VŠB - Technical University of Ostrava
VŠB - Technická univerzita Ostrava

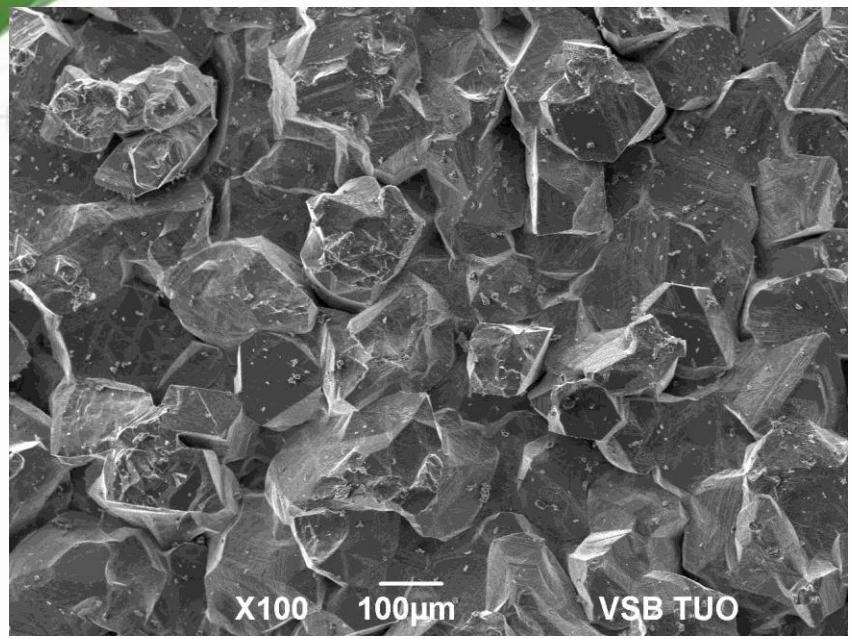
Vliv tepelného zpracování na strukturu okujové vrstvy a její odstranění mořením v redukční tavenině

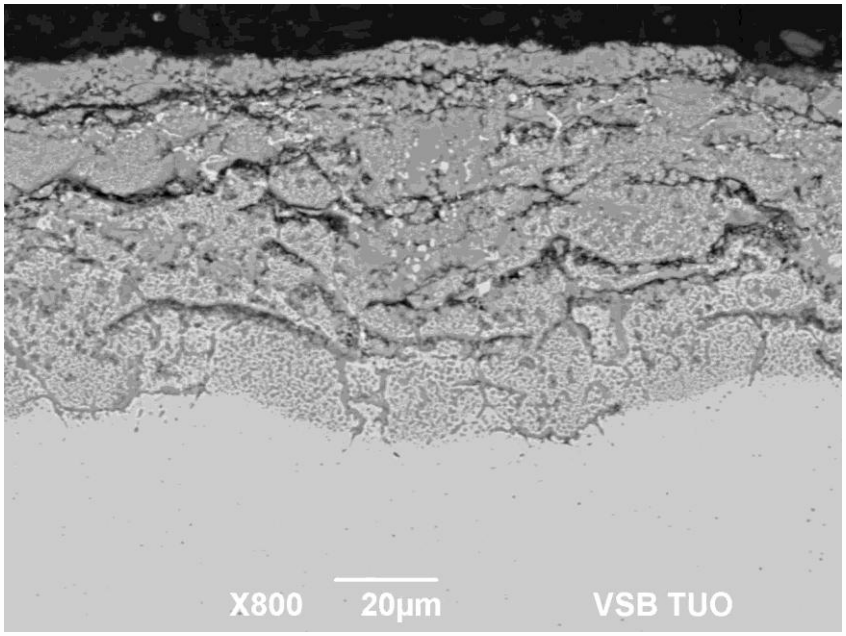
Kateřina Konečná
spolupracovali Petra Váňová, Roman Pěnčík, David Čempel

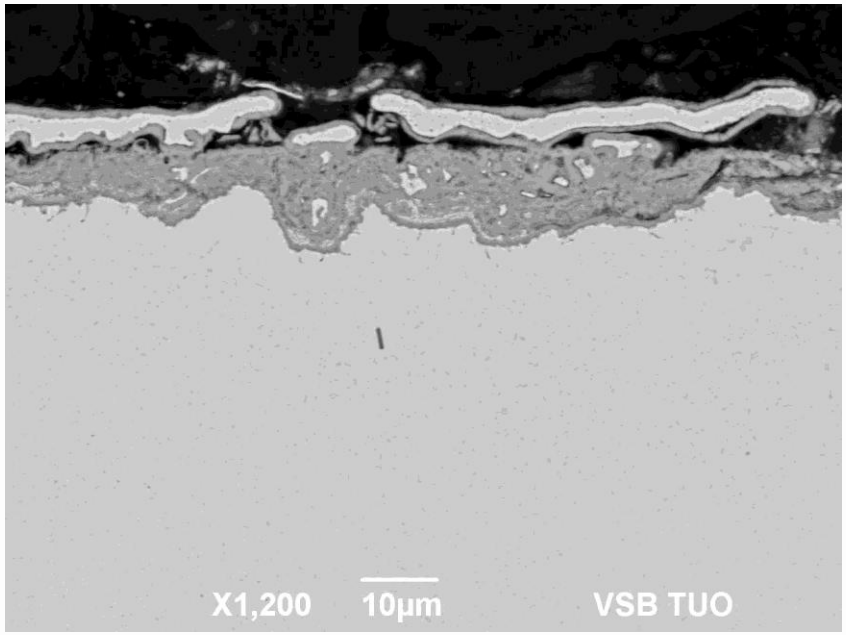
2. Mezinárodní podzimní škola povrchového inženýrství inženýrství ZČU Plzeň 14. – 18. 10. 2013

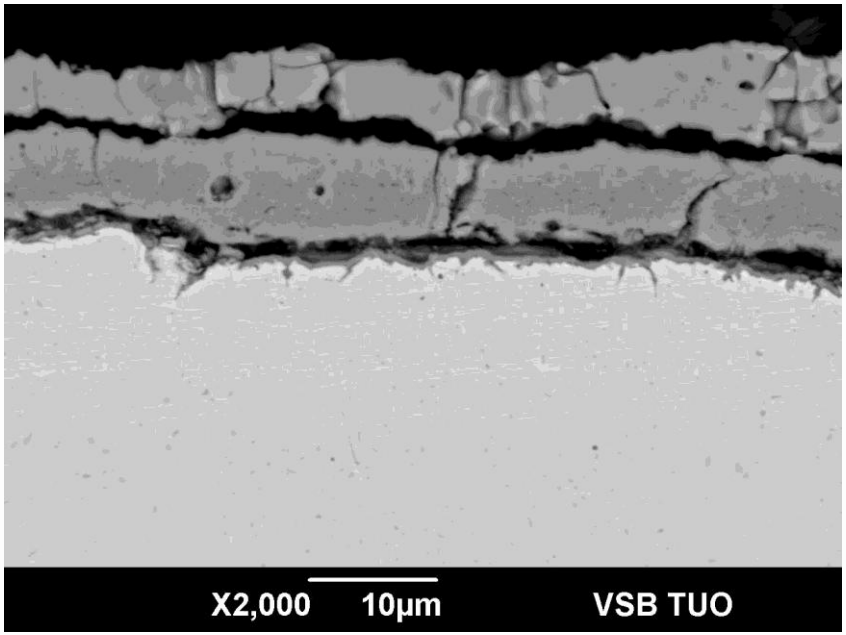
Okujové vrstvy

- tenká oxidická vrstva na povrchu materiálu, která vzniká především za vyšších teplot při tepelném zpracování – vysokoteplotní koroze
- vznikají chemickým sloučením železa a dalších prvků obsažených v oceli s kyslíkem
- vrstva není nikdy chemicky stejnorodá, je tvořena dvěma nebo třemi fázemi, které se liší složením a vlastnostmi
- tvorba okují na povrchu korozivzdorných ocelí závisí na jejich složení (tj. obsahu legujících prvků), na stavu povrchu a druhu atmosféry
- při žíhání oceli se mění jedno až pět procent materiálu v okuje


X100 100µm VSB TUO


X800 20µm VSB TUO


X1,200 10µm VSB TUO


X2,000 10µm VSB TUO

Struktura okujové vrstvy

Oxidy železa

- Železo tvoří s kyslíkem tři stabilní oxidy, a to wüstit FeO, magnetit Fe_3O_4 a hematit Fe_2O_3
- Wüstit FeO - za teplot nižších než 575 ^{o}C není stálý, zvolna přechází na železo a oxid železnato-železitý Fe_3O_4 (magnetit), rozpouští se v kyselinách snáze než ostatní oxidy železa
- Magnetit Fe_3O_4 - nejstálejší a nemění se ani ve značném rozmezí teplot, v kyselinách se rozpouští podstatně hůře než oxid železnatý
- Hematit Fe_2O_3 - nejbohatší na kyslík, nad 1200 ^{o}C ztrácí část kyslíku a mění se na oxid železnato-železitý, kyselinách se rozpouští nejhůře

Struktura okujové vrstvy

Hematit Fe_2O_3

Magnetit Fe_3O_4

Wüstit FeO a přebytek O_2/
Wüstit FeO and O_2 excess

Fe + Fe_3O_4 v chladném stavu /
Fe + Fe_3O_4 in cold state

místo reakce $Fe^{2+} + O_2 = FeO$/
place of reaction $Fe^{2+} + O_2 = FeO$

nasycený wüstit, počátek Fe rozhraní/
saturated wüstit, initiation of Fe interface

póry/pores

oxidy doprovodných a legujících prvků/
oxides of accompanying and alloying elements

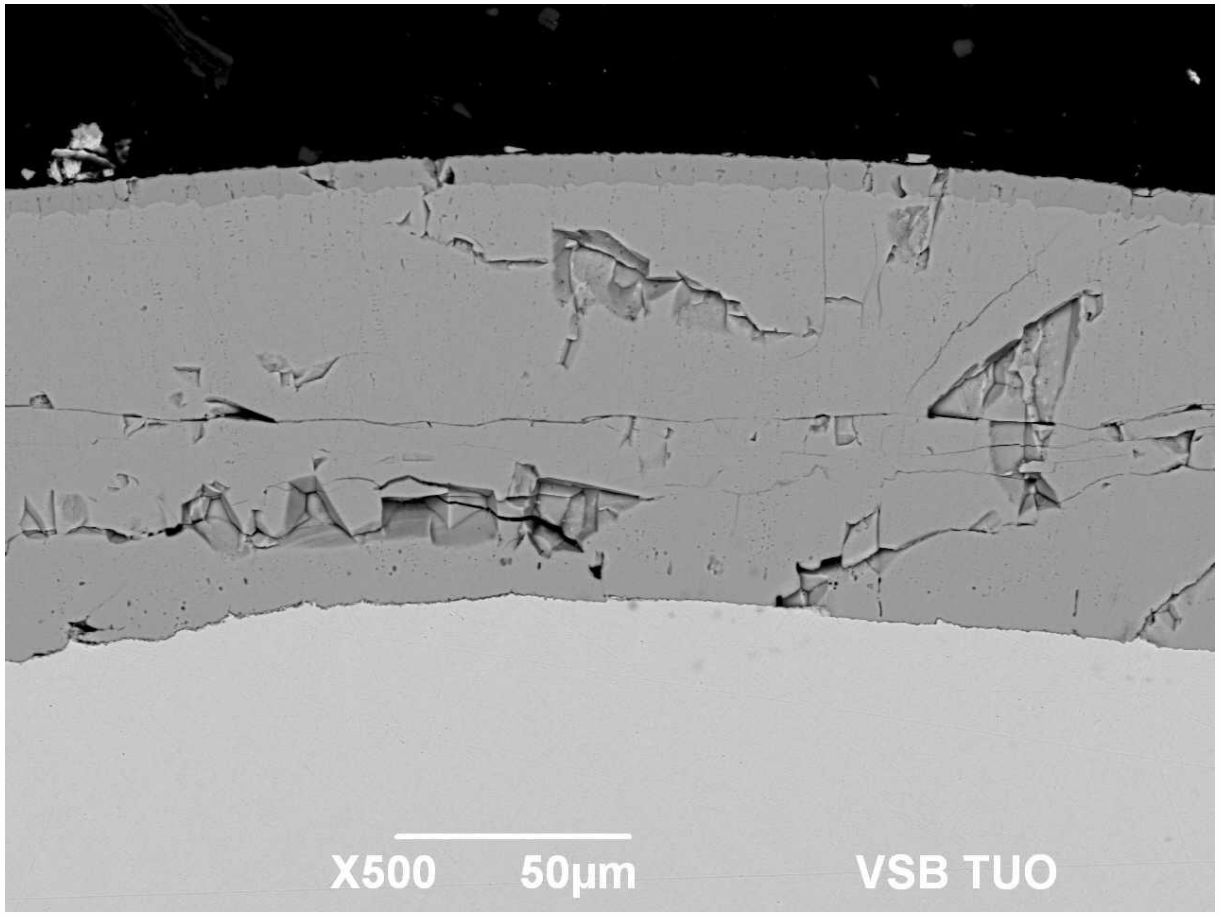
vrstva oduhličení/decarburization layer

Ferit

Perlit

Převzato: RITUPER, R. *Beizen von Metallen*, 1. vyd. Weingarten; Eugen G. Leuze Verlag, 1993. 524 s. ISBN-10: 3874800784

Okujová vrstva na vzorku Fe po žíhání na teplotě 900°C



Ostatní oxidy

- Nejjednodušší poměry jsou u prvků, jež mají podobné chemické vlastnosti, jako Fe např. Mn. Rychlost jeho oxidace a pronikání vrstvou okují je odbobná jako u železa. Oxidy Mn jsou v okujové vrstvě obsaženy rovnoměrně v množství, které odpovídá jeho procentu v příslušném materiálu.
- U jiných legujících prvků je difůze pomalejší než u železa, což vede k usazování těchto prvků v nejspodnější vrstvě povlaku. Jsou-li tyto kovy ušlechtilejší (Ni, Cu), železo odnímá jejich oxidům kyslík a tyto prvky se v oxidické vrstvě vyskytují jako čisté kovy.
- Pokud je ocel silně legovaná např. Cr, obohatí se jím spodní část oxidické vrstvy natolik, že oxid Cr tvoří podstatnou složku na rozhraní ocel-okuje. Další atomy železa pak nemohou tímto rozhraním pronikat, což zdůvodňuje žáruvzdornost silně legovaných ocelí

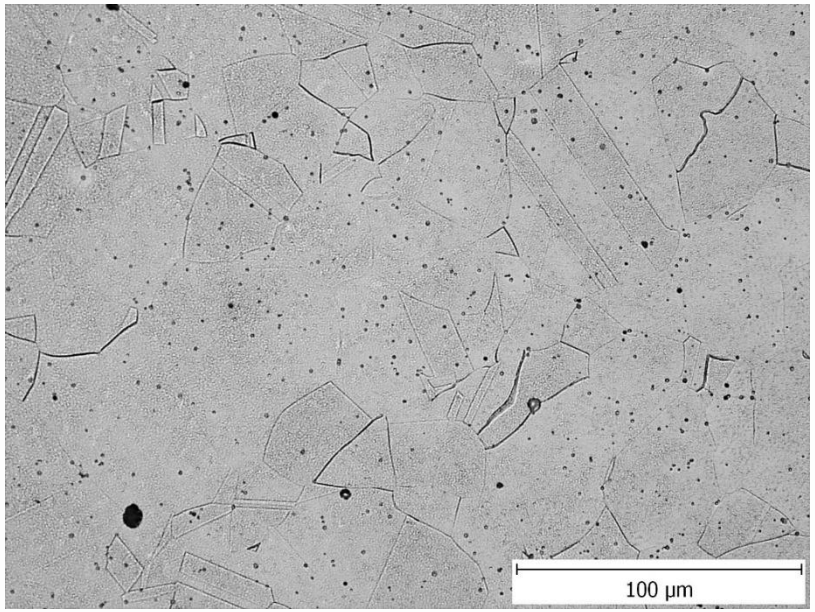
Vliv tepelného zpracování na tvorbu okujové vrstvy korozivzdorných ocelí

Exprimentální materiál

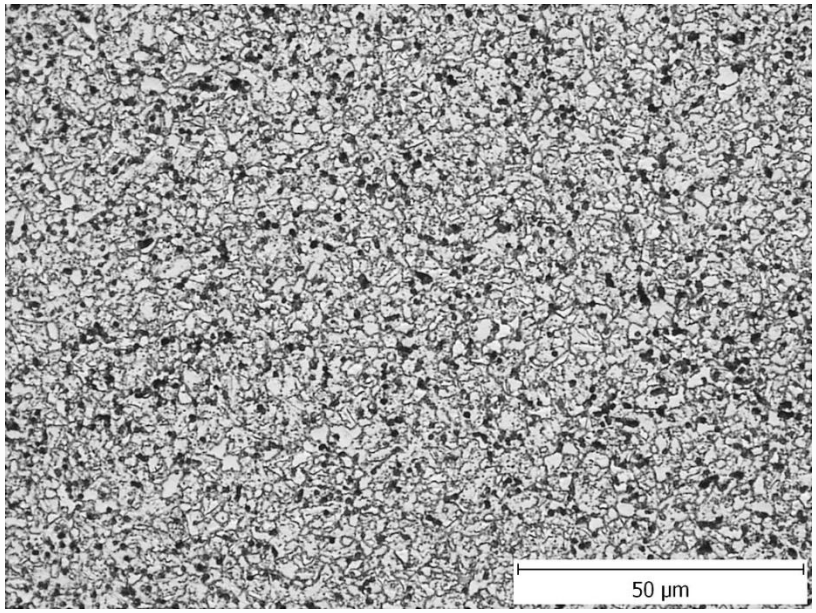
Dráty z korozivzdorných ocelí - tažení drátů za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou (teplota je kolem 70 % teploty tání daného materiálu) - byly po tažení omořeny v redukční tavenině a následně ve směsné kyselině, aby byl jejich povrch čistý a připravený pro následující laboratorní tepelné zpracování.

