

OCELE NA ZVAROVANÉ KONŠTRUKCIE

Ocele na zvarované konštrukcie.

- Sú to ocele **triedy 11 s nízkym % uhlíka**.
- Pretože zvarateľnosť zhoršuje najmä C, obmedzuje sa jeho obsah v oceliach na zvarované konštrukcie na max. **0,20 %**, mimoriadne na max. **0,25 %**.
- Neuspokojené ocele sú vhodné na zvarované súčiastky s hrúbkou steny maximálne 16 mm, ocele uspokojené (+ Si) do 25 mm. Pri väčšej hrúbke steny sa už používajú ocele uspokojené Al alebo mikrolegované Nb, V alebo Ti.
- Najbežnejšie sa používajú značky **11 343, 11 373 a 11 423**. Ocele **11 375 a 11 425** sa vyrábajú prevažne ako martinské ocele uspokojené, čo umožňuje zaručiť zvarateľnosť do väčších hrúbok súčastí ako u predchádzajúcich značiek.

Chemické zloženie vybraných ocelí zvyčajnej akosti

Značka ocele	Chemické zloženie (%)					
	C	Mn	Si _{max}	P	S	Al _{min}
11 343	max. 0,17	max. 0,45	max.0,15	max.0,030	max.0,025	
11 373	max. 0,22			max.0,05	max.0,05	
11 375	max.0,20					
11 402	max.0,10	max.0,55	max.0,15	max.0,03	max.0,025	
11 423	max.0,22			max.0,05	max.0,05	
11 431	max.0,20	max.0,80	max.0,35	max.0,035	max.0,03	min.0,02
11 457	max.0,18	max.1,30	max.0,40	max.0,04	max.0,04	

Okrem zaručenej zvárateľnosti a bežných mechanických vlastností sa u nich požaduje:

- odolnosť proti krehkému porušeniu,
- nízka prechodová teplota a tvárnosť za studena.

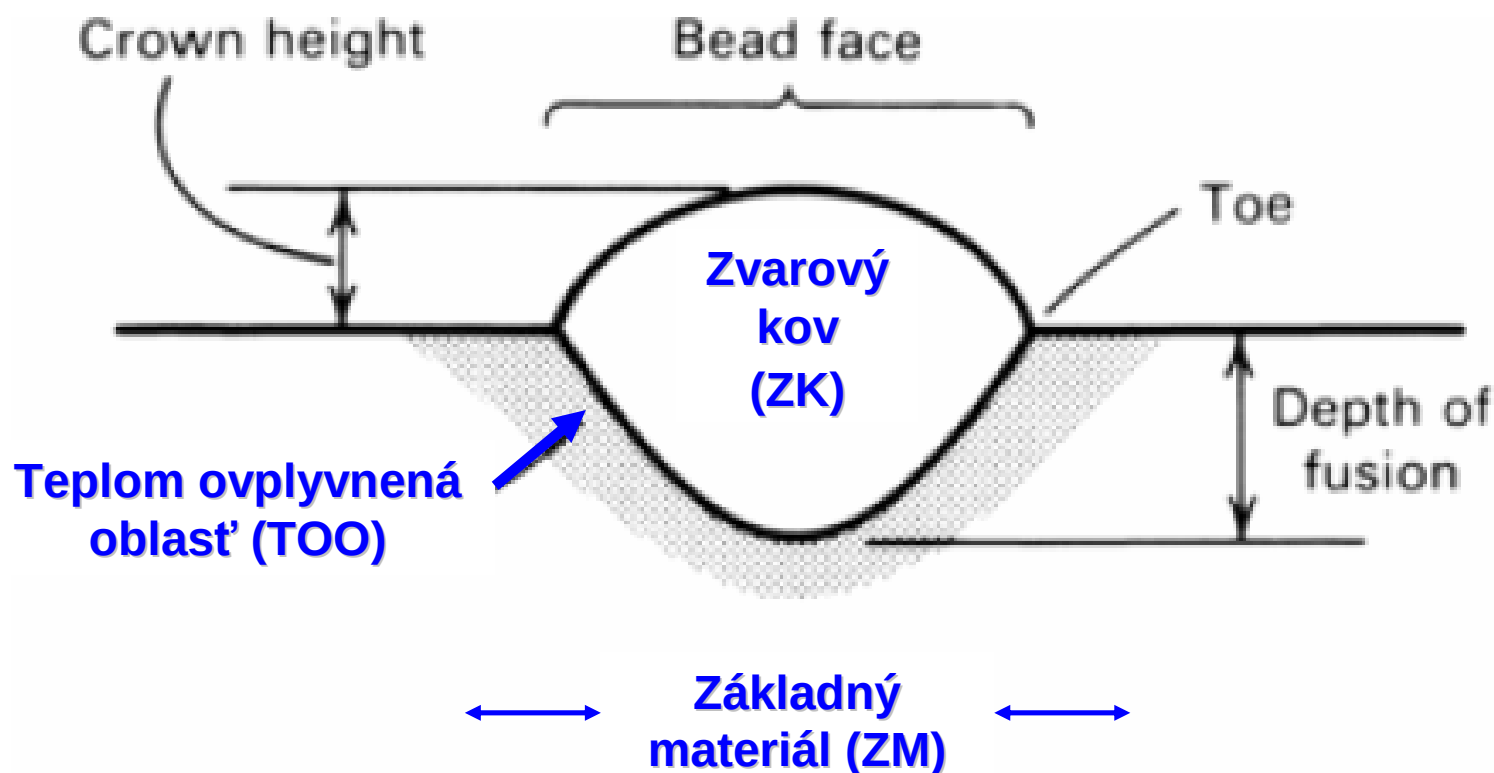
- Popri lacných zvárateľných oceliach (Tr.11) smerujú vývojové tendencie **k jemnozrnným oceliam so zvýšenou medzou klzu - R_e .**
- Ocele so zvýšenou medzou klzu majú hodnoty **$R_e > 300 \text{ MPa}$** a súčasne zaručenú zvárateľnosť bez osobitných opatrení pri zváraní. K základným podmienkam zaručenej zvárateľnosti patrí nízky obsah uhlíka **(do 0,2 %).**
- Zvýšenie medze klzu sa dosahuje predovšetkým pôsobením malého množstva vhodne zvolených prísadových prvkov do obsahu **0,15 %**. Tieto ocele preto nazývame **mikrolegované ocele**.

Ocele so zvýšenou medzou klzu

- Ocele s medzou klzu **300 až 500 MPa** majú feriticko-perlitickú štruktúru. Zvýšenie pevnosti sa pri nich dosahuje **disperzným spevnením intermediárnymi zlúčeninami** (karbidmi, nitridmi) mikrolegúr.
- Ocele s medzou klzu **nad 500 MPa** sú **legované Mn, Cr, Ni, Mo, V, Ti, Nb a B do celkového obsahu maximálne 3 až 4 %**. Vysoká hodnota R_e sa dosahuje pri martenzitickej, bainitickej alebo sorbitickej štruktúre. Pri vhodne legovaných oceliach sa požadovaná štruktúra dosahuje už riadeným ochladzovaním z dovalcovacej teploty.

ZVÁRATEĽNOSŤ - spôsobilosť materiálu, ktorá umožňuje zhotoviť zvaraním, za určitých technologických podmienok, zvarové spoje požadovaných vlastností.

