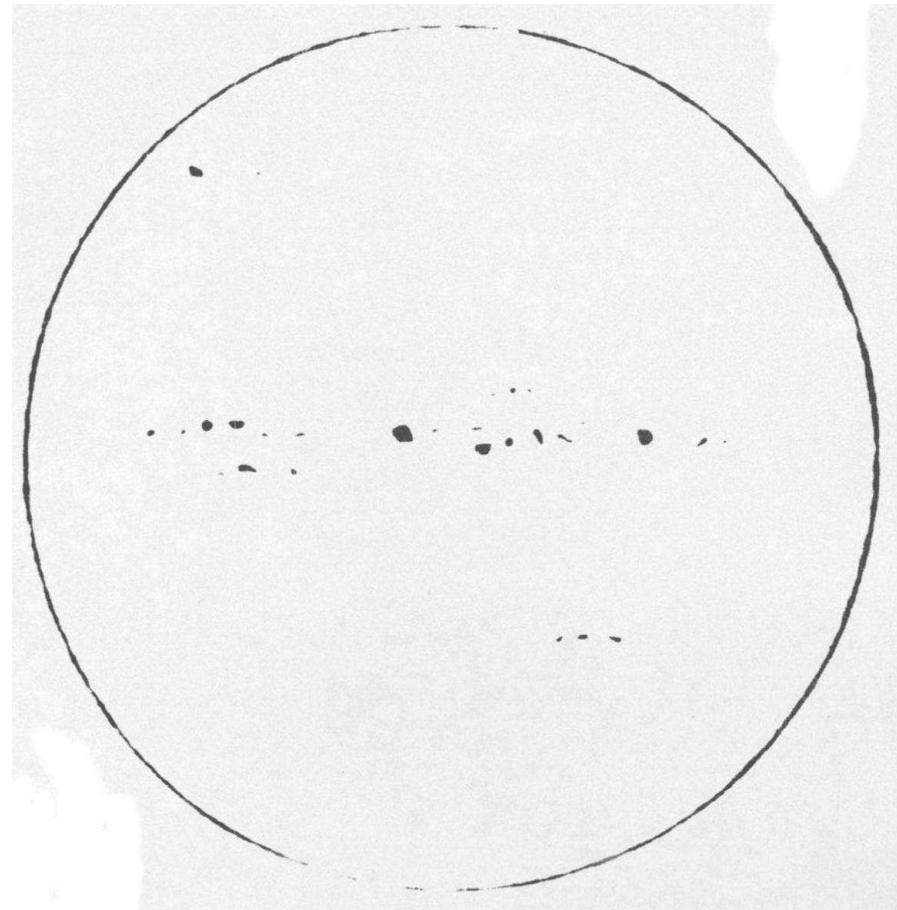
udáva najmenšiu charakteristiku
veľičiny tabuľky obrazových rád,
ktorá sa berie do úvahy pri
vyhodnotení

Typy vtrúsenín

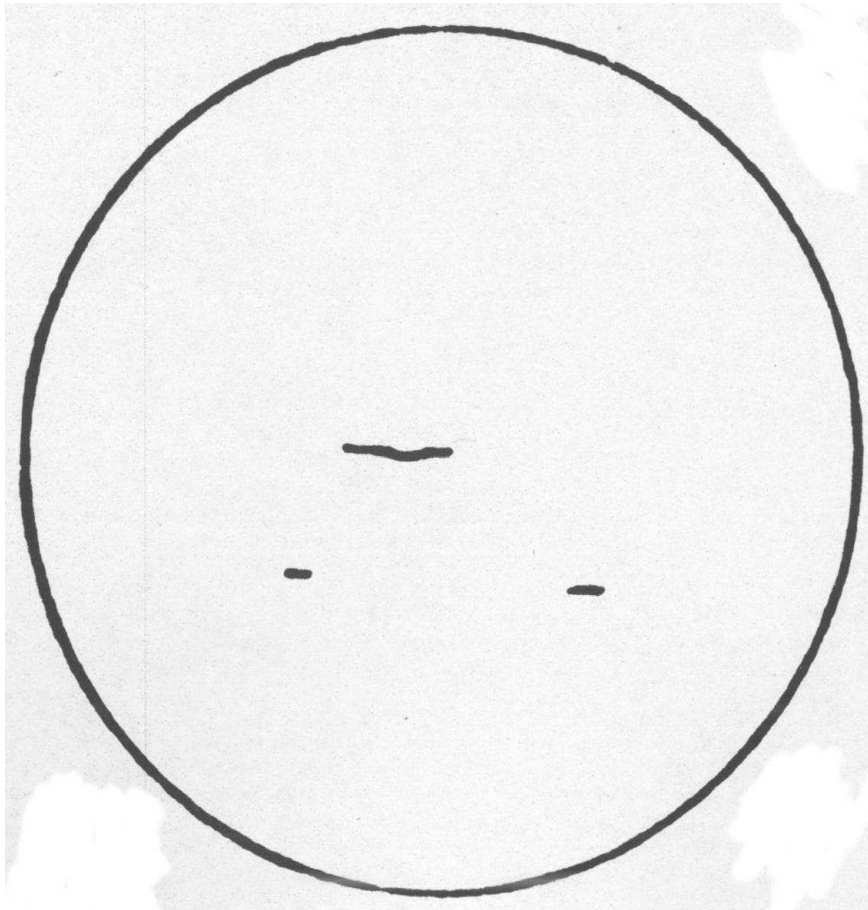
SS - sulfidické vtrúseniny v
tvare čiary (sulfidy)