Chemické složení oceli AISI316 a AISI430 v hm. %

AISI	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
316	0,05	0,65	1,5	0,04	0,03	17	2	12
430	0,14	0,8	1,1	0,06	0,2	17	0,45	-



Austenitická struktura oceli AISI 316

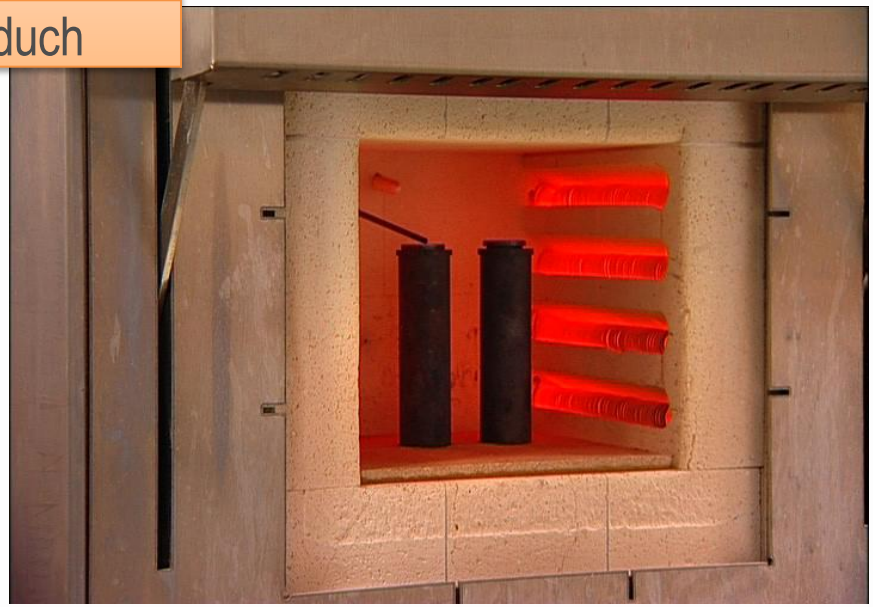


Feritická struktura oceli AISI 430

Režimy tepelného zpracování

Teplota (^{o}C)	Čas (h)	Ochlazování
800	2	voda / vzduch
1000	2	voda / vzduch
1200	1	voda / vzduch

Laboratorní elektrická pec s přirozenou atmosférou pro teploty do 1350° C

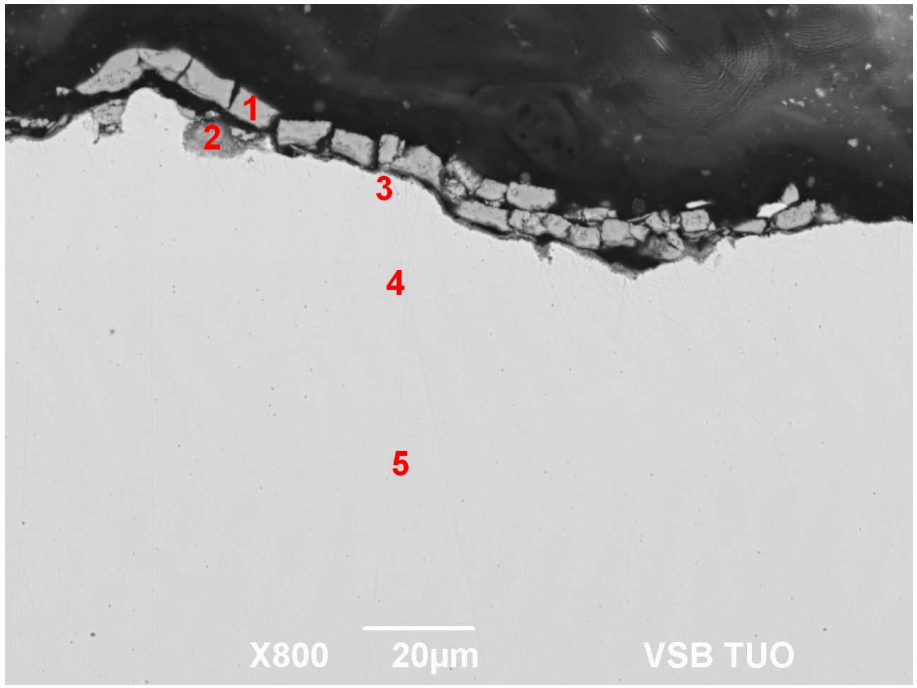


Experimentální techniky

- Metalografické výbrusy v příčném řezu – vyleštěný povrch
- Fotodokumentace na SEM JEOL JSM-6490LV v režimu BEI
- Lokální mikroanalýza pomocí EDS INCA x-act

Hodnocení povrchu drátů po tepelném zpracování

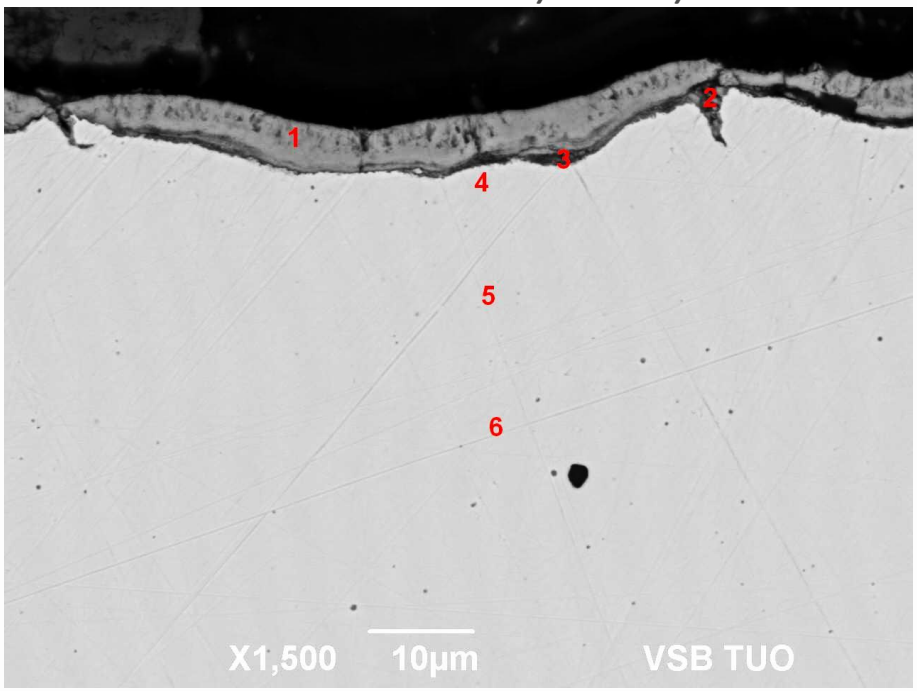
ocel AISI 316 - TZ 800°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	37,7		1,4	2,1	57,5	1,3	
2	33,2	1,0	34,8	0,6	19,9	4,9	5,6
3		0,6	17,6	2,0	66,2	10,9	2,7
4		0,6	17,9	2,0	66,3	10,7	2,6
5		0,6	18,0	2,0	66,4	10,5	2,5

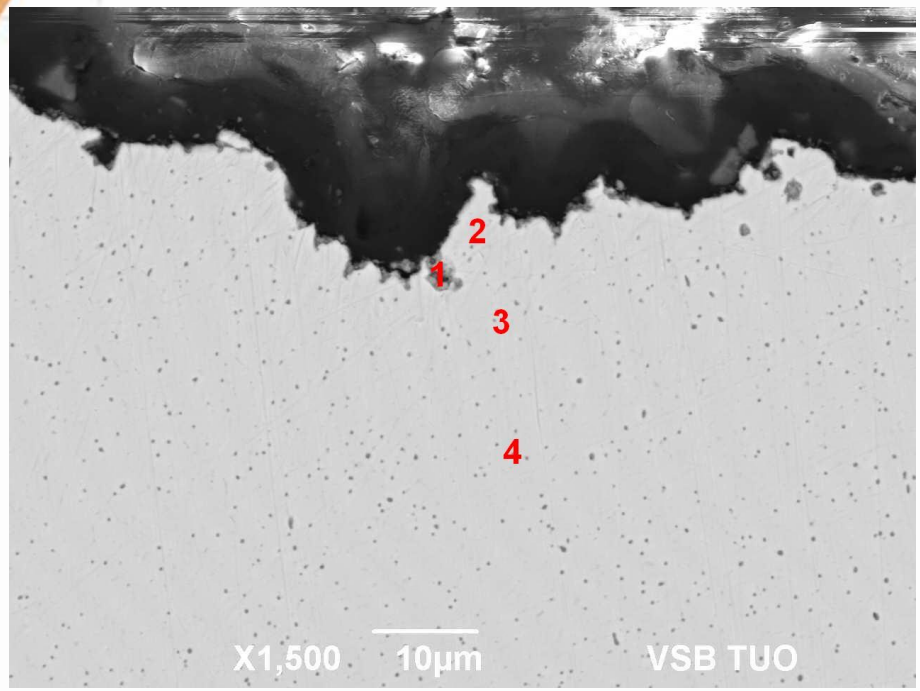
ocel AISI 316 - TZ 800°C/2 hod./voda



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	36,4		1,2	1,2	57,9	3,3	
2	22,0	0,4	12,1	1,0	59,0	4,6	0,9
3	22,1	0,7	34,7	1,1	27,9	10,0	3,6
4		0,5	17,6	2,1	66,7	10,6	2,6
5		0,5	17,9	2,0	66,8	10,3	2,3
6		0,6	17,9	2,0	66,3	10,6	2,6

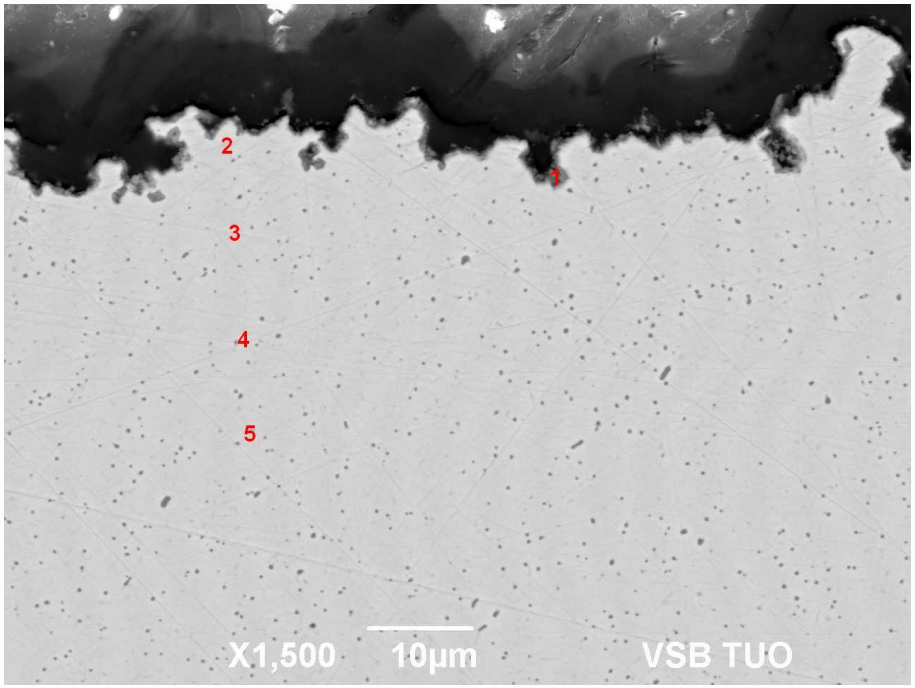
ocel AISI 430 - TZ 800°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	32,2	0,4	44,0	6,9	16,6	
2		0,4	14,8	1,3	81,5	2,0
3		0,4	17,0	1,2	80,6	0,7
4		0,5	17,0	1,3	80,4	0,9

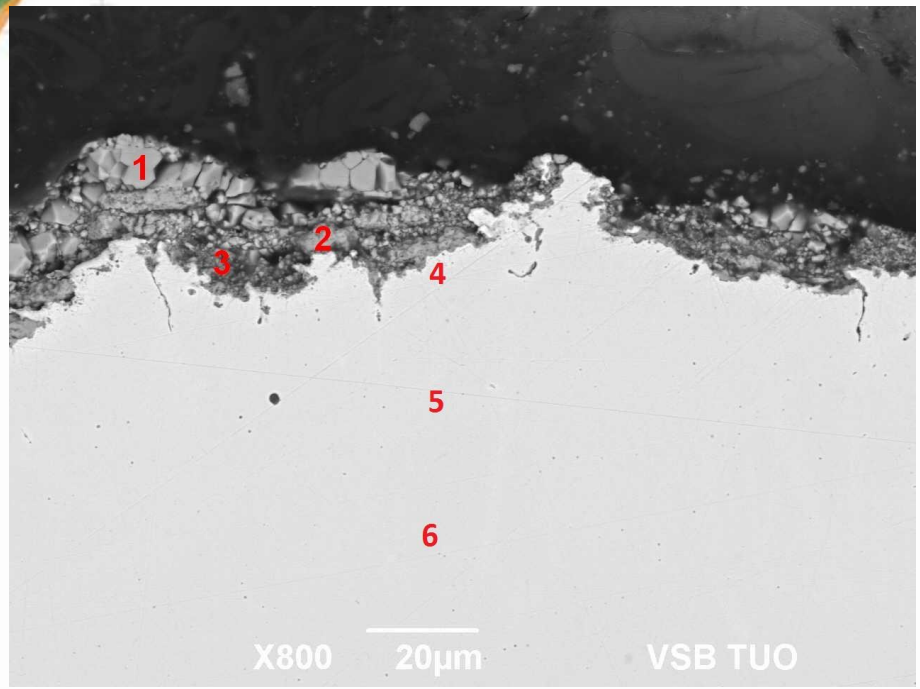
ocel AISI 430 - TZ 800°C/2 hod./voda



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	19,6	0,6	20,3	7,0	52,6	
2	1,2	0,4	14,4	0,1	83,7	0,20
3		0,4	14,5	0,2	84,7	0,20
4		0,4	16,6	1,1	81,5	0,40
5		0,5	16,7	1,0	81,3	0,60

