

Povrcháři

5. číslo Prosinec 2020

MOŘENÍ V KYSELINĚ SOLNÉ

**MALÝ ATOM VODÍKU VEDE K VELKÝM
ZMĚNÁM V OCELI**

**STANOVENÍ ÚČINNOSTI ODMAŠŤOVÁNÍ
VE VODNÝCH ALKALICKÝCH ROZTOCÍCH**

**FYZIKÁLNÍ PODSTATA MĚŘENÍ TVRDOSTI
A PŘEPOČET NA PEVNOST**

**3D TISK A JEHO POUŽITÍ POUŽITÍ VE VÝVOJI
BEZPILOTNÍHO VRTULNÍKU**

**PNEUMATICKÁ TRYSKA IKEUCHI – ÚPRAVA
VLHKOSTI PŘI VÝROBĚ VÍNA
A OSTATNÍCH LIHOVIN**

KDO JE ROZSOUDÍ II.

Slovo úvodem

Vážení přátelé, povrcháři a strojaři

O jednom nevydařeném létě vyjádřil se mistrovsky spisovatel Vladislav Vančura slovy: „Tento způsob léta zdá se býti poněkud nešťastným“.

Pohlédnutím za tímto letošním rokem si lze tato nadčasová slova vypůjčit s tím, že tentokrát však nejde o počasí. Poděkujme proto všem kolem, kteří se starali a starají, aby se to dalo přežít.

Přejme si všichni společně a vzájemně do nového roku hodně sil k udržení pevného zdraví všem v naší zemi i okolí.

Váš Povrchář.



doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.



Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

P.S.

Je čas vánoční a to je mimo jiných radostí i čas pohádek. A že jste byli všichni hodní a skoro všichni opatrní na kyanidy, tak jednu krátkou, vám všem do tohoto svátečního Povrcháře pro radost i k zamyšlení.

Bylo, nebylo. Jednou po západu slunce /v 16.00 to bylo/ se ptá po celodenní šichtě děd Vševed: „Koho to tu matka, máš?“ Ale jeden z takové malé země, na padesáté rovnoběžce, se tě chtěl na něco zeptat. Není to tam, co mají tolik dobrého piva? Nevím synku, ale pár lahví, prý na ochutnání, chudáček přinesl. Jakýpak chudáček-Čecháček, když tam mají ještě pořád tak dobrý pivo? A co vůbec chtěl vědět? Prý proč mají u nich všude nahoře, kam se podíváš, tak hloupé? Já se tam raději, matko, už moc nedívám. Vyříd' mu, co já vím, protože hloupě volí a hloupě čekají, že ty, co si zvolí příště, hloupí nebudou. Když oni jim to, co si mají myslet a zvolit, dokola až do zhrounutí pořád opakují. Tak ať to neposlouchají, A ty to taky, matko, vyрни nebo z toho zhroupeme i tady a já ráno vyjdu na západě.

Podej mi, prosím, ještě to poslední pivíčko, ať se svlažím. Raději ať si něco pěkného přečtou a drží se doma, vždyť i s lahvovým se to dá vše přečkat.

A taky ty roušky! Vždyť i já si ráno беру deku z eko-azbestu. Říkal mi Větrovský, že jen pár blbců si myslí, že se to lepší, když se to tak rozfoukalo.

A až se bude vracet domů, tak bacha u přívozu. Oni to tam prý chtějí napříště všechno provozovat „Piráti“.

Dej mu na cestu také pár rad, kdo co řekl o pivu. Ty flašky, ať vrátí cestou, tady je nikde neberou. Tak dobrou.

Několik rad z těch, co dostal na cestu:

Dobré pivo se pozná už po prvním doušku. Ale vždy je lepší se pořádně ujistit. (České přísloví)

Pořádný stát musí mít pivo a aerolinky. Trochu pomůže i fotbalový tým a jaderné zbraně.

Ale pivo je základ. (Frank Zappa)

Ochutnat pivo, znamená vypít. (Povrchářské přísloví)

Pište opilí, opravujte střízliví. (Ernst Hemingway)

Pivo je důkaz, že nás Bůh miluje a chce, abychom byli šťastní. (Benjamin Franklin)

Tak se opatrujte, ať se zase brzy ve zdraví sejdeme. A taky hodně štěstí.

Moření v kyselině solné

Ing. Pavel Váňa – EKOMOR, s.r.o. (†13.11.2020 Frýdek – Místek)

U ocelí dochází vzájemnou interakcí povrchu oceli a okolního prostředí k vytvoření povrchové vrstvy anorganických sloučenin. Heterogenní reakce probíhají dvojím mechanismem - oxidací za vyšších teplot (tvorba okují) a korozí (za přítomnosti vody). Pro další zpracování oceli jsou tyto vrstvy nežádoucí a odstraňují se nejčastěji procesem označovaným jako **moření**.

Moření je základní a nejrozšířenější chemický postup povrchové úpravy ocelí. Jde o odstranění vrstev anorganických, oxidických sloučenin z kovových povrchů pomocí kapaliny, která oxidické vrstvy chemicky nebo elektrochemicky naruší a podpoří jejich odstranění. Při výrobě oceli navazuje moření na tvářecí procesy (válcování pásu a plechu za tepla i za studena, tažení drátu, trub a tyčí). Moření často navazuje na žhání bez ochranné atmosféry a je rovněž základním postupem chemických předúprav povrchu oceli před nanášením galvanických, organických a keramických povlaků a povlakováním roztavenými kovy (žárovým zinkováním, cínováním atd.). Uvádí se, že **60 – 70 %** produkce vyráběné oceli se v průběhu výrobního cyklu alespoň **1x moří**. Pro představu v roce 2013 bylo na světě vyrobeno 1582 miliónů tun oceli a mořeno bylo 950 – 1100 miliónů tun.

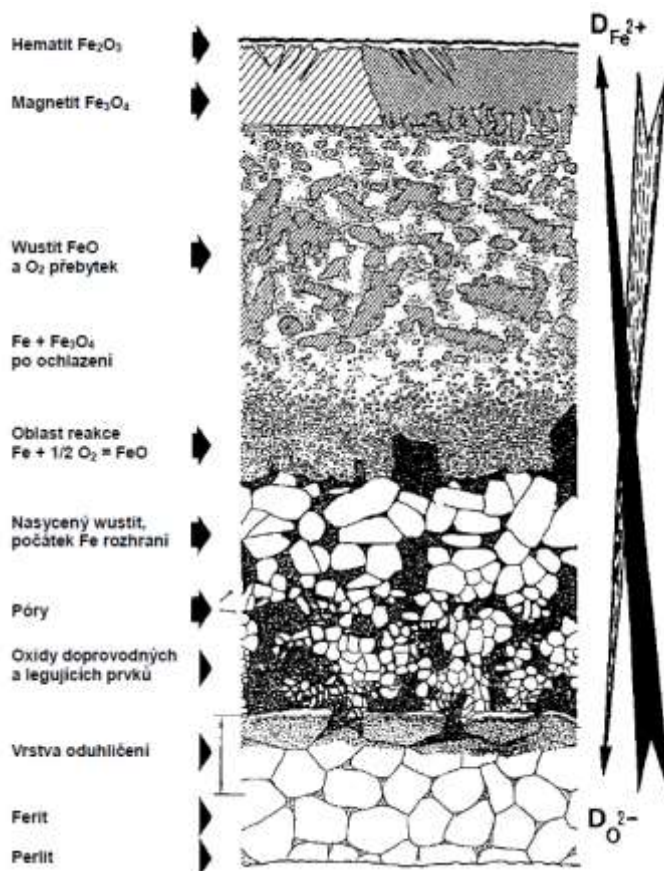
K moření uhlíkatých, nelegovaných ocelí se v současnosti v Evropě používá převážně kyselina solná (HCl) a méně (okolo 5 %) kyselina sírová (H₂SO₄).

1. Vznik oxidických vrstev

1.1. Oxidace za vyšších teplot – tvorba okují

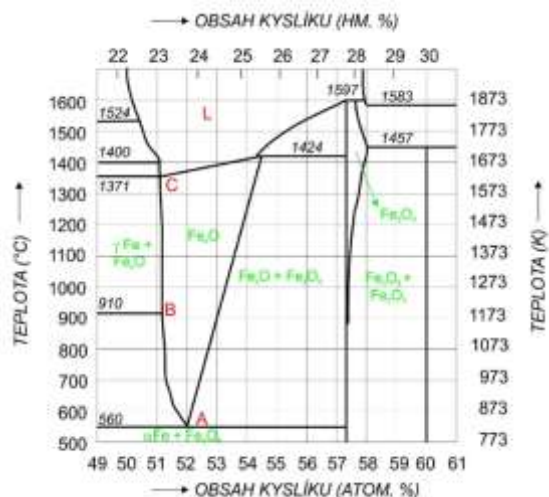
Většina kovů se při kontaktu se vzdušným kyslíkem za vyšší teploty pokrývá vrstvou oxidů. U oceli dochází v první fázi k chemisorpci atomů kyslíku a následně sorbované atomy kyslíku přeměňují povrchovou vrstvu v oxidy železa (okuje). Rychlost tvorby okují závisí na aktivační energii oxidační reakce a reakčních podmínkách (teplota, koncentrace reakčních složek atd.). Vrstvy vzniklých produktů nebrání dalšímu působení kyslíku na ocel a ani přemístování iontů a elektronů ve vytvářené vrstvě okují.

Povlak oxidů železa, vytvořený za vyšších teplot na nelegované oceli, je obecně označován jako **okuj**. Železo tvoří s kyslíkem tři stabilní oxidy – **wüstit (FeO)**, **magnetit (Fe₃O₄)** a **hematit (Fe₂O₃)**. Oxid železnatý, nejbohatší na kov, je nejbliže k povrchu kovu a oxid železitý, s nejmenším množstvím kovu, je nejbliže plynné fázi (obr. 1). Řídicími procesy tvorby okuje jsou oxidace a difuze.

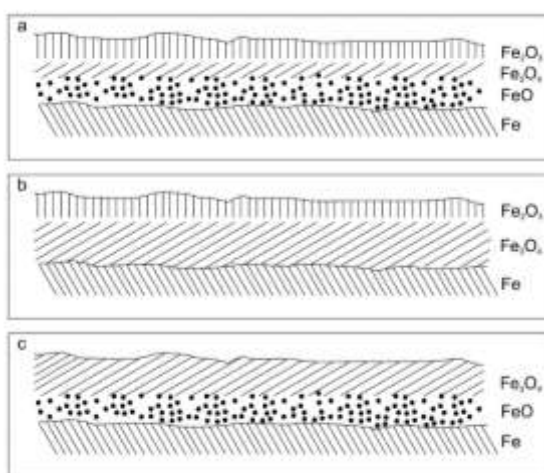


Obr. 1: Složení okujové vrstvy na nelegované oceli

Oblasti termické stability jednotlivých oxidů železa vyplývají ze stavového diagramu železo – kyslík (obr. 2). Do teploty **570 °C** není stabilní **FeO**. Stabilní fází je **Fe₃O₄** a rychlost oxidace je řízena tvorbou tohoto oxidu. FeO je pouze tenká vrstva bezprostředně na fázovém rozhraní železo/oxid. Při teplotě do 500 °C přibývá α -Fe₂O₃, který dominuje při teplotě 575 °C. **Nad teplotou 570°C** se rychlost oxidace prudce zvyšuje a **okuj tvoří z větší části FeO**, ale obsahuje už všechny tři oxidy. Nad FeO leží tenká vrstva Fe₃O₄, kterou překrývá ještě tenčí vrstva Fe₂O₃. FeO má zrnitou strukturu s četnými póry, Fe₃O₄ je ještě pórovitější a Fe₂O₃ je naopak kompaktní. Při teplotě **nad 1100 °C Fe₂O₃ zcela vymizí**. Grafické znázornění změn složení okujové vrstvy na teplotě uvádí obr. 3 a podíl jednotlivých oxidů v okujové vrstvě jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 2: Stavový diagram železo – kyslík



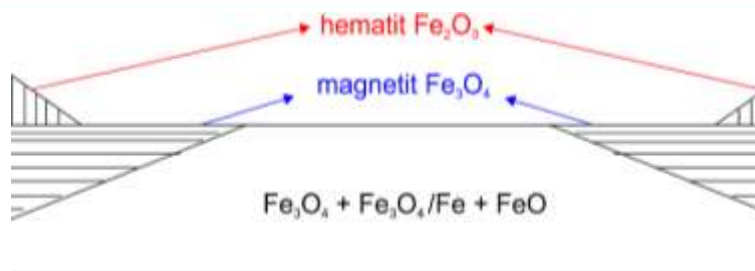
Obr. 3: Složení okujové vrstvy podle teploty vzniku
 a) 570 – 1100 0C, povrch okuje červený
 b) 570 – 1100 0C, od 570 0C pozvolna ochlazováno
 c) > 1100 0 C, povrch okuje modrošedý

Tab. 1: Podíl oxidů železa (hm. %) při různých teplotách

Oxid	teplota (°C)			
	700	800	900	950
Fe ₂ O ₃	1	0,75	0,96	0,78
Fe ₃ O ₄	5	4,1	4,3	4,4
FeO	zbytek			

Poměr obsahů jednotlivých oxidů závisí na složení oceli, tepelném zpracování, teplotě tváření a podmínkách chlazení. Pro difuzní koeficient železa platí, že je mnohem větší u wüstitu a ještě větší než u magnetitu a difuze kyslíku a železa přes vrstvu hematitu je velmi pomalá. Tomu odpovídá rovněž vzájemný poměr tloušťek jednotlivých vrstev FeO : Fe₃O₄ : Fe₂O₃ 100 : 10 : 1, resp. 100 : 5 : 1.

Složení okují vzniklých při tváření a po ochlazení může být rozdílné i u jednotlivých výrobků. Příkladem je za tepla válcovaný pás, kdy se složení okuje mění po šířce pásu. Důvodem je rozdílné chladnutí svitku a přístup kyslíku k okrajům pásu. Schematické rozložení oxidů pro pás chlazený na 600° C znázorňuje obr. 4.