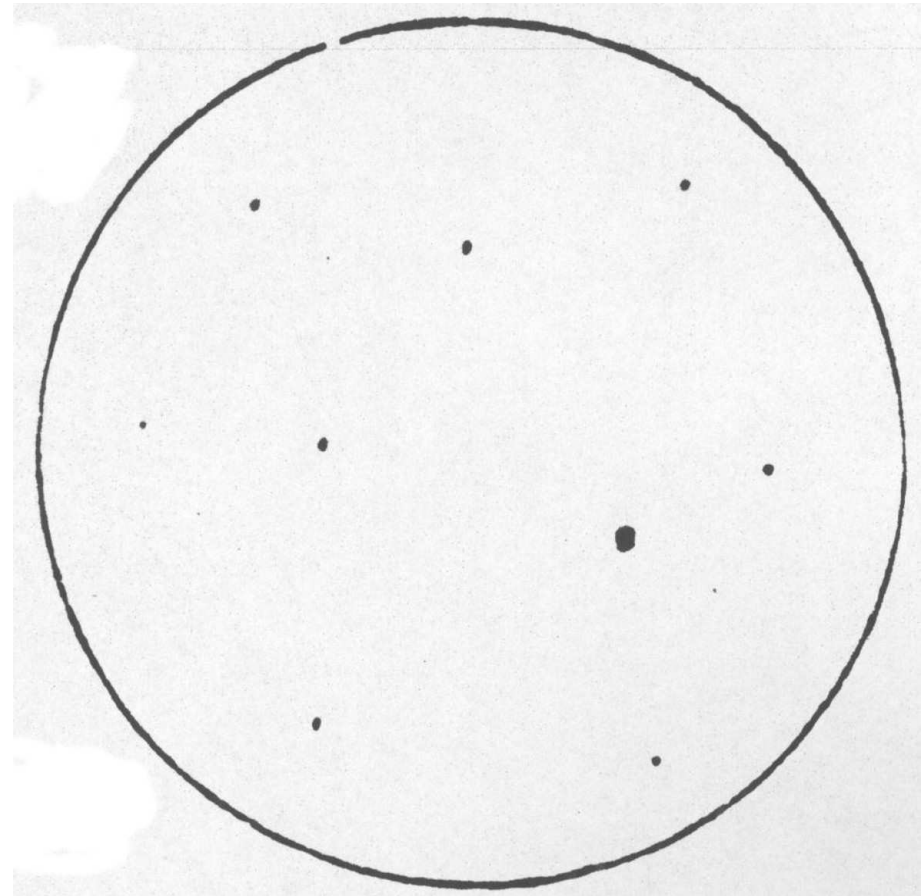
OA - oxidické vtrúseniny v
rozpustnej forme (hlinitany)



OS - oxidické vtrúseniny v
tvare čiary (kremičitany)



OG - oxidické vtrúseniny
v globulárnom tvare



Požiadavky na mikroštruktúru

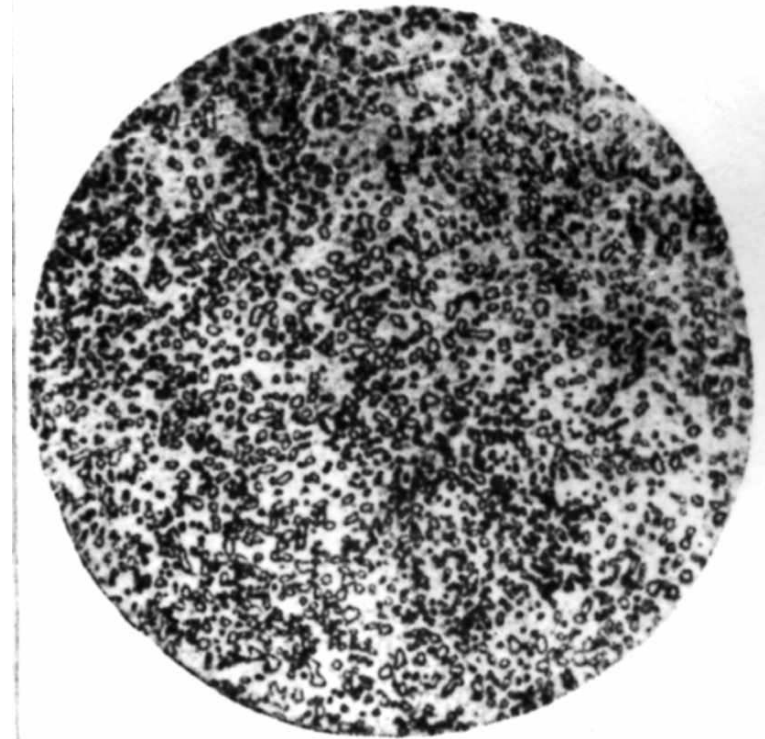
Nielen inklúzie, ale aj **karbidická nerovnorodosť** (nerovnomerne rozložené karbidy) zhoršujú akosť ložiska. Tiež štruktúra po žíhaní na mätko veľmi ovplyvňuje obrábatelnosť, náchylnosť k vzniku trhlín po kalení a rozsah kaliacich teplôt.

- **podiel plochy voľného feritu vo feriticko – perlitickej štruktúre (etalón 1)**
- **veľkosť** (priemer) **globulárnych karbidov (etalón 2)** – vždy prevláda charakteristická veľkosť
- **plošný podiel perlitu v štruktúre** z perlitu a glob. karbidov **(etalón 3)**
- **karbidická sieťka** - množstvo a stupeň karbidov na hraniciach zrna v žíhanom a kalenom stave **(etalón 4 a 5)**
- **karbidická riadkovitosť** sa delí na:
 - karbidické vycedeniny – karbidy v zavretom stave **(etalón 6)**
 - karbidickú pruhovitosť – karbidy v uvoľnenom stave **(etalón 7)**

Hodnotenie karbidov.