Vo všeobecnosti pojem zvarateľnosť vyjadruje tepelné a deformačné ovplyvnenie materiálu v oblasti spoja zvaracím procesom.



Zvárateľnosť má tri aspekty:

- **materiálový;**
 - posudzuje vhodnosť materiálu na zváranie, t.j. vyjadruje reakciu materiálu na proces zvárania.
- **technologický;**
- **konštrukčný.**

Ak chceme určiť zvárateľnosť ocele, je potrebné vykonať identifikáciu základného materiálu, takže musíme zistiť:

- **spôsob výroby a stav ocele;**
- **chemické zloženie;**
- **mikroštruktúru ocele a zvarového spoja;**
- **mechanické vlastnosti.**

Zvárateľnosť vyjadrujú podľa normy STN 05 1312 tri skupiny ukazovateľov:

- **výpočtové** (uhlíkový ekvivalent, tvrdosť),
- **náchylnosť ocele na jednotlivé typy praskania,**
- vlastnosti zvarového spoja dané štruktúrnymi zmenami.

Zvárateľnosť ocele závisí predovšetkým od chemického zloženia. Jeho vplyv sa posudzuje podľa hodnoty uhlíkového ekvivalentu C_E .

Uhlíkový ekvivalent je možné vypočítat' zo vzťahu:

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

- platí pre ocele s pevnosťou medzi 370 až 700 MPa.

Podľa tohto vzťahu nevyžadujú ocele s pevnosťou 370 až 520 MPa pri zváraní zvláštne opatrenia pokiaľ je obsah $C < 0,22 \%$, $C_E < 0,4 \%$ a hrúbka materiálu menšia ako 37 mm.

U ocelí s pevnosťou medzi 500 až 700 MPa musí byť obsah $C < 0,20 \%$, $C_E < 0,45 \%$ a hrúbka steny max. 25 mm.

Zvárateľnosť najviac zhoršuje % C.

Zliatinové prvky a hrúbka materiálu ovplyvňujú precipitáciu, rekryštalizáciu, polymorfné premeny a hrubnutie zrna pri ohreve a následnom ochladzovaní.

Najviac je **nežiadúci vznik štruktúr s nízkou plasticitou** (martenzit, dolný bainit, Widmannstättenova štruktúra) a **nestabilných štruktúr** (presýtené tuhé roztoky), ktoré potom môžu byť príčinou vážnych prevádzkových problémov (strata korózných vlastností, pokles pevnosti i plasticity, tvorba trhlín a pod.).

Štruktúrne ukazovatele nie sú kategorizované a pre daný materiál sú dané tvarom teplotného cyklu (závislosť teploty od času v teplom ovplyvnenej oblasti) a výškou maximálnej teploty $T_{\max}$ teplotného cyklu.

Zvárateľnosť ovplyvňuje aj teplota predohrevu, postupná rýchlosť zvarovania a geometria spoja (príp. zvýšenie hrúbky – vzrastie rýchlosť odvodu tepla).

ZVÁRATEĽNOSŤ :

1. Zaručená

Výrobca zaručuje zvárateľnosť pri zváraní pri teplotách až do 0 °C bez zvláštnych opatrení, pod 0 °C pri zvláštnych opatreniach.

2. Zaručená – podmienená

Výrobca zaručuje zvárateľnosť pri dodržaní vopred stanovených podmienok, ktoré sú predpísané v normách akosti. Záruka zvárateľnosti platí len pre zvarové spoje zvarené podľa týchto predpisov.

3. Dobrá

Výrobca nezaručuje zvárateľnosť, ale zvarové spoje sú u týchto ocelí vo väčšine prípadov vyhovujúce. Zvláštne opatrenia sú potrebné len výnimočne.

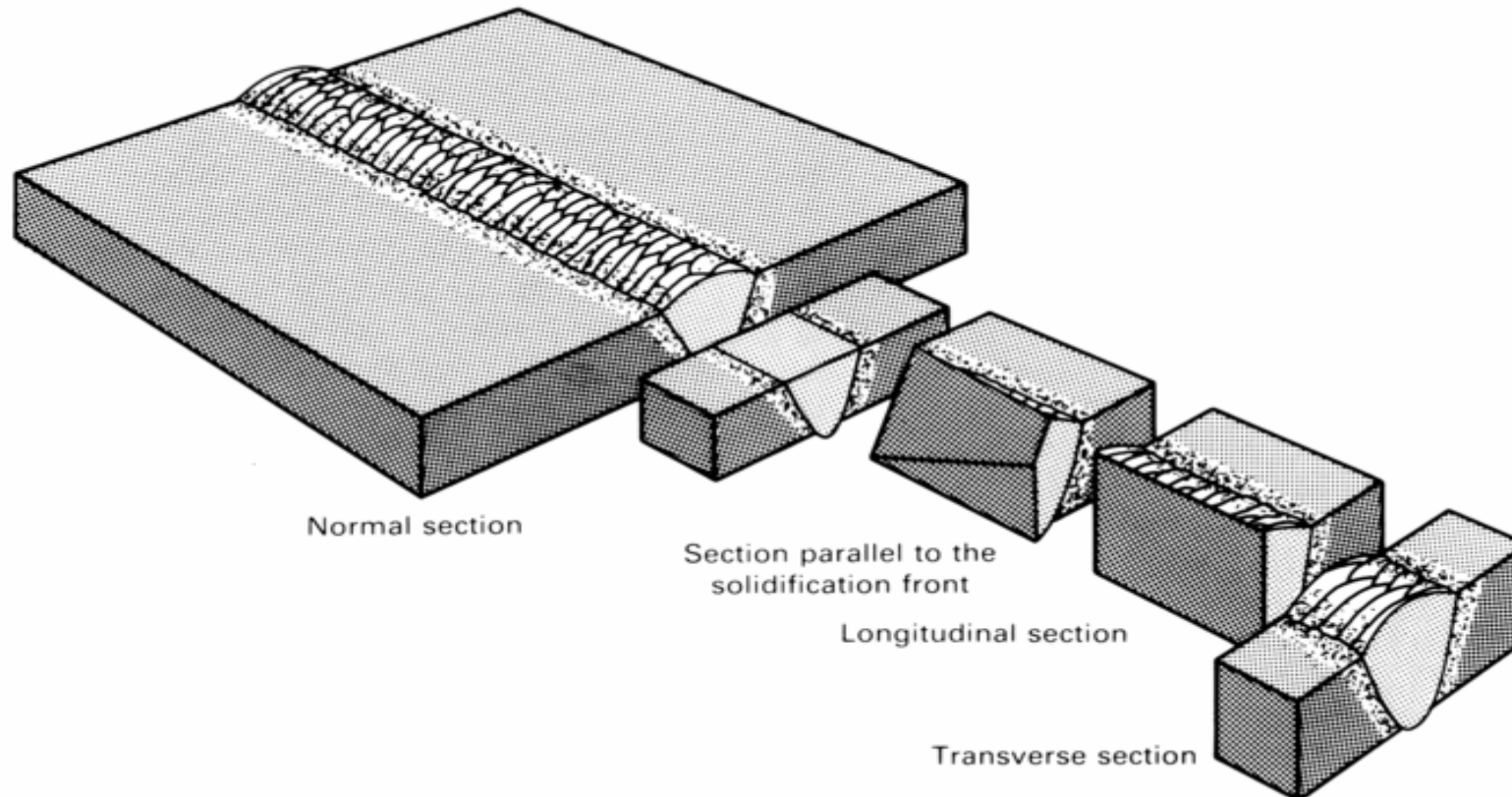
4. Obtiažna

U týchto ocelí sa nedá dosiahnuť vyhovujúca akosť zvarového spoja ani pri dodržaní zvláštnych opatrení. Použitie týchto ocelí sa na zváranie nedoporučuje.

