

Fenomén přídavného materiálu ve svařování - benefity a rizika



Srdečně Vás zveme
na celostátní konferenci

**XXXV. DNY
SVAŘOVACÍ
TECHNIKY**

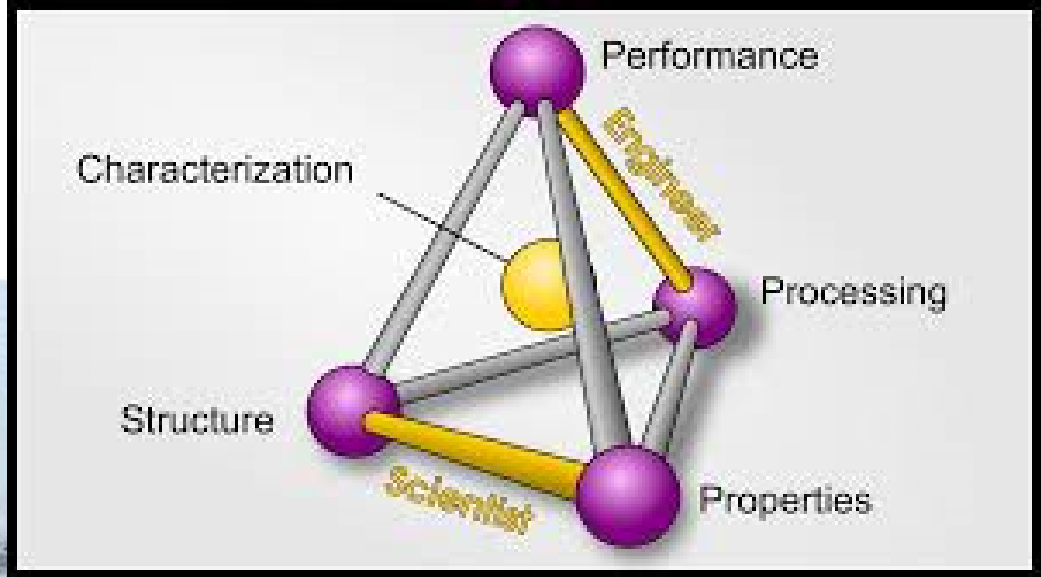
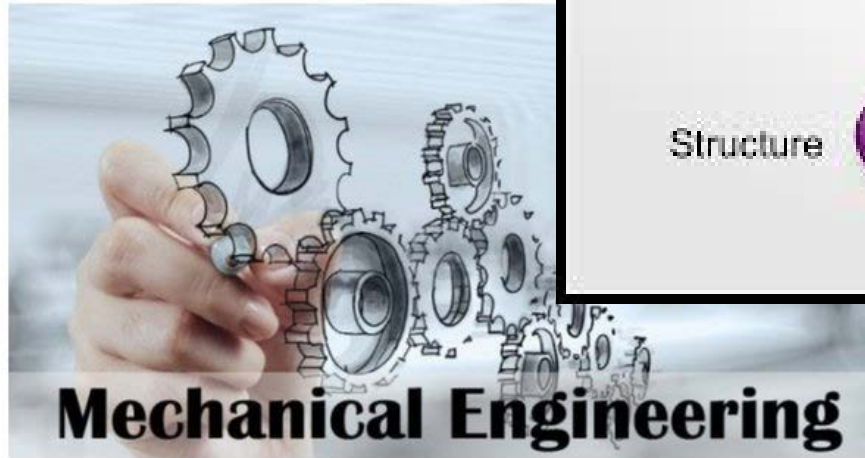
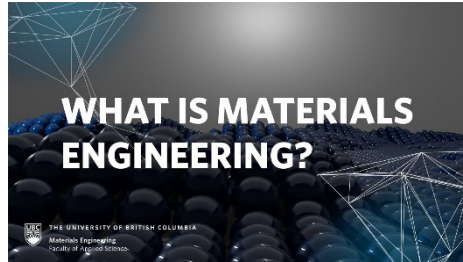
ve dnech
23. – 25. května 2023
Hotel STUDÁNKA
Rychnov nad Kněžnou



prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE



Technologie versus materiál



Materials science tetrahedron.

RELATIONSHIPS BETWEEN SCIENCE, ENGINEERING, AND TECHNOLOGY

Science, engineering, and technology are distinct, yet interrelated disciplines.

both apply scientific principles
to research and development

SCIENCE

Applies the scientific method
to explore the nature world.

ENGINEERING

Applies scientific principles to
solve problems or develop products.