- CG - veľkosť a rozloženie
karbidov

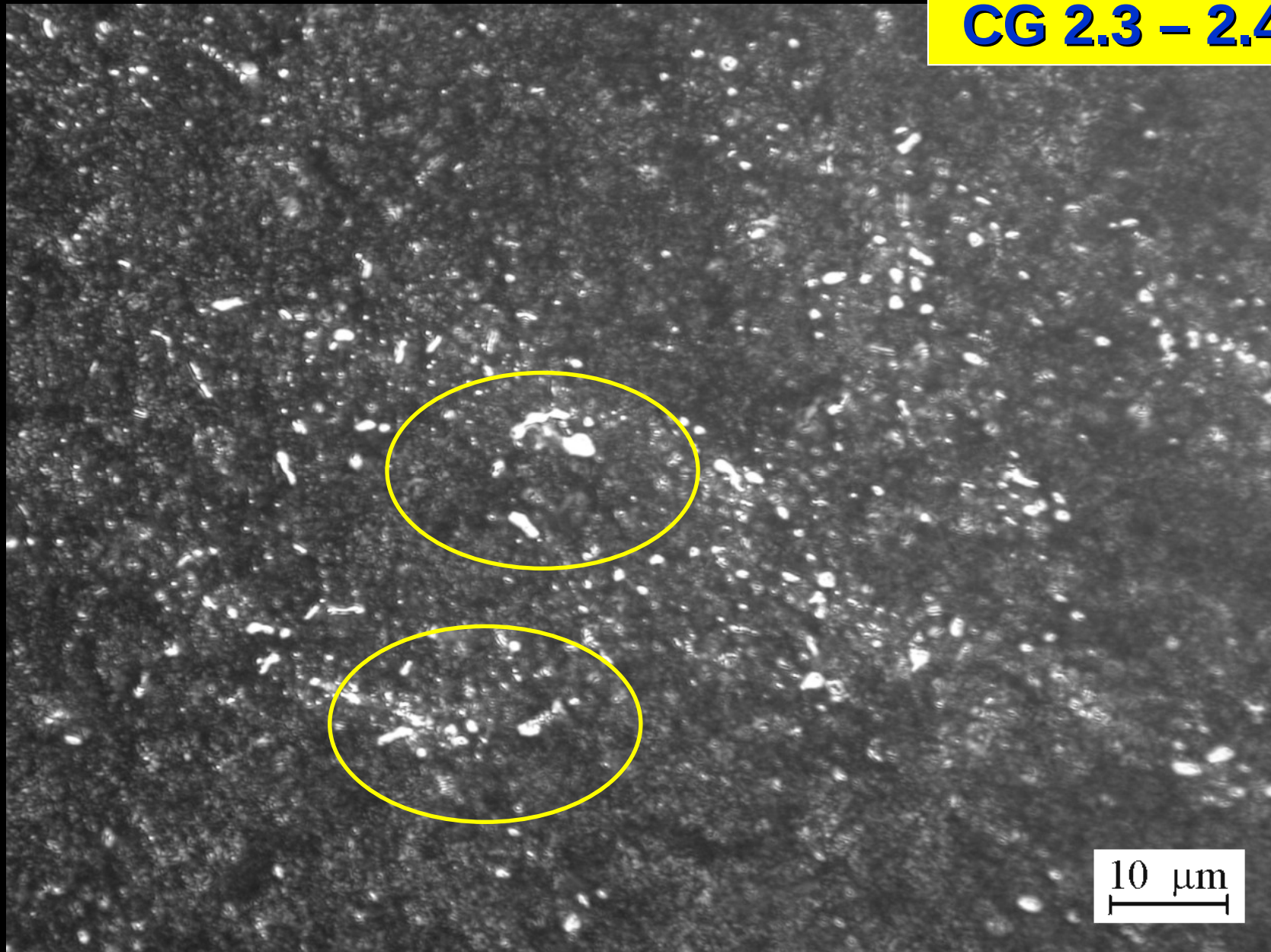
pri zv. 1 000 x.



CG 2.2 – 2.3



CG 2.3 – 2.4



Metalografické hodnotenie karbidickej riadkovitosti - CZ
zahŕňa hodnotenie:

- **karbidických vycedení pri zv. 100 x – etalón 6**
(karbidové riadky v „zavretom stave“ - väčšie karbidy pretiahnuté v smere tvárnenia)
- **karbidickej pruhovitosti pri zv. 100 x – etalón 7**
(karbidové riadky v „uvoľnenom stave“ - väčšie množstvo jemných karbidov, pretiahnutých tvárnením v súvislé pásy)

Maximálny prípustný stupeň je normovaný a mení sa podľa jednotlivých požiadaviek odberateľov.

Pôvod karbidickej riadkovitosti môžeme hľadať v rozdielnej koncentrácii uhlíka, vznikajúcej už v primárnej štruktúre ingotu. Pri tuhnutí a tvorbe dendritov sa obohacujú medzidendritické pásma o segregujúce prvky.

V povrchových vrstvách ingotu sa vyskytujú v pásmach medzi dendritmi len ojedinele hrubšie vycedeniny tvorené karbidmi $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$.

Vo vnútri ingotu je segregácia väčšia, a preto tu sú väčšie vycedeniny. Tieto sú tvorené nielen sekundárnymi karbidmi, ale aj eutektickými karbidmi priamo z taveniny. Okrem medzidendritických pásiem s veľkými segregáciami sú vo vnútri ingotu aj pásma bez vycedení alebo len s malými vycedeninami. Pri valcovaní sú dendrity a medzidendritické pásma pretiahnuté v smere tvárnenia.