ŠTRUKTÚRNA ANALÝZA ZVAROV

STANOVENIE MAKROŠTRUKTÚRY ZVAROV

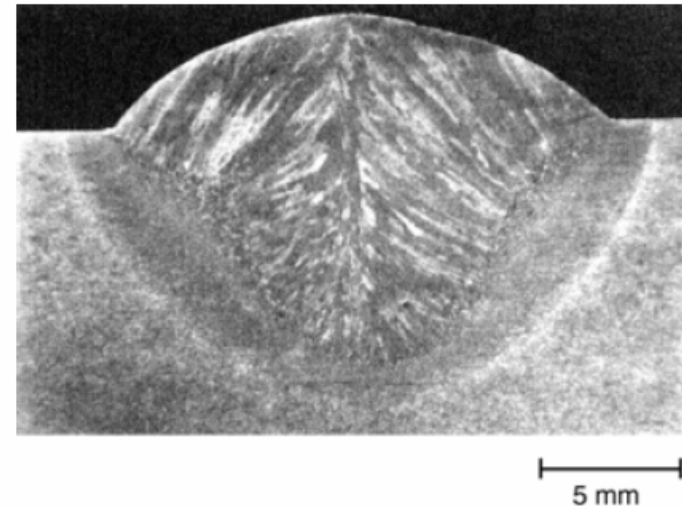
Na celkovú charakteristiku zvarového spoja má zásadný vplyv kvalita dosiahnutého kovového spojenia, vlastnosti prechodovej zóny, prítomnosť väd v zvarovom spoji. Makroštruktúra sa zisťuje na **vzorkách odobratých zo zvarovej oblasti tak, aby zachytili celý zvarový spoj spolu aj časť základného neovplyvneného materiálu.**



Vyhodnocuje sa **plocha priečneho rezu**, ktorá sa pre skúšku upravuje brúsením alebo leštením. Ak rezová plocha nie je príliš drsná, makrovýbrus možno pripraviť aj na neupravenej rezovej strane.

Ako leptadlá sa používajú:

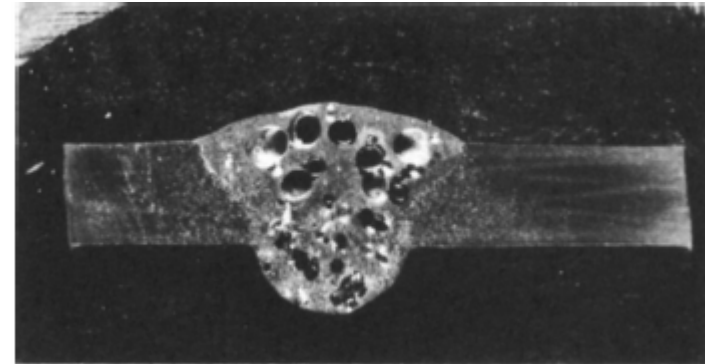
- zriedená HCl
- Nital
- 10 -15 % persíran amónny

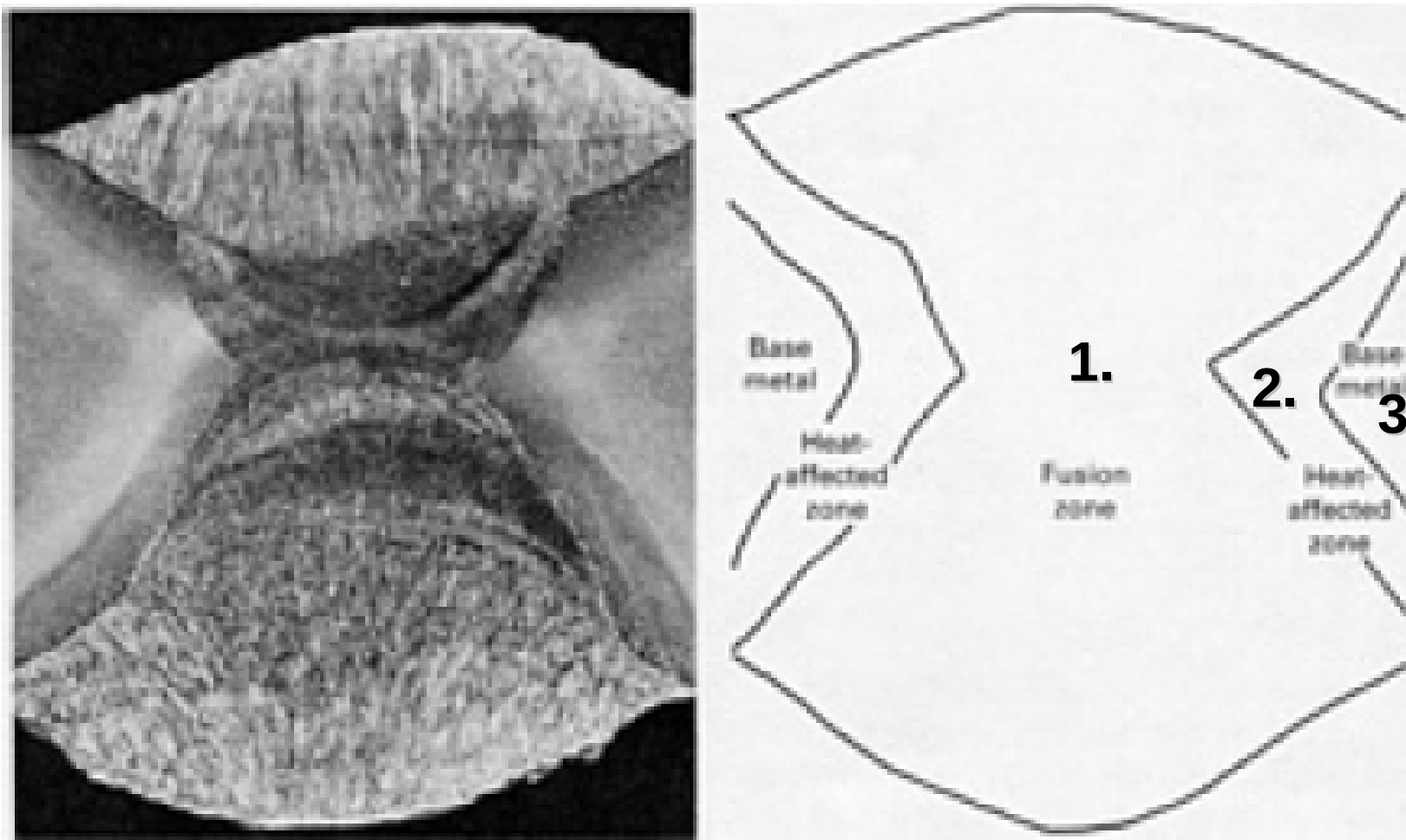


Leptať je treba dosť dlho, aby sa objavili a rozšírili necelistvosti, t.j. dutiny a trhliny, resp. hrubé vmestky.