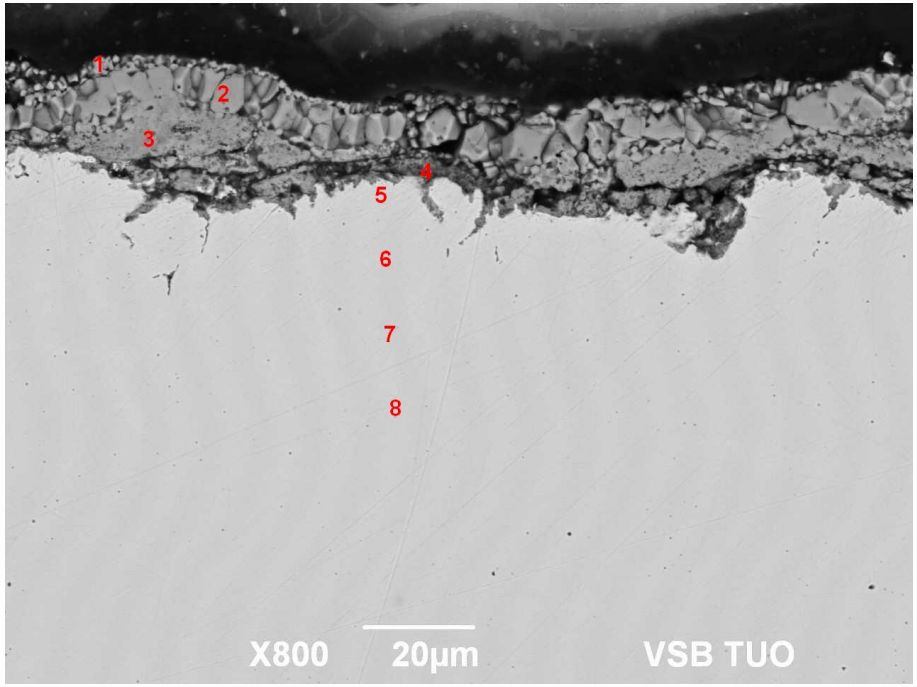
ocel AISI 316 - TZ 1000°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	37,1		0,8	0,5	61,5		
2	39,1	0,8	22,6	2,4	31,9	3,2	
3	36,3	0,8	29,2	1,1	28,1	4,5	
4			12,7		66,0	16,6	4,7
5		0,5	15,8	1,4	67,0	12,7	2,6
6		0,6	17,8	1,9	65,9	11,1	2,7

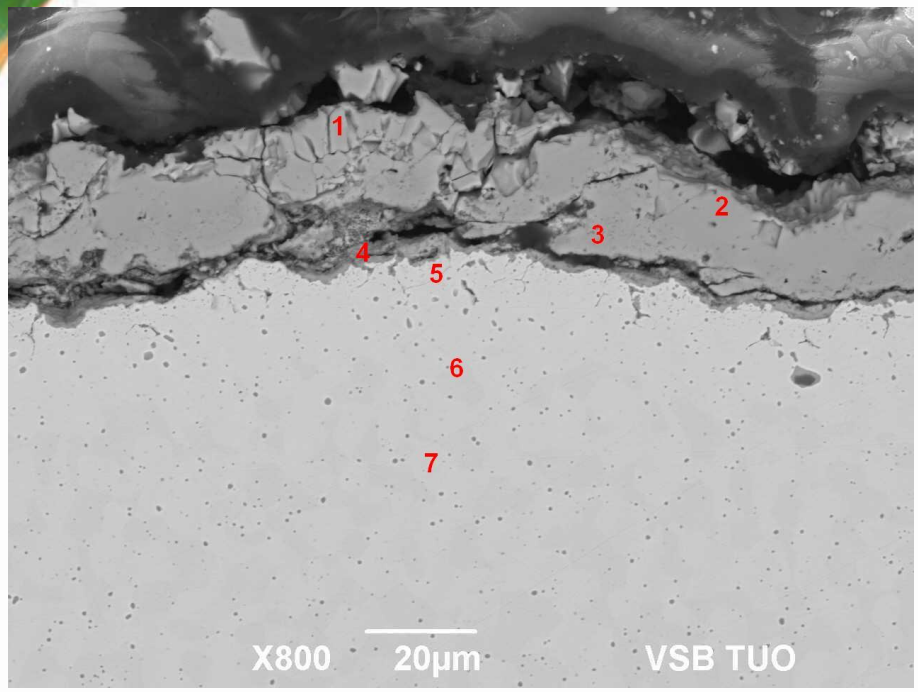
ocel AISI 316 - TZ 1000°C/2 hod./voda



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	37,9		0,9	4,2	52,1	4,9	
2	36,5		0,9		62,6		
3	38,6	0,8	33,5	1,4	20,3	5,5	
4	34,5	1,3	43,8	2,4	15,6	2,3	
5		0,5	16,7	1,6	67,5	10,7	2,9
6		0,5	17,7	2,1	66,7	10,5	2,5

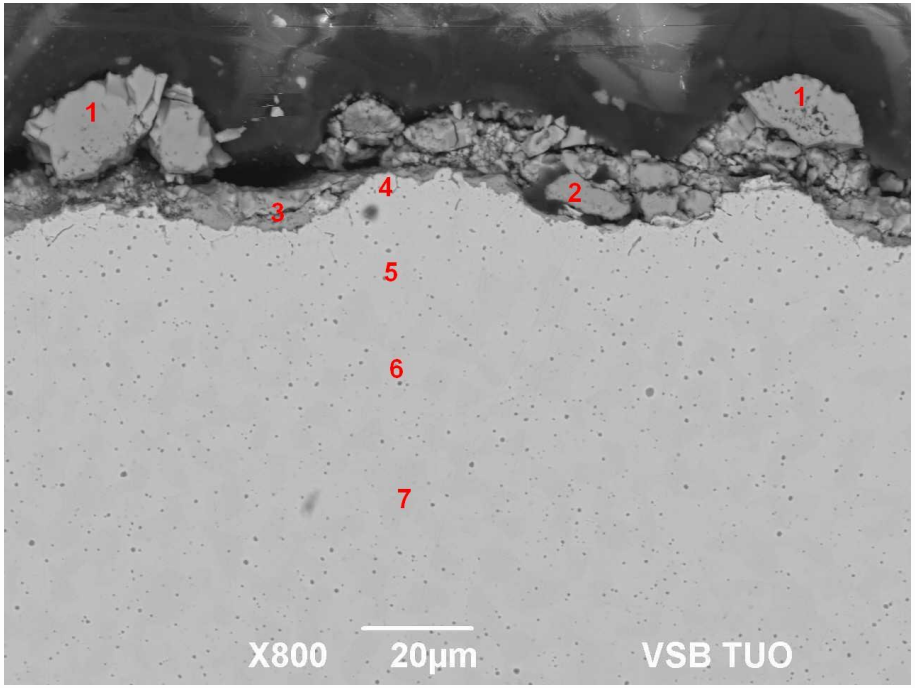
ocel AISI 430 - TZ 1000°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	38,1		1,5	0,3	60,2	
2	38,6		3,9	0,5	57,0	
3	39,0		17,1	0,7	43,3	
4	12,3	0,3	65,9	1,1	20,4	
5		0,3	8,9	1,2	85,9	3,7
6		0,4	15,5	1,0	82,2	0,9
7		0,5	16,8	1,1	81,3	0,3

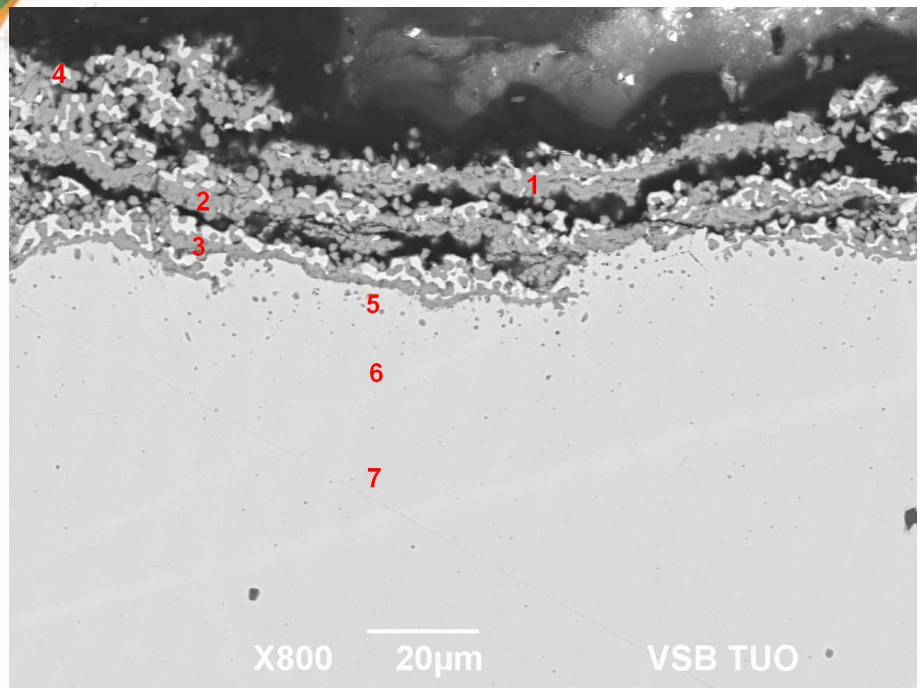
ocel AISI 430 - TZ 1000°C/2 hod./voda



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	37,5		4,3	0,4	57,8	
2	39,0	0,4	16,7	1,3	42,5	
3	36,9	0,6	25,0	1,1	36,3	
4		0,3	11,9	0,3	87,0	0,5
5		0,4	14,5	0,8	83,7	0,6
6		0,4	16,5	1,3	81,0	0,9

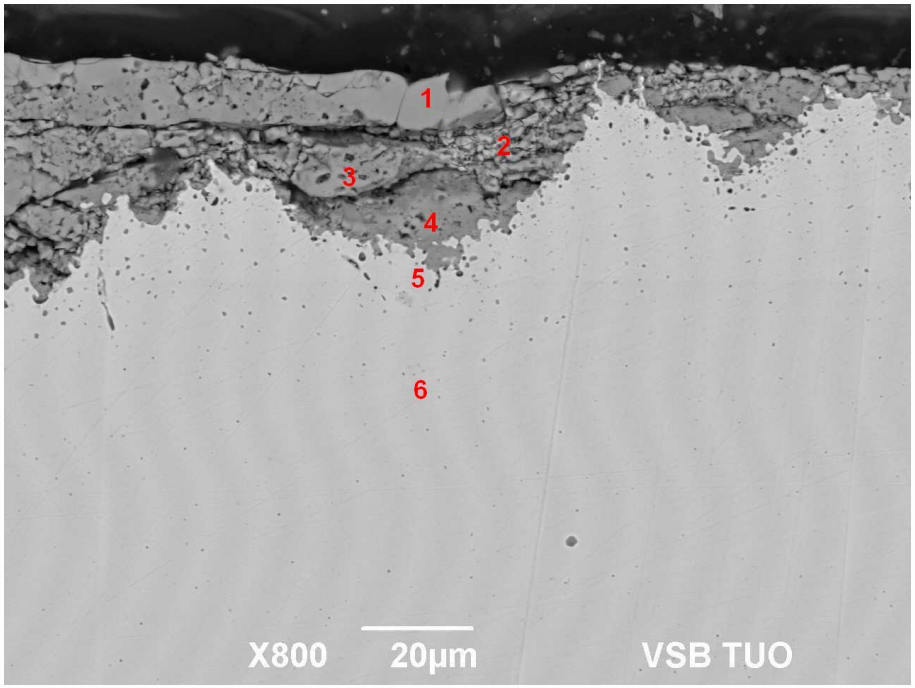
ocel AISI 316 - TZ 1200°C/1 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	37,5		34,5	1,1	22,9	0,8	3,1
2	37,6	1,1	32,8	1,1	23,2	0,4	3,8
3	34,2	0,3	38,3	1,1	23,1	0,8	2,3
4			3,0		35,0	59,9	2,0
5	4,2	0,6	11,5	1,4	66,4	12,6	3,2
6		0,5	17,7	1,7	67,0	10,6	2,6

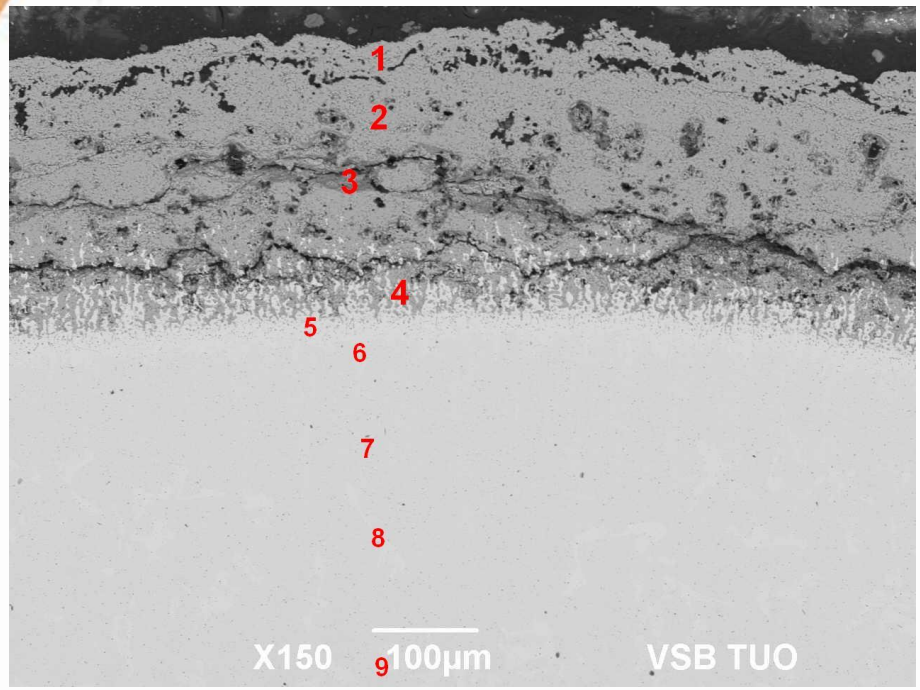
ocel AISI 316 - TZ 1200°C/1 hod./voda



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	34,1		1,4	2,9	55,2	6,5	
2	27,7		26,5	0,7	28,1	17,0	
3	35,7	0,9	27,8	1,3	24,4	9,9	
4	38,0	1,2	34,5	1,8	22,5	2,0	
5			9,5	0,6	65,9	20,2	3,8
6		0,5	17,7	1,9	66,9	10,4	2,7

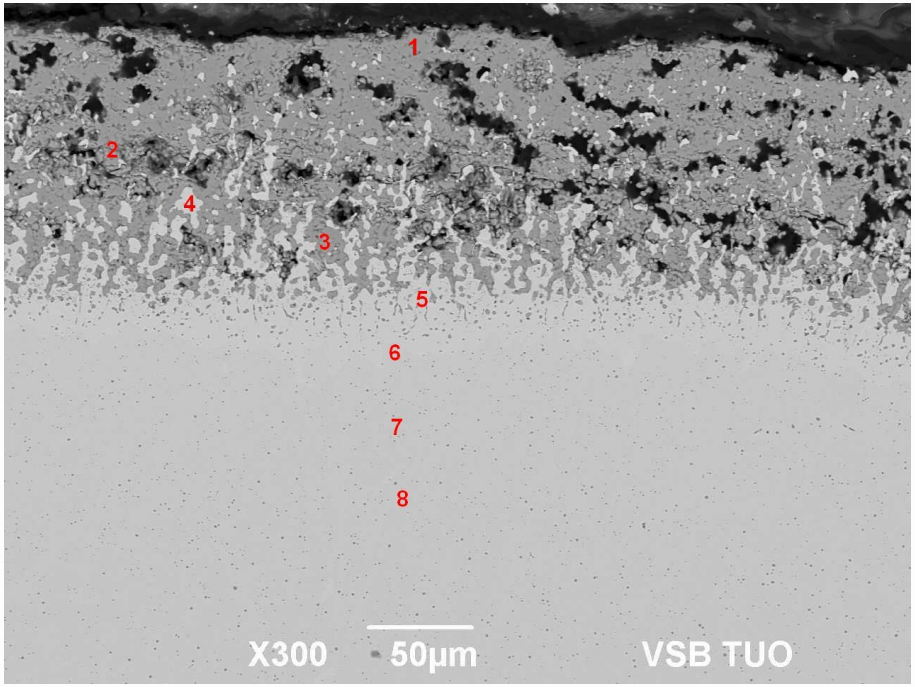
ocel AISI 430 - TZ 1200°C/1 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	36,4	0,6	27,5	1,0	34,5	
2	34,0	0,6	32,2	0,9	32,3	
3	34,3	0,9	33,9	1,0	28,3	1,7
4	26,6	1,7	20,7	1,0	48,8	1,2
5		0,4	10,9	1,2	80,8	6,7
6		0,4	15,9	1,0	81,4	1,2
7		0,4	16,9	1,2	80,5	0,9