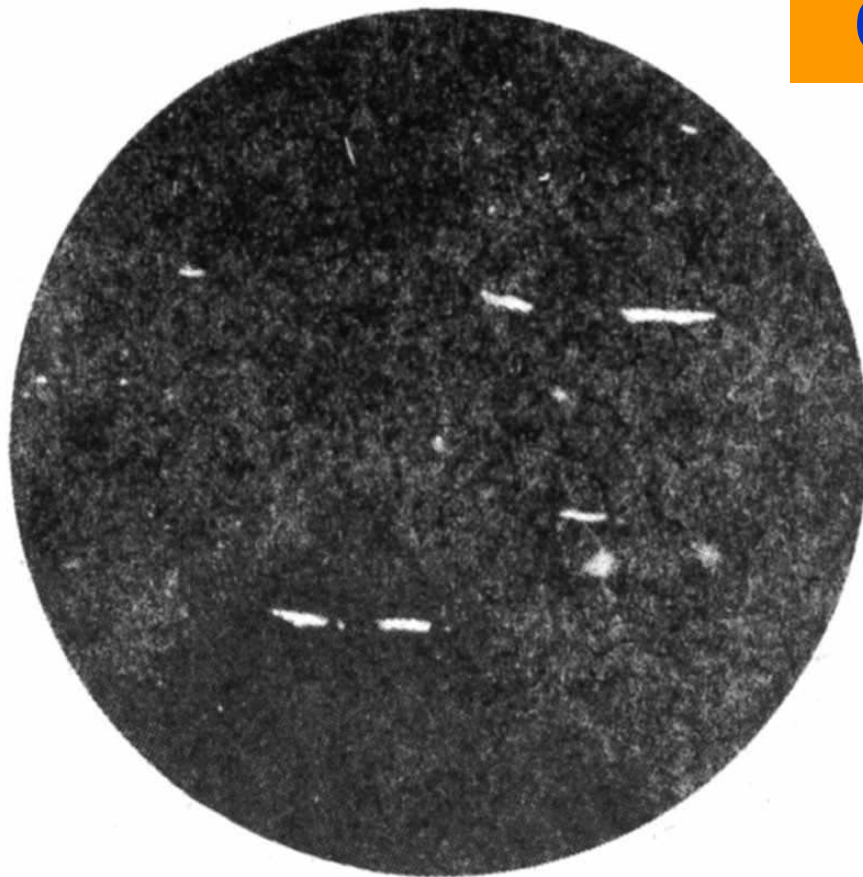
Na tvar a veľkosť karbidických riadkov má vplyv aj tepelné spracovanie ingotov.

Oceľ valcovaná zo žíhaných ingotov má podstatne väčšiu karbidickú riadkovitosť ako tá, ktorá bola za rovnakých podmienok valcovaná z nežíhaných ingotov.

V kalenej oceli, ochladenej po austenitizácii nižšou ochladzovacou rýchlosťou sa objavuje aj tzv. sekundárna riadkovitosť. Vznik tejto riadkovitosti je spôsobený rôznou kritickou rýchlosťou ochladzovania v jednotlivých miestach ocele.

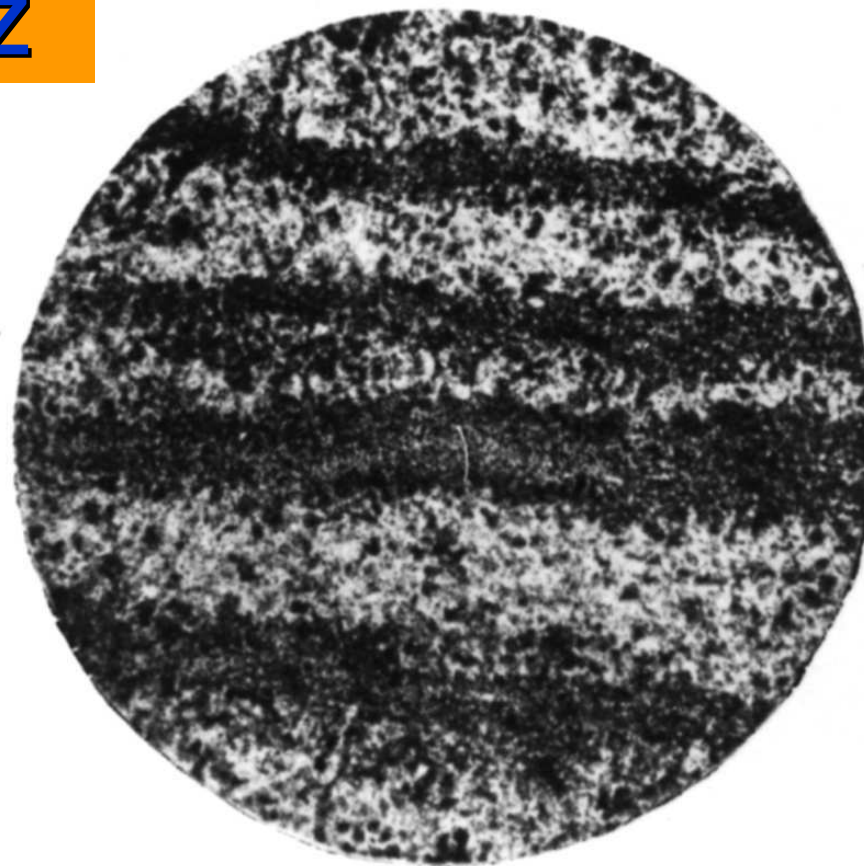
Karbidická riadkovitosť pôsobí problémy pri mechanickom opracovaní a v okolí karbidických riadkov je väčší obsah zvyškového austenitu.