Obr. 4: Schematické rozložení oxidů po šířce u pásu válcovaného za tepla

1.2. Koroze

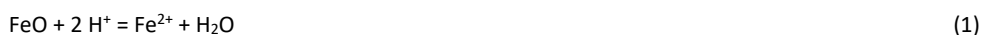
Na vzduchu se za přítomnosti absorbované vodní vrstvy vytváří na povrchu oceli tenká vrstva korozních produktů (0,01 – 10 nm). Korozní produkty jsou svým složením v podstatě směsí hydroxidů železa. Primárně se tvoří $\text{Fe}(\text{OH})_2$ a dále oxidací $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ nebo $\text{FeO}(\text{OH})$. **Obecně jsou tyto produkty, díky své zásaditosti a volnější fyzikální struktuře, rozpustnější v mořicích kyselinách než oxidační produkty vzniklé za vyšších teplot.**

2. Základy moření.

Moření není jednoduchý proces, nýbrž řada chemických, fyzikálních a elektrochemických dějů, probíhajících jak v heterogenních fázích tak homogenně v mořicích roztocích. Děje neprobíhají souběžně, ale jednotlivé děje synergicky vyvolávají další. Rovněž produkty moření a legující prvky ovlivňují a iniciují další reakce.

2.1. Chemismus moření

Chemické děje rozpouštění okujové vrstvy v kyselinách lze popsat rovnicemi:



U nelegovaných ocelí reaguje mořicí roztok nejprve celoplošně s vnějšími oxidy za tvorby solí. Tyto heterogenní reakce jsou většinou chemické povahy. Přitom nejhůře rozpustná vrstva Fe_2O_3 brání rozpouštění dalších složek. Souběžně mořicí roztok (ionty H^+) proniká póry ve vrstvě a tvoří se lokální elektrochemické články mezi železem, vzniklým rozpadem wüstitu, a oxidy a následně mezi oxidy a kovovou maticí.

2.2. Elektrochemické děje

K popisu elektrochemických pochodů se při moření využívá analogie s galvanickým článkem. Je obecně známo, že každý kov jeví určitou snahu se rozpouštět, tedy uvolňovat do roztoku své kationty. Ponoříme-li do elektrolytu dva odlišné kovy (elektrody) a spojíme vnějším kovovým vodičem, dojde k vytvoření uzavřeného elektrického okruhu. Elektromotorická síla vzniklého článku je závislá na rozdílu standardních potenciálů kovů a množství iontů přenášejících elektrický náboj mezi anodou a katodou.

Hodnoty rovnovážných standardních potenciálů jednotlivých kovů uvádí tzv. Becketova řada napětí. Na levé straně jsou zařazeny ušlechtilé kovy s pozitivním potenciálem (např. Au, Pt, Pd), které tvoří ionty obtížně a dají se vylučovat z roztoku méně ušlechtilými kovy nebo plynným vodíkem. Na pravé straně jsou kovy neušlechtilé, s negativním rovnovážným potenciálem. Tato skupina má tendenci uvolňovat elektrony a tvořit kationty. Proto se tyto kovy rozpouštějí v kyselinách případně i ve vodě za vývoje plynného vodíku. Nulový standardní potenciál má vodíková elektroda, která formálně dělí kovy na ušlechtilé a neušlechtilé.

Rovněž nekovové fáze, pokud samy vykazují dostatečnou vodivost, mohou tvořit elektrody článků. V případě moření oceli vznikají lokální články mezi legujícím kovem a železem nebo také mezi železem a oxidem železa. Tabulka 2 uvádí vlastnosti oxidů železa.

Tab. 2: Charakteristiky oxidů obsažených v okujové vrstvě

Oxid	Obsah O ₂	Měrná el. vodivost	Spec. el. vodivost	Stand. potenciál
	(hm. %)	(S.m-1)	(Ω^{-1} .cm-1)	(mV)
Wüstit	22,27	0,01	1	440
Magnetit	27,64	1-10	100-1000	700
Hematit	30,05	10-5	10-3	
Fe	-	103	-	-250

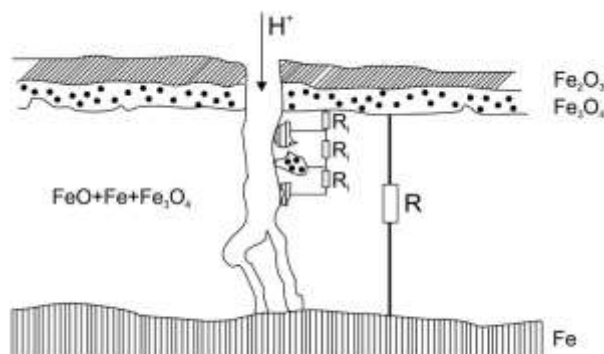
Wüstit má v pevné fázi nestechiometrické složení, kromě atomů Fe²⁺ obsahuje také Fe³⁺ a ve své krystalové mřížce má méně atomů železa než kyslíku (Fe_{0,95}O). Je tedy velmi defektním polovodičem typu p. Celkový náboj kladně nabitých iontů železa v mřížce je stejný jako negativně nabitých iontů kyslíku. Třetí pozitivní náboj železitých (konfigurace d⁵) iontů není svázán s určitou pozicí v mřížce, může přecházet na sousední ion a pohybovat se mřížkou. Tyto pozitivně nabitě elektronové vakance umožňují pohyb náboje (vodivost) a wüstit tak vystupuje jako elektroda, transportující elektrický náboj.

U magnetitu se transportuje elektrický náboj tak, že mezi dvoj- a trojmocnými ionty železa probíhají přeskoky elektronů ve vazebných orbitalech a způsobují jeho elektrickou vodivost. Je rovněž polovodičem typu p, ale s menší vodivostí než wüstit.

Hematit je prakticky nevodivý a tedy i nerozpustný a proto nemá pro elektrochemické pochody při moření žádný význam.

Studium mořících procesů jednoznačně potvrdilo, že procesy probíhající při moření mají **převážně elektrochemickou povahu**. Mořicí roztok, který je silným elektrolytem, vstupuje do pórů a trhlinami v oxidické vrstvě a vytváří **vodivá spojení s částicemi železa a následně s kovovou maticí** (obr. 5). Obnažená kovová matrice vytváří **elektrochemické makročlánky** s oxidy a vznikají kovové soli a vodík. Probíhají ale i reakce s doprovázejícími a legujícími prvky za tvorby nových chemických sloučenin, ale i reakce např. mezi reakčními produkty.

Wüstit a magnetit mají v kyselinách rovnovážné standardní potenciály (proti vodíkové elektrodě) **+400 a +700 mV** a chemicky se rozpouštějí jen velmi zvolna. Když se však vytvoří elektrické vodivé spojení mezi železem a oxidy v kyselém elektrolytu, pak na základě vytvořených lokálních článků **Fe/FeO** a **Fe/Fe₃O₄** klesá potenciál na **-180 až -230 mV (u Fe -250 mV)**. Tímto se významně **zvýší rozpustnost oxidů** (posun do neušlechtilé oblasti). U Fe₂O₃ v důsledku jeho izolačních vlastností nemá tato změna žádný význam.

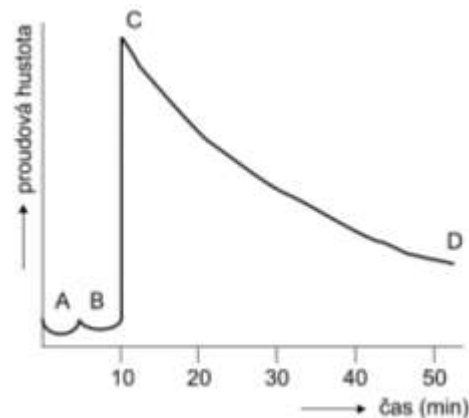


Obr. 5: Elektrochemická podstata moření

Obr. 5 znázorňuje články v okuji. R₁ označuje lokální články mezi oxidy a částicemi železa v okuji, R pak článek mezi oxidy a obnaženou kovovou maticí. Při moření probíhá rozpouštění wüstitu především přes póry a trhliny a následně vznikem lokálních článků. Proces rozpouštění pokračuje dále podél fázového rozhraní kov – oxid.

Uvolněné vrstvy okují, které už nemají vodivé spojení s kovem, získávají zpět původní potenciál a rozpouštějí se v mořicí kyselině pouze zvolna – chemicky (kal, oxidické šupy).

Obr. 6 znázorňuje **změny proudové hustoty** v průběhu moření. Úseky křivky charakterizují rozpouštění jednotlivých složek okuje.



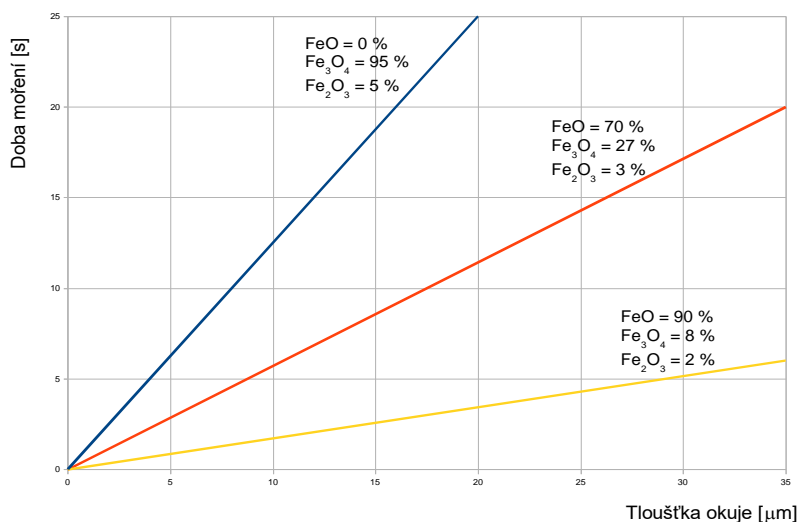
Obr. 6: Závislost proudové hustoty, charakterizující průběh moření na době moření
A – rozpouštění Fe₂O₃, B – rozpouštění Fe₃O₄,
C – rozpouštění FeO, D – rozpouštění Fe (vymizení vnějšího článku)

3. Parametry ovlivňující moření

3.1. Složením okuje

Chemické složení oceli a okuje, dále její tloušťka a pórovitost okuje ovlivňují **zásadně** mořitelnost oceli. Mořicí postup probíhá nejrychleji, pokud okuj obsahuje maximální množství wüstitu, určité množství magnetitu a **minimálně hematitu**.

Prakticky to znamená, že nejlépe rozpustným oxidem v kyselinách je oxid s nejnižším mocenstvím kovu (nejvíce basický) – wüstit. Rozpustnost oxidů železa (obecně všech kovů) v kyselinách klesá s rostoucím mocenstvím kovu (roste acidita oxidů). Tvrzení dokládá obr. 7. Tři druhy okují rozdílného chemického složení na povrchu za studena válcovaného pásu byly mořeny v kyselině solné a byla sledována doba moření. Nejdelší mořicí časy vykazala okuj obsahující nejvíce oxidů železa nejvyššího mocenství.



Obr. 7: Závislost doby moření na složení okuje

Pro praxi to znamená, že odstraněním oxidu železitého nebo předřazením operace snižující mocenství oxidu, dojde k urychlení moření. Urychlení se rovněž dosáhne předřazením postupu, který vytvoří v okuji póry, kterými následně mořicí kyselina pronikne k základní kovové matici a vytvoří se makročlánky. Z těchto důvodů se před moření zařazují

- mechanické předúpravy - tryskání, lámání okuje, válcování s malým úběrem,
- chemické předúpravy - elektrolytické moření, moření v redukčních nebo oxidačních taveninách.

Zařazení procesu ale vyžaduje, aby byla zasažena celá plocha, tedy aby proces nebyl omezen pouze na část povrchu. Vhodným případem je kontinuální moření pásu a drátu, kde jsou procesy využívány.

Další faktory ovlivňující rychlost moření

Mimo složení okují ovlivňují rychlost moření i další faktory:

- předcházející technologické operace,
- chemické složení oceli,
- druh, koncentrace a čistota používané minerální kyseliny,
- teplota mořicí kapaliny a mořeného zboží,
- obsah kyslíku nebo jiného oxidačního činidla v mořicí kyselině,
- pohyb mořeného zboží v mořicí kapalině případně pohyb a druh pohybu mořicí kapaliny na povrchu mořeného zboží,
- použití mořicího inhibitoru.

3.2. Předcházející technologické operace

Tloušťka a strukturu okuje ovlivňuje také **tváření za tepla i za studena** ve válcovnách pásu a tažárnách drátu. Podle podmínek tvorby rozlišujeme okuj vzniklou po válcování a žihání. Většinou **platí**, že okuj vytvořená za **nevysokých tvářecích teplot** je **snáze mořitelná** a rovnoměrněji odstranitelná než okuj po žihání. Pro vytvoření okuje při tváření je rozhodující, jak rychle se **ochladí zboží** z teploty tváření na **teplotu cca 300 °C**, při které už další tvorba okuje neprobíhá.

Nejobtížněji mořitelné okuje po žihání se tvoří tehdy, když žihání probíhá v **atmosféře bohaté na vodní páru**. Okujová vrstva roste velmi pomalu a tvoří se hutné, těsně přiléhající vrstvy špatně rozpustných oxidů. Mimo to je část oxidů redukována na kovy především reakcí s uhlíkem. Tvoří se pevně přilnavé vrstvy kov – oxid, které kladou odpor při napadení kyselinou.

Také **fyzikální nehomogenitou** látek, např. při tahovém nebo vnitřním napětí, dochází k rozdílům v rychlosti moření. Vlastní napětí snižuje standardní potenciál materiálu proti stavu bez napětí, což znamená, že rozpustnost daného materiálu stoupá s rostoucím napětím. Například za studena tažený drát má proti normální vodíkové elektrodě negativnější potenciál než žiháný. Žiháním při teplotách mezi 600 – 800 °C mohou být vlastní napětí zcela nebo ve značné míře odstraněna.