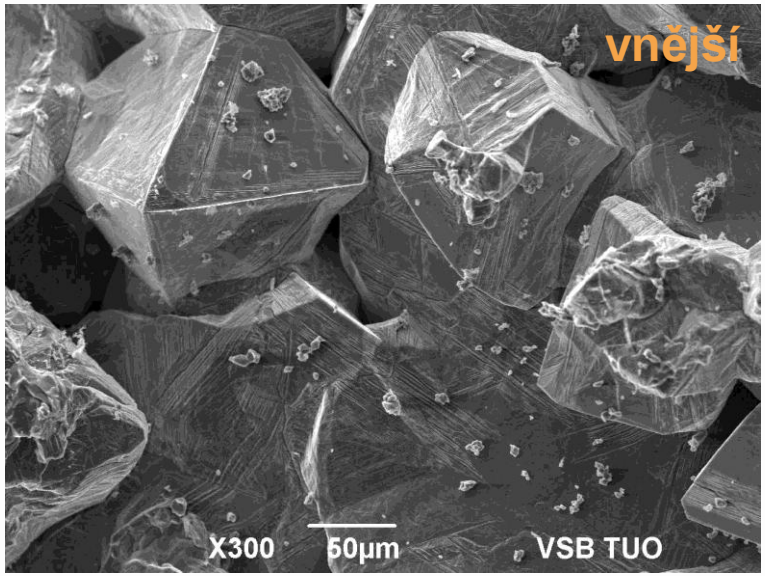
ocel AISI 430 - TZ 1200°C/1 hod./voda

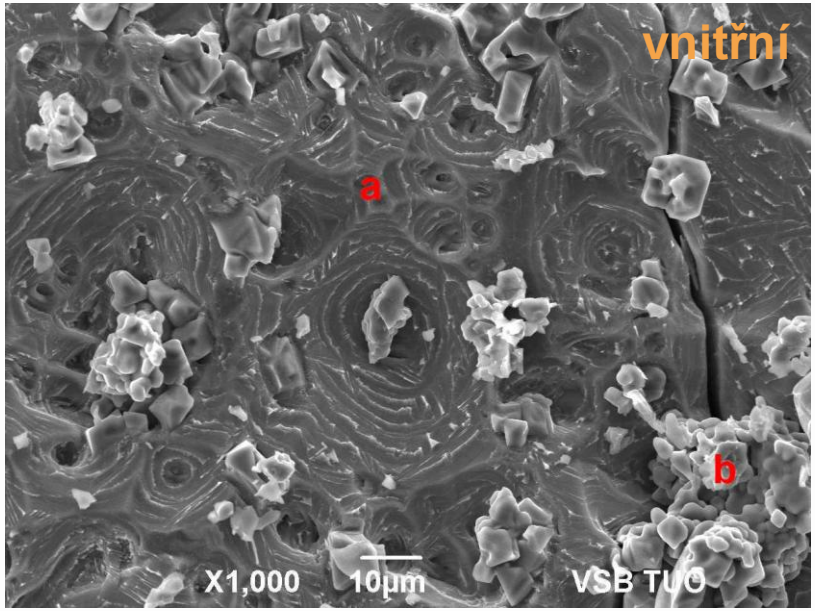


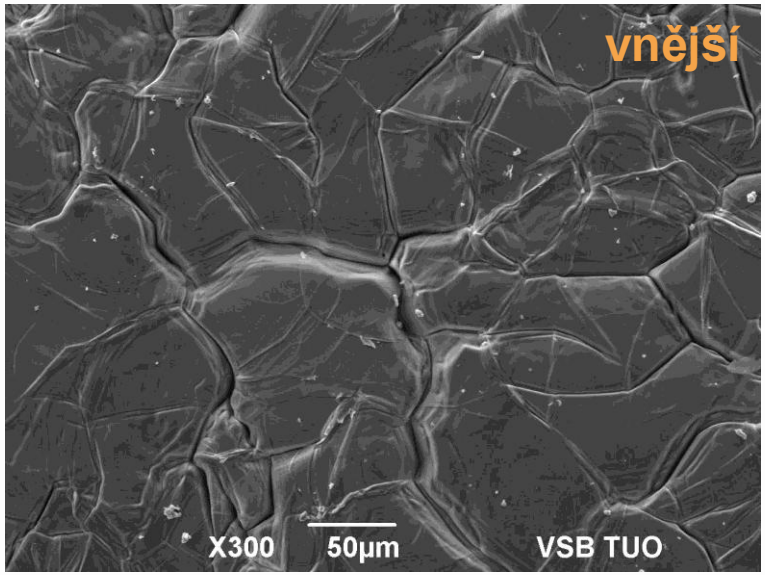
Složení v % hm.

Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	35,6	0,9	33,9	0,9	27,8	0,9
2	36,9	0,8	35,1	0,9	25,2	1,1
3	36,9	0,8	35,3	1,2	24,7	1,0
4			4,0		93,5	2,4
5		0,4	11,1	0,2	87,9	0,3
6		0,4	14,9	0,5	84,1	0,1
7		0,5	16,3	0,8	82,0	0,4

Odloupnutá svrchní vrstva okují
ocel AISI 430 - TZ 1200°C/1 hod./vzduch







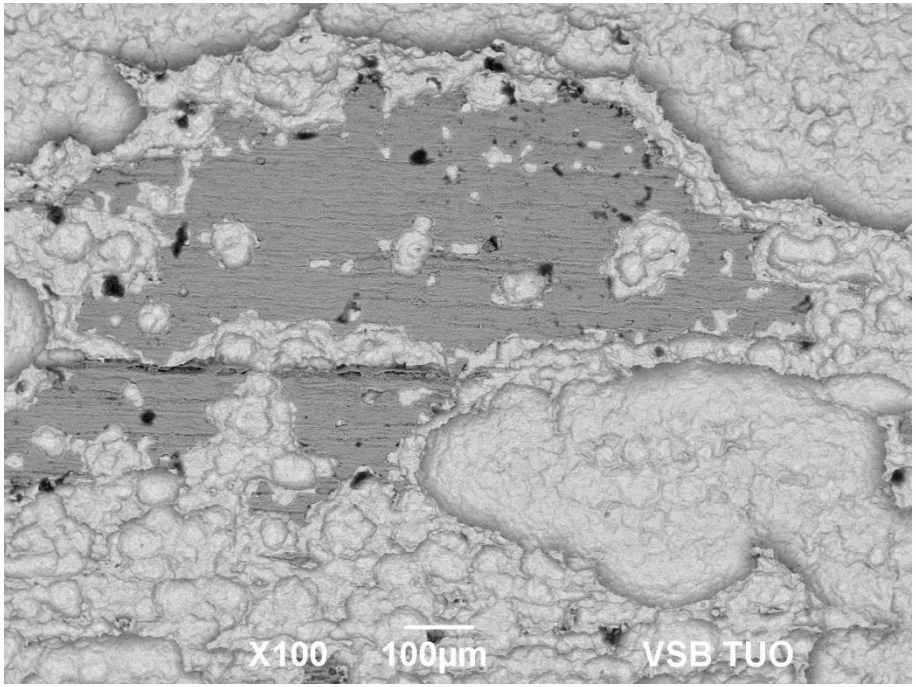
Složení v % hm.

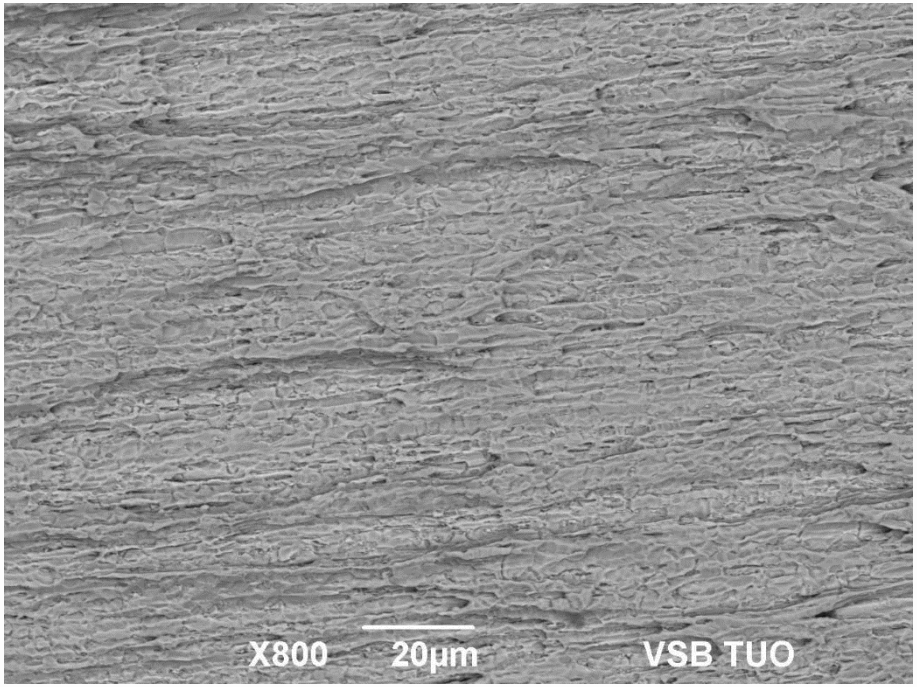
Místo	O	Cr	Mn	Fe
vnější krystalická	33,1	0,2	0,7	66,0
vnější hladká	37,4		0,3	62,3
vnitřní_a	25,3	3,0	1,1	70,6
vnitřní_b	35,9	25,5	1,1	37,6

Moření okujové vrstvy v redukční tavenině

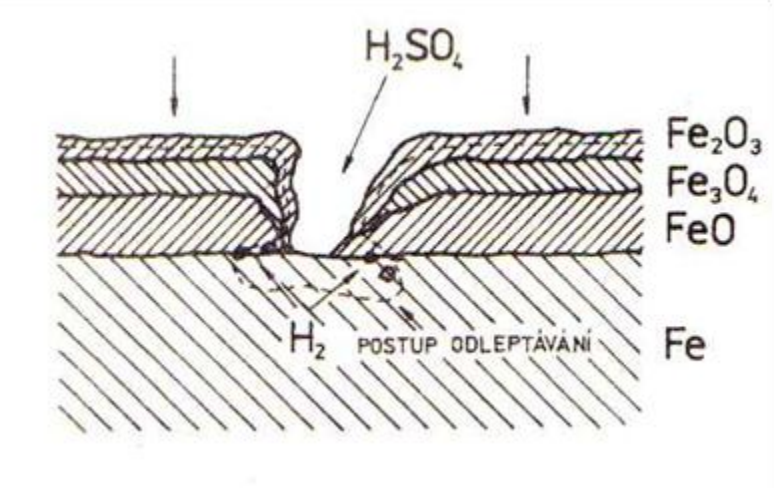
Moření

- Chemické odstranění okujové vrstvy – hladký, čistý povrch pro další technologické úpravy
- Chemickým, mechanickým a tepelným působením mořícího média se okuje přímo rozpouští nebo převádí do snadno odstranitelného stavu
- Mořící média: anorganické kyseliny, redukční taveniny, oxidační taveniny





Moření v kyselinách



- Klasický způsob moření:
  - nízkouhlíkové oceli kyseliny H_2SO_4 a HCl
  - korozivzdorné oceli směsné kyseliny ($HF+HNO_3$)
- Princip:

$$(xFeO + yFe_2O_3) + 2(x+3y)H^+ = xFe^{2+} + 2yFe^{3+} + (x+3y)H_2O$$

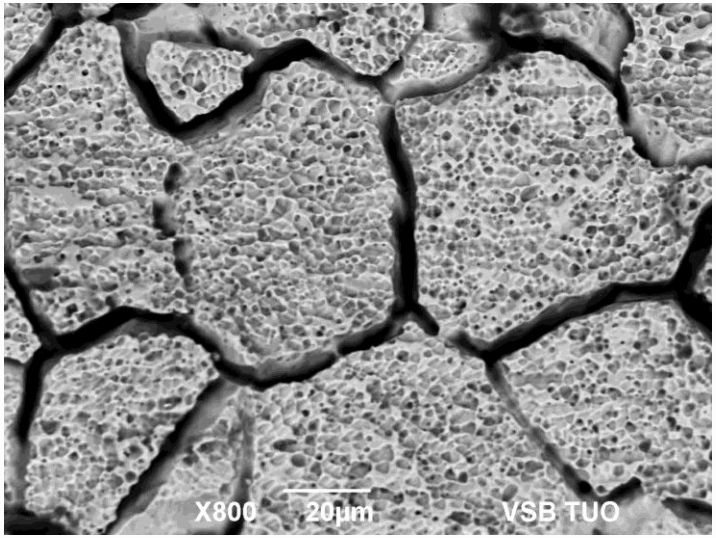
1. H^+ ionty rozpouštějí okuje po celé ploše a postupují rovnoměrně všemi oxidickými vrstvami k povrchu kovu
2. H^+ ionty pronikají do poruch okujových vrstev a vytváří elektrochemické mikročlánky mezi jednotlivými oxidy a makročlánky mezi základním materiálem a okujemi
3. mechanické rozrušování okují vlivem unikajícího vodíku, který vzniká při reakci kationtu H^+ s kovem

Moření korozivzdorných ocelí

Legované oceli jsou velice odolné vůči koroznímu prostředí. Pro účinné moření je zapotřebí použít směsi anorganických kyseliny o vysokých koncentracích. Zároveň musí celý proces probíhat při vysoké teplotě.

Nevýhody:

- Technologické zařízení moříren musí být vyrobeno z velmi odolného materiálu.
- Vlivem vysoce agresivních roztoků kyselin dochází k napadání základního materiálu bodovou a mezikrystalovou korozí, čímž se výrazně zhoršuje kvalita povrchu mořeného materiálu. Dochází ke zvýšeným ztrátám základního materiálu.
- Kyseliny se intenzivně vypařují, čímž dochází ke zhoršení pracovního a životního prostředí. Je nutno vynaložit nemalé výdaje na dodržení předepsaných hygienických norem.
- Doby moření legovaných ocelí jsou dlouhé.
- Není možné kvalitně omořit tvarově složitý materiál.



Moření v redukční tavenině

Mořící medium: soustava NaOH – NaH - Na_2O

základem je tavenina NaOH, ve které je rozpuštěno malé množství redukčního činidla NaH a oxidu Na_2O

Principy:

1. Tepelný šok způsobený ponořením materiálu do horké odokujovací lázně způsobuje popraskání či dokonce odprýskávání vrstvy okují
2. Rozpouštění oxidů kovů kyselé povahy (oxidy Si, Ti, Mo, W aj.) - acidobazická reakci mezi příslušným oxidem a Na_2O , který je silně zásaditý

$$SiO_2 + Na_2O = Na_2SiO_3$$

3. Redukce přítomných oxidů redukční složkou NaH (úplně oxidy Fe, Ni, Co, Cu, částečně oxidy Cr, V, Mn aj.)

$$MeO + NaH = Me + NaOH$$

Výhody:

- S taveninou reagují pouze okuje
- Nedochází ke ztrátám materiálu
- Nevzniká atomární vodík, tzn., že ocel nezkřehává
- Krátká doba moření
- Odstraňují se nejen okuje, ale i smalty, nátěry, maziva, konzervační prostředky, grafit, sklo a jiné nečistoty
- Široké spektrum mořitelných ocelí bez zásadní změny chemického složení taveniny
- Mořírenské zařízení je vyráběno z levnějšího materiálu. Mají delší životnost a zároveň jsou méně ekonomicky náročné na výstavbu
- Nedochází k vypařování jedovatých sloučenin.