CZ



Karbidické vycedeniny

Karbidové riadky v „uzavretom stave“

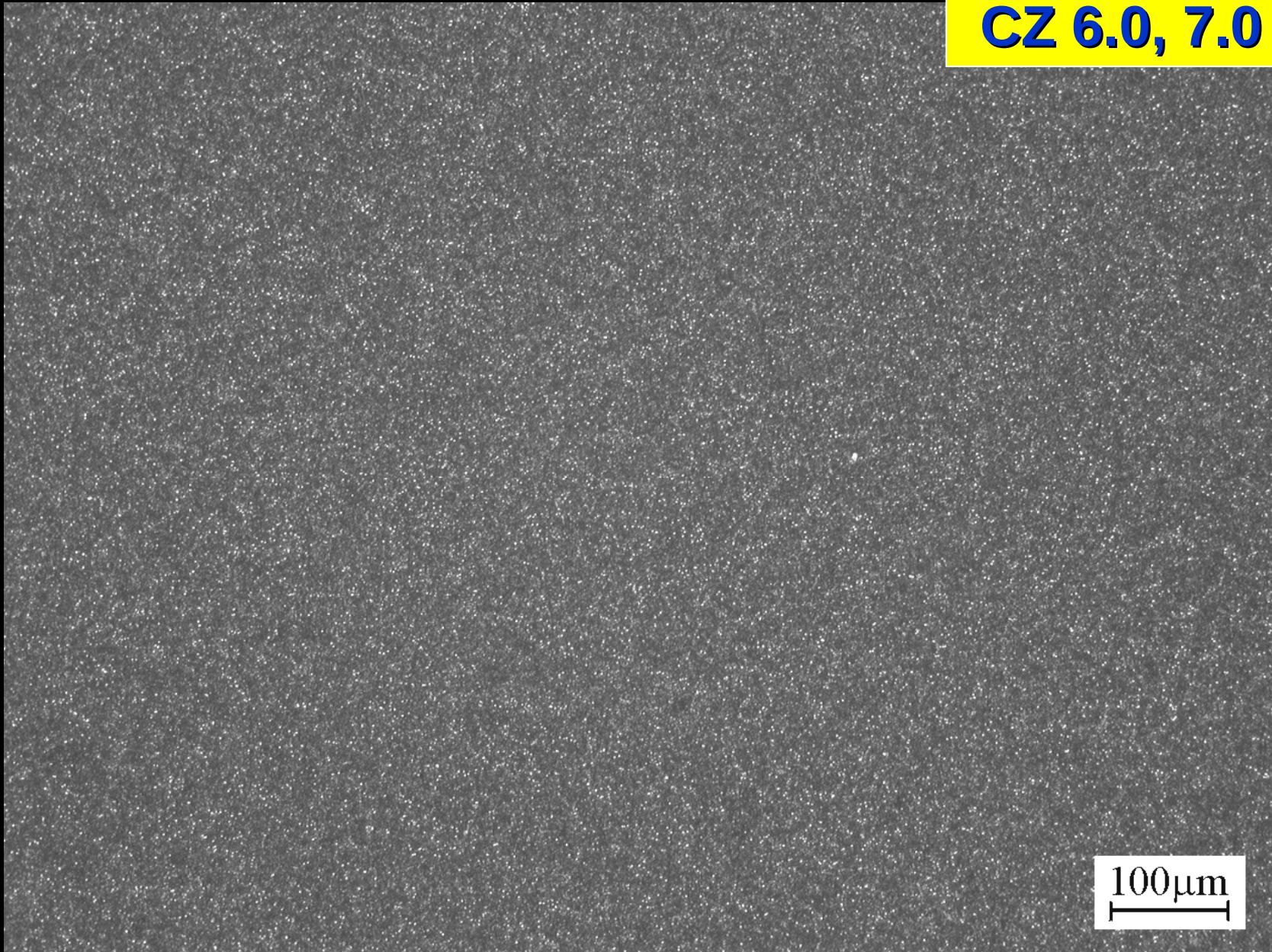


Karbidická pruhovitost'