3.3. Vliv chemického složení kovu na rychlost moření

Doprovodné a legující prvky v oceli **ovlivňují rychlost moření**. Zatímco **čisté železo** je **obtížně rozpustné**, u oceli se rozpustnost mění podle složení. Např. s rostoucím obsahem uhlíku roste, a proto **vysoce uhlíkaté oceli** jsou velmi **náchylné k přemoření**. Křemík, mangan, fosfor, síra, měď stejně jako vodík – ovlivňují rozpustnost oceli v kyselinách. **Síra, fosfor a mangan zvyšují** rozpustnost oceli v kyselinách.

Nejsilnější **blokační** účinek způsobuje **měď**. U ocelí, jejichž citlivost vůči kyselinám se zvyšuje v důsledku vyššího obsahu síry a fosforu, stoupající obsah mědi významně snižuje jejich rozpustnost. Působení je založeno na reakcích mědi s fosforem a sírou, kdy se tvoří sirič a fosfid mědi. Například u ocelí se legování mědi (0,1 - 0,3%) snižuje rozpustnost v kyselinách o 30 – 90 %.

Malé obsahy křemíku až do 0,5 % nevykazují žádný vliv na napadení kyselinou; naproti tomu při koncentracích křemíku přes 10 % se tvoří slitiny Fe-Si, čímž se ocel stává takřka odolnou kyselině. Závěry platí pro nízkolegované ocele.

3.4. Druh, koncentrace a čistota použité anorganické kyseliny

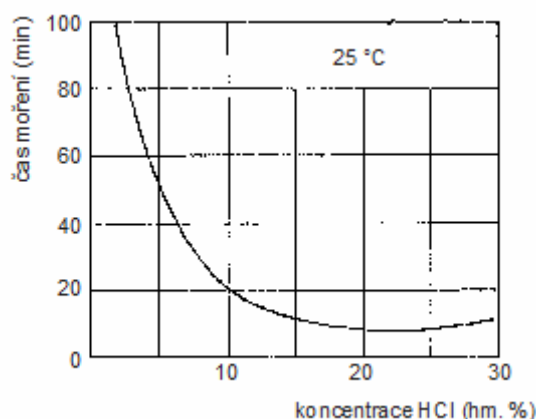
Druh použité anorganické kyseliny, její koncentrace a čistota významně ovlivňují rychlost moření a kvalitu povrchu. Jestliže se dříve k moření nelegovaných ocelí používala převážně kyselina sírová, tak skoro všechna nová zařízení pro moření plochých a dlouhých ocelových výrobků, předúpravy před galvanický povlakováním a před povlakováním roztavenými kovy, používají **kyselinu solnou**. Pro všechny teploty umožňuje **vyšší rychlosti moření** a tedy vyšší produktivitu mořičí linky, **kratší mořičí časy** a **menší hmotnostní úbytky**. **Povrch** po moření je prakticky **bez mořičích kalů** a může být **totálně regenerována**. **Nevýhodou** je **vyšší korozní napadení** zařízení, nižší koncentrace nakupované koncentrované kyseliny a **vyšší obsahy chloridů** v oplachových vodách.

3.5. Vliv teploty mořičí kyseliny a mořného zboží na rychlost moření

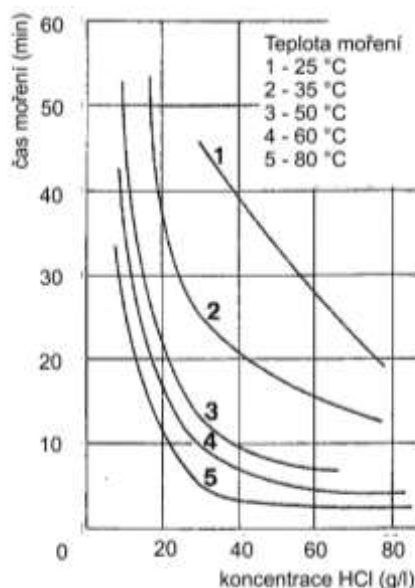
Teplota mořičí kyseliny solné a mořného zboží ovlivňuje **rychlost moření** víc než **obsah volné kyseliny**.

Zvýšením teploty mořičího roztoku o **10 °C** se **rychlost moření** zvyšuje **2 – 3x**. Mimo zkrácení doby moření rostou ale s teplotou **hmotnostní úbytky, exhalace** a nároky na **konstrukci** zařízení. V praxi se teplota moření volí jako kompromis mezi výhodami a nevýhodami zvýšení teploty.

Obr. 8 vystihuje závislost mezi dobou moření a koncentrací kyseliny solné při teplotě okolí a obr. 9 pro dalších pět zvolených teplot.



Obr. 8: Závislost doby moření na koncentraci kyseliny solné

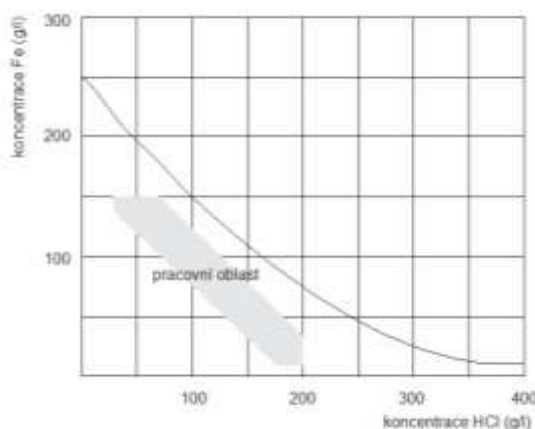


Obr. 9: Závislost doby moření na koncentraci kyseliny solné

Hlavně při **nižších koncentracích** kyseliny a **nižších teplotách** se ukazuje potřeba takřka **dvojnásobných mořicích časů**. Rychlost moření i stupeň využití kyseliny lze **zvýšit** u lázní s nízkým obsahem chlorovodíku (pod 70 g/l) **zvýšením teploty** na cca 30 °C.

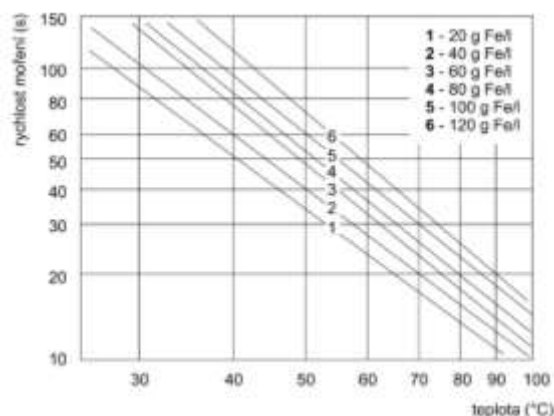
Z obr. 9 rovněž vyplývá, proč velkokapacitní mořicí linky využívají teploty mořicí kyseliny nad 50 °C. I při obsazích volné kyseliny okolo 30 g HCl/l v poslední mořicí vaně lze udržet dostatečnou mořicí rychlost u kontinuálních moření pásů a drátů.

Vliv rozpuštěného železa na rychlost moření uvádí obr. 11. Logicky se s **růstem obsahu železa snižuje rychlost moření**. V praxi to opět znamená, v případě potřeby, využití vyšší teploty.



Obr. 10: Pracovní oblast použití pro HCl

Křivka ilustruje limitní rozpustnost FeCl₂ (přepočteno na ekvivalent Fe). Vyznačená pracovní oblast odpovídá koncentračním podmínkám používaným v mořárnách.



Obr. 11: Závislost doby moření na teplotě lázně a obsahu Fe

3.6. Obsah kyslíku a oxidačních činidel v mořicí kyselině

Rozpuštění kovů v neoxidujících kyselinách je založeno na výměně náboje doprovázené vývojem vodíku. Při moření oceli probíhají dílčí reakce



Anodu tvoří kov, katodu, pokud nejsou k dispozici ušlechtilější legující prvky, oxidické vrstvy na kovovém povrchu. **Sumární rovnice** pro výše uvedené dílčí reakce:



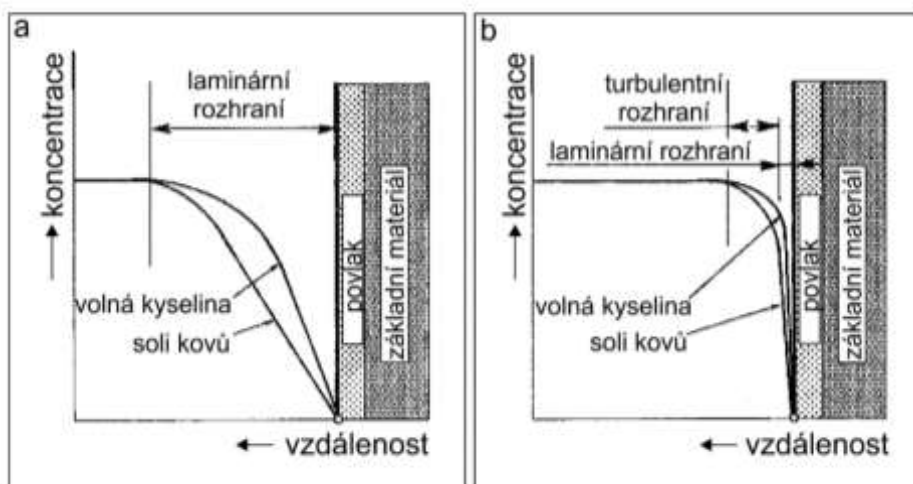
Pokud se ale vodík bezprostředně **oxiduje** vzdušným kyslíkem nebo jiným oxidačním činidlem, **posouvá se rovnováha** sumární reakce **doprava** a nastává silné **rozpuštění kovu**. Tento pochod je označován jako **depolarizace** a oxidující činidlo jako **depolarizátor**.

Testy s kyselinou solnou a sírovou ukázaly, že **přítomnost kyslíku výrazně zvyšuje rychlost** rozpouštění oceli. Kromě vzduchu nebo kyslíku působí i **jiné oxidující sloučeniny**. Oxidační činidla – chlorid železitý, chroman draselný, dusičnany, peroxid vodíku atd. byly a jsou úspěšně užívány jako urychlovače moření. Musí být ale doplňovány, protože se reakcí spotřebovávají. Vysoké koncentrace Fe³⁺ mohou v některých případech iniciovat lokální korozi.

3.7. Relativní pohyb mezi mořeným zbožím a proudící mořící kapalinou

Při heterogenních reakcích, které probíhají při rozpouštění kovů v kyselinách, lze **zvýšit rychlosti** probíhajících reakcí **relativním pohybem** mezi mořeným zbožím a mořící kapalinou. Tím se vytvoří rozdílné transportní a koncentrační podmínky pro mořící kyselinu a reakční produkty v hraniční vrstvě mezi kapalnou fází a povrchem kovu. Molekulární transport látek k povrchu a po reakci je řízen skrz laminární hraniční vrstvu. Ta je u mořícího média v klidovém stavu silnější než u médií, která se pohybují. Tloušťka laminární vrstvy se snižuje s intenzitou pohybu kapaliny. Změnou koncentračního gradientu mezi volnou kyselinou a korespondující kovovou solí se dosáhne změny rychlosti moření.

Při **turbulentním proudění** v hraniční vrstvě je **kyselina nasycená kovy** na kovovém povrchu stále **nahrazována čerstvou** kyselinou, což vede k dalšímu **zvýšení rychlosti moření**. Obecně se **doba moření pohybem mořeného zboží nebo pohybem mořícího roztoku zkracuje o 40 – 80 %**. **Při postřiku** mořícího roztoku na mořené zboží je **mořící rychlost ještě vyšší**. Obr. 12 znázorňuje schematicky podmínky na rozhraní kov – mořící kyselina pro případ nepohybující se (a) a proudící mořící kapaliny (b).



Obr. 12: Vliv typu proudění na koncentrační spád volné kyseliny a korespondujících kovových solí na povrchy mořeného zboží.

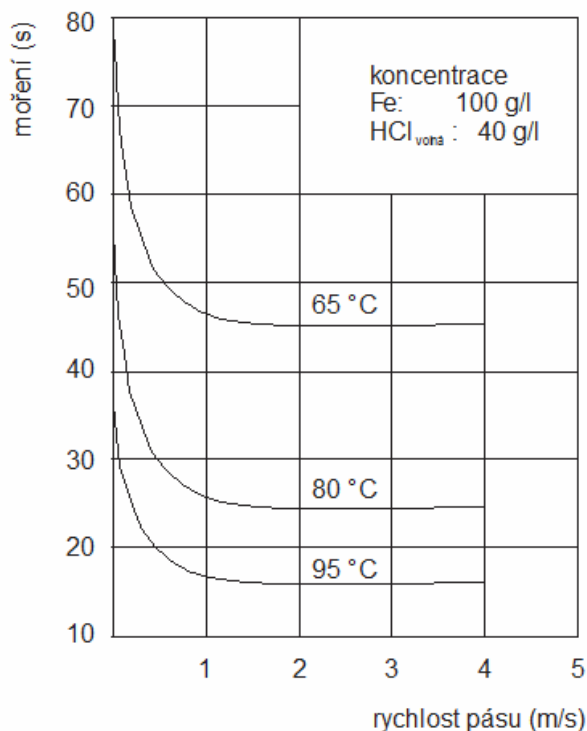
a) mořící médium bez pohybu,
b) laminárně případně turbulentně proudící mořící médium

Vliv pohybu pásu (za tepla válcovaný, nízkouhlíkatá ocel) na dobu moření v kyselině solné za konstantních koncentračních podmínek mořící lázně a různých teplotách je znázorněn na obr. 13.

Při nízkých rychlostech pásu (0 - 1,3 m/s) dochází vlivem laminárního proudění k enormnímu snížení doby moření. Snížení doby moření je tím vyšší, čím vyšší je teplota.