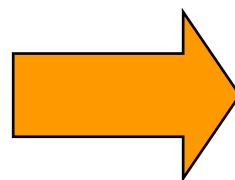
Makroštruktúra zvaru sa potom vyhodnocuje podľa týchto hľadísk:

- **pozoruje sa kvalita spojenia;**
- **či vôbec došlo k spojeniu;**
- **či nejde o studený spoj, atď.;**
- **sleduje sa charakter prechodovej oblasti zo zvaru do základného materiálu;**
- **vyhodnotí sa, či ide o prechod ostrý, alebo pozvoľný;**
- **hodnotí sa prítomnosť väd, najmä trhlín, dutín, bublín a nezvarených miest;**
- **pozoruje sa tvar zvaru, alebo spôsob nanášania jednotlivých húseniek.**





**Makroskopické
hodnotenie**



- 1. Zvarový kov
- 2. TOO
- 3. Základný materiál

Zvarový kov (množstvo roztaveného kovu je malé, rýchlosť ochladzovania veľká, primárna štruktúra je hrubozrnná, výrazne orientovaná – **Kolumnárne kryštály**).

Tvorí sa v procese zvarovania pretavením prídavného materiálu a časti základného materiálu, prípadne prechádzajúcej húsenky.

- pri viacvrstvovom zware (dvoj, troj) má prvá a druhá vrstva jemnú pravidelnú štruktúru, len tretia posledná má kolumnárnu štruktúru.
- pri zvarovaní plameňom, keď sa zvar spravidla robí ako 1-vrstvový je množstvo roztaveného kovu oveľa väčšie, rýchlosť ochladzovania menšia a výsledná štruktúra je hrubá, nepravidelná a s výraznou orientáciou v celom priereze zvaru.

Môžeme tu sledovať:

- **makroskopické vady zvaru v rovine výbrusu**
- **stanoviť postup výroby zvaru**

TOO – vplyvom miestneho ohrevu v zvare vznikajú miesta s rozličnou teplotou, od teploty tavenia kovu až po teplotu okolia. Nastávajú tu veľké zmeny v štruktúre ocele, mení sa zrno.

- pri leptaní na makro má inú intenzitu leptania, takže je výrazne oddelená od ZK a ZM.
- z jej rozmerov a šírky môžeme usudzovať o prehriatí ZK, príp. o technológii a parametroch zvárania

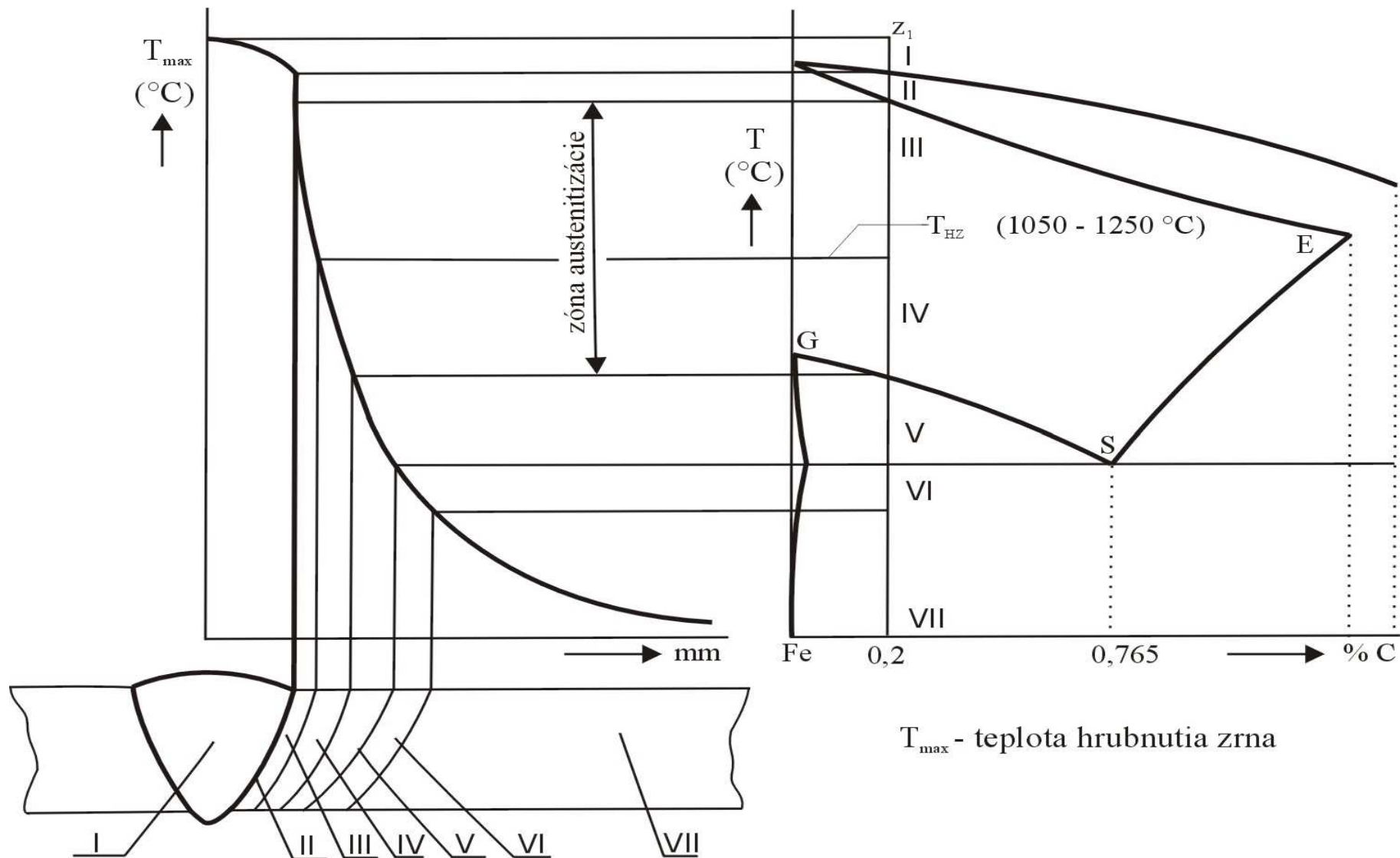
Základný materiál – začína tam, kde materiál vôbec nebol ohriaty, resp. ohrev nemal za následok štruktúrnu zmenu, je to teda oblasť zváraním neovplyvnená.

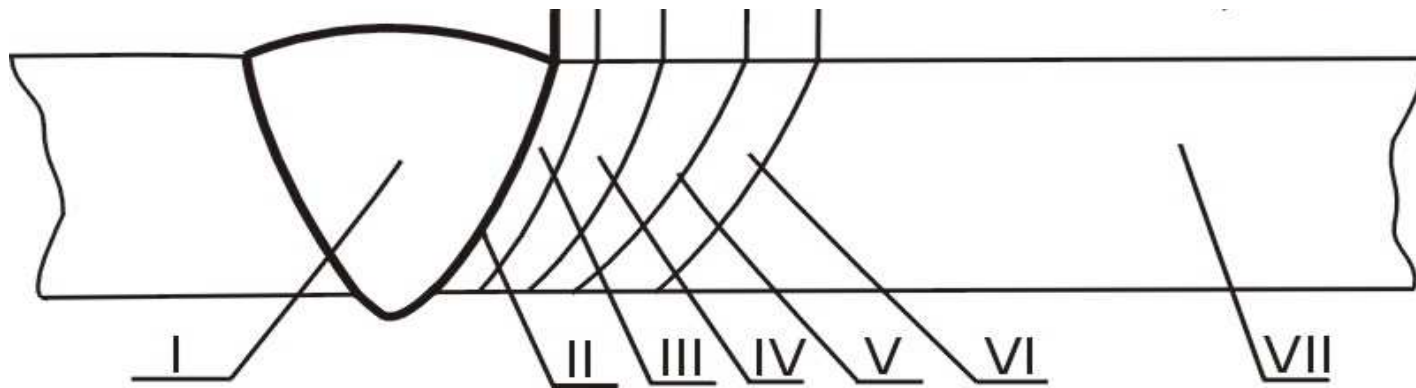
Návod na hodnotenie charakteristík zvarového spoja