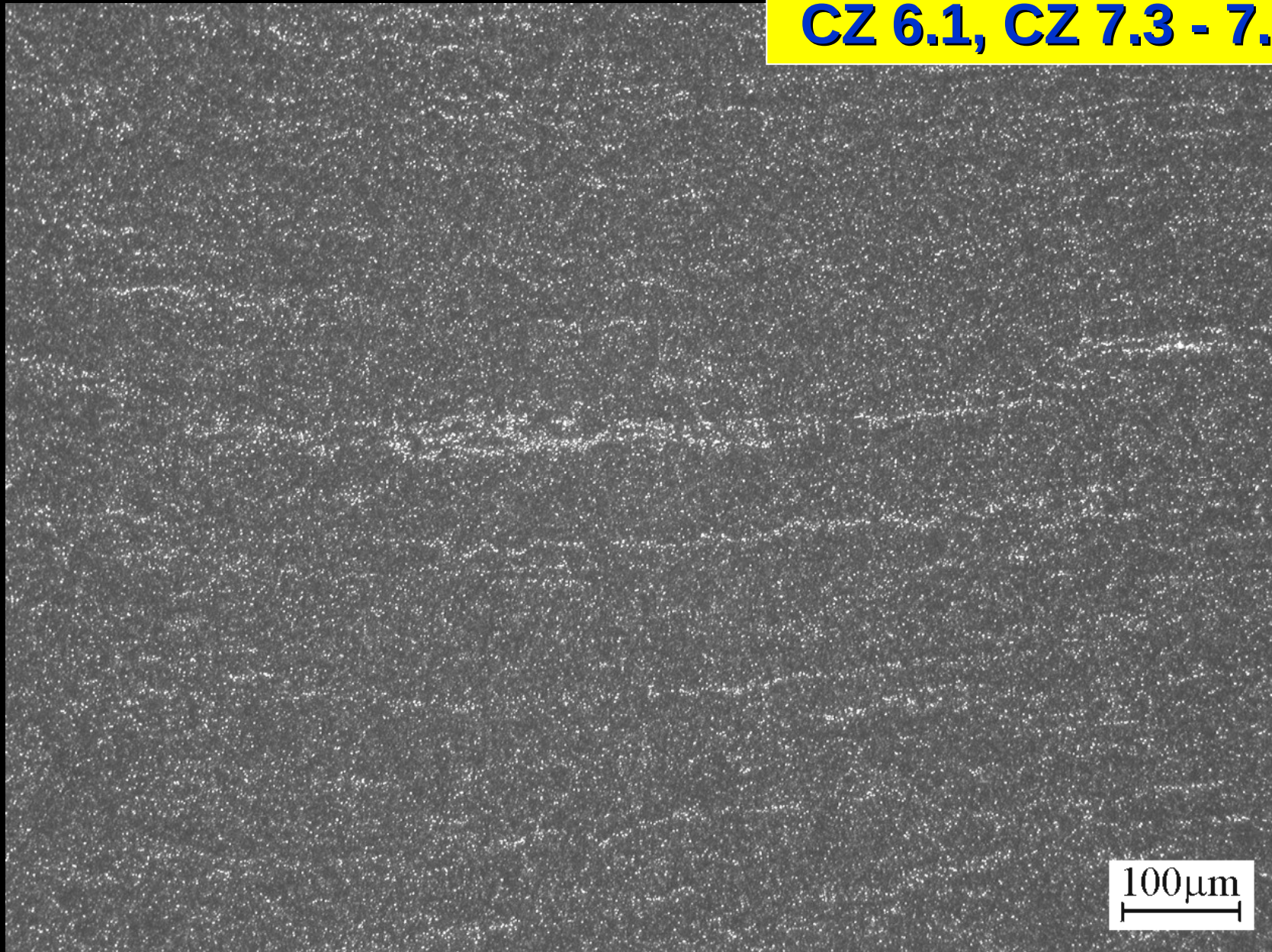
Karbidové riadky v „uvoľnenom stave“

CZ 6.0, 7.0

100μm

A grayscale micrograph showing a dark, granular surface. The texture is composed of many small, light-colored particles or grains against a darker background. The overall appearance is uniform across the field of view. A scale bar is located in the bottom right corner, consisting of a horizontal line with vertical ticks at each end, labeled "100μm".

CZ 6.1, CZ 7.3 - 7.5

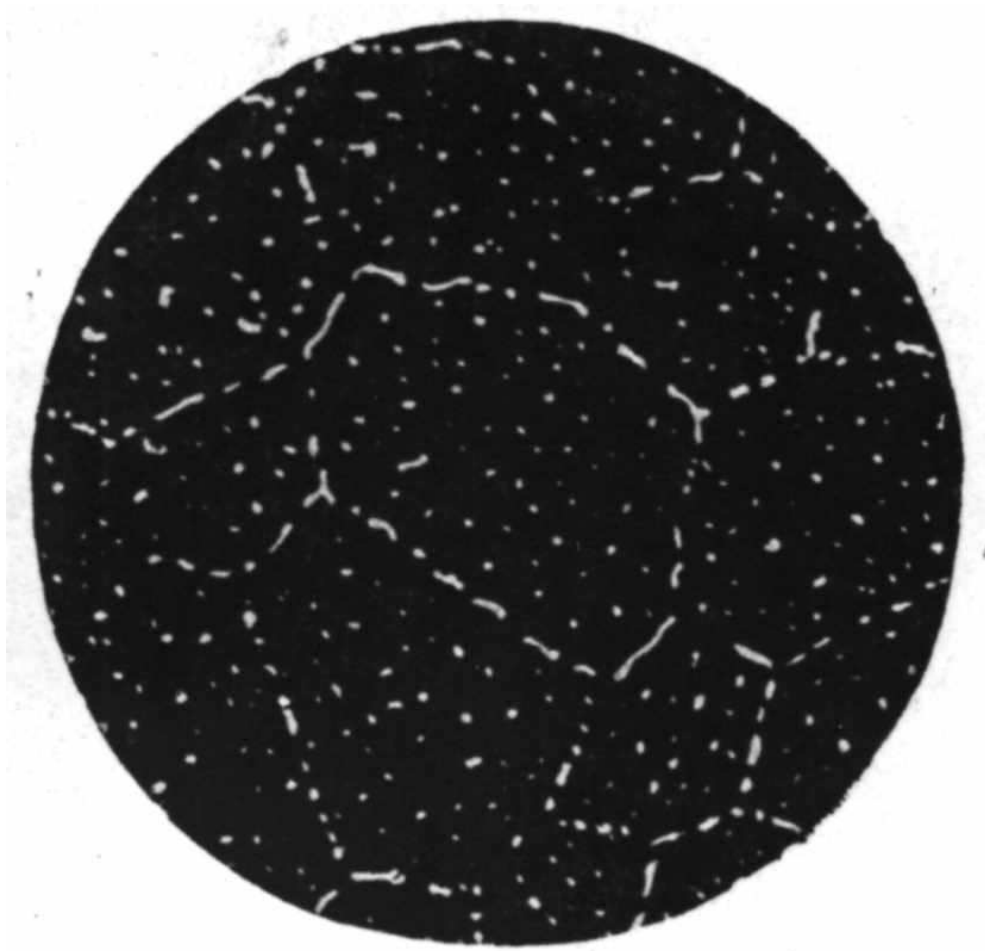


Karbidická sieťka, t.j. **rozloženie karbidov po hraniciach zŕn** sa **obecne vyskytuje najčastejšie zo všetkých chýb**.

Takto vylúčené karbidy spôsobujú zníženie dynamickej únosnosti, zníženie vrubovej húževnatosti a pri zaťažení dochádza k porušovaniu materiálu prednostne na hraniciach zŕn.

Vznik karbidickej siete zapríčiňuje nesprávny technologický postup pri tavení, odlievaní, kryštalizácii a pri tvárnení ocele. Dôležitý je najmä spôsob ochladzovania po valcovaní. Pri rýchlom ochladzovaní sa vylúči málo karbidov po hraniciach zŕn.