Ve srovnání s klidovým stavem došlo ke snížení doby moření následovně:

- 1,7x při 66° C
- 2,2x při 80° C
- 2,7x při 93° C.



Obr. 13: Závislost doby moření na rychlosti pásu při různých teplotách

3.8. Inhibitory moření

Účelem moření je odstranění okujové nebo korozní vrstvy. Mořením se však rozpouští i kovová matrice, což zvyšuje spotřebu kyseliny a dodatečné náklady na zpracování odpadů a roste nebezpečí difuze vodíku do kovové matrice. Proto se do mořících kyselin přidávají látky podporující rozpouštění oxidů, aniž by současně zvyšovaly rozpouštění kovů, tzv. mořící inhibitory. Ty redukuje působení mořící kyseliny na mořený základní materiál, brání zabudování vodíku do kovové mřížky a vzniku vodíkové křehkosti. Ochranné působení těchto látek je velmi rozdílné a závisí na koncentraci inhibitoru, složení, koncentraci a teplotě mořící kyseliny a složení mořeného materiálu. Vyžaduje se jeho chemická a teplotní stálost pro dané podmínky a inhibitory by neměly komplikovat regenerační postupy. Často se jedná o látky povrchově aktivní – smáčedla, emulgátory a jejich účinek je kombinovaný.

4. Zbytky po moření

Kovové povrchy nejsou po moření úplně čisté, ale pokrývají je stopová množství nečistot, označovaná jako zbytky po moření nebo mořící kalý. Tvoří je kovové soli vzniklé reakcí oxidické vrstvy, kovu a mořící kyseliny a dále částečně v mořících kyselinách nerozpustné doprovodné a legující prvky základní matrice, jako uhlík, fosfor, síra, měď, křemík, nikl atd.

V tabulce 3 jsou uvedena množství nerozpuštěné okuje na vzorcích za tepla válcovaného pásu po expozici v mořících lázních různého složení s inhibitorem a bez inhibitoru. Porovnání bylo provedeno při třech teplotách.

Tab. 3: Porovnání doby moření (s) a množství nerozpuštěné okuje (g/m²) pro 3 mořící kyseliny za teplot 30, 70 a 95^o C

Testy byly provedeny bez inhibitoru a s inhibitorem. Podmínky měření: za tepla válcovaný pás cca 45 g okuje/m², koncentrace kyseliny 20 % (každá hodnota je průměrem ze 30 měření).

t (°C)	Doba moření (s)			Zbytky na povrchu (g/m ²)		
	HCl	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄
s inhibitorem						
30	158	-	-	0,43	-	-
70	-	195	190	-	6,26	0,04
95	-	59	69	-	1,44	0,02
bez inhibitoru						
30	194	-	-	0,24	-	-
70	-	251	227	-	5,04	0,06
95	-	68	75	-	1,23	0,02

Z tabulky vyplývají zásadní rozdíly mezi mořením v HCl a zbylými dvěma kyselinami. HCl dokázala už za mírně zvýšené teploty odstranit takřka veškerou okuj. Kyselina sírová ani za nejvyšších teplot okuj zcela neodstranila. Množství nerozpuštěné okuje je při 95 °C ještě více než 3x větší než u kyseliny chlorovodíkové za mírně zvýšené teploty. Kyselina sírová zanechává i při nejvyšších teplotách okolo 3 % nerozpuštěné okuje. Použití inhibitorů přesně koresponduje s praktickými zkušenostmi. Bez inhibitorů jsou mořící časy mírně delší a povrch po moření obsahuje méně zbytků. Nejsou uvedeny hmotnostní úbytky po moření a ani složení a koncentrace inhibitoru.

Tabulka 4 uvádí analýzy mořících kalů u stejné oceli. Chemické složení je uvedeno v prvním řádku, v dalších řádcích pak obsahy prvků v kalu pro jednotlivé kyseliny.

Tab. 4: Složení kalů po moření na povrchu oceli

složení oceli (%)	C	Mn	P	S	Cu	Ni	As	Fe
	0,04	0,32	0,03	0,01	0,18	0,08	0,04	zbytek
H ₂ SO ₄	4,70	0,27	0,88	1,08	20,40	2,36	3,81	49,56
HCl	5,00	0,28	1,44	0,18	20,18	7,23	6,73	41,1

Použitá literatura:

- [1] RAFAEL RITUPER: Beizen von Metallen, 1993
- [2] JOSEF ŠTURC a kol.: Moření oceli, 1985
- [3] VLADIMÍR ČÍHAL: Korozivzdorné oceli a slitiny, 1999
- [4] WERNER RAUSCH: Die Phosphathierung von Metallen, 2005

Malý atom vodíku vede k velkým změnám v oceli

prof. Ing. Františka Pešlová, Ph.D., – ČVUT v Praze, FS, Ústav strojírenské technologie

doc. Ing. Ján Vavro, Ph.D. – TU Alexandra Dubčeka v Trenčine, Fakulta priemyselných technológií

Ve vědě není ani tak důležité získávat nová fakta, jako objevovat nové způsoby, jak o nich přemýšlet.

Sir William Lawrence Bragg, 1968

Problémový vodík v oceli

Vlivem vodíku na vlastnosti ocelí se vědci zabývají více než 150 roků, ale vodík je v oceli stále problémem. Pokud byly objasněny některé zákonitosti u klasických ocelí, tyto už nemusí v plné míře platit u nových materiálů vyráběných progresivními technologiemi. Vzhledem k tomu, že jsou kladeny stále větší požadavky na materiálové vlastnosti s omezením hmotnosti výrobků, jsou žádané takové technologie, které budou eliminovat předčasné porušování materiálů v zátěžových situacích. Pokud se bude brát v úvahu výskyt vodíku v čistém železe, může se objevovat ve třech formách:

1. V molekulárním stavu H_2 v podobě plynných inkluzí na hranicích zrn, nebo v bublinkách jako CH_4 případně H_2O .
2. V molekulárním stavu H_2 nebo atomický H také jako plynná inkluze na hranici bloků mozaikové struktury.
3. Atomární (atomický) H nebo H^+ jako proton uložený intersticiálně v mřížce železa.

Atomární vodík potřebuje partnera pro vazbu, a proto se stává velice reaktivním. Pokud nenarazí na další atom vodíku, využívá atomy železa na povrchu kovového materiálu. Potom se jedná o adsorbovaný (atomární) vodík H_{ad} . Adsorbovaný atomární vodík se může vázat s jiným svého druhu na molekulu H_2 , která vytvoří bublinky plynu. V důsledku toho je třeba počítat s tím, že adsorbovaný atomární vodík může difundovat do základního materiálu a tam působit na mikrostrukturu [1].

V projevech vodíku je nutné brát v úvahu jeho difúzní schopnost, kde v krystalické mřížce železa má schopnost procházet v atomickém stavu, což umožňuje jeho mobilitu vzhledem na jeho rozměr, který je menší jako atomová vzdálenost železa. [1, 2].

Dle zákonů difúze probíhá transport atomárního vodíku do vnitřního objemu materiálu tím rychleji, čím je větší rozdíl mezi povrchovou koncentrací H_{ad} (stupeň pokrytí) a koncentrací H uvnitř materiálu. Z čeho vyplývá, že vysoký stupeň pokrytí atomárním vodíkem má za následek rychlejší zabudování vodíku do materiálu a naopak [1]. Je třeba zdůraznit, že vodík patří k nežádoucím prvkům ve všech kovových materiálech, který v konečném důsledku způsobuje jejich křehkost.

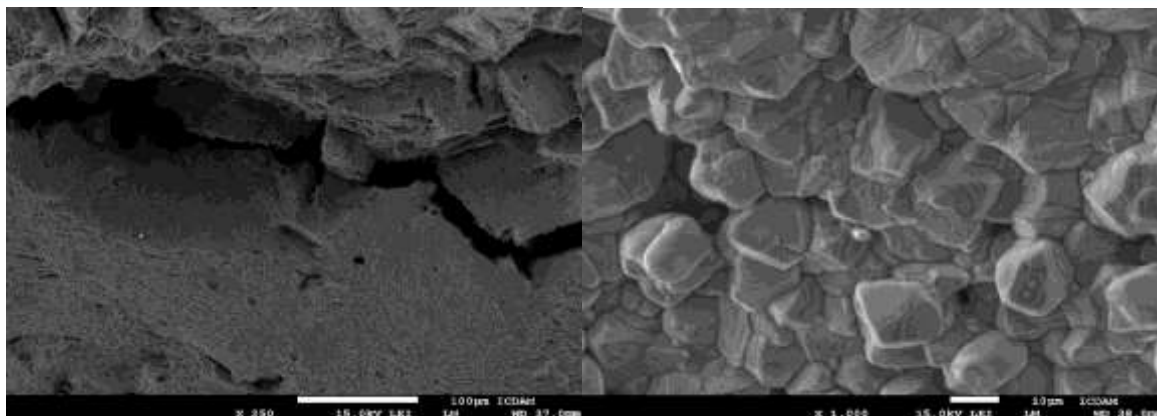
Vodík „tichý zabiják“ v kovovém materiálu

Výstižné internetové označení vodíku jako „tichého zabijáka“ vychází z toho, že odezva materiálu na jeho vnitřní reakci je opožděná a může se stát i katastrofickou v provozu (dopravě, průmyslového nebo běžného využití) s újmou na zdraví nebo životech lidí.

Kovová součást vystavena v průběhu výroby nebo v provozu vnějšímu okolí, je v interakci s prostředím přes povrch. Pokud bude povrch nekvalitní (napaden korozi, neopracovaný, opotřebený a pod.), bude citlivější na pronikání nekovových prvků (vodík, kyslík, síra apod.) z agresivnějšího prostředí do materiálu. Na základě difúzních zákonů bude aktivita vodíku záležet na jeho koncentraci, teplotě prostředí a morfologii struktury materiálu. Vzhledem k tomu, že ocel má různý charakter mikrostruktury (vycházející z primární a sekundární technologie) je předpoklad, že se stane buď bariérou pro difúzi vodíku („vodíkové pastí“) nebo umožní volnou cestu pro pohyb vodíku a proběhne jeho rychlá difúze do celého objemu materiálu. V takové struktuře se bude uplatňovat difúzní proces, který na základě vnějších podnětů bude urychlovaný, čím způsobí změnu napjatosti v celém objemu materiálu. Důsledkem tohoto procesu je vznik mezního stavu napjatosti vedoucímu ke křehkému stavu porušení. Porušování v mikrolokalitách, se projeví vznikem mikroskopických trhlinek (nazývaných „vločky), které u kovových materiálů vyvolají tzv. „vodíkovou křehkost“.

Atomární vodík má schopnost difundovat do kovu při výrobě, čištění, moření, fosfátování, galvanickém pokovení, autokatalických procesech, svařování, ale i z provozu jako důsledek interakce povrchu s pracovním prostředím. Největší množství atomárního vodíku vzniká při technologických operacích moření a galvanickém pokovení. Vodík proniká do struktury, která se stává „nevyzpytatelnou“ pro dynamicky zatíženou součásti. Citlivost ocelí na vodíkové zkřehnutí materiálu, závisí nejen na množství difundujícího vodíku, chemickém složení a morfologii struktury, ale technologiích pokovování a aktivitě prvků, kterými se ocel povrchově pokovuje. Z praktických zkušeností je známo, že se křehkým materiálem stávají vysokopevné oceli s pevností nad 1000 MPa [2].

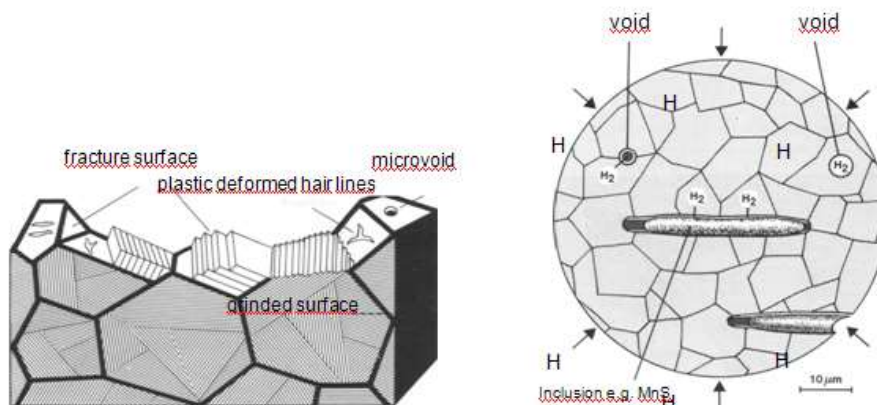
Vzhledem k tomu, že vodík má velkou schopnost tvořit sloučeniny jako na příklad sirovodík, potom sulfidy, arsen, selen a fosfor podporují katalyticky pohlcování vodíku kovem. Vodík proniká z povrchu do materiálu cestami nejmenšího difúzního odporu, což jsou hranice zrn a subzrn, místa kde se vyskytují nedokonalosti krystalické mřížky nebo póry a nečistoty materiálu. Tyto mikrolokality se ve struktuře stávají nejcitlivější na vznik křehkosti, která ovlivní celou součást. Analýza prvku jako je vodík v oceli je velmi problematická, proto se výskyt vodíku identifikuje zpětně na vytvořené lomové ploše porušeného dílu (konstrukčního prvku, součásti apod.) ze znaků, které vodík po sobě zanechává ve struktuře. Z fraktografického hlediska lze označit jako jeden z typických znaků vodíkové křehkosti interkrystalický mikromechanismus porušení materiálů Obr.1.



Obr. 1: Fraktografické hodnocení oceli po křehkém interkrystalickém porušení oceli

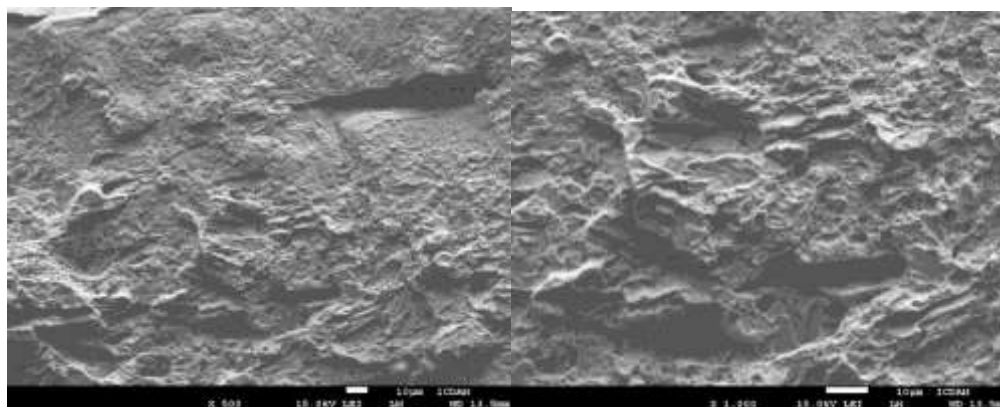
Křehkost materiálu způsobenou vodíkem lze vysvětlit procesem, který se už odehrává v krystalické mřížce. Výskyt vodíku v podobě intersticiálu mezi mřížkovými atomy, způsobuje deformaci krystalické mřížky. Atomy vodíku zablokují pohyb dislokací, což se projeví v průběhu plastické deformace tím, že nezpůsobuje zpevnění materiálu, ale jeho zkrhnutí. U feritických ocelí je křehnutí pozorovatelné při malých deformacích a při teplotách od -70 do 140°C . Při vyšších teplotách nedochází k blokování pohybu dislokací v důsledku uvolnění atomů vodíku z dislokací. Martenzitické nepopuštěné oceli jsou nejméně odolné vůči vodíkové křehkosti, kde se vodík může pohybovat na hranicích martenzitických jehlic. Tepelným zpracováním oceli se napjatostní poměry ve struktuře změní, proto rozložení, pohyb a ukotvení vodíku se u každé struktury bude projevovat různě. V případě, že se budou vyskytovat nižší teploty materiálu, zpomalí se i difúzní rychlost vodíku, který může mít rozdílný obsah v daném objemu materiálu. Pokud bude probíhat rychlá deformace ocelí, nestačí atomy vodíku sledovat pohyb dislokací při žádné teplotě.

Obsah nadifundovaného vodíku hraje velkou roli hlavně u součástí, které jsou provozně velmi zatěžované. Při jeho obsahu nad 10 ppm (parts per million) mohou mikrotrhliny, které se spojují do magistralních trhlin, vznikat i bez působení vnějšího zatížení. U ocelí s mezí kluzu vyšší než 1000 MPa stačí 1ppm a u martenzitických (precipitačně vytvrzených) ocelí mohou být při pokojové teplotě jen stopy vodíku. V mikropórech a dutinách v oceli dochází k rekombinaci atomárního vodíku na molekulární formu, čímž mohou vznikat tlaky až do 0,024 MPa. Na podnět vysokých tlaků je vodík schopen způsobit tzv. lokální prodloužení ve struktuře, formou "tunelů", typický pro výskyt vodíku ve struktuře Obr.2 [2].



Obr. 2: Stopy po uvolněném vodíku ve struktuře a jeho vliv na charakter porušení [2]

Pokud se ve struktuře nacházejí sulfidické inkluze, je pohyb vodíku usnadněný v oslabené oblasti za vzniku větší kumulace vodíku, čímž se superponuje lokální napětí v materiálu. V daném případě dochází k celo-objemovému porušení, které je nebezpečné pro vznik havarijních předčasných lomů Obr. 3.



Obr. 3: Odezva materiálu v charakteru lomové plochy (uměle navodíkována segerka)

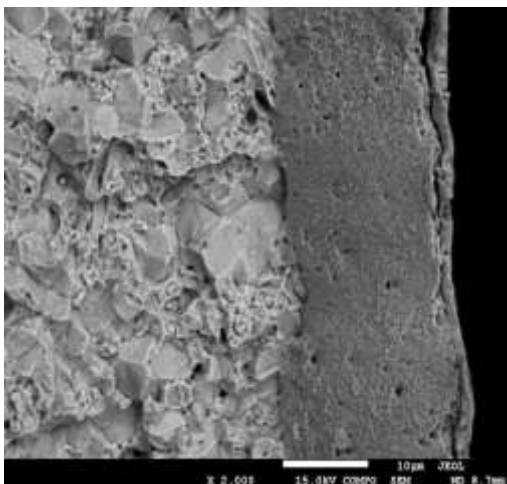
Jak se vodík může dostat do oceli

Vodík se do oceli dostává z různých zdrojů. Je to především:

- při výrobě oceli primární metalurgií, kdy se vodík dostává do oceli z pecní atmosféry, z vlhkosti kovové vsázky, z nevysušených pecních vyzdívek a struskotvorných přísad (vápno, železná ruda, bauxit, kazivec). Oceli vyrobené v kyslíkovém konvektoru mají poměrně nízký obsah vodíku (4-5 ppm), vyšší obsah (5-7 ppm) mají oceli vyrobené v elektrických pecích. [3] Podobně jako rozpustnost dusíku je u vodíku rozpustnost v železe spojena se spotřebou tepla (endotermický proces) a při poklesu teploty se bude jeho rozpustnost v železe snižovat. V tekutém železe je rozpustnost vodíku cca 0,0025% (25ppm), během tuhnutí a dalšího poklesu teploty dochází k jejímu snížení až na 5ppm (900°C). Vodík se ukládá v intersticiálních polohách vznikající mřížky Fe_{α} i Fe_{γ} , kdy se tvoří intersticiální tuhý roztok vodíku v železe. V Fe_{γ} je rozpustnost větší než v Fe_{δ} , což opět souvisí s velikostí dutin mezi atomy v krystalické mřížce. [3] V případě skokové změny v rozpustnosti vodíku při tuhnutí, dochází k porušení termodynamické rovnováhy a tím k uvolnění atomárního vodíku z mřížky. V takovém případě směřují difúze vodíku k mikrodefektům nebo k mřížkovým poruchám, případně do okolí nekovových vměstků (sulfidů, karbidů, oxisulfidů apod.) nebo do již vytvořených mikrotrhlin. V těchto místech se koncentruje a probíhá jeho rekombinace na molekulární vodík, který je již v mřížce nepohyblivý. Tato změna je doprovázena vznikem vysokých tlaků (řádově desítky Mpa), které vyvolávají silné napětí, vedoucí při teplotách 200 až 400 °C k porušení soudržnosti materiálu a vzniku některých typických vad materiálu, jako jsou např. vlasové trhliny nebo vločky. [3] Vločky jsou charakteristickým jevem, který se vyskytuje v ingotech, ve výkovicích a vývalcích. Na lomové ploše se zobrazí jako kruhové a lesklé plošky na matném základu kovu. Kritická teplotní oblast, při které dochází k tvorbě vloček je 200-300 °C. Vliv vloček se projevuje zvláště při dynamickém namáhání, neboť v tom případě se zde zvyšuje koncentrace napětí, což má podobný účinek jako vruby. [4] Z praktických zkušeností je známo, že u ocelí vyrobených kyslíkovým pochodem se vyskytují vločky méně často než u ocelí vyrobených pochodem zásaditým. Bylo zjištěno, že ocel vyrobená v zásadité elektrické peci má poněkud větší sklon k tvoření vloček než ocel vyrobená zásaditě v Martinské peci. [4] Chemické složení oceli se také podepisuje na vlivu náchylnosti k tvoření vloček. Tato náchylnost je podstatně menší u uhlíkových ocelí a u konstrukčních ocelí s menším obsahem niklu a chrómu. Na rozdíl od těchto ocelí lze najít vločky u ocelí s vyšším obsahem niklu a chrómu, zvláště ocelích Ni-Cr-Mo, určených k tepelnému zpracování. U ocelí s různou modifikací je sklon k tvoření vloček tím větší, čím větší je interval Ac_3 - Ar_3 . [4] Z toho důvodu je potřebné, aby v oceli bylo dostatek potenciálních míst pro „uchycení“ vodíku tzv. trapping point tak, aby nedocházelo k působení vodíku v lokalitách s velkou koncentrací. Pro uchycení vodíku slouží nejčastěji drobné sulfidy vyloučené v základní kovové matici. [3]
- Vznik vodíku v průběhu povrchových úprav. Jedná se o napadení oceli vodíkem při elektrolytických a galvanických procesech (odmašťování, pokovování) a při jakékoliv reakci kovu s prostředím, při níž vzniká vodík, tedy i při elektrochemických dějích (elektrolytech, koroze, moření). Při elektrolýze vzniká atomární vodík působením vnějšího zdroje proudu. Při rozpouštění kovu je zdrojem proudu elektrochemický, resp. korozní děj. Množství vzniklého vodíku přítomného na povrchu kovu je dáno velikostí a intenzitou reakce. Čistý kovový povrch podporuje katalyticky asociaci atomárního vodíku na molekuly, které se spojují do bublinek a vystupují z kapaliny. Asociace vodíku se z řady důvodů může omezit nebo zastavit podle povrchu kovu s vysokou koncentrací vodíkových atomů, které mají chemickou vazbu na povrchové atomy kovu. Další volné atomy vstupují do krystalové mřížky kovu a vodík difunduje dále do objemu materiálu. Aby vodík trvale difundoval do kovu, musela by být udržována na povrchu kovu vysoká koncentrace vodíkových atomů a povrch kovu by podporoval přijímání atomů vodíku. [5] Rychlost vnikání vodíku do materiálu závisí na intenzitě korozních, resp. elektrochemických a především elektrolytických dějů. Celý proces bude ovlivněn koncentrací vodíku na povrchu kovů, dobou jeho přítomnosti a rychlostí difuze vodíku. Na rychlosti pronikání vodíku do kovu se bude podílet intenzita proudu, teplota a koncentrace elektrolytů při elektrolýze, vlastnosti kovového povrchu, složení materiálu, drsnost povrchu a jeho čistota, stupeň vyžhání a zbytkové napětí, po případném tváření za studena nebo svařování. [5]

Aktivita vodíku při galvanickém zinkování probíhá v různých fázích. Podle jednotlivých následností je to při moření, katodickém elektrolytickém odmašťování a při vlastním zinkování. Pokud vodík nadifunduje do základního materiálu, ovlivní vodíkovým křehnutím zejména kalené díly. [6] Koncentrace vodíku v mořicích lázních je velmi vysoká a doba expozice je poměrně dlouhá. U elektrolytického odmašťování je také koncentrace vodíku a doba expozice velmi vysoká. Z toho důvodu je dle příslušných norem pro kritické díly tato forma odmašťování nepřijatelná.

Povrchová úprava je proces, který využívá chemických reakcí za působení teploty a přídatných prvků, které mají difundovat do povrchu oceli, aby ji chránily před korozi nebo opotřebením. Při nevhodně zvolených parametrech procesu může dojít ke vnikání vodíku do materiálu, který bude mít vliv na křehkém porušování konstrukčního prvku, Obr. 4.



Obr. 4: Vliv povrchové úpravy na porušení

Zinková lázeň je prostředí, kde zinek působí jako difúzní bariéra pro atomární vodík, proto existuje mylná představa, že vývoj vodíku při galvanickém zinkování je kritický pokud se ještě nevytvořila krycí vrstva zinku. Ve skutečnosti, absorbuje i inhibitor předupravené díly během zinkování vodík, zejména v alkalických elektrolytech. Slabé kyselé elektrolyty mají vyšší proudový výtěžek, tzn. že vzniká daleko méně vodíku. Vliv typu elektrolytu a složení lázně na zabudování vodíku je diskutabilní v souvislosti s proudovým výtěžkem a rozptylem. Všechna opatření, která vedou ke zvýšení proudového výtěžku, působí pozitivně. Lepším rozptylem se rychleji pokryjí zinkem i místa v oblasti nižší proudové hustoty, čímž klesá zabudování vodíku. [6]

- Výskyt vodíku při svařování. Vodík, podobně jako kyslík a dusík, je absorbován ocelí během svařování. Například svar kyslíko-aceylénovým plamenem obsahuje prakticky velmi málo vodíku. Naproti tomu koncentrace vodíku ve svarech provedených elektrickým obloukem je mnohem vyšší a může dosáhnout meze rozpustnosti v tekutém stavu. Množství vodíku bude záležet i na druhu obalu elektrody. [4] Rozdíl mezi absorpcí vodíku v tekutém kovu a v tuhém stavu způsobuje velmi prudké uvolňování plynu, jež má za následek značné ztráty kovu, který je strháván a rozstříkovan. Tato ztráta kovu však není způsobena pouze vodíkem, ale způsobují ji i přítomné plyny, zejména uvolňující se kyslík. [4] Plyny jsou převážně kyslíkaté sloučeniny vodíku jako H_2O , H_2S , CH_4 a dusík. [4] Projevem přítomnosti vodíku mohou být mikrotrhlínky v přechodovém pásmu svaru, bubliny ve svarovém kovu nebo předčasné lomy svařenců, ve kterých se mohou vyskytovat tzv. „rybí oka“, Obr. 5 [4].



Obr. 5: Charakter „Rybího oka“ [4]

Rybí oka se obvykle objevují na lomech svarů jako bílé skvrny kruhového tvaru velmi rozdílných rozměrů od 1mm až do 1cm. Tvoří se v okolí vměstku a jsou často doprovázeny mikrotrhlínou. Vzhledem k tomu, že se takový projev nevyskytuje u svarů pomocí holé elektrody je předpoklad, že jsou iniciovány obalem elektrody (převážně celulózovým obalem nebo bazickými a rutilovými elektrodami), který je příčinou vzniku rybích ok. Rybí oka, způsobena vodíkem se objevují až na lomové ploše. Náchylnost svarů k vzniku tzv. „rybích ok“ superponuje velké množství vodíku absorbovaného roztaveným kovem a druh svařované oceli (chemické složení, zbytková napjatost v oceli apod.). [4] Feritické, austenitické, chromoniklové a manganové oceli nejsou náchylné na tvorbu rybích ok. [4]

Eliminace vodíkové křehkosti

Nejlepší ochranou předčasných křehkých lomů je nulový výskyt vodíku (ale i dalších nežádoucích prvků) v oceli. Z toho důvodu se přechází na nové progresivní technologie tavení s velmi čistými vstupními surovinami. I když jsou náročné a drahé.

Pokud je předpoklad, že se u zvlášť exponovaných ocelí bude vyskytovat vločkovitost, je nutnost zařadit do technologických postupů tzv. *protivločkové žihání*. Je důležité ocelové polotovary (ingoty, výkovky, předvalky) ihned po příslušném zpracování ochlazovat velmi pomalu v peci (cca $5^{\circ}C \cdot h^{-1}$) tak, aby měl vodík dostatek času „vydifundovat“ z kovu. [3]

Díly s vysokou pevností by se neměly vůbec mořit. Pokud jsou součásti velmi znečištěné, mělo by moření proběhnout velmi krátkou dobu. Výhodněji mořit kratší dobu s vyšší koncentrací kyseliny, než déle s nižší koncentrací.

Při svařování je lepší svařovat elektrodou s malým obsahem vodíku, jako jsou elektrody oxidační nebo bazické, zbavené vlhkosti. Použit plynulé svařování bez přerušování ochlazováním s elektrodami velkého průměru při vysoké intenzitě proudu. Využít přehřev před samotným svařováním. Po ukončení svařování provést tepelné zpracování pro odstranění vodíku.

Pokud se budou odborníci více věnovat důsledkům, které způsobí přítomnost vodíku v oceli, budou muset vycházet z porušování uměle „předávkované“ oceli vodíkem a následným hlubším fraktografickým zkoumáním mechanismu porušování. Tyto experimenty odpovídají recipročním problémům, které se vyskytují i v praxi. Zabránit haváriím dřív než se stanou osudnými pro uživatele.

Literatura

- [1] PATRICIA PREIKSCHAT, Rolf Jansen. Vodíkové křehnutí. [online]. 2002, s. 1-18 [cit. 2013-11-07]. Dostupné z: <http://www.surtec.cz/Publikace/Ti08.pdf>
- [2] Vodíková křehkost ocelí při povrchových úpravách [online]. 2002, s. 1-8 [cit. 2013-11-07].
- [3] Michálek, K. a Gryc, K., - *Čistota a užitečné vlastnosti oceli, Opora 6180813*, VŠB Otrava, 2010.
Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/urceno-pro/studenty>
- [4] SÉFÉRIAN, D. *Nauka o kovech ve svařovaných ocelích*. Ing. Jiří Bernas. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1962.
- [5] doc. Ing. VIKTOR KREIBICH, CsC. a ING. JAN KUDLÁČEK, PH.D. *Povrcháři: Online časopis* [online]. 1. číslo. Praha, 2010 [cit. 2014-01-19]. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/201001_povrchari.pdf
- [6] JOZEF ČABELKA, *Zvaritelnost kovů a zliatin*. VEDA, Bratislava 1977

Stanovení účinnosti odmašťování ve vodných alkalických roztocích

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., doc. Ing. Viktor Kreibich, CsC., Ing. Michal Zoubek, Ing. Jakub Svoboda
ČVUT v Praze, FS, Ústav strojírenské technologie

Kvalitní příprava povrchu materiálu je jedním ze základních faktorů významně ovlivňující kvalitu a životnost následné povrchové úpravy. Nedostatečná příprava povrchu materiálu se nemusí projevit hned po aplikaci povrchové úpravy, ale až po určité době, kdy dojde k porušení celistvosti povrchové úpravy, vyloučený ochranný povlak je pórovitý, nebo se odlupuje, na nátěrové hmotě vznikají puchýře, hliník je nedokonale eloxován a je neprobarven, fosfátový povlak je nerovnoměrný a nemá příslušné antikorozi vlastnosti.

Nekvalitní příprava povrchu znamená znehodnocení finálního výrobku, někdy i celého zařízení, respektive funkce povrchové úpravy. Vážné jsou důsledky ve všech odvětvích průmyslového využití.

Do přípravy povrchu materiálu se řadí technologické procesy, nazývané předúpravy povrchu. Tyto procesy vedou ke zkvalitnění parametrů povrchu potřebných pro následné výrobní technologie, především však pro vhodnou povrchovou úpravu materiálu. Mezi hlavní činitele ovlivňující kvalitu povrchové úpravy patří stav povrchu hodnocený stupněm drsnosti a čistotou povrchu.

Z pohledu čistoty povrchu se snažíme o odstranění všech nečistot, tedy jak látek cizích - ulpělých na povrchu materiálu, tak vlastních – vzniklých chemickou přeměnou základního materiálu vlivem korozního prostředí.

Získání kovového povrchu o vysoké čistotě je velmi obtížné. Je podmíněno reaktivitou povrchových atomů, které se snaží slučovat se vším, co je v jejich bezprostřední blízkosti za vzniku oxidických vrstev. Jen u ušlechtilých kovů jako je platina, zlato, se nevyskytují za normální teploty oxidické vrstvy, ovšem ani u nich nelze zanedbat adsorpci kyslíku. Jinou příčinou znečištění mohou být například mastné kyseliny, které se na pečlivě očištěném povrchu šíří s neobyčejnou rychlostí.

Nečistoty, které se musí v praxi z povrchu materiálu odstraňovat, jsou velmi různorodého charakteru, jak po stránce struktury, tak i z hlediska chemického složení. Přesto mají nečistoty často společného jmenovatele a to masnotu, jenž je hlavním pojivem mezi jednotlivými nečistotami navzájem i mezi nečistotami a základním materiálem. Jedná se většinou o minerální oleje, tuky, konzervační prostředky často používané v oblasti strojírenství, nečistoty živočišného původu, různé druhy bílkovin, kvasné produkty, nejrůznější kaly i nečistoty anorganického původu, zejména korozní produkty kovů.

Požadovaná čistota materiálu je závislá na typu následného povlaku. Nejnáročnější na čistotu povrchu jsou např. galvanické povlaky, méně pak povlaky z nátěrových hmot.

Nejčastěji se vyskytujícími nečistotami na povrchu součástí jsou masnoty. Masnoty se odstraňují z povrchu odmašťováním. Odmašťování slouží k odstranění nečistot ulpívajících na povrchu materiálu pomocí vazby adhezí a kohezní. Masnoty a jiné ulpělé nečistoty na povrchu materiálu pomocí výše zmíněných vazebních mechanismů se nejčastěji odstraňují v alkalických vodných roztocích, organických rozpouštědlech a v poslední době stále se častěji vyskytujících vodných tenzidových roztocích.

Jestliže u odmašťování organickými rozpouštědly jde o rozpouštění mastnot, pak funkce alkalických vodných odmašťovacích roztoků spočívá hlavně v koloidně chemických pochodech, tj. v emulgaci a dispergaci nečistot. Přitom se samozřejmě rozpouštějí i heteropolární nečistoty, které jsou ve vodě rozpustné.

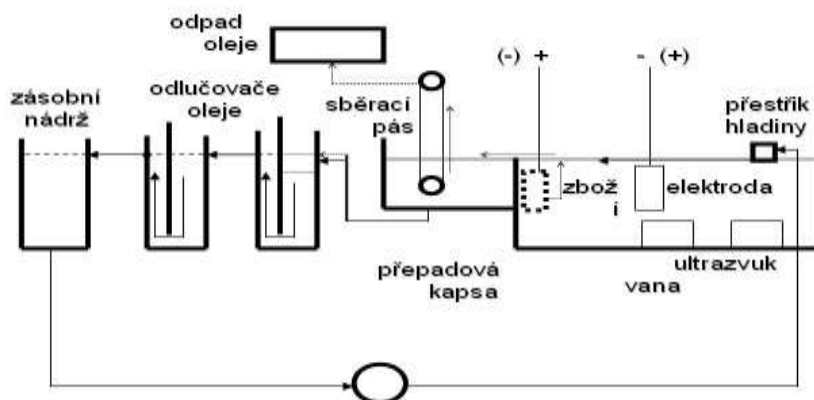
Princip průběhu odmašťování spočívá v tom, že nejprve musí dojít k rozrušení mastné nečistoty, pak k jejímu vytěsnění z odmašťovací lázně, a nakonec k emulgaci. Respektive dispergaci uvolněné nečistoty a k zabránění jejímu zpětnému usazování na vyčištěném povrchu.

Nejdokonalějšího průmyslového odmaštění se dosahuje elektrolytickým odmaštěním, které kombinuje chemický účinek odmašťovací lázně s účinkem fyzikálním (vývojem plynů na odmašťovaném povrchu). Elektrolytické odmašťování je jediný způsob čištění povrchu základního materiálu, při kterém je dosaženo takové čistoty (odstranění nečistoty na úrovni molekulárního filmu), která je vyžadována při následném galvanickém pokovení. Zařazuje se jako poslední operace procesu odmašťování.

Zvýšení čistícího účinku lze dosáhnout odmašťováním za pomoci ultrazvuku. Tento způsob odmašťování je založen na využití mechanické energie při působení ultrazvuku. Mechanismus tohoto účinku spočívá v tom, že dochází k zahušťování a zředování prostředí se značnými rozdíly tlaku (kavitaci). Toto střídání tlaku a vakua se projevuje údery prostředí na čištěný povrch.

Experiment

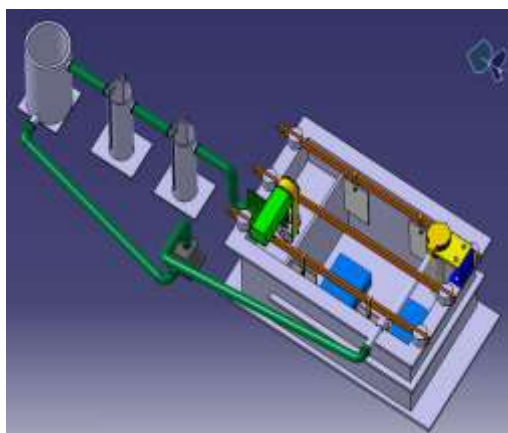
Problematikou odmašťování se zabývá skupina povrchových úprav na Ústavu strojírenské technologie, Fakultě strojní ČVUT v Praze. Zde bylo zkonstruováno a vyvinuto zkušební zařízení pro sledování účinnosti odmašťovacích procesů využívající dvou principů čištění a to elektrolytického odmaštění v kombinaci s ultrazvukovým čištěním. Odmaštěné vzorky jsou následně kontrolovány pomocí zařízení pro detekci čistoty „Recognoil“ od firmy TechTest. Konstrukce tohoto zařízení odpovídá provozním zařízením a podmínkám. Velikost a tím i kapacita daného zařízení byla pouze přizpůsobena laboratorním podmínkám a účelům.



Obr. 1: Konceptní uspořádání kombinovaného laboratorního odmašťovacího zařízení

Pro zvýšenou účinnost zařízení a možnost sledování procesu odmašťování v podmínkách současného působení elektrolýzy a ultrazvuku byly ultrazvukové zářiče umístěny na dno vany.

Celý systém pracoviště odmašťovacího zařízení lze vidět na obr. 2. v reálném provedení.



Obr. 2.: Pohled na laboratorní pracoviště odmašťování vyrobené dle předešlého návrhu

Jako odmašťovací lázně bylo použito silně alkalického elektrolytického odmašťovacího přípravku – Pragolod 66 po dohodě s firmou Pragochema spol. s.r.o.

Čistící schopnost odmašťovacího zařízení byla měřena na normalizovaných laboratorních ocelových vzorcích. Připravené vzorky s definovanou tloušťkou mastnoty byly postupně odmaštěny ve zkonstruovaném kombinovaném odmašťovacím zařízení. Protože byla zjišťována závislost tloušťky vrstvy nečistoty na čase, bylo pro každé měření pro dané podmínky procesu připraveno devět vzorků, kde každý vzorek byl podroben odmašťování během pevně zvolené doby čištění.

Tloušťka zbytkového zamaštění $t[\mu\text{m}]$ byla měřena pomocí již zmíněného zařízení Recognoil (zařízení pro bezkontaktní detekci zamaštění). Odmašťované vzorky byly zamaštěny v 10% roztoku benzínu a syntetického oleje. Původní vrstva v čase $T=0$ sekund byla $t=0,65 \mu\text{m}$.

Odmašťování probíhalo za určitých podmínek definovaných pomocí parametrů, které lze rozdělit na dvě skupiny:

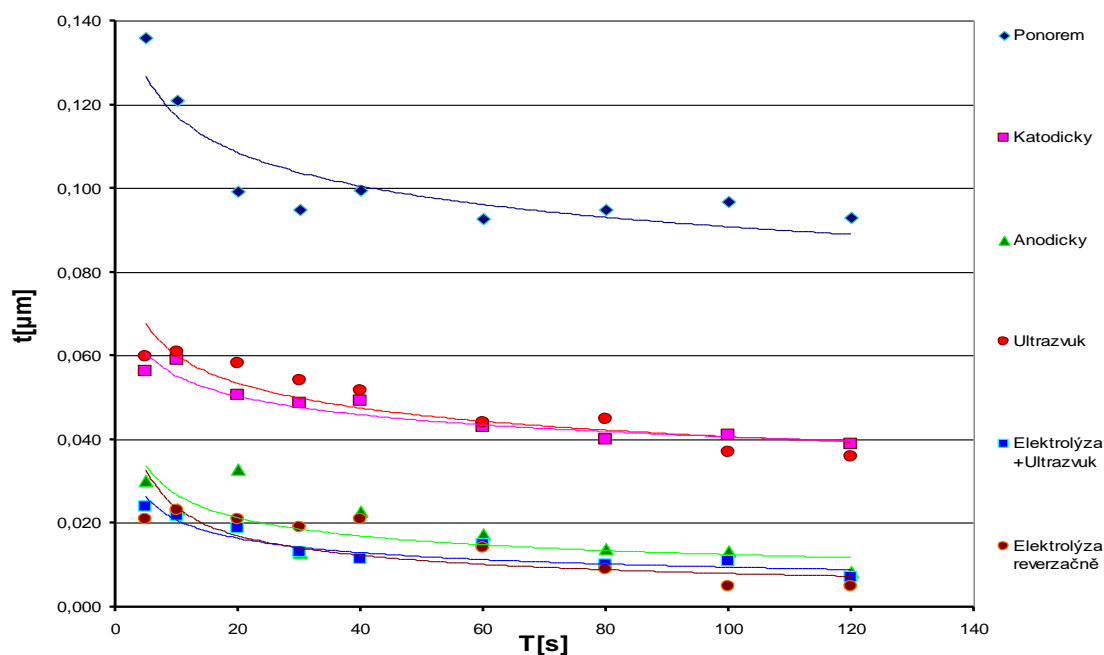
- a) konstantní parametry
 - Teplota odmašťovacího přípravku – tato fyzikální veličina a faktor významně ovlivňující účinnost odmašťování byla udržována po celou dobu procesu na hodnotě $50\pm 1^\circ\text{C}$.
 - Koncentrace lázně – tato hodnota byla udržována na konstantní hodnotě 8%.
- b) proměnné parametry

Do této skupiny patří fyzikální jevy podporující proces odmašťování, které byly do odmašťovacího procesu řízeně zaváděny. Každé měření (tj. odmaštění devíti vzorků pro devět hodnot expozičních dob) bylo prováděno za určitých podmínek, které byly definovány parametry stejnosměrného proudu a ultrazvuku.

Přehled jednotlivých měření dle typu odmašťovacího procesu

Číslo odmašťovacího procesu	Typ odmašťovacího procesu
1	Ponorem
2	Elektrolyticky – anodicky
3	Elektrolyticky – katodicky
4	Elektrolyticky – reverzačně
5	Ultrazvukem
6	Elektrolyticky – anodicky + Ultrazvukem

Výše popsaným postupem byly získány následné závislosti tloušťky vrstvy mastnoty $t[\mu\text{m}]$ na čase $T[\text{s}]$ pro různé typy odmašťovacích procesů.



Obr. 3.: Graf závislosti zbytkového znečištění (tloušťky t) na čase procesu odmašťování (T) pro různé způsoby odmašťování



Obr. 4.: Zařízení pro detekci čistoty (zamaštění) povrchu Recognoil 2W

Zhodnocení

Z výsledků prezentovaných na obr. 3. je možné konstatovat, že závislosti mezi tloušťkou mastnoty t a časem T mají nepřímou úměrnost. Odmašťovací roztok rozpouští vrstvu zpočátku větší rychlostí, avšak se zmenšující se tloušťkou t dochází k otrhávání molekul mastnoty z povrchu stále obtížněji a vrstva t se zmenšuje stále pomaleji. Tento jev je způsoben existující adhezní silou mezi povrchem kovu a molekulami mastnoty v jeho nejbližší vzdálenosti.

Odmaštění ponorem - Z naměřených hodnot je patrné, že v čase $T=60$ s bylo dosaženo průměrné tloušťky zbytkové nečistoty $t=0,086 \mu\text{m}$ a s dalším setrváním odmašťovaného vzorku v lázni se vrstva t téměř nezmenšuje. Chemické procesy v daném typu odmašťovacího přípravku (Pragolod 66) a Brownův pohyb molekul umocněný zvýšenou teplotou lázně 50 ± 1 °C nevyčistí daný vzorek pod hodnotu tloušťky vrstvy $t=0,086 \mu\text{m}$.

Elektrolytické katodické a anodické odmašťování - Z grafu je patrné, že při katodickém odmašťování je dosahováno daleko lepších výsledků než při odmašťování ponorem. Při odmašťování po dobu $T=120$ s bylo dosaženo zbytkové nečistoty na povrchu $t=0,038 \mu\text{m}$. Vylučování vodíku na vzorcích mělo za následek mechanický účinek, který podporoval odtrhávání molekul vrstvy oleje z povrchu vzorku. Při anodickém elektrolytickém odmašťování je zřejmé, že se uplatnil proces odmašťování za pomoci mechanického účinku kyslíku uvolňovaného na čištěném vzorku. Rovněž rozpouštění kovu, resp. naleptávání základního materiálu přispělo k nižším hodnotám zbytkového zamaštění, resp. vrstvy oleje t zbylé po odmaštění. Při odmašťování po dobu $T=120$ s bylo dosaženo hodnoty tloušťky oleje $t=0,008 \mu\text{m}$, kterou lze považovat za jednu z nejnižších.

Elektrolytické reverzační odmašťování - Tento způsob odmaštění se používá v praxi jako nejdokonalejší technologie odmaštění s vysokým požadavkem na čistotu povrchu. Z výsledků je zřejmé, že tento způsob odmaštění se řadí svými výsledky odmaštění povrchu k nejlepším.

Odmašťování ultrazvukem - Ultrazvukové zařízení ve formě ultrazvukových zářičů, napomohlo do určité míry k odmaštění vzorků. Účinnost toho odmašťovacího procesu je srovnatelná s odmašťováním pomocí elektrolytického katodického způsobu odmašťování. Ultrazvuk napomáhá odmašťovacímu ději, avšak nedokáže z povrchu odstranit tenkou vrstvu mastnoty ulpívající adhezními silami k povrchu, jak je tomu např. u elektrolytického anodického odmaštění. Při odmašťování po expoziční dobu 120 s se podařilo vzorek vyčistit na hodnotu tloušťky vrstvy oleje $t=0,036 \mu\text{m}$.

Odmašťování za pomoci ultrazvuku a elektrolytického anodického děje - Jedná se o dosud nepoužívaný typ odmašťování, kde působí současně dva fyzikální děje. Z grafických závislostí je patrné, že zavedením tohoto nového způsobu technologie odmašťování se dosáhlo zlepšení např. oproti samotnému anodickému odmašťování. Hodnoty odmaštění jsou srovnatelné s elektrolytickým reverzačním odmašťováním, avšak doba, kdy bylo dosaženo největší čistoty povrchu, se zkrátila přibližně na polovinu.

Závěr

Přeučprava povrchu s cílem dosáhnout maximální čistoty povrchů představuje v technologiích povrchových úprav důležitý faktor, který rozhoduje o kvalitě a životnosti povrchové úpravy. Čistotě povrchu, které je dosahováno technologiemi odmašťování, je nutno věnovat náležitou pozornost.

Abychom mohli odmašťovací proces sledovat, bylo nutné navrhnout zařízení schopné přesně odmašťovat kovový povrch v laboratorním prostředí. Do jaké míry je toto odmašťovací zařízení schopné plnit svoji funkci, ukazují výsledky měření poskytující informaci o kvalitě vyčištění povrchů.

Při zjišťování kvality čistoty povrchu bylo využito zařízení Recognoil. Z výsledků měření tímto přístrojem byl zjištěn průběh závislosti čistoty vzorku na čase. Současně bylo zjištěno, že nejučinnějším typem odmašťovacího procesu jsou kombinace odmašťování za pomoci ultrazvuku s elektrolytickým anodickým odmašťováním. Měření poskytlo informaci, že spojením ultrazvukového odmašťovacího procesu a elektrolytického procesu do jedné technologické operace přináší výsledky s vysokou čistotou povrchu.

Hodnoty dosažené čistoty povrchu jsou srovnatelné s elektrolytickým reverzačním způsobem odmašťování, avšak doba odmašťování se zkrátila.

Poděkování

Tento článek vznikl v rámci řešení projektu ČVUT SGS19/163/OHK2/3T/12 - "Research, optimization and innovation of production processes" a za podpory firem TechTest s.r.o. a Pragochema spol. s r. o.

Fyzikální podstata měření tvrdosti a přepočítání na pevnost

Ing. Maxim Puchnin, Ph.D.

Popis předkládané problematiky

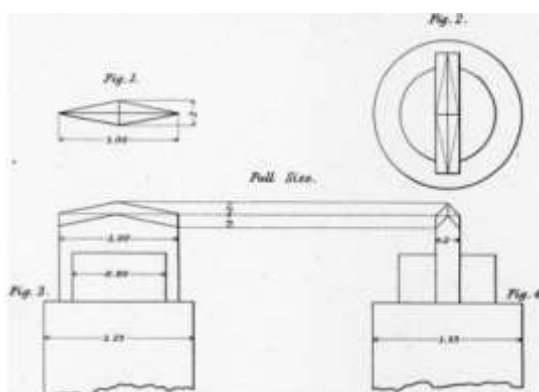
V technické praxi se všichni často setkávají s měřením tvrdosti materiálů. Hodnota tvrdosti slouží jako primární indikátor kvality materiálu a jeho shody s vlastnostmi, které se předpokládali při výpočtech parametrů tepelného zpracování, povrchových oprav a pevnosti konstrukcí. Spolu s tím bohužel existuje několik problémů, které jsou především spojené se zkresleným pochopením fyzikální podstaty měření tvrdosti. Prvním problémem je správný výběr metody měření tvrdosti. Ze školních lavic si všichni určitě pamatují, že existuje několik metod měření tvrdosti jako Brinell, Rockwell, Vickers, Knopp a Shore. Ale neorientují se v tom, kterou metodu musí zvolit pro konkrétní technický úkol a proč? Druhým problémem je, zanedbaní statistické distribuce hodnoty tvrdosti, to znamená, že se provádí jen jednoho měření místo několika měření (minimálně tři) s výpočtem směrodatné odchylky. Třetím problémem je existence velmi pestré nabídky různých měřicích přístrojů, přičemž řada z nich má velmi pokročilou automatizaci. Z toho důvodu je cílem této informace, seznámit techniky s vývojem metod měření tvrdosti a její fyzikální podstatou.

Když mluvíme o tvrdosti, musíme vzpomenout D. Tabora z Oxfordské univerzity, který byl velkým propagátorem této zkušební metody a v monografii *The Hardness of Metals* dokonce uvedl pro technický svět rozsáhlý přehled existujících zkušebních metod měření tvrdosti k roku 1950 a taky experimentální výpočty a data ze skutečných měření. [1]

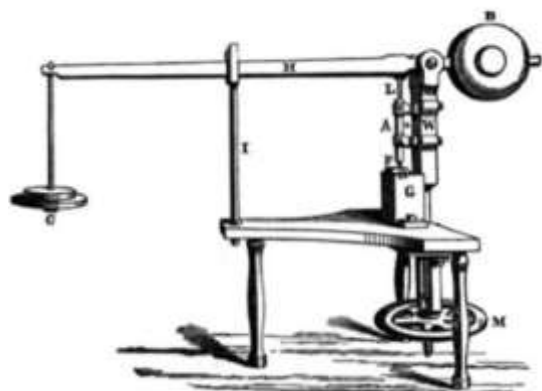
The Hardness of Metals poskytuje podkladové materiály o plasticitě, pevnosti materiálu a také experimentální důkazy, které potvrzují teorie indentace. Schopnost predikce materiálových vlastností pomocí indentační zkoušky byla jedna ze základních teorií D. Tabora.

Sledování změn mechanických vlastností zkoušeného materiálu v průběhu vnikání indentoru, ve tvaru kuličky do povrchu materiálu, je propojené s vývojem teorie tvrdosti, lomové mechaniky a mechaniky kontaktní deformace. Počátek daných vědeckých teorií pochází z 19. století a začíná v experimentech Heinricha Hertze, který ve své práci z roku 1881 sledoval pružný kontakt dvou koulí a koule s rovinným povrchem. [2] V další práci Hertz definoval fyzikální hodnotu tvrdosti při zkoumání pružného kontaktu tvrdých těles. Podle Hertze, je tvrdost hodnota tlaku v centru vtisku, který má „kritické rozměry“, což odpovídá přechodu z elastické deformace v plastickou. [3]

Historicky lze předpokládat, že první přístroje pro měření tvrdosti, o kterých byly zveřejněny nějaké informace, navrhli a vyrobili Wade v roce 1856 (viz Obr. 1) a Calvert s Johnsonem v roce 1859 (viz Obr. 2). Číselná hodnota tvrdosti, kterou pomocí těchto přístrojů měřili, charakterizovala odpor tělesa vůči vniknutí indentoru. Na Obr. 2 je uveden příklad výsledku měření Calverta a Johnsona. [5]



Obr. 1: Indentační nástroj Wade; upraveno z [4]



a)

Names of metals	Weight employed lbs.	Calculated cast iron = 1000
Staffordshire cold blast cast iron: grey, no. 3	4800	1000
Steel	4600	958
Wrought iron	4550	948
Platinum	1800	375
Copper: pure	1445	301
Aluminium	1300	271
Silver: pure	1000	208
Zinc do	880	183
Gold do	800	167
Cadmium do	520	108
Bismuth do	250	52
Tin do	130	27
Lead do	75	16

b)

Obr. 2: Přístroj pro měření tvrdosti podle Calverta a Johnsona
Zkušební zařízení, b) Výsledky měření; upraveno z [5]

Velkým pokrokem ve vývoji teorií tvrdosti byla prezentace metodiky výpočtu tvrdosti a postupu měření švédským inženýrem Brinellem (v Paříži roku 1900) a také návrh přístroje pro realizaci tohoto způsobu. [6] Tvrdost podle Brinella bere v úvahu parametry vtisku po jeho odlehčení. Vtisk byl přitom vytvořený indentorem ve tvaru koule, s maximálním zatížením, jehož hodnota je definovaná na začátku měření.

Tvrdost podle Brinella neurčuje odpor tělesa vůči vniknutí indentoru do jeho povrchu, jako je to například u měření podle Rodmana, Calverta a Johnsona. Tvrdost podle Brinella charakterizuje konečný výsledek deformace po odlehčení, tedy plastickou deformaci materiálu. Zkouška tvrdosti podle Brinella byla standardizovaná ve všech vyspělých zemích. V současnosti se také řídí mezinárodními standarty ISO, kde jsou dokonce popsány parametry provedení zkoušek pro různé materiály.

V české literatuře má velký význam monografie akademika Jareše *Základní zkoušky kovů a jejich teorie*. [7] Publikace poskytuje detailní pohled na teorii tvrdosti, vysvětluje fyzikální podstatu měření na bázi krystalické stavby a porušení krystalické mřížky při plastické deformaci. V této knize autor věnuje pozornost metodikám přepočtu hodnot tvrdosti na hodnoty pevnosti, přičemž velký důraz klade na fyzikální procesy, které tvoří podstatu, především empirických přepočtů. Ve 20. století někteří vědci, jako například Ishlinsky, Timoshenko, Jonson provedli rozsáhlé matematickofyzikální modelování procesu vtláčování indentoru do povrchu materiálu. Čímž potvrdili aplikační možnost získaných korelačních přepočtů.

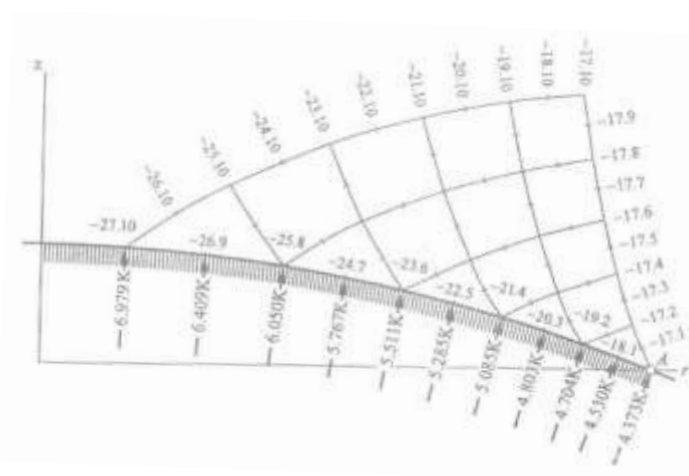
Velký význam v této oblasti má práce akademika A. U. Ishlinského [8], který s využitím hypotézy Haara-Karmana a metody skluzových čar, popsal celý proces vtláčování sférického indentoru do plastického materiálu. Ishlinsky nezahrnul do výpočtu tření a zpevňování materiálu. Výsledkem byla konstantní závislost mezi číslem tvrdosti podle Brinella nebo Meyra a mezi kluzu a diagramy napětově deformačního stavu viz Obr. 3:

$$\sigma_s = 0,383 H_B = 0,376 H_M \quad (1)$$

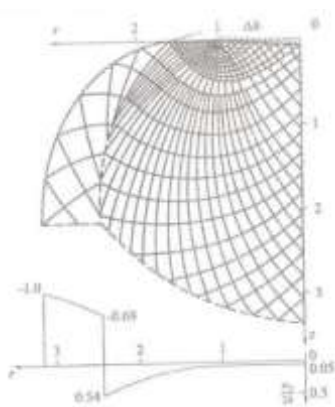
Kde σ_s - mez kluzu;

H_B - tvrdost podle Brinella;

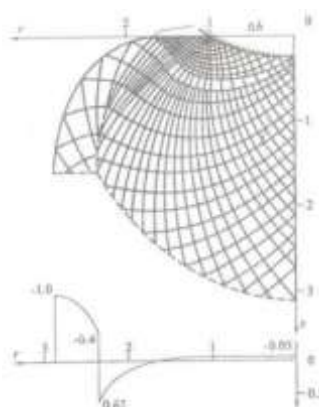
H_M - tvrdost podle Meyera



a)



b)



c)

Obr. 3: Diagramy napětově deformačního stavu získané Ishlinskim; upraveno z [8]

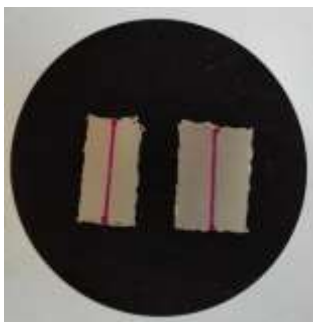
Později v roce 1983, byla tato závislost experimentálně ověřena v Institutu Problém Mechaniky USSR, na počítači EC-1055. Výsledky byly ve shodě pro základní i upřesněný výpočet.

Závislosti stanovené Ishlinskim jsou shodné s výsledky, které nezávisle od něj získal D.Tabor [1].

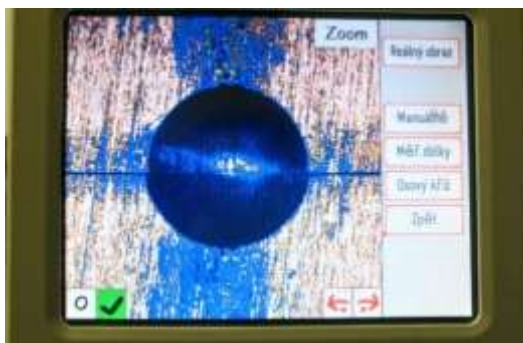
Moderní laboratorní techniky nám dovolují podívat se lépe do struktury materiálu pod indentačním vtiskem.

Provedený experiment

Pro zviditelnění plasticky ovlivněné oblasti bylo využito mikroskopické zkoumání na metalograficky připravených vzorcích, které byly vystaveny zatížení pomocí indentora. Na základě předpokladu o změně mikrostruktury, lze identifikovat rozsah a charakter plastické deformace v oblasti pod indentačním vtiskem. Experimentální potvrzení přítomnosti plastické deformace v této oblasti si vyžaduje speciální postup. V našem případě byl metalograficky připravený vzorek rozřezaný v polovině (obě části byly broušené a leštěné) ve směru kolmém na povrch vzorku. Tento byl zatížen indentorem tak, aby vtisk vznikl symetricky na rozděleném řezu, jak zobrazuje Obr. 4. Na základě poznatků o mikroskopické identifikaci skluzových čar po plastické deformaci měkkých materiálů, byla jako reprezentativní materiál, zvolena hliníková slitina AlCu4PbMg. Vtisk byl vytvořený pomocí univerzálního tvrdoměru EMCOTEST M4C 075/750, Obr. 5.



Obr. 4: Připravené vzorky



Obr. 5: Vtisk na displeji tvrdoměru EMCOTEST M4C 075/750

Po vyjmutí vzorků z fixační pryskyřice a jejich zatížení indentorem, byly rozdělené části materiálu mikroskopicky (světelnou a elektronovou mikroskopií) studované v příčném řezu jak znázorňují Obr. 6 a Obr. 7.



Plastická deformace 750 kg



Plastická deformace 750 kg



Polarizované světlo, zvětšení 2,5x



Polarizované světlo, zvětšení 5x

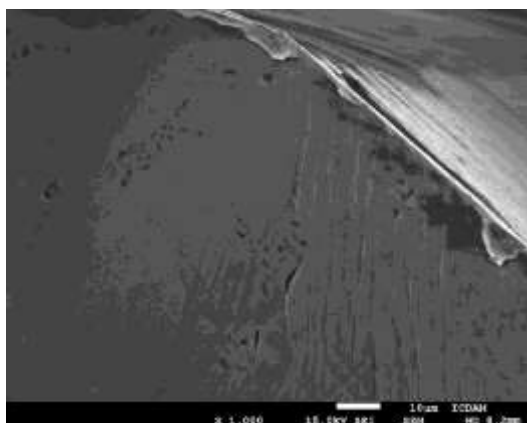
Obr. 6: Plastická zóna Al slitiny (polarizační a světelný mikroskop)

Charakter a velikost zóny ovlivněné deformací na příčných řezech, je možné poměrně dobře identifikovat pro každý materiál. Plastická zóna Obr. 6 je barevně odlišná od základního nedeformovaného materiálu, kde je zobrazený i směr, ve kterém bylo uskutečněno stlačení materiálu pod indentorem. Plastická deformace probíhá v tak velkém objemu materiálu, který mu daná struktura dovolí. Z toho důvodu odezva zkoušeného materiálu bude vždy záležet na morfologii mikrostruktury (krystalické mřížce).

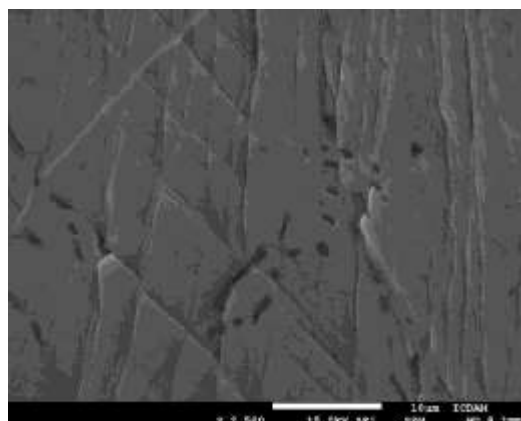
Charakter a reliéf plasticky zdeformované oblasti pod indentačním vtiskem na Obr. 6 potvrzuje teoretické předpoklady D. Tabora a vizuálně se shoduje s diagramy, které vypočítal Ishlinsky viz Obr. 3.

Detailní studium deformačně ovlivněné mikrostruktury umožňuje elektronový mikroskop. V oblasti pod vtiskem jsou typické znaky plastické deformace, které vytváří celkový obraz o jejím průběhu od povrchu směrem dovnitř materiálu.

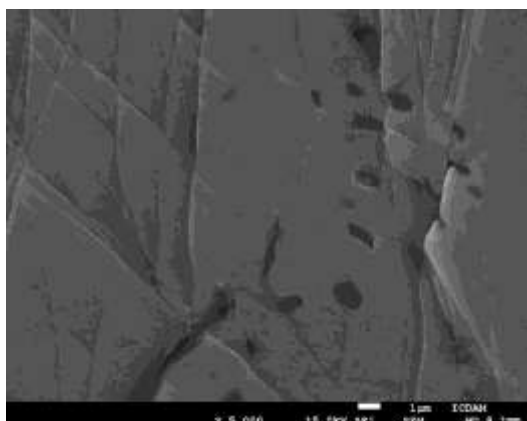
U Al slitiny jsou tyto znaky výraznější v porovnání s jinými materiály.



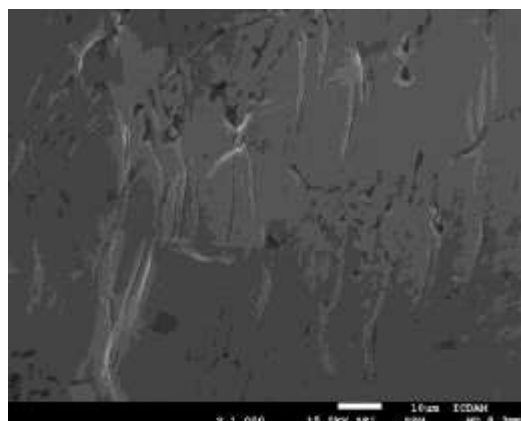
Plastická zóna Al slitiny



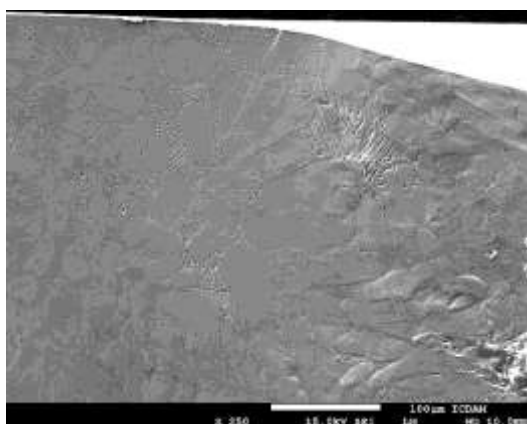
Detail plastické zóny Al slitiny



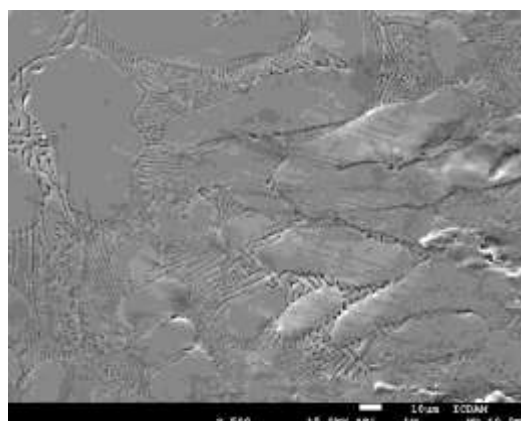
Detail plastické zóny Al slitiny



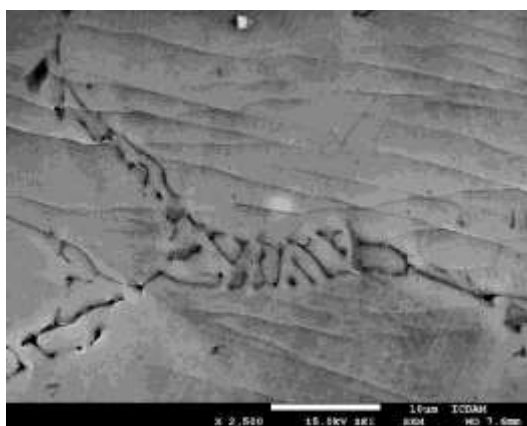
Střední část plastické zóny Al slitiny



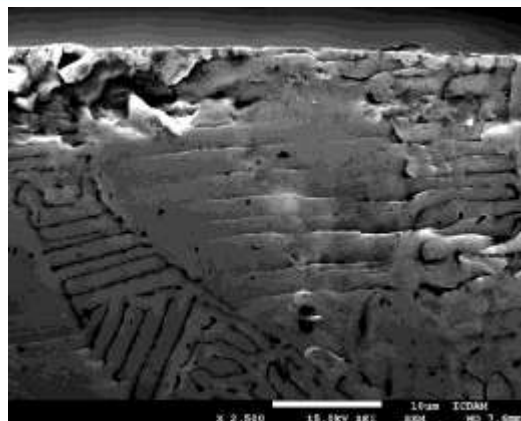
Al slitina deformovaná