Charakteristiky zvarového spoja	Chyba EN 26520	Makroskopický rozbor bez leptania	Makroskopický rozbor s leptaním	Mikroskopický rozbor bez leptania	Mikroskopický rozbor s leptaním
1 Horúce trhliny	100	X	X	X	X
2 Studené trhliny	100	X	X	X	X
3 Lamelárne trhliny	100	X	X	X	X
4 Dutiny	200	X	X	X	X
5 Vtrúseniny	300	X	X	X	X
6 Neprievar	400	X	X	X	X
7 Geometrický tvar	500	X	X		
8 TOO			X		x
9 Húsenice a vrstvy			X		(X)
10 Hranica zrna				(X)	X
11 Štruktúra zrna					X
12 Kryštalizačná štruktúra			X		X

Charakteristiky zvarového spoja	Chyba podľa EN 26520	Makroskopický rozbor bez leptania	Makroskopic ký rozbor s leptaním	Mikroskopický rozbor bez leptania	Mikroskopický rozbor s leptaním
13 Príprava spoja		(X)	X	X	X
14 Smer valcova- nia/pretláčania			X		X
15 Smer vláknovej štruktúry (zrno)			X		X
16 Segregácia			X		X
17 Precipitácia					X
18 Oprava a nesúlad		(X)	X	(X)	X
19 Mechanické/ tepelné vplyvy			X		X
X – určenie charakteristiky (X) – charakteristika môže a nemusí byť určená					

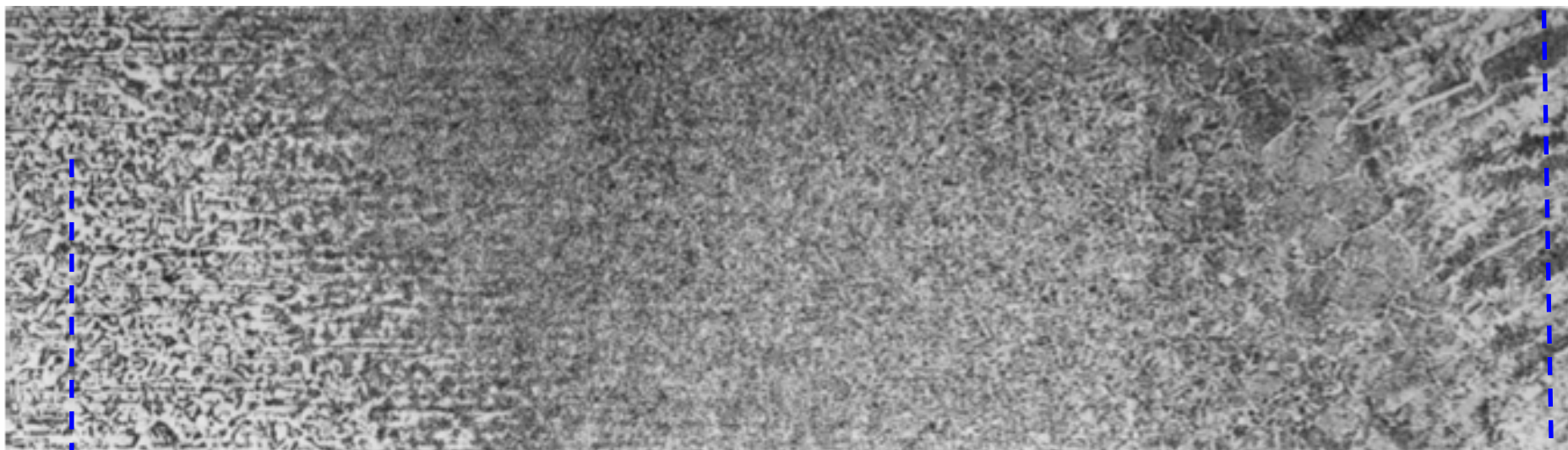
MIKROŠTRUKTÚRA ZVAROVÉHO SPOJA





- I. Mikroštruktúra zvarového kovu (ZK)**
- II. Mikroštruktúra zóny čiastočného natavenia (hranica natavenia)**
- III. Mikroštruktúra podhúsenicovej zóny**
- IV. Mikroštruktúra zóny normalizácie**
- V. Mikroštruktúra zóny čiastočnej prekryštalizácie**
- VI. Mikroštruktúra zóny žíhania na mäkko**
- VII. Mikroštruktúra základného materiálu (ZM)**

Zvarový kov



500 μm

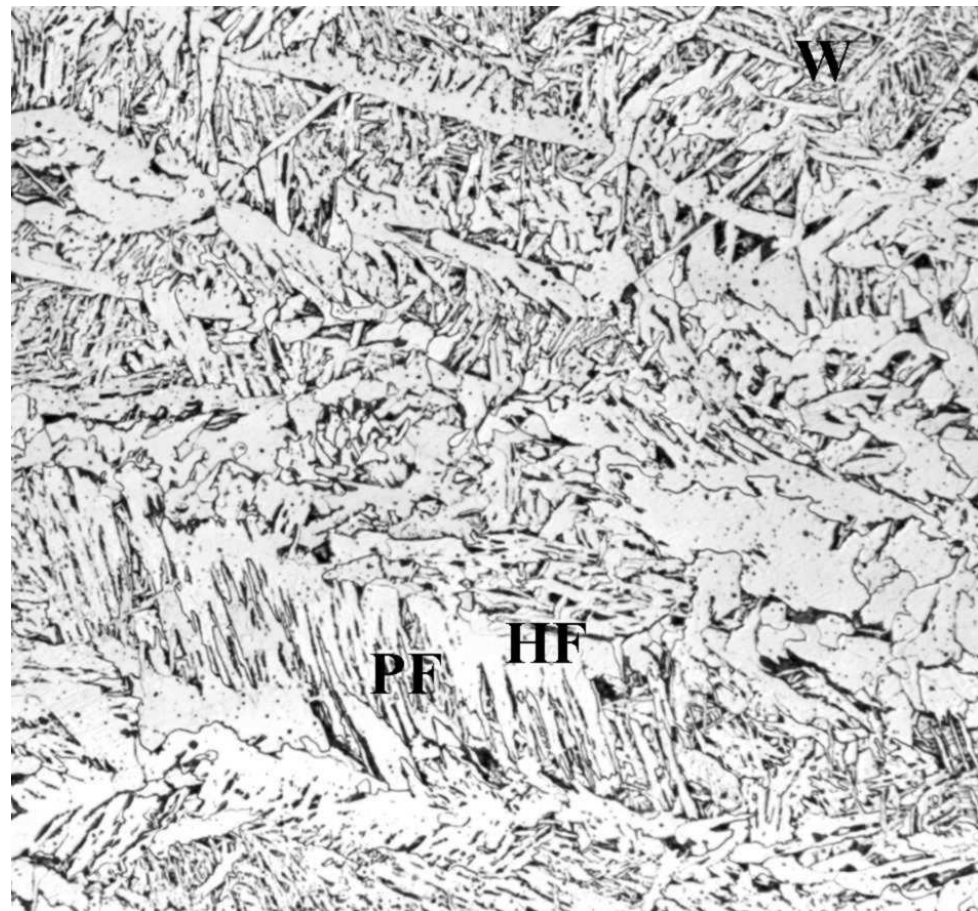
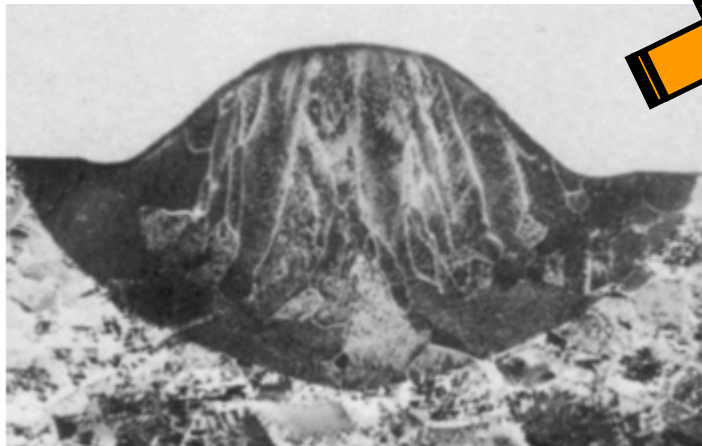
Základný materiál

I- Mikroštruktúra zvarového kovu (ZK)

Mikroštruktúra zvarového kovu je tvorená **kolumnárnymi** kryštálmi, ktorých kryštalizácia začína na stenách neroztaveného alebo čiastočne nataveného základného materiálu.

Klasifikáciu mikroštruktúr ZK môžeme urobiť nasledovne:

- Primárny ferit
- Polyedrický ferit
- Postranný ferit
- Acikulárny ferit hrubý
- Acikulárny ferit jemný



II – Mikroštruktúra zóny čiastočného natavenia (hranica natavenia)

Zóna II je oblasť teplôt medzi likvidom a solidom príslušnej ocele. Táto zóna (pásmo) je veľmi úzka a **ťažko metalograficky rozlíšiteľná.**

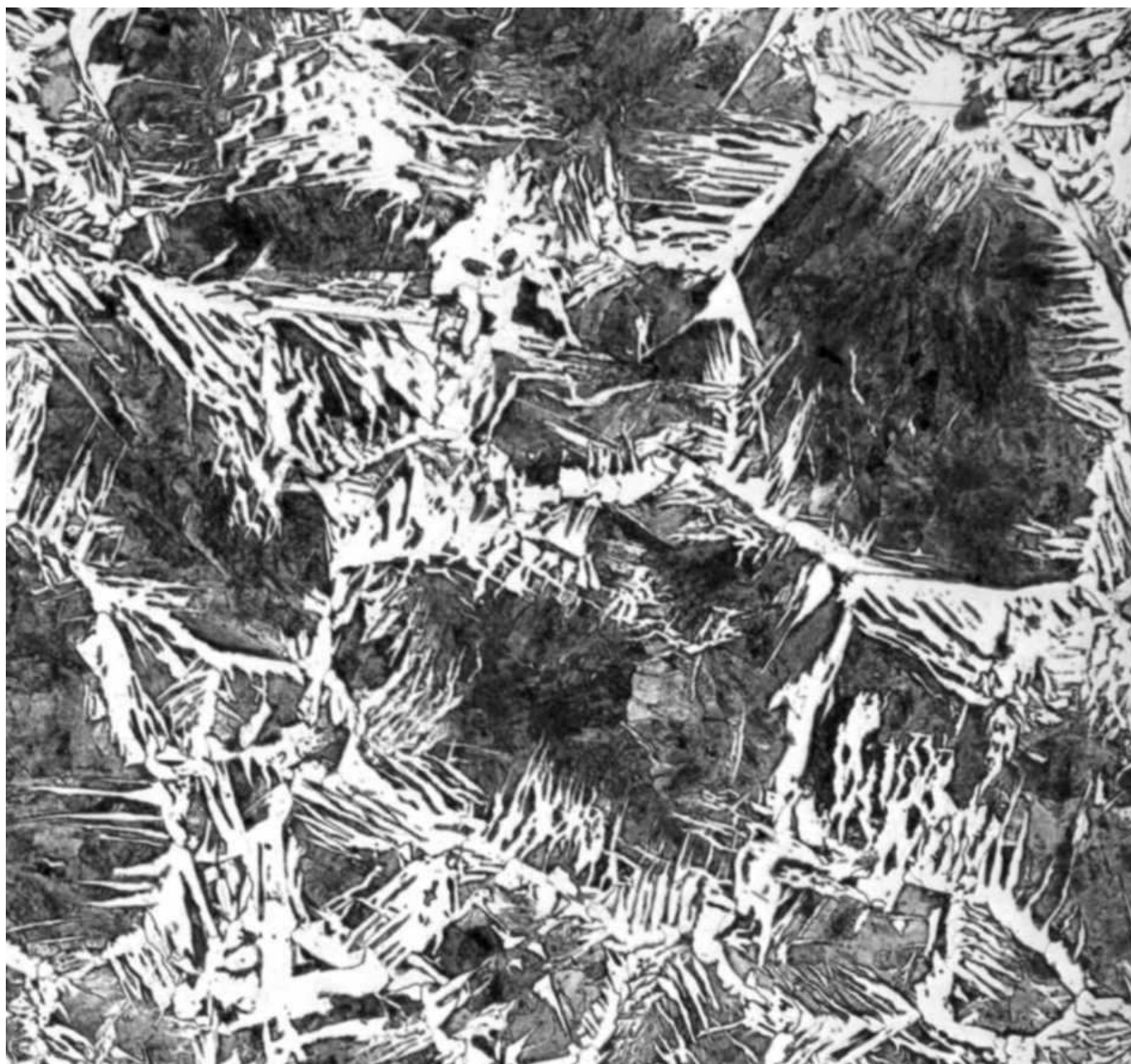
(Dochádza k vyrovnaniu chemického zloženia. V dôsledku priameho kontaktu so zvarovým kovom je tu možnosť intenzívnej difúzie vodíka a teda i možnosť iniciácie trhlín za studena.)

III – Mikroštruktúra podhúsenicovej zóny

V tejto oblasti (interval teplôt medzi $A_{c_3} + 150\text{ °C}$ až solidus) nastáva **zhrubnutie austenitického zrna** v dôsledku ohrevu na vysoké teploty u ocelí, náchylných na rast austenitického zrna zváraných s veľmi vysokým tepelným príkonom (rast zrna je vyvolaný výdržou na vysokej teplote).

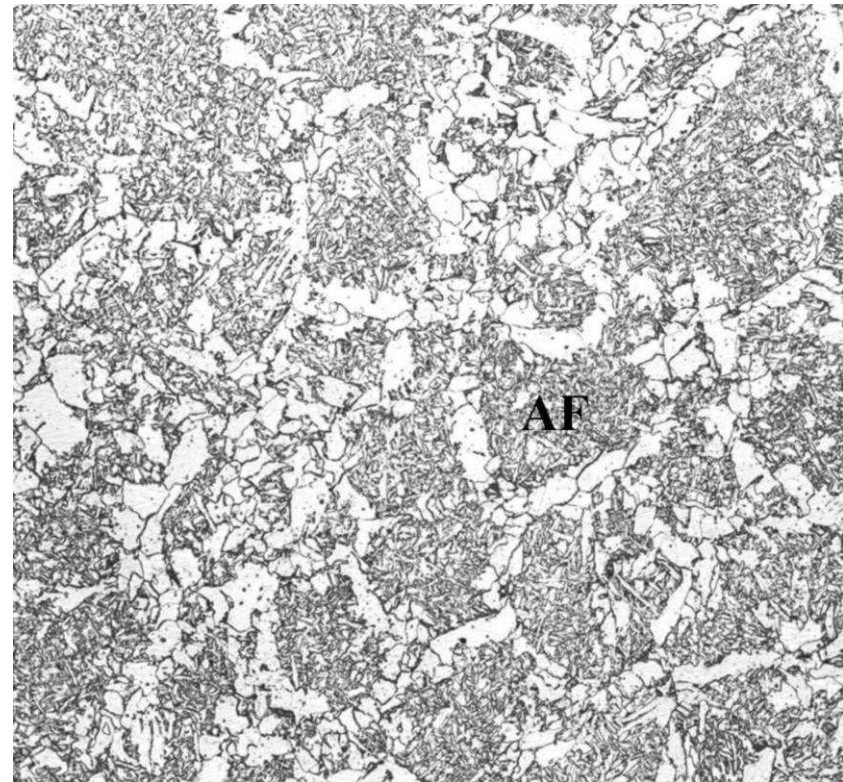
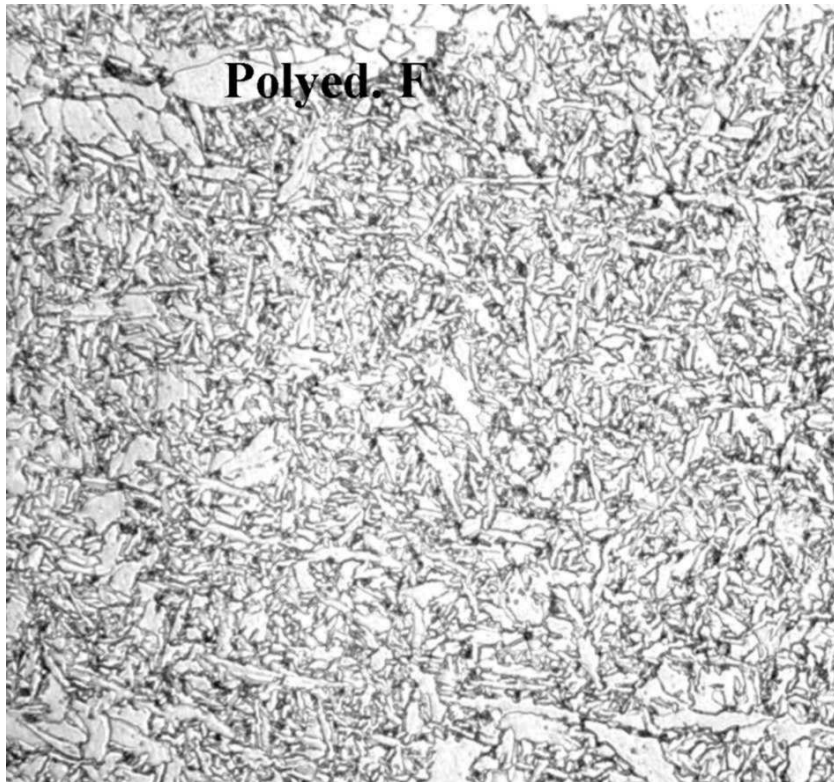
Pri ochladzovaní nízkouhlíkových ocelí vzniká feriticko-perlitická štruktúra s výraznou **Widmanstättenickou štruktúrou (W)**, ktorá vzniká v dôsledku orientovaného vylučovania feritu.

- ferit prednostne prekryštalizuje po hraniciach zŕn austenitu a v tvare ihlíc vo východzích kryštalografických smeroch.
- vylúčenie feritu je charakteristické – sieťovo vylúčený ferit, z ktorého vyrastajú primárne feritické ihlice často svojou dĺžkou totožné s veľkosťou pôvodných austenitických zŕn. z týchto potom vyrastajú sekundárne, príp. ternárne feritické ihlice. Perlit je vylúčený v degenerovanej forme – v medziferitickom priestore.



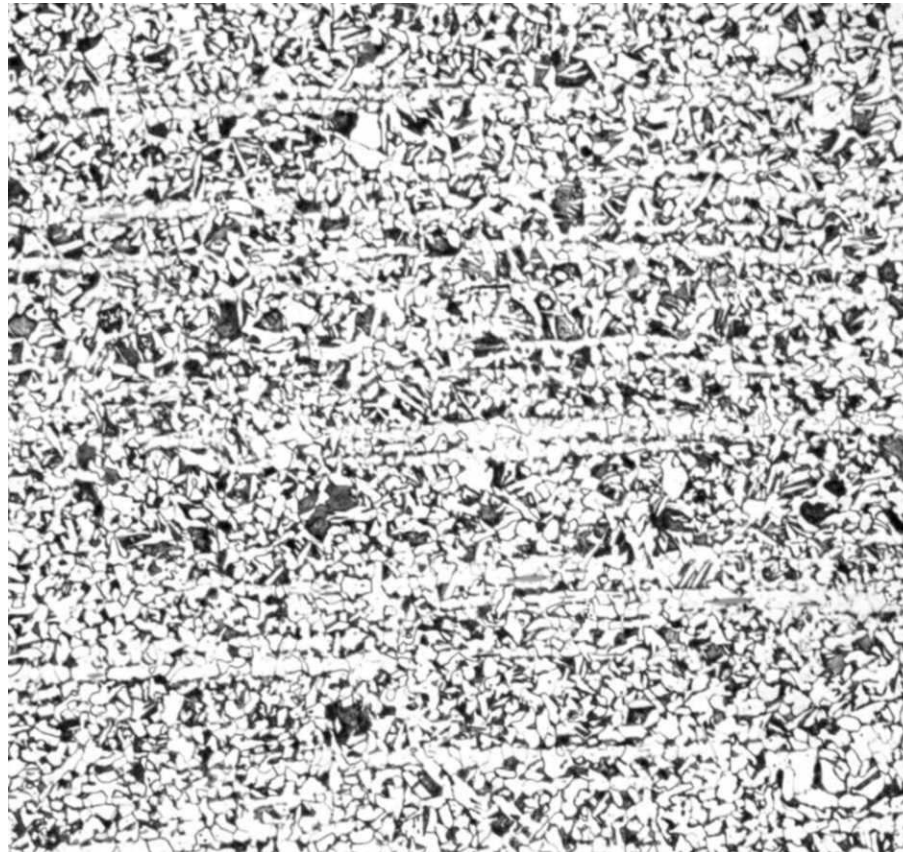
Mikrolegované zvárateľné ocele so zvýšenou R_e sa v dôsledku mikrolegovania chovajú pri ohreve odlišne a v TOO nenastáva taký výrazný nárast austenitického zrna.

Výsledná mikroštruktúra je charakterizovaná výskytom polyedrického feritu a acikulárneho feritu (AF) vo vnútri pôvodného austenitického zrna.



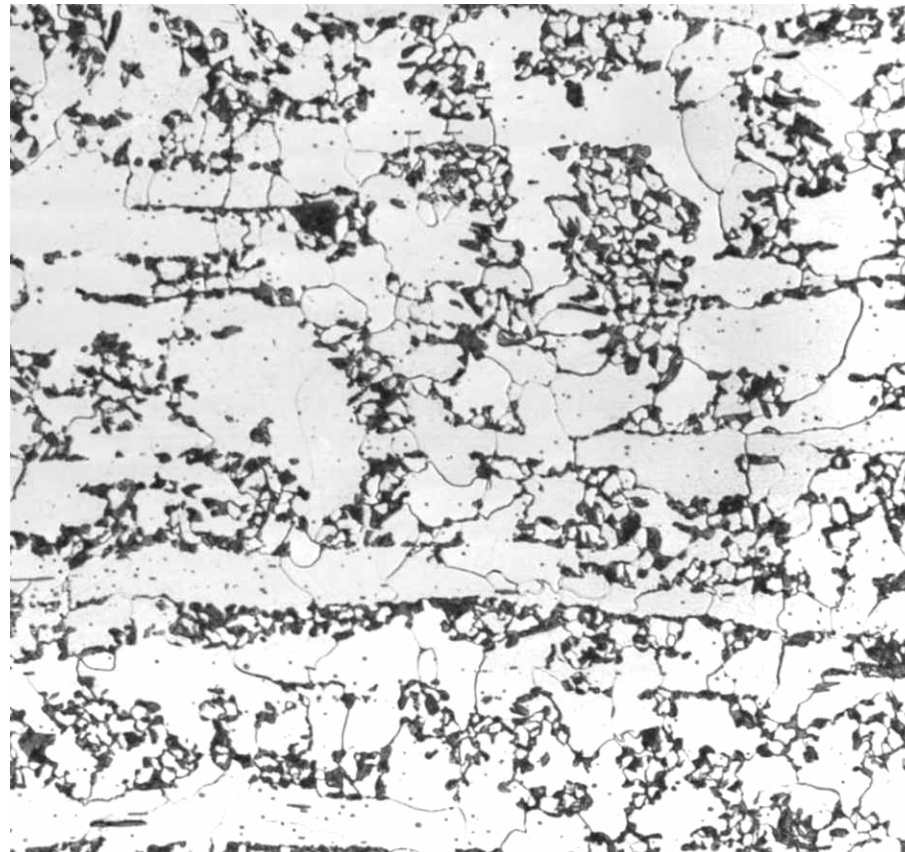
IV – Mikroštruktúra zóny normalizácie

Po ochladení z oblasti teplôt A_{c_3} až $A_{c_3} + 100$ až $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ vzniká jemnozrnná feriticko - perlitická polyedrická štruktúra.



V – Mikroštruktúra zóny čiastočnej prekryštalizácie

V oblasti teplôt medzi Ac_1 až Ac_3 dochádza k čiastočnej austenitizácii. Pri ochladzovaní nízkouhlíkových ocelí vzniká transformovaný perlit chumáčkovitého tvaru.



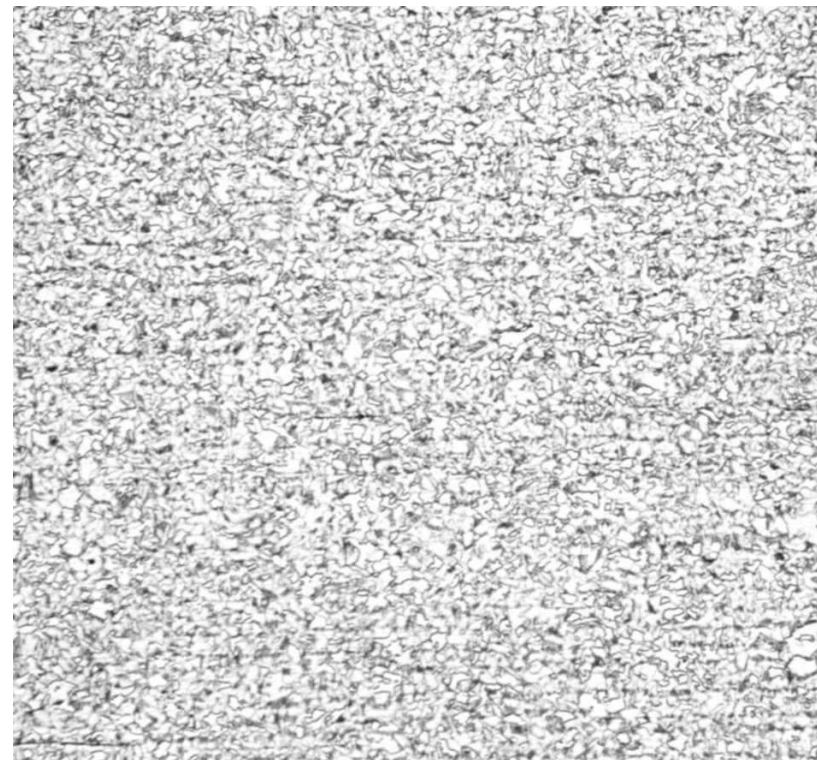
VI – Mikroštruktúra zóny žíhania na mätko

Je to oblasť teplôt s $T_{\max}$ medzi 500 °C až A_{c1} .

Pri bežných metódach zvarania (elektródou, v ochrannej atmosfére) zmeny mikroštruktúry nenastávajú. U metód s veľkým tepelným príkonom môže dôjsť k čiastočnej sferoidizácii perlitu.

VII – Mikroštruktúra základného materiálu (ZM)

Moderné konštrukčné ocele sú charakterizované tým, že sa u nich vo vysokej miere využívajú fyzikálne metódy spevňovania, ako je zjemnenie zŕn, precipitačné, substitučné a intersticiárne spevnenie, ktoré dosahujeme napr. termomechanickým spracovaním, disperzným spracovaním a pod. Toto umožňuje znížiť priemerný obsah C v oceli, takže súčasné ocele tejto kategórie majú typický obsah uhlíka do 0,15 %.



Protokol o skúške - musí obsahovať:

- odkaz na normu;
- označenie typu rozboru;
- umiestnenie a orientácia skúšobných vzoriek a skúmaného povrchu;
- má sa uviesť aj protokol o schválení postupu zvarovania (WPAR), alebo ak nie je k dispozícii, tak aspoň typ základného a zvaracieho materiálu a ak sa používa, aj tepelné spracovanie po zvarení a leptanie;
- typ leptadla a metóda leptania;
- opis skúmaného povrchu, ak treba;
- ak sa požadujú fotografie alebo nákresy a veľkosť zväčšenia.

Protokol o skúške podľa EN 1321

WPAR: č. (d)

Výrobca:

Účel rozboru:

Skúšobná vzorka:

Základný materiál:

Zváracie materiály:

Tepelné spracovanie po zvarení alebo spracovanie starnutím:

Označenie (b)	
Makroskopické leptadlo (e)	Mikroskopické leptadlo (e)
(g), (f)	(g), (f)
Obrázok č: Umiestnenie: (c) Zväčšenie: (g) Opis povrchu: (f)	Obrázok č: Umiestnenie: (c) Zväčšenie: (g) Opis povrchu: (f)
Metalograf: (meno, dátum, podpis)	Autorizovaná osoba/orgán: (meno, dátum, podpis)