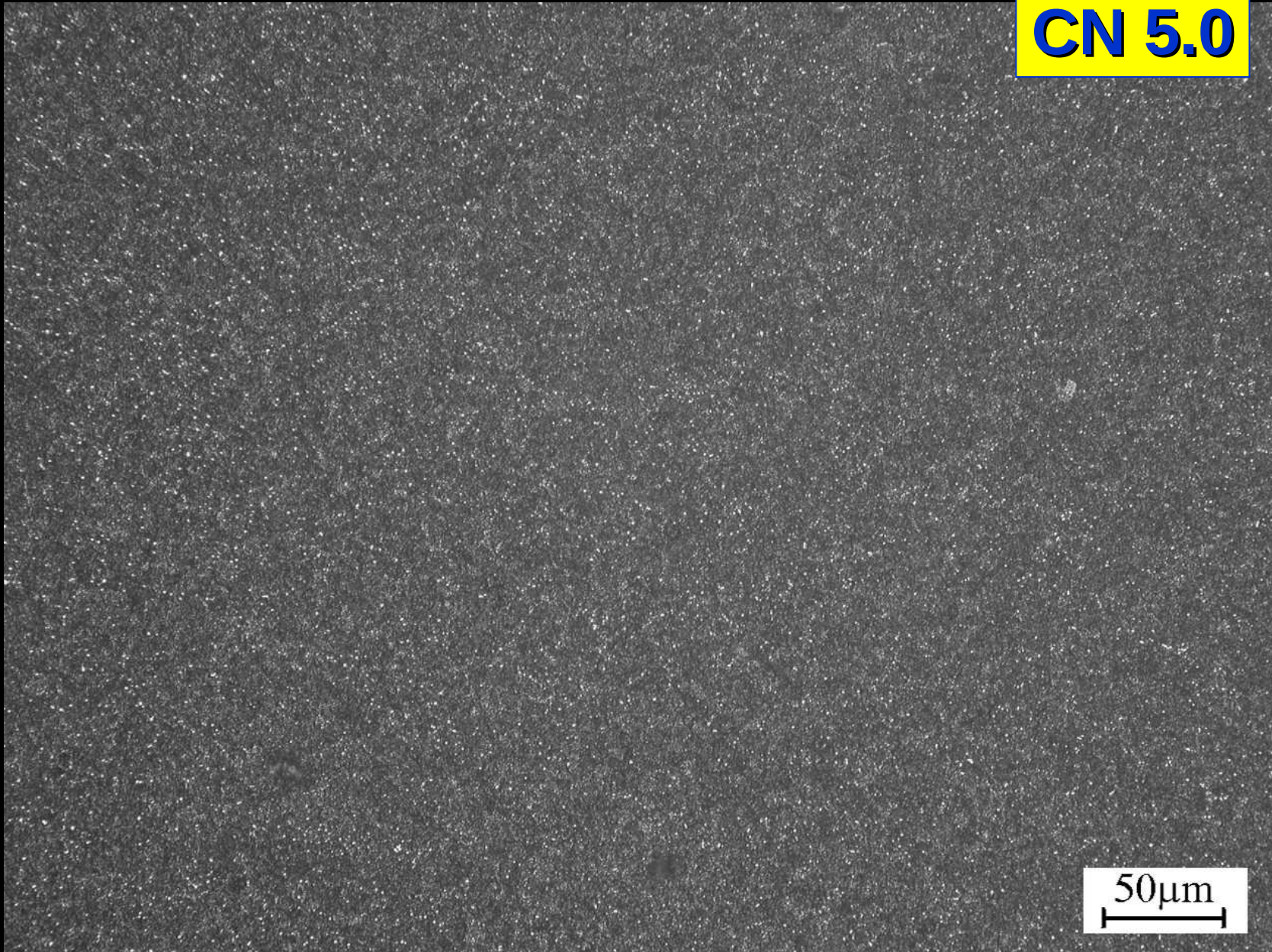
Karbidická sieťka – CN sa hodnotí podľa DIN 50 602 - porovnávaním vyvolanej mikroštruktúry na celej ploche jednotlivých vzoriek, s etalónmi, pri danom zväčšení.