Nevýhody:

- Vyšší energetická náročnost v důsledku vyšších teplot moření
- Vyšší ekonomické výdaje na nákup potřebných chemikálií
- Vynášení taveniny s mořeným materiálem v důsledku vyšší viskozity
- Zvýšené nároky na bezpečnost práce při manipulaci s hydroxidem sodným
- Při moření v oxidačních taveninách dochází ke vzniku karcinogenního šestimocného chromu, který se usazuje v podobě kalů na dně nádoby

Moření v oxidačních taveninách

Do taveniny NaOH se přidává oxidační činidlo ($NaNO_3$ aj.) které oxiduje okuje na výševalentní oxidy s větším specifickým objemem, čímž dochází ke změně struktury okují na povrchu materiálu, vzniku pnutí a jejich rozpraskání. Pouze malá část okují se oddělí nebo rozpustí v tavenině, kde se usazuje jako kal. Větší část okují se odstraní až při následující operaci – chlazení a oplachu vodou, kdy dochází k jejich částečnému odtržení. Zbytek okují se odstraní při domoření v kyselinách.

Hodnocení povrchů po moření v redukční tavenině

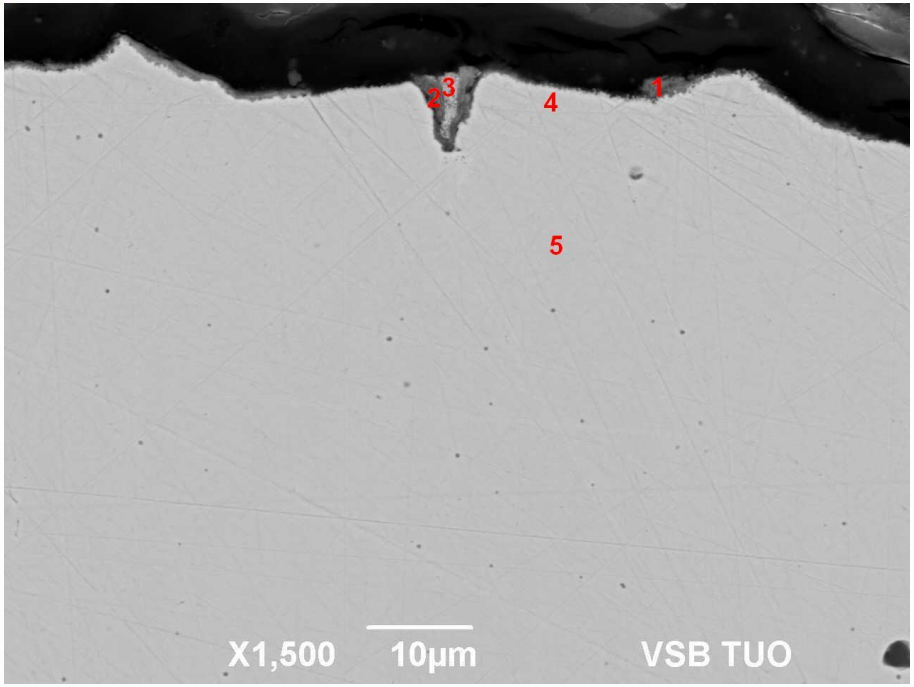
Podmínky moření zokujených vzorků

- Mořením v hydridové redukční tavenině, do níž byla redukční složka *(NaH)* dávkována pomocí speciálního prostředku Feropur®
- Zokujené vzorky byly ponechány v redukční tavenině po dobu 15 minut a poté zchlazeny teplotním šokem ponořením do vody
- Po vytažení z mořící lázně byly vzorky zbaveny alkality opláchnutím horkou vodou a osušeny
- Hmotnostní úbytek byl stanoven převážením vzorků před a po moření

Experimentální techniky

- Vzorky zbavené okují byly rovněž metalograficky připraveny v příčném řezu a podrobeny analýze na SEM
- Hodnoceny byly pouze vzorky chlazené na vzduchu

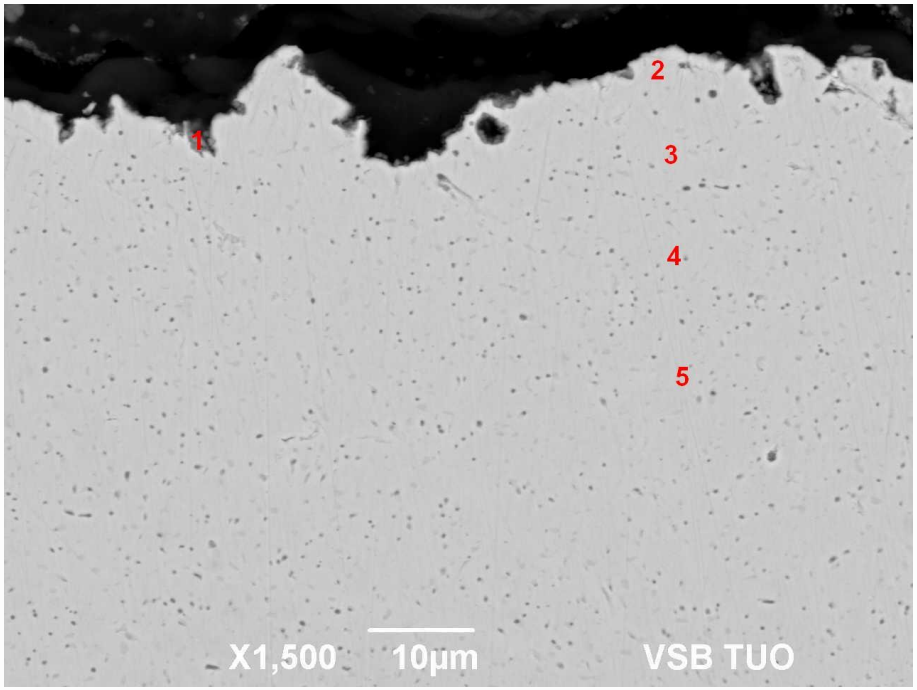
ocel AISI 316 - TZ 800°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Na	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	37,8	4,2	0,3	1,8	30,5	1,0	15,8	4,5	4,0
2	26,4	3,6	0,5	0,8	23,2	0,9	38,5	4,4	1,7
3	16,8	1,2	0,3	0,3	7,7	0,5	67,0	5,6	0,6
4			0,7		17,7	2,0	66,1	10,7	2,8
5			0,6		17,8	2,2	66,3	10,6	2,5

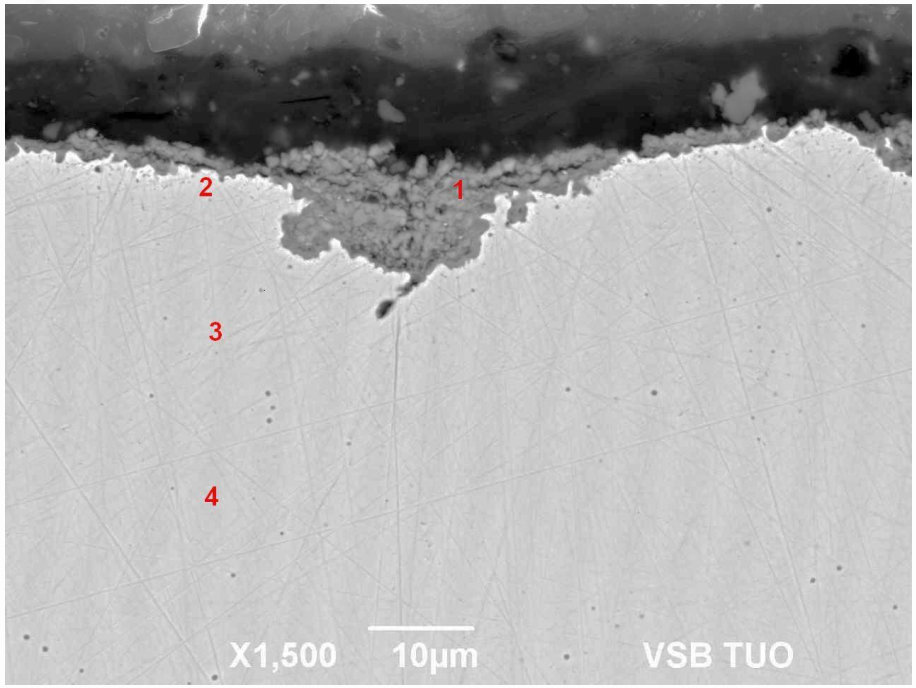
ocel AISI 430 - TZ 800°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Na	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1	23,8	3,1	0,2	0,5	25,8	12,1	34,4	
2			0,4		14,0	0,2	85,0	0,4
3			0,5		15,8	0,8	82,5	0,4
4			0,5		16,4	1,1	81,4	0,6
5			0,5		16,9	1,0	81,2	0,3

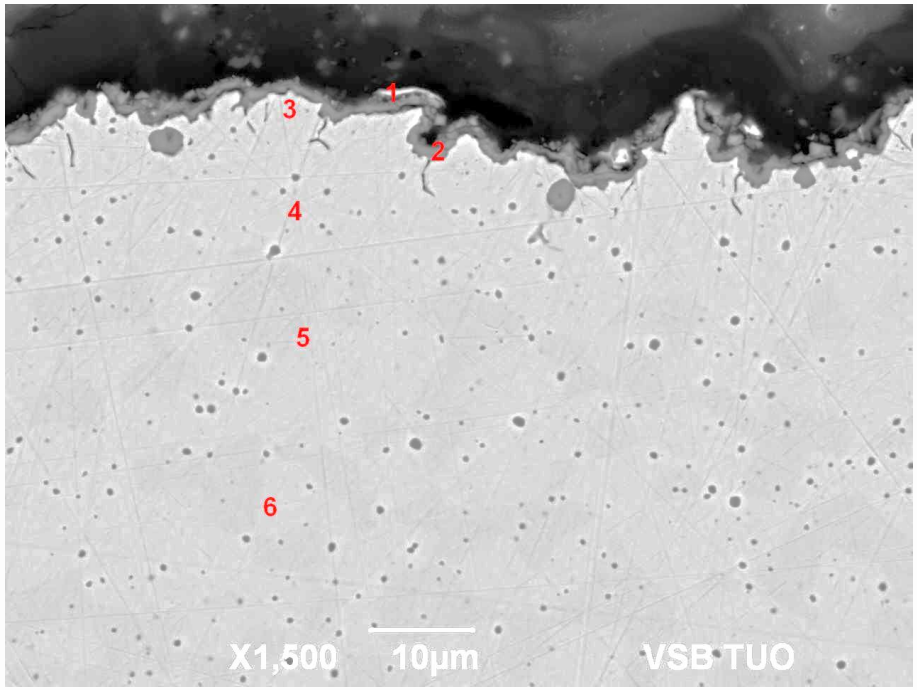
ocel AISI 316 - TZ 1000°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Na	Si	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	34,6	5,9		33,3	0,9	22,0	3,3	
2			0,2	13,5	1,0	70,7	11,2	3,4
3			0,7	18,1	1,9	66,6	10,2	2,5
4			0,5	17,8	2,0	66,1	10,8	2,7

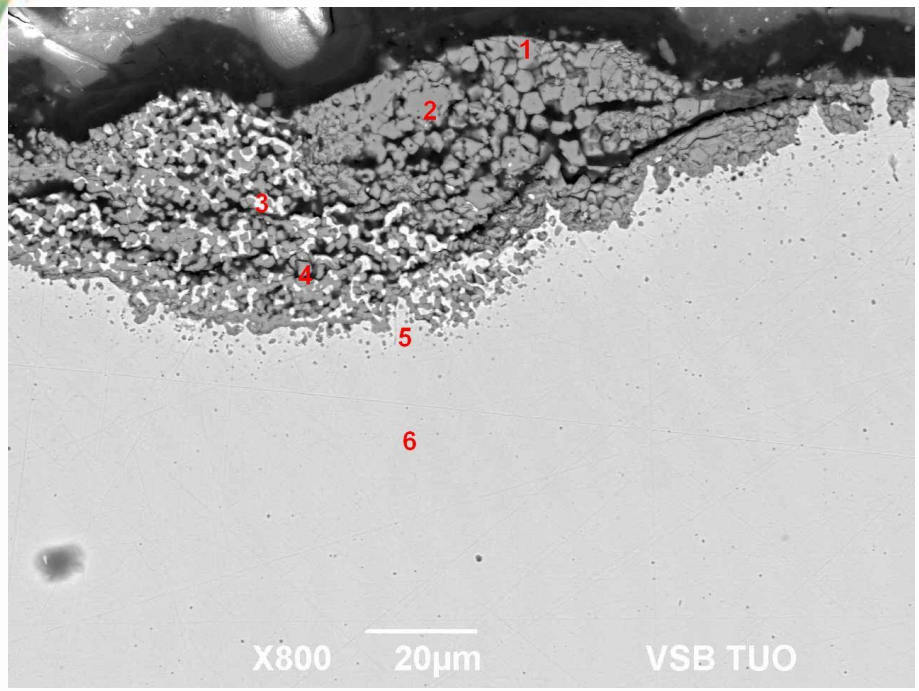
ocel AISI 430 - TZ 1000°C/2 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Na	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Mo
1			1,2		19,4	2,4	74,2	2,8
2	29,9	3,2		0,3	45,8	1,9	18,9	
3			0,3		13,9	0,5	84,9	0,4
4			0,4		15,5	0,9	82,9	0,3
5			0,4		16,2	1,1	81,9	0,4
6			0,4		16,5	1,1	81,6	0,4

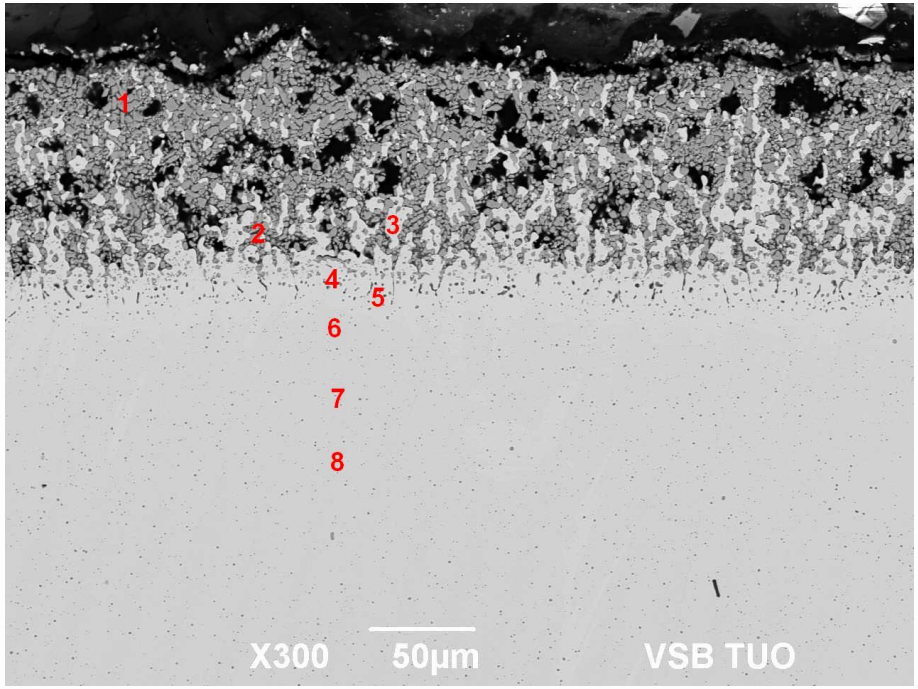
ocel AISI 316 - TZ 1200°C/1 hod./vzduch



Složení v % hm.

Místo	O	Na	Si	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo
1	19,4		0,2	0,4	4,9	5,4	58,3	11,3	
2	37,6				19,4		41,9	1,2	
3					5,8		23,0	63,3	7,9
4	41,5		0,6		34,2	1,0	19,3	1,8	1,6
5			0,3		14,6	0,9	68,8	12,2	3,1
6			0,6		17,8	2,0	66,6	10,4	2,6

ocel AISI 430 - TZ 1200°C/1 hod./vzduch

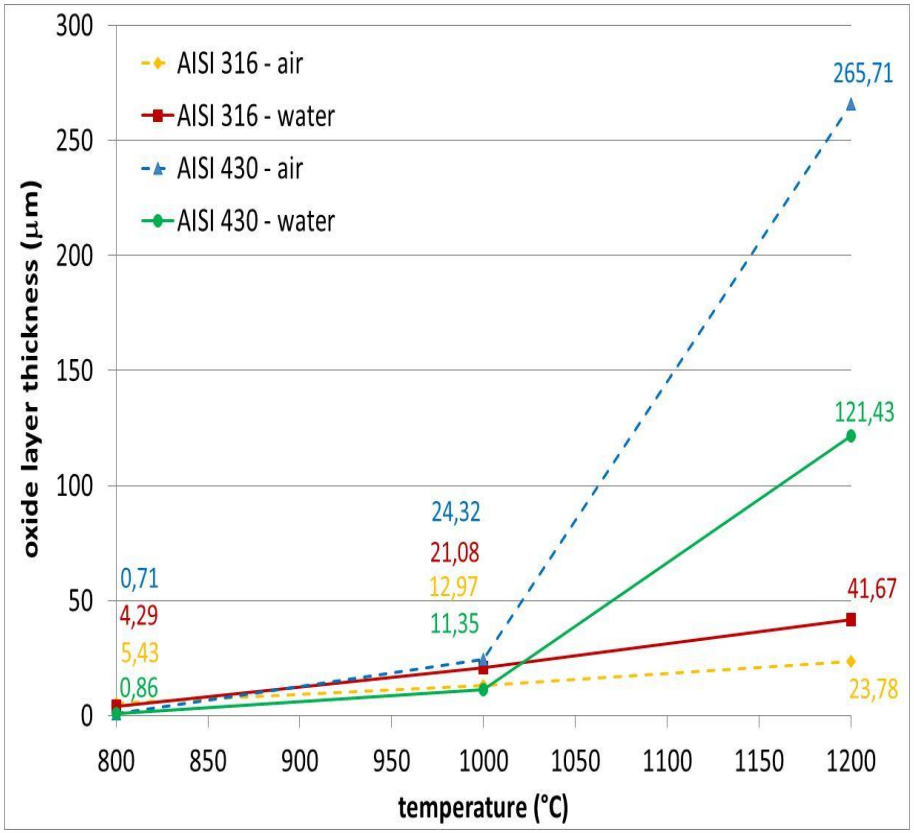


Složení v % hm.

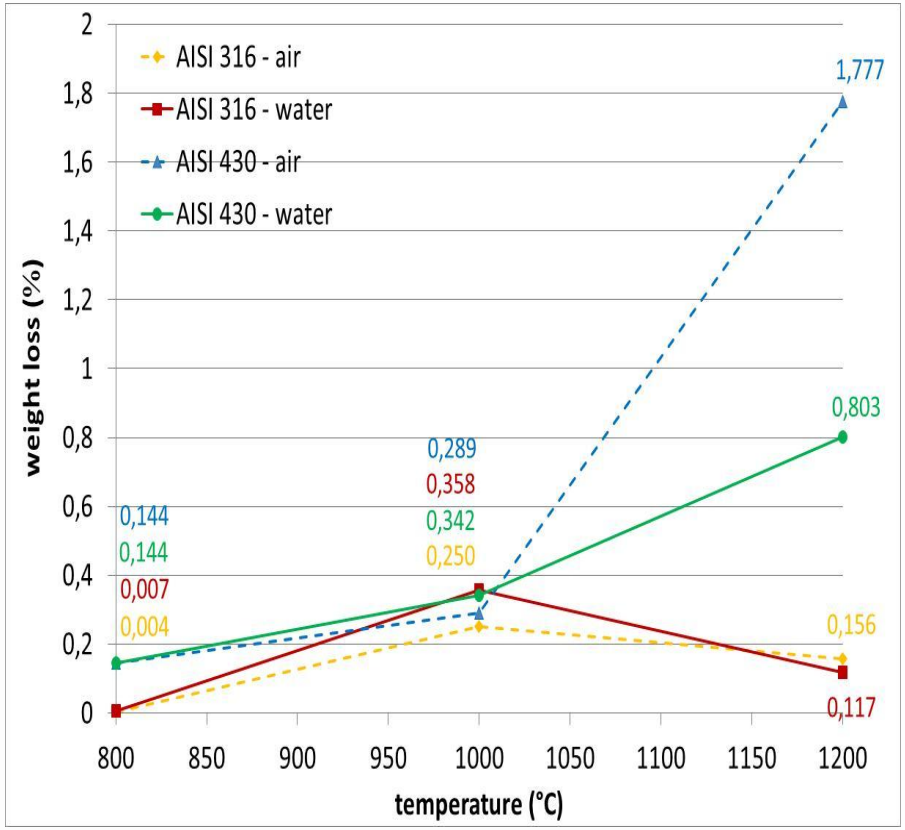
Místo	O	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
1	37,4		36,3	0,7	25,6	
2	38,6	0,4	37,5	2,3	21,2	
3			3,8		94,2	2,1
4			6,6		93,1	0,3
5	4,3	0,5	8,4	0,4	80,3	6,2
6		0,3	13,3	0,5	85,1	0,8
7		0,4	15,4	0,5	83,1	0,7

Tloušťka okujové vrstvy a hmotnostní úbytky

Tloušťka okujové vrstvy



Úbytek hmotnosti po moření



Závěr

Okujová vrstva

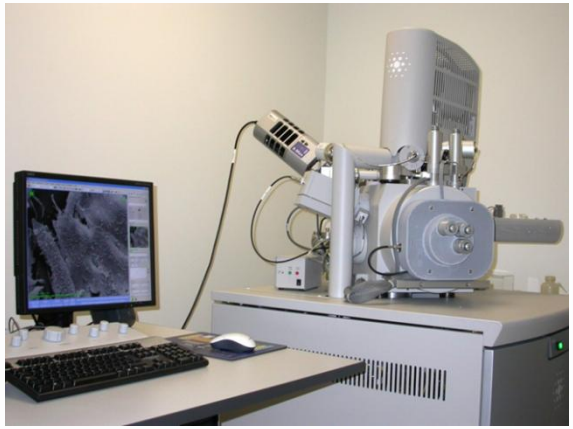
- Se vzrůstající teplotou se zvyšovala tloušťka okujové vrstvy
- Okujová vrstva byla zcela na povrchu tvořena oxidy Fe, směrem k matrici vzrůstal obsah Cr vázaný v oxidech
- Při vysoké teplotě žíhání (1200°C) byl v oxidech vázaný také Mo, mezi matricí a oxidickou vrstvou se vytvářela mezivrstva, ve které se nacházely částice čistého kovu
- Při ochlazování na vzduchu se jevila vrstva více popraskaná, odprýskávala a byla tedy ve výsledném stavu tenčí. Naopak po ochlazování ve vodě zůstaly oxidické vrstvy kompaktnější a silnější
- Ochuzení o Cr těsně pod okujovou vrstvou bylo výraznější u oceli AISI 430

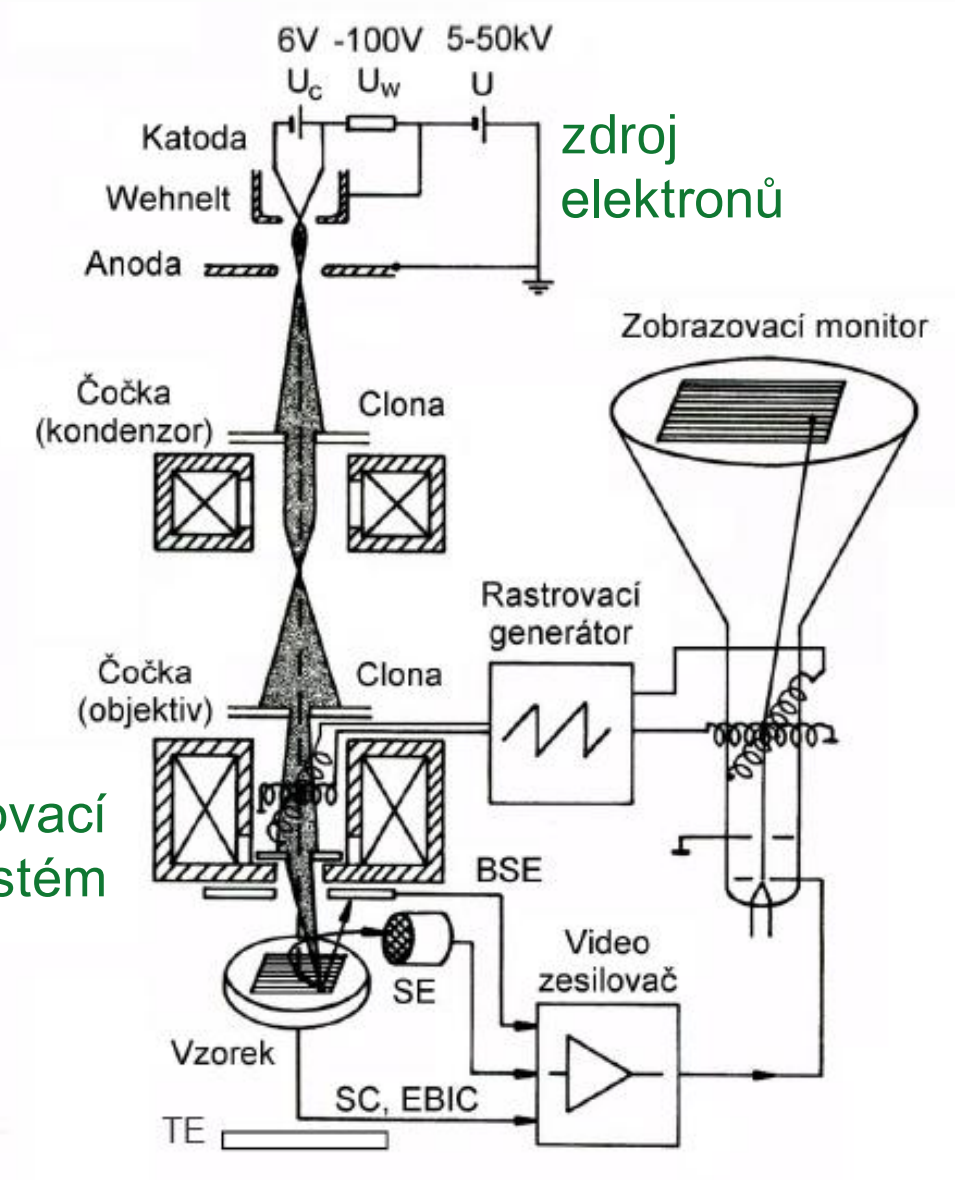
Moření

- Při nízkých teplotách žíhání, kdy vznikaly jen tenké vrstvy, které byly mořením odstraněny, ochuzení na povrchu materiálu bylo minimální. Zbytky oxidů byly zachyceny jen v hlubších prohlubních.
- Po moření vrstev vzniklých při vyšších teplotách byly místy na povrchu pozorovány oblasti redukovaných oxidů, popř. vrstvičky čistých kovů. V oblasti mezivrstvy byl patrný vyšší podíl částic čistých kovů.
- Moření v redukční tavenině zlepšuje podmínky pro následné domoření v kyselinách. Je možné mořit doposud obtížně mořitelné oceli a slitiny, zlepšuje se kvalita povrchu oceli po moření a dochází ke zkrácení expozičních časů v kyselinách. Kratší expoziční časy umožňují snížení spotřeby domořovacích kyselin a minimalizují se hmotnostní úbytky oceli při moření což následně snižuje množství oplachových vod a neutralizačních kalů.

Rastrovací elektronová mikroskopie

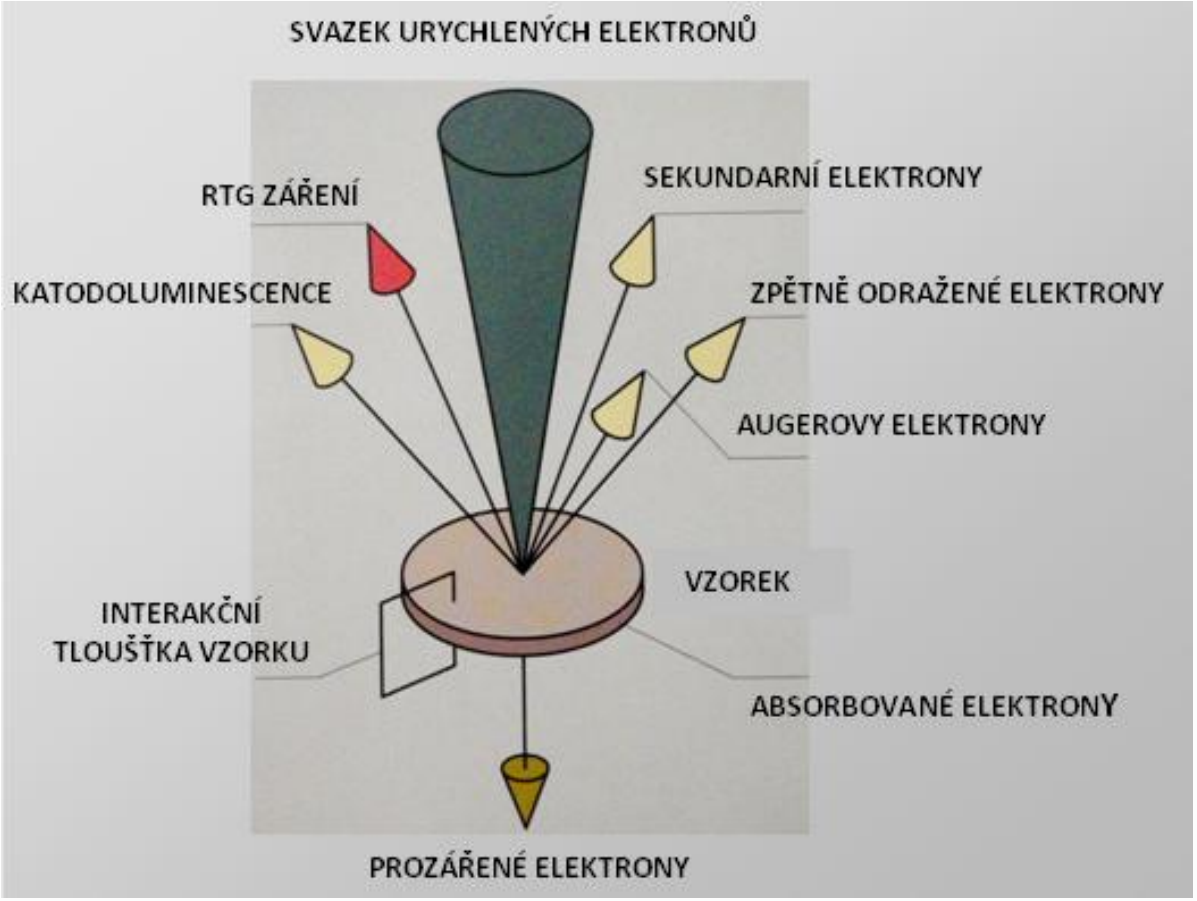
REM je ultra-vakuové zařízení určené především pro zobrazení a analýzu povrchů objemových vzorků





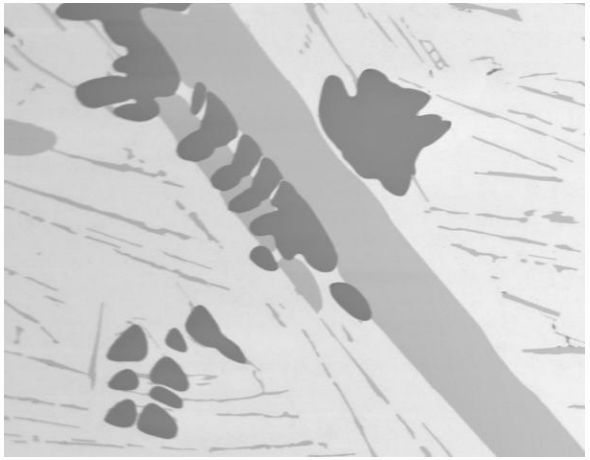
Interakce urychlených elektronů s hmotou vzorku

- Při interakci elektronů se vzorkem materiálu vzniká řada dějů, které jsou výsledkem srážek urychlených primárních elektronů s materiálem vzorku

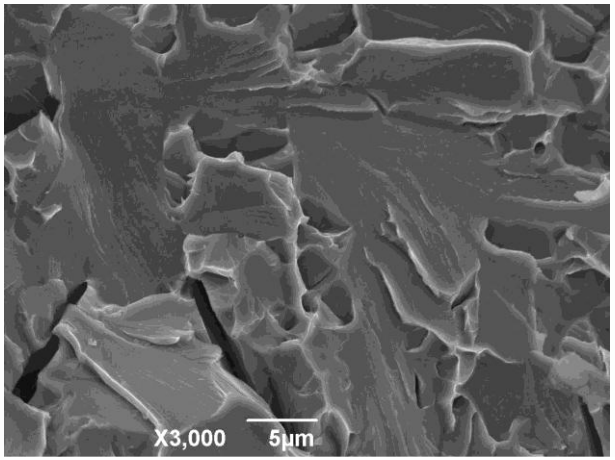


Detekované signály

zpětně odražené elektrony (BEI) - jejich emise je závislá na atomovém čísle materiálu - poskytují materiálový kontrast



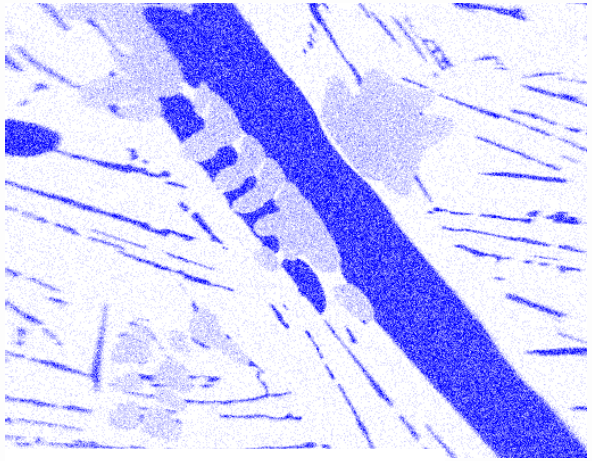
Mikrostruktura pájky AlZnSn



Transkrystalické křehké porušení

sekundární elektrony (SEI) - jejich emise je přímo úměrná úhlu dopadu primárních elektronů na povrch vzorku

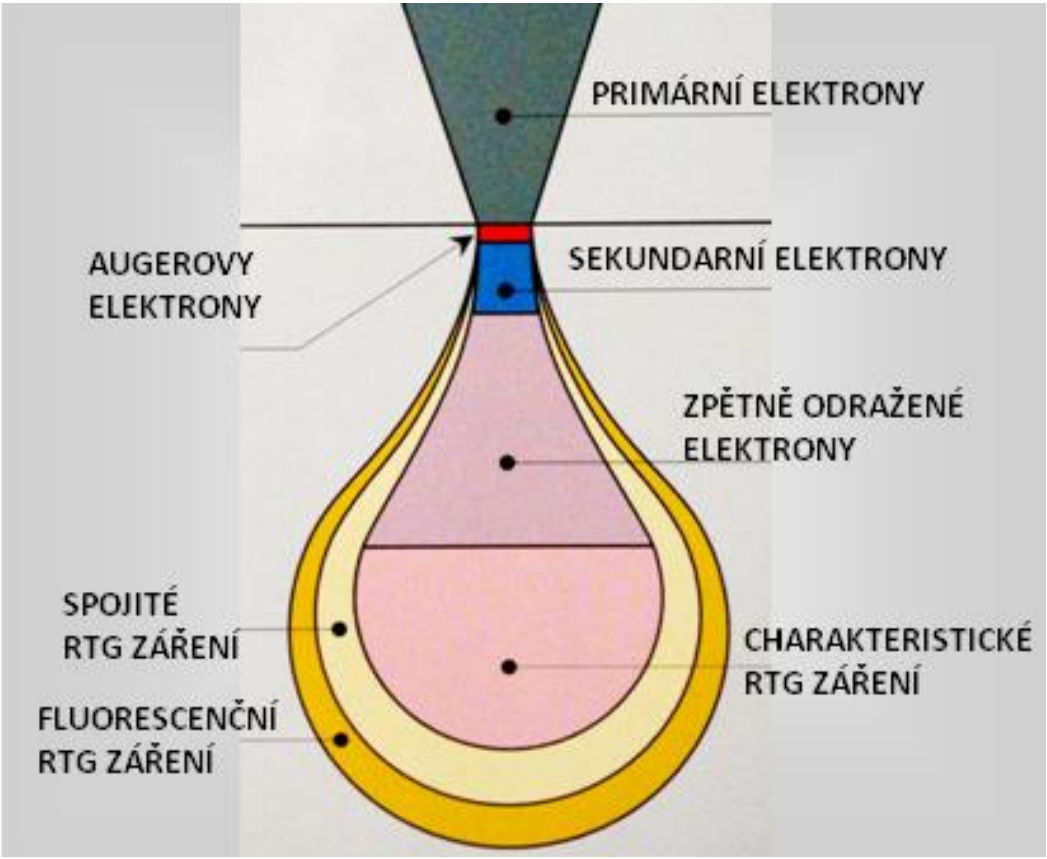
charakteristické rentgenové záření - vyzářená energie závisí na energetickém stavu atomu, a proto může být použita k jeho identifikaci



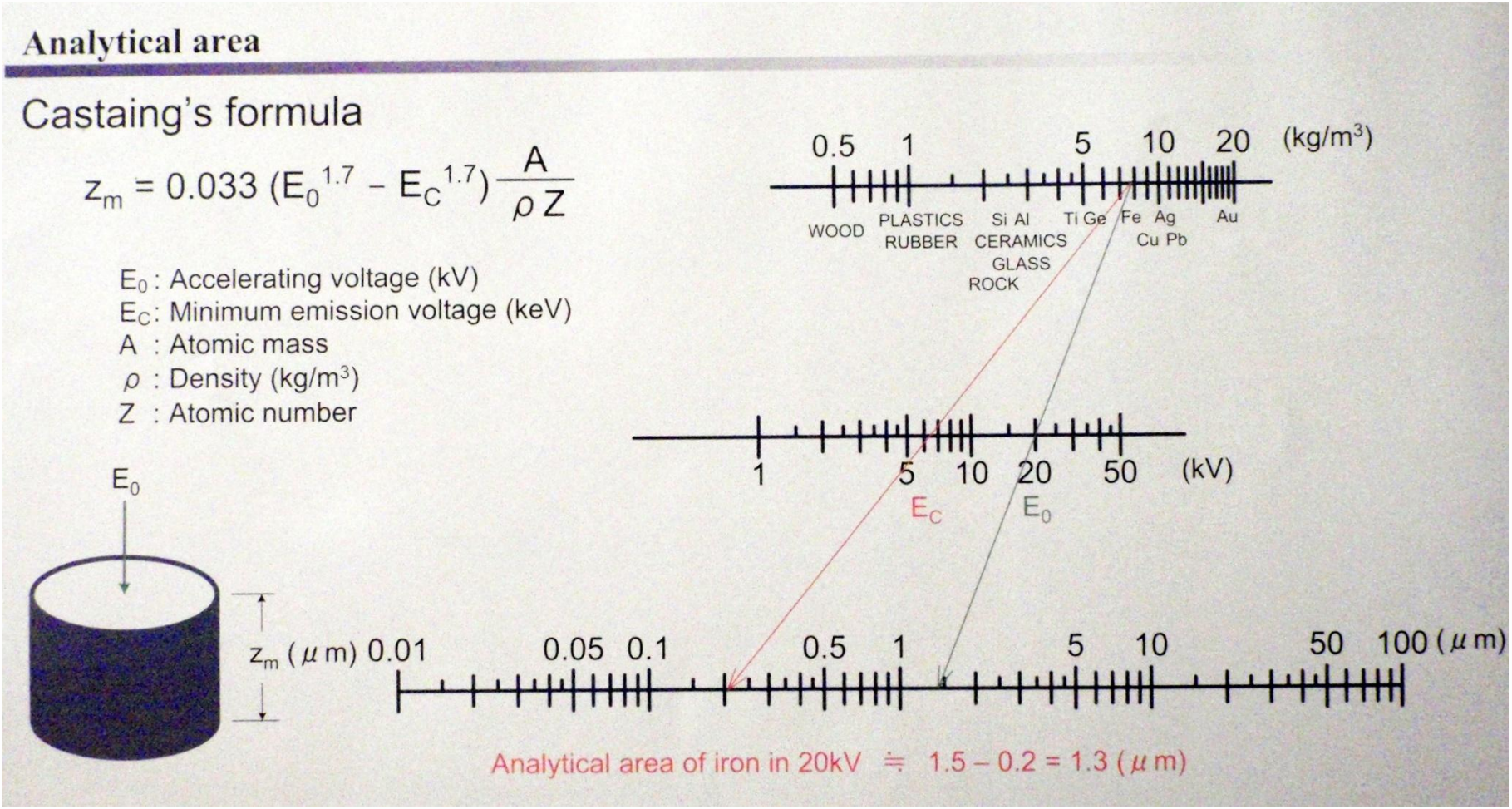
Rtg. mapa Zn

Interakční objem

- Všechny procesy se uskutečňují v určitém objemu materiálu jehož velikost je závislá na energii primárních elektronů a chemickém složení vzorku

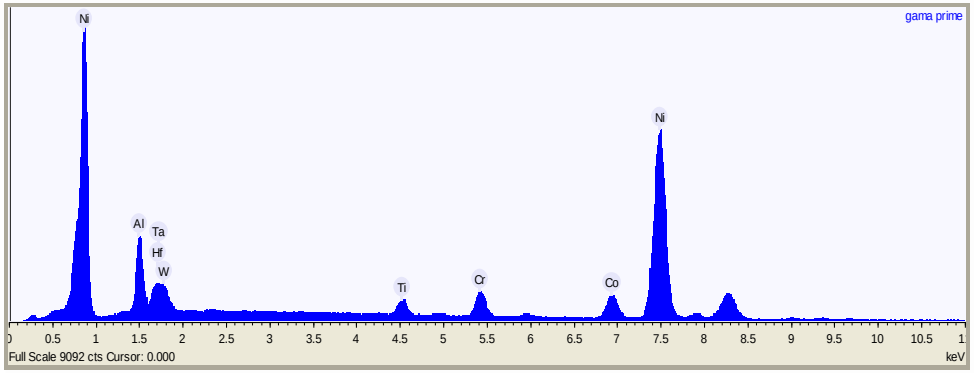


Analyzovaný prostor



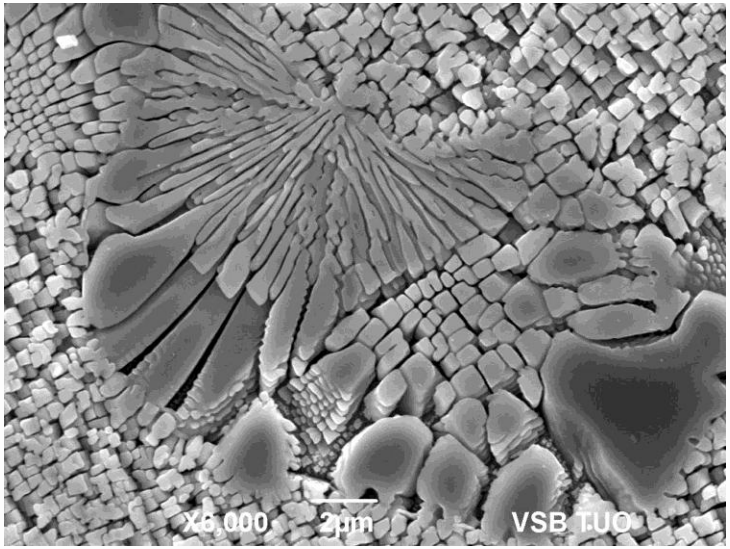
RASTROVACÍ ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP JEOL JSM-6490LV

Umožňuje charakterizovat strukturu materiálů a povrchů, a fraktografickou analýzu lomových ploch. Kromě zobrazení struktury při vysokém rozlišení je možné stanovit lokální chemické složení. Variabilní tlak v pracovní komoře mikroskopu umožňuje studovat částečně nevodivé vzorky bez jejich úpravy (zvodivění).



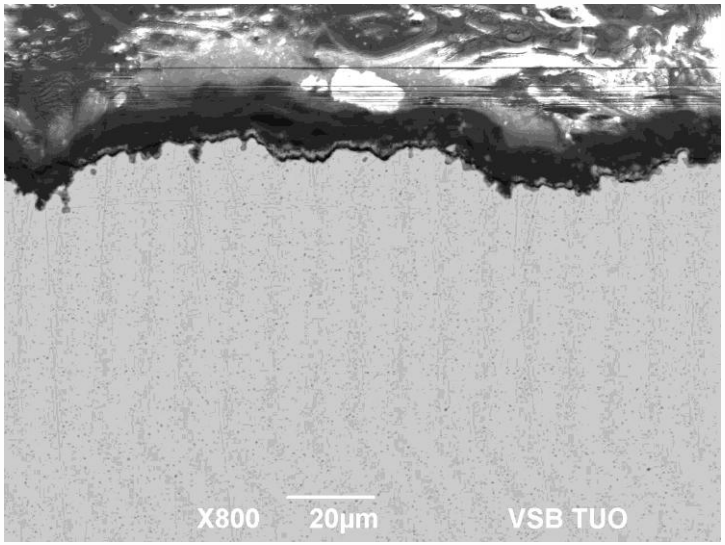
APLIKACE

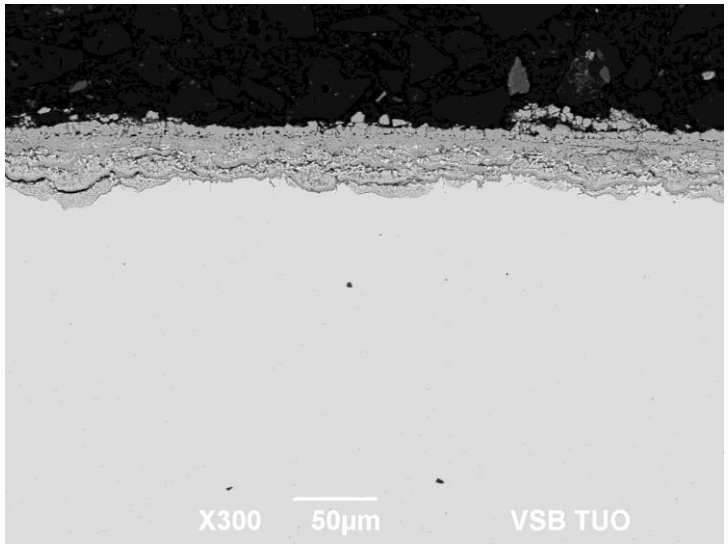
- Strukturně-fázová analýza kovových i nekovových materiálů,
- Fraktografické rozbory,
- Hodnocení degradace struktury materiálů,
- Analýza příčin výrobních problémů, optimalizace výrobních procesů



Příprava vzorků pro elektronovou mikroskopii

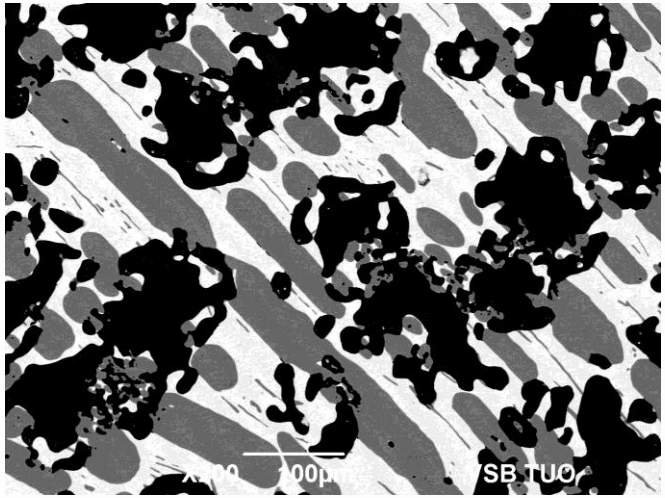
- Pro pozorování a analýzu **povrchů** je vzorek nutno očistit a odmastit , případně upravit jeho velikost
- Pro pozorování a analýzu **mikrostruktury a povrchových vrstev v řezu** se připraví **metalografický výbrus**
  - Preparace - **pro preparaci vzorků je vhodné použít vodivý „bakelit“, zejména pro pozorování a analýzy povrchů**
  - Broušení
  - Leštění
  - Leptání





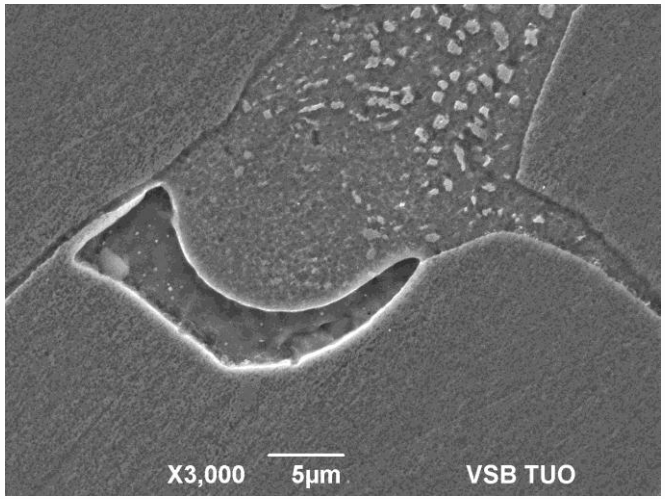
Metalografické vzorky pro EDS analýzu

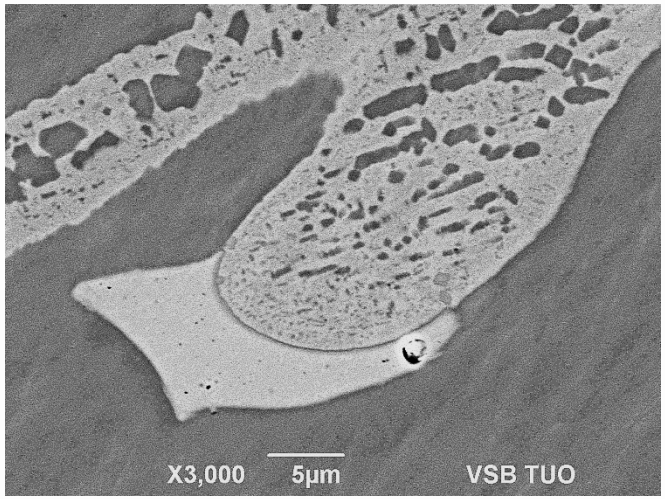
Ve vyleštěném stavu – pozorování struktury s výrazným materiálovým kontrastem jednotlivých fází – přesnější chemická analýzy neovlivněná leptáním



Slitina AlZnSn

Naleptaný povrch vzorku – nutno zvolit vhodné leptadlo pro zviditelnění struktury, často dochází k odleptání fází, které chceme analyzovat

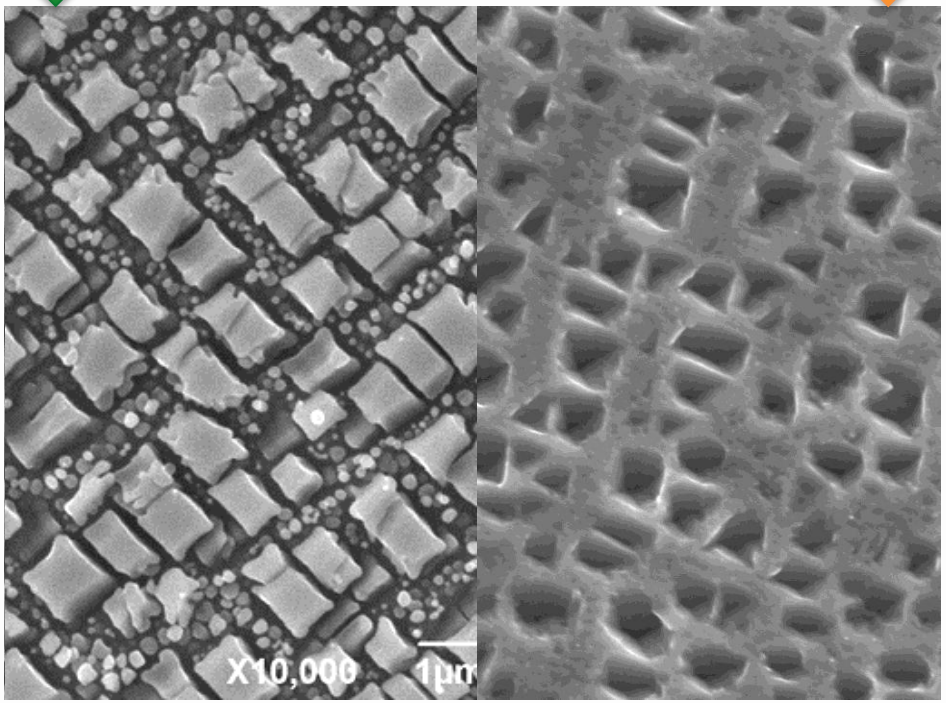


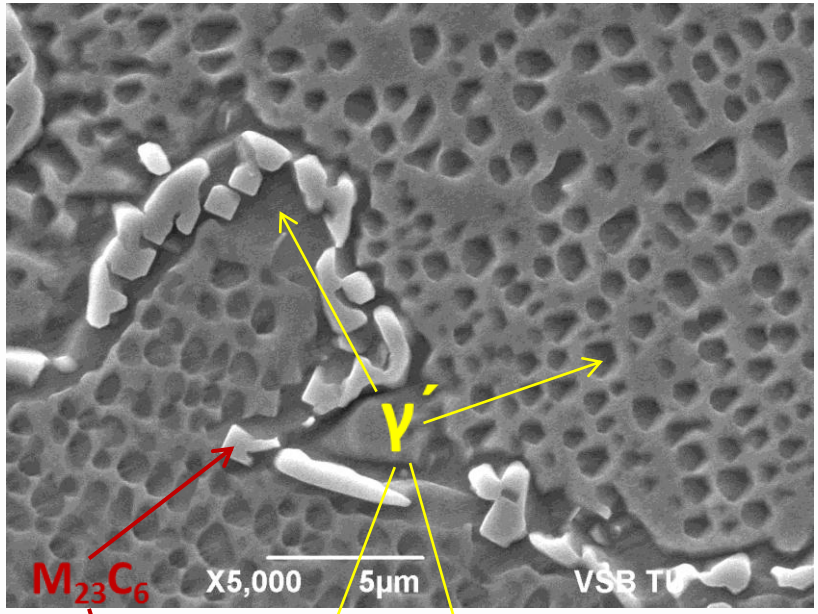


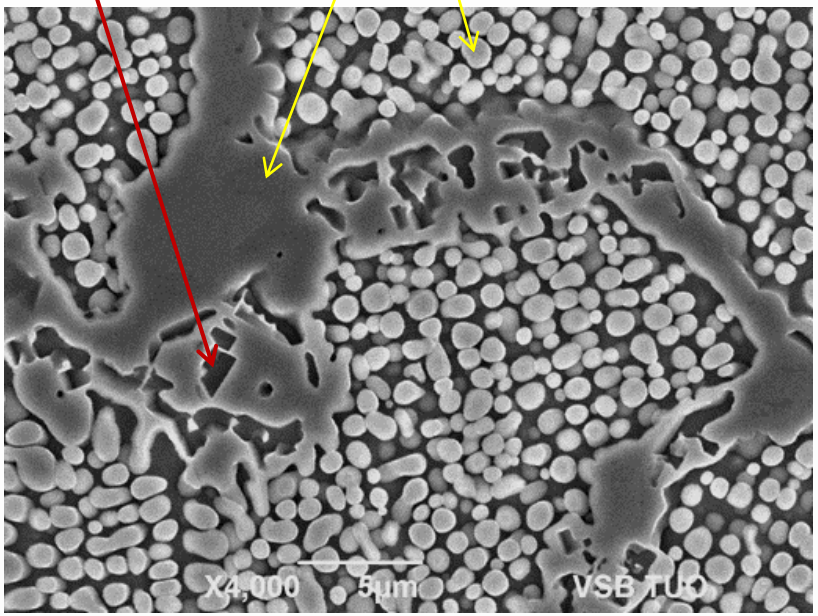
Slitina NiAl

Různé způsoby leptání mikrostruktury superslitiny IN 738LC

1. Chemickým leptáním roztokem HCl a $CuCl_2$ v etanolu
2. Elektrolytickým leptáním ve směsi kyselin H_3PO_4 , HNO_3 a H_2SO_4

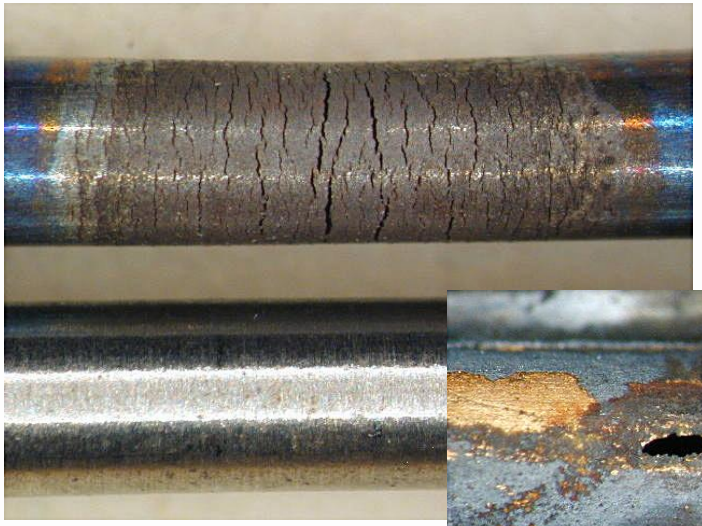


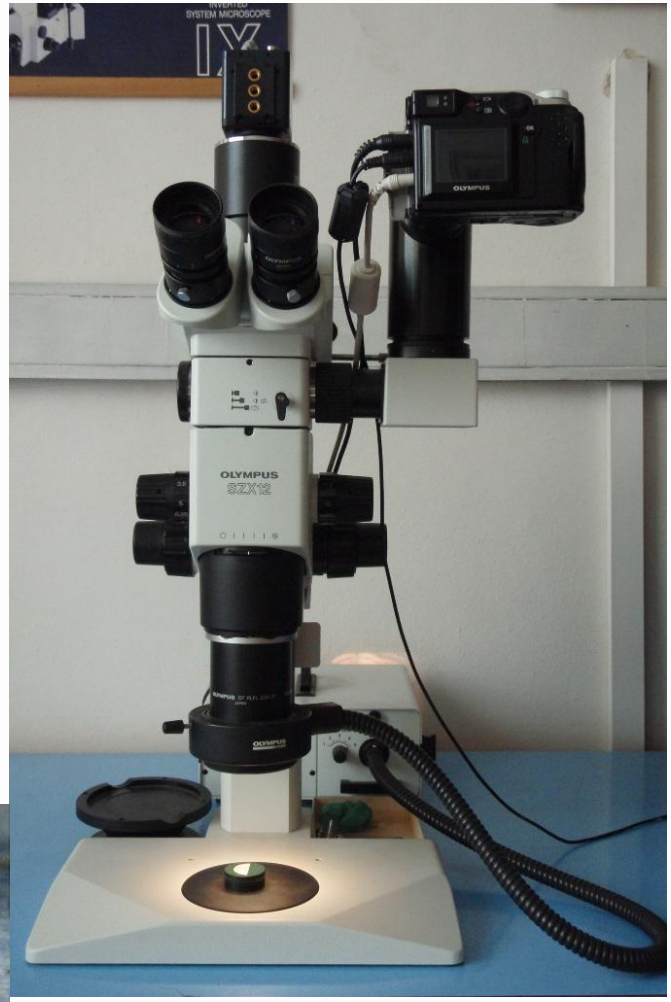




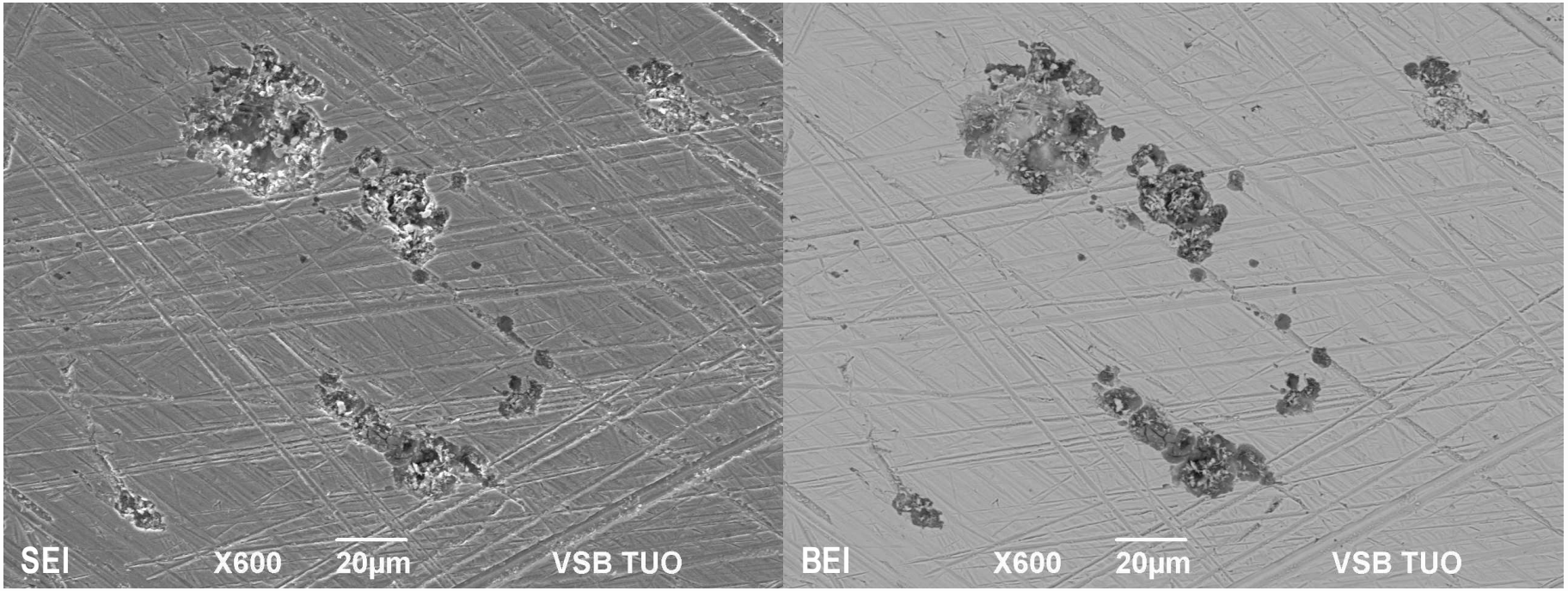
Stereomikroskop OLYMPUS SZX12

- Fotodokumentace makropohledů, dodaných stavů
- Oproti metalografickým mikroskopům velká hloubka ostrosti
- Věrné barvy
- Není nutná žádná speciální příprava vzorků





Děkuji za pozornost



Korozivzdorná „kuchyňská“ ocel – bodová koroze