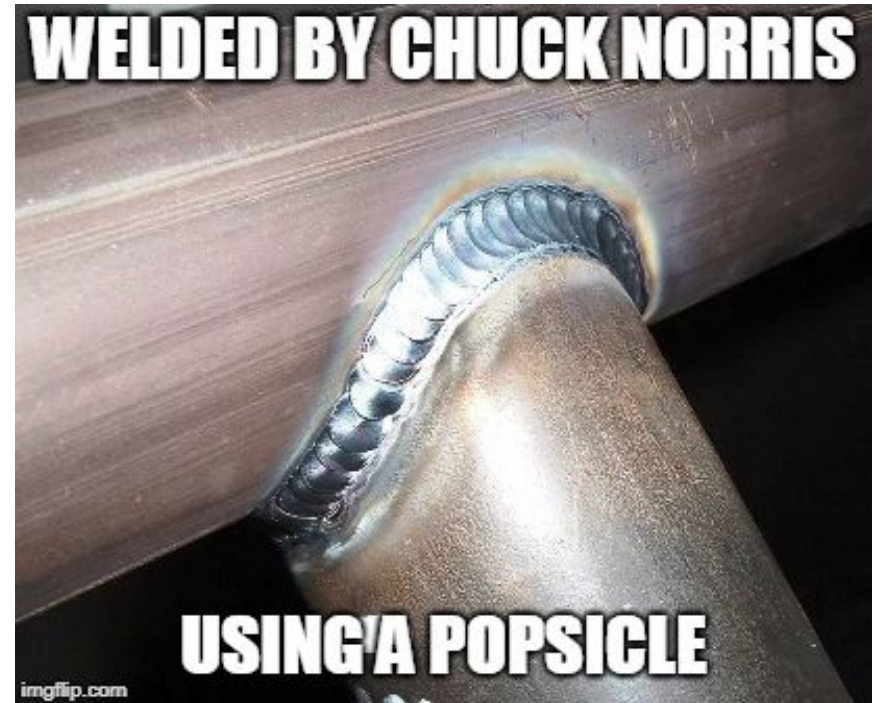
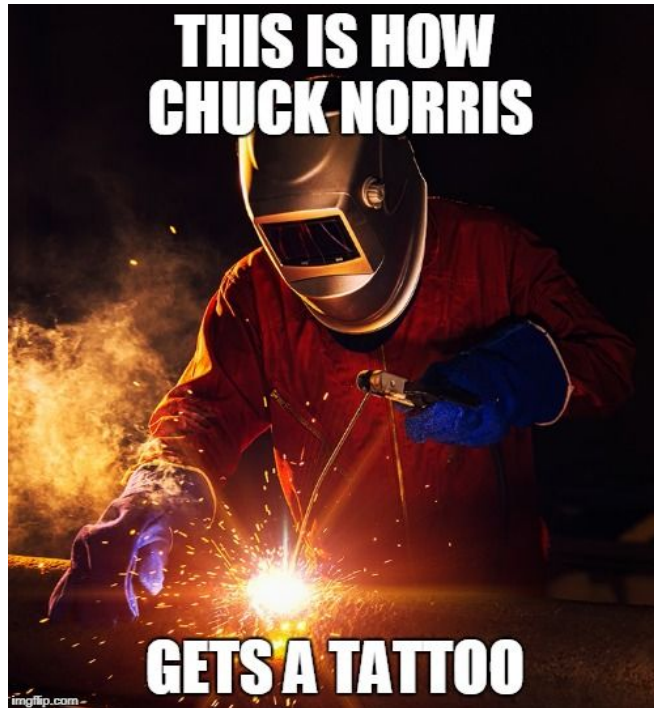
TECHNOLOGY

Products and processes that serve
society's wants and needs.

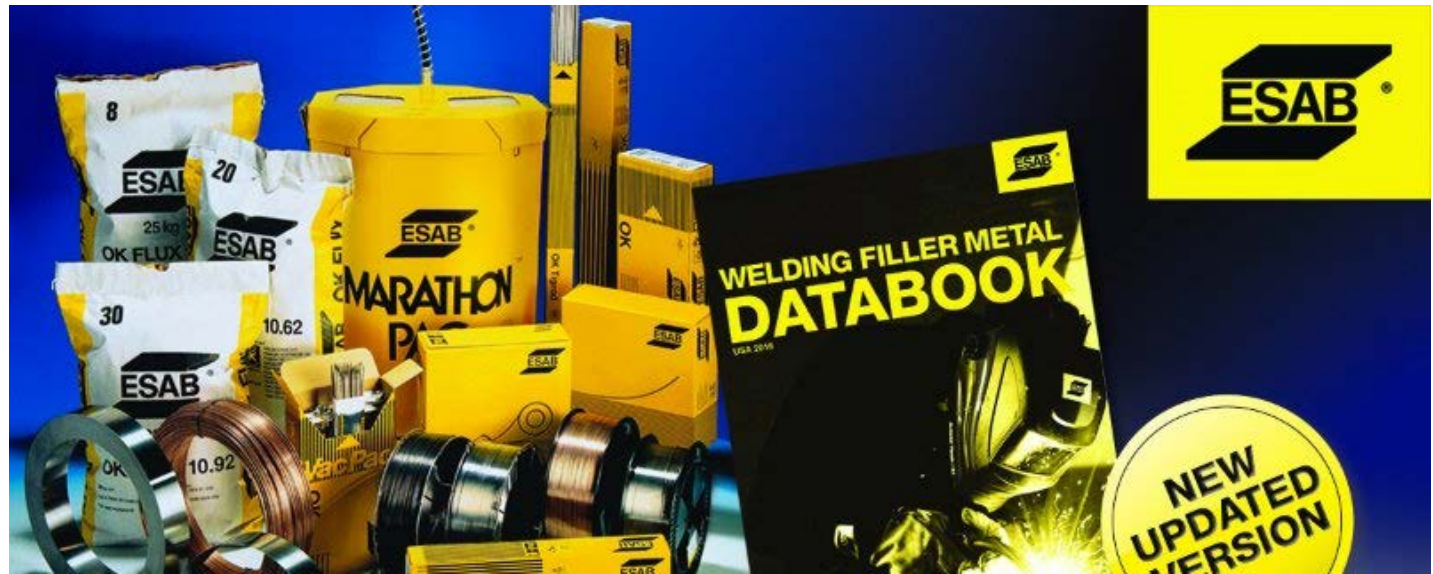
practical applications of
scientific knowledge
and discoveries

practical applications of
engineering designs
and products

DST_2023: Konference - setkání odborníků ze **svařování** 😊



DST_2023: Fenomén přídatného materiálu ve svařování - benefits a rizika



Technologie versus materiál



Rozdělení strojírenských technologií

Strojírenská technologie – vědní obor zaměřený na výrobu polotovarů a strojírenských výrobků.

Strojírenská technologie se jako vědní obor člení na čtyři úseky

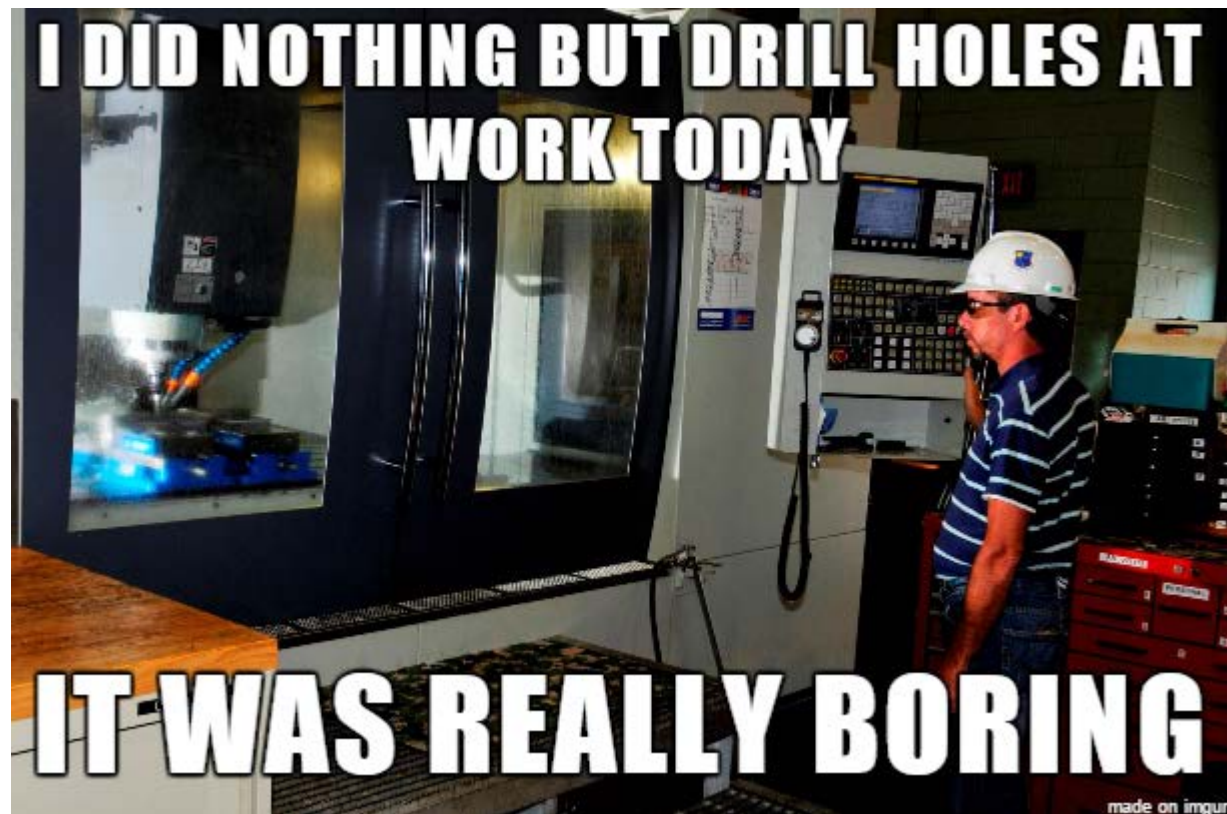
1. Slévárenství
2. Tváření
3. Svařování
4. Obrábění

Každý úsek – představuje řadu výrobních metod a dalších souvisejících technologií (**pájení, kompozitní materiály a jejich zpracování, prášková metalurgie**).

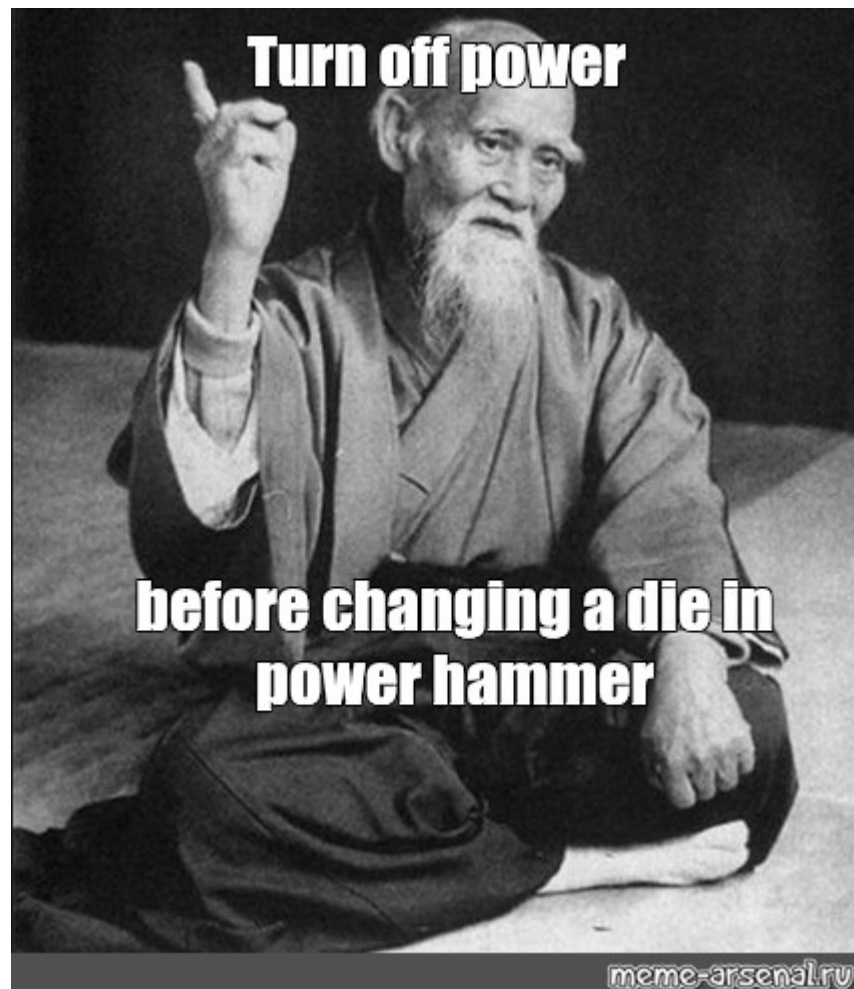
Technologie slévání



Technologie obrábění



Technologie tváření



Technologie svařování (DST_2023):

Citát **Roberta Pirsiga**:

"Pokud jste zručný svářeč,
můžete dát kovu jakýkoliv tvar,
který právě chcete.

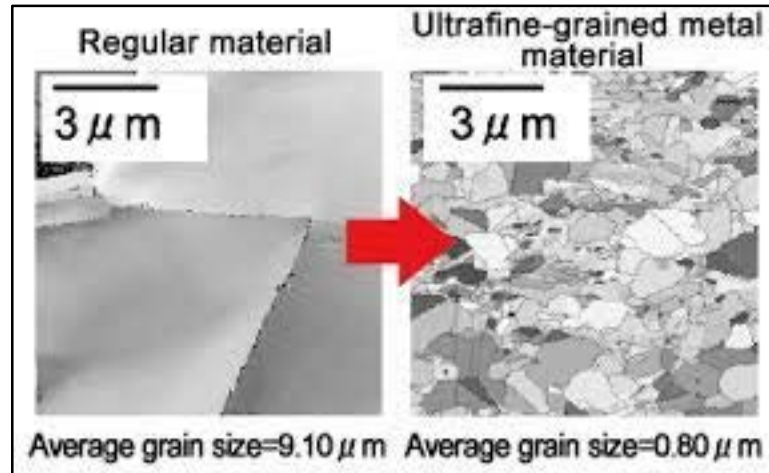
Pokud nejste zručný svářeč,
můžete dát kovu jakýkoliv tvar,
kromě toho, který právě
chcete."



Rizika svařování, o kterých se moc nemluví ...

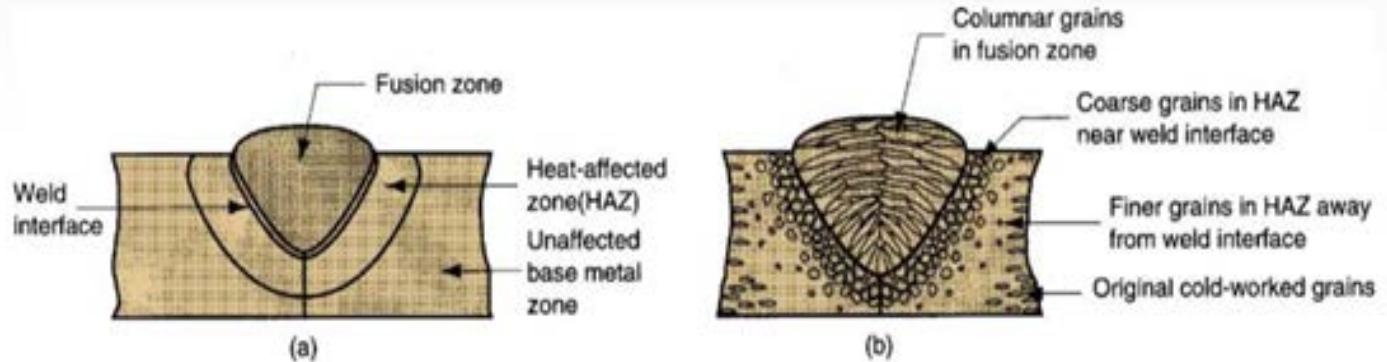
Současné oceli (ZM) - sofistikovaně zpracované (metalurgicky, tepelně, TMZ ...)

- ❑ vyladěná struktura (velikost zrna - Hall Petchův vztah)
- ❑ jemné precipitáty (vysokopevné oceli) - vysoká pevnostní, ale i houževnatost
- ❑ korozní odolnost (min. 12% Cr v tuhém roztoku)



Rizika svařování, o kterých se moc nemluví ...

Cross section of a typical fusion welded joint: (a) principal zones in the joint, and (b) typical grain structure



Columnar grains of weld pool (fusion zone). (2020). Retrieved 18 September 2020, from <https://physics.stackexchange.com/questions/519413/question-about-metal-grain-formation-in-fusion-welded-joint>

Rizika svařování, o kterých se moc nemluví ...

COMMON WELD DEFECTS

Ideal weld



Cracks



Porosity



Undercut



Slag Inclusion



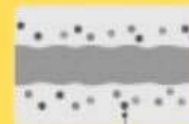
Overlap



Incomplete
Fusion



Incomplete
Penetration



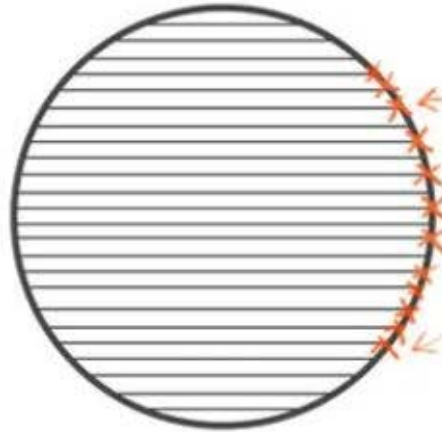
Spatter

<https://www.electronicshub.org/common-weld-defects/>

FOR EXAMPLE, IF YOU LOOKED THROUGH AN ELECTRON MICROSCOPE AT BILLET, CAST, AND FORGED PARTS, THIS IS WHAT YOU WOULD SEE:

BILLET

[OPEN GRAINS]



CAST

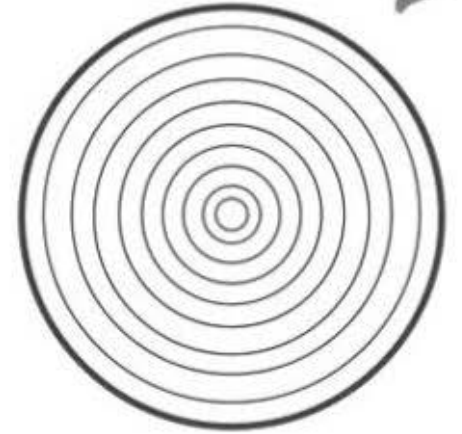
[RANDOM GRAINS]

CRACKS
START
ALONG
OPEN-
ENDED
GRAINS



FORGED

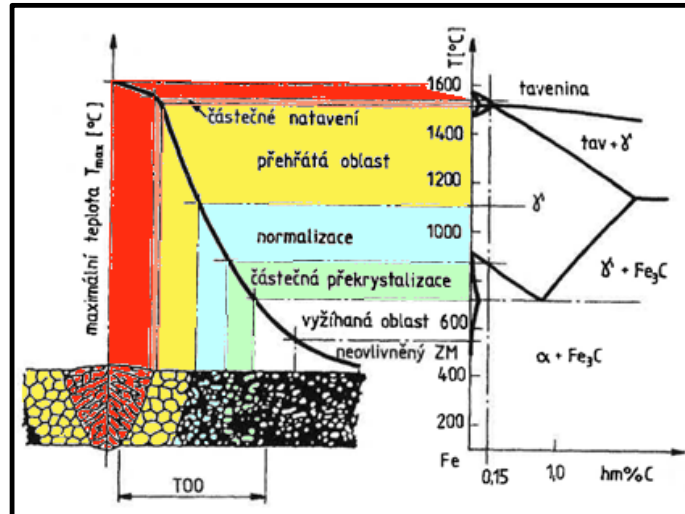
[ALIGNED GRAINS]



<https://www.irizarforge.com/keep-calm-and-choose-forged/>

Rizika svařování, o kterých se moc nemluví ...

Svařovací proces (vznik nehomogenit – strukturní a chemické heterogenity, ale i zbytkové napjatosti,): - **vnesené teplo, drastické změny ve struktuře (tvářená versus lící) → vrubový účinek svarového spoje (RIZIKO - slabý článek řetězu ...).**



Fenomén přídavného materiálu

Metalurgické „triky“ - právě **přídavným materiálem lze řadě nepříjemností zabránit:**

- ☐ **rafinace ve svarovém kovu** (zbavit jej nečistot, které tam často vstupují ze základního materiálu – vlivem promíšení);
- ☐ **dolegování svarového kovu**
- ☐ **struskotvorné přísady (elektrody, tavidla)**

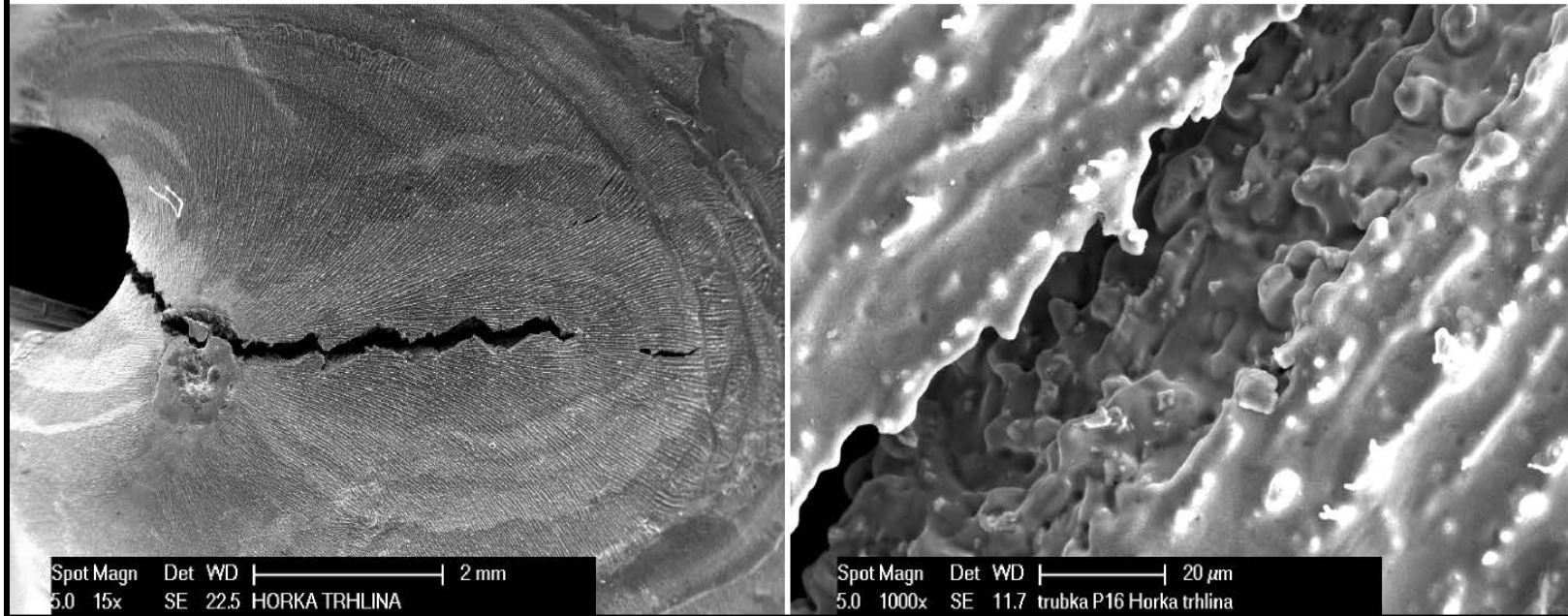
Delta ferit - žádoucí přítomnost ve svarovém kovu u austenitických přídatných materiálů

Delta ferit - metalurgický účinek:

- ☐ **rozpouští v sobě nečistoty** (více než austenit, viz TAB.)
- ☐ preventivní opatření z hlediska rizika (náchylnosti) austenitických přídatných materiálů ke tvorbě **horkých trhlin** (krystalizační a likvační) - příčinou jsou prvky typu: S, P, Si, Ti, Nb (*příklad: ocel 316Ti vs. horké trhliny*)
- ☐ nutno rychle ochladit (jinak dojde k přeměně na austenit γ)
- ☐ **vhodný je obsah δ feritu** (ve svarovém kovu) **cca 2-6%**
- ☐ Jeho obsah lze vyčíst v **diagramu WRC92**

Delta ferit - žádoucí přítomnost ve svarovém kovu u austenitických přídavných materiálů

Strukturní stav svarového kovu – horká trhlina – PM – AISI 316Ti



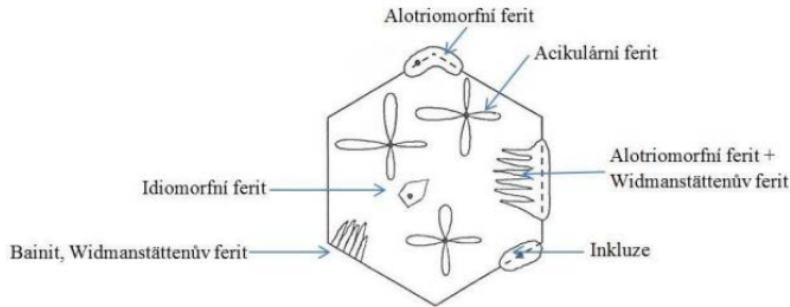
S laskavým souhlasem prof. Kříže, konference TESIYO, zámek Valeč, 2022.

Table 11. *Solubility of hot crack promoting chemical elements in austenite and ferrite; structure and melting points of low melting phases*

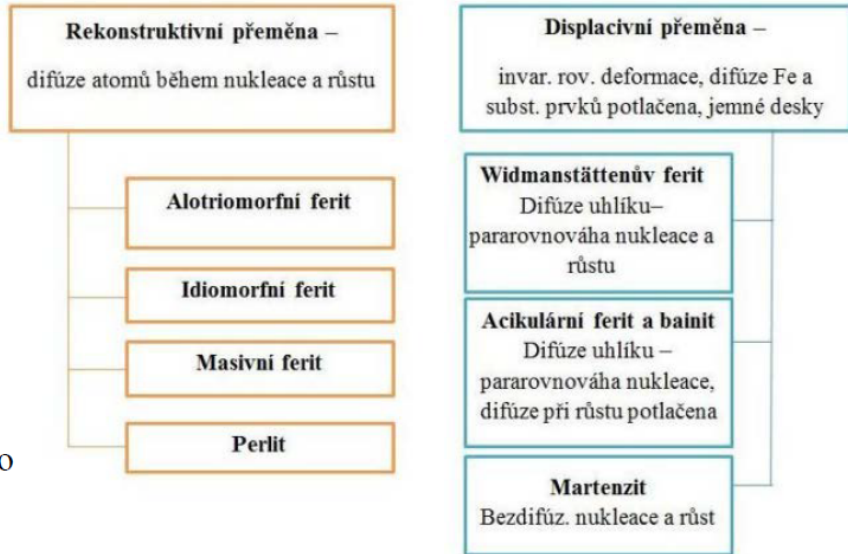
Constituent	Solubility in pure iron				Low melting phases	
	in austenite		in ferrite		Structure	Melting point °C
	%	Temperature °C	%	Temperature °C		
Sulphur	0.05	1365	0.14	1365	Eutectic Fe-FeS	988
					Eutectic Ni-NiS	630
Phosphorus	0.20	1250	1.6	1250	Eutectic Fe-Fe ₃ P	1048
					Eutectic Ni-Ni ₃ P	875
Boron	0.005	1381	0.5	1381	Eutectic Fe-Fe ₂ B	1177
					Eutectic Ni-Ni ₂ B	1140
					Eutectic (Fe, Cr) ₂ B-Austenite	1180
Niobium	1.0	1300	4.1	1300	Eutectic Fe-Fe ₂ Nb	1370
					Eutectic NbC-Austenite	1315
					Nb-Ni-rich phases	1160
Titanium	0.36	1300	8.1	1300	Eutectic Fe-Fe ₂ Ti	1290
					Eutectic TiC-Austenite	1320
Silicon	1.15	1300	10.5	1300	Eutectic Fe-Fe ₂ Si	1212
					Eutectic NiSi-Ni ₃ Si ₂	964
					NiSi	996

Widmanstättenův ferit - (jehlice) vzniká střihovým mechanismem, intergranulárně na hranicích relativně značně velkého zrna austenitu

Vznik Widmannstättenovy struktury



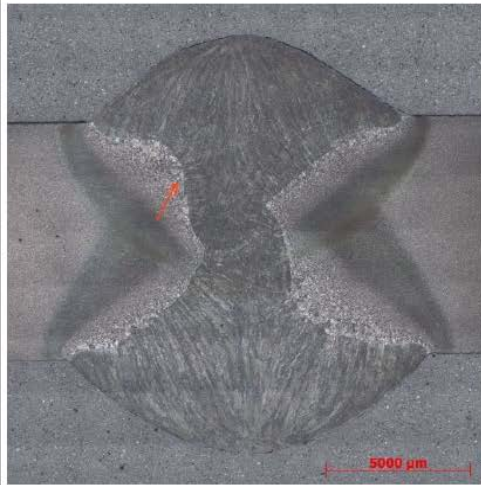
Schématické zobrazení austenického zrna, alotriomorfního feritu, acikulárního feritu, idiomorfního a Widmanstättenůvého feritu, bainita a inkluze [1]



Blokové schéma základních transformačních charakteristik austenitu [1]

[1] Ilgiz Abaidullin: Vliv mikrostruktury na hodnoty kv mikrolegované oceli 694F60. Diplomová práce. VUT Brno. 2018.

Widmanstättenův ferit - (jehlice) výrazně snižuje houževnatost (plastické vlastnosti) svarového spoje, přestože nelze prokázat zvýšením tvrdosti (na rozdíl od martenzitu).



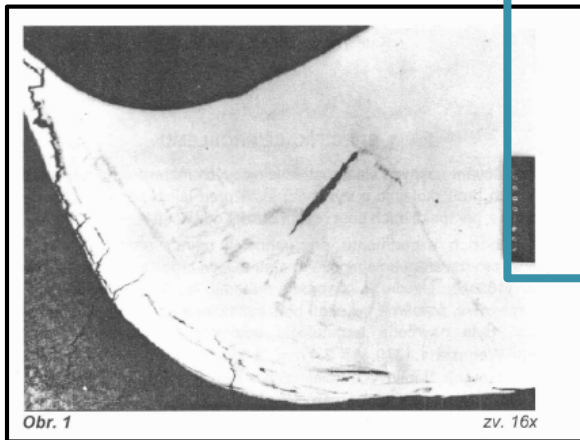
S laskavým souhlasem
prof. Kříže, konference
TESYDO, zámek Valeč,
2022.



Přítomnost Widmannstättenovy struktury v oblasti rozhraní mezi svarovým kovem a TOO. Šipka vlevo dokumentuje oblast, kde se tato Widmannstättenova struktura vyskytuje.

Heterogenní svary - austenit vs. ferit

Austenit má asi o 50% větší tepelnou roztažnost a zhruba o 30 % nižší tepelnou vodivost než ferit, dále pak má lepší tažnost a houževnatost.



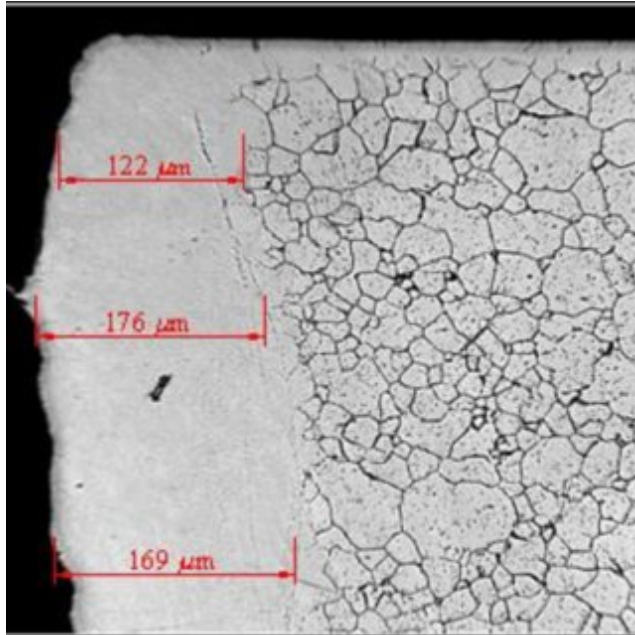
Hlavní problémy při svařování:

- ☐ Náchylnost k tvorbě horkých trhlin
- ☐ Precipitace karbidů - MKK
- ☐ Vznik σ fáze - zkřehnutí

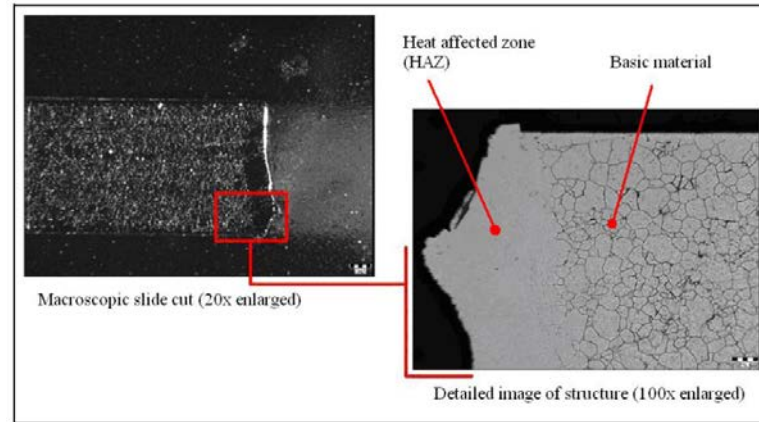
vliv odvodu tepla (velikost a tvar úkosů, nastavení elektrody, šířka natavené oblasti) - rozdílné odtavení, tedy i promíšení !!!

SCHMIDOVÁ, E. - BENEŠ, L.: *Analýza příčin defektů v návarech tramvajových kolejnic*. In: Sci. Pap. Univ. Pardubice Ser. B 4, 1998, str.133-141 (1998). ISSN 1211-6610, ISBN 80-7194-207-3.

Šířka TOO - kde na velikosti záleží ...



úzká TOO (např. laser) není vždy výhodou
- nutnost „dostatečného prostoru“ na
vyrovnání **napět'ových stavů** (defekty)



Tomáš ZLÁMAL, Jana PETRŮ: INFLUENCE OF CUTTING PARAMETERS ON HEAT AFFECTED ZONE AFTER LASER CUTTING, Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava, Mechanical Series No. 2, 2011, vol. LVII, article No. 1888.

Závěrečné shrnutí:

Fenomén přídavného materiálu (PM):

- ☐ na zvoleném PM záleží více, než si často myslíme;
- ☐ proto i pro „obyčejnou“ ocel (např. S235) je dobré použít kvalitní PM;
- ☐ ovšem i pro stejné PM lze dosáhnout rozdílného výsledku (zvolené podmínky - úkoly, technologie, promíšení);
- ☐ vhodně zvolený PM dokáže výrazně „pomoci“ svarovému spoji (metalurgické vlivy, rafinace - zabránění vzniku martenzitu ve feritické oceli nebo prevence mezikrystalické koroze u austenitické oceli).

Děkuji za Vaši pozornost 😊