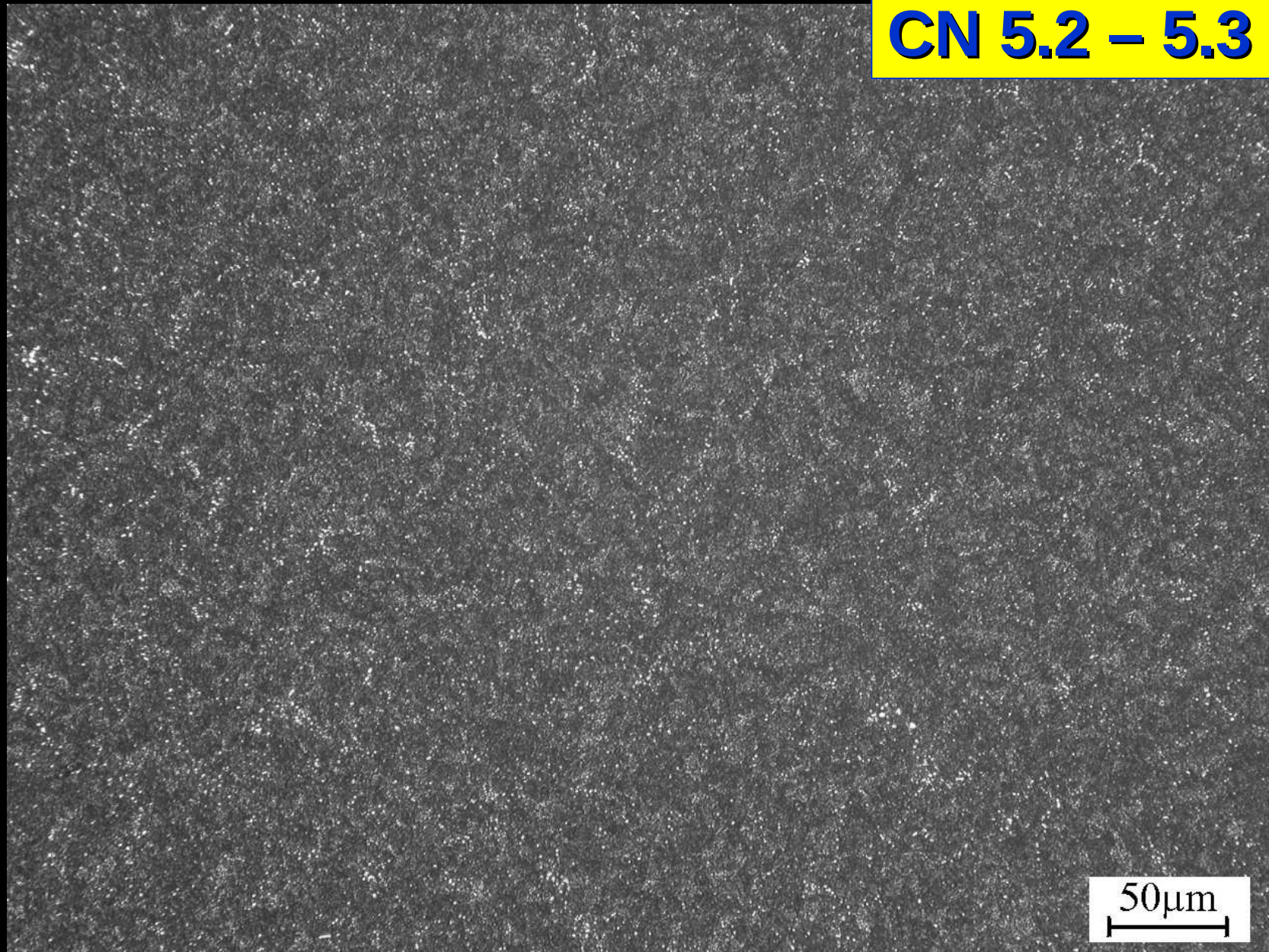
Hodnotenie pri zv. 200 x
Etalón 5

CN 5.0

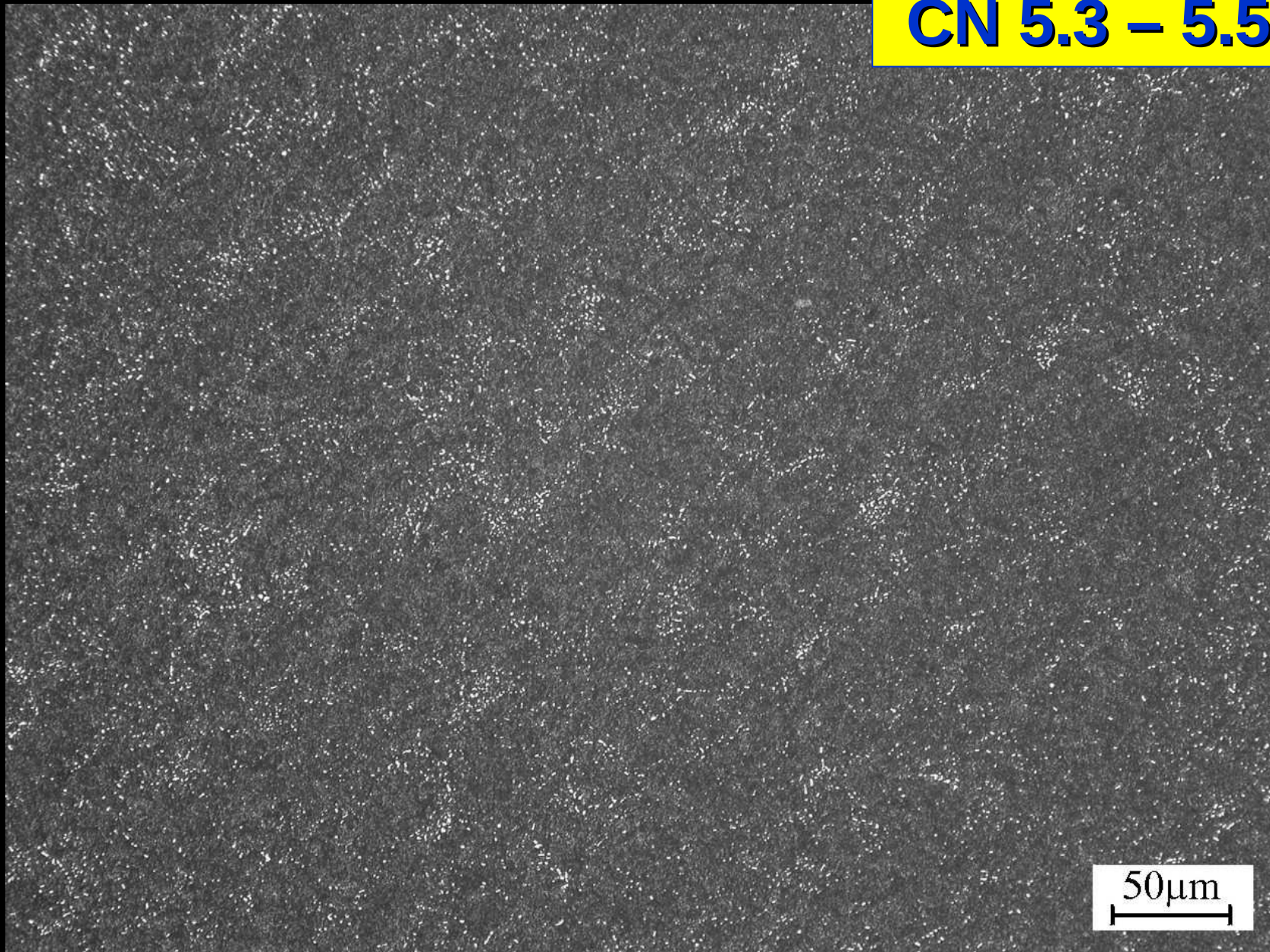
50μm

A grayscale micrograph showing a dark, granular surface. The texture is composed of many small, light-colored particles or grains against a darker background. In the top right corner, there is a yellow rectangular label with the text "CN 5.0" in blue. In the bottom right corner, there is a white rectangular label with the text "50μm" and a horizontal scale bar below it.

CN 5.2 – 5.3



CN 5.3 – 5.5



Protokol o hodnotení LO obsahuje:

- **Druh ocele a prípadne identifikačné číslo tavby**
- **Rozmery, z ktorých boli odobrané príslušné vzorky**
- **Zodpovedajúci stav tepelného spracovania, v prípade potreby osobitný stav spracovania vzoriek**
- **Zodpovedajúca poloha skúšobnej plochy v priereze a v prípade potreby jej veľkosť**
- **Postup skúšky a hodnotenia**
- **Zistené hodnoty porovnávaním s etalónmi (napr. CG, CN, CZ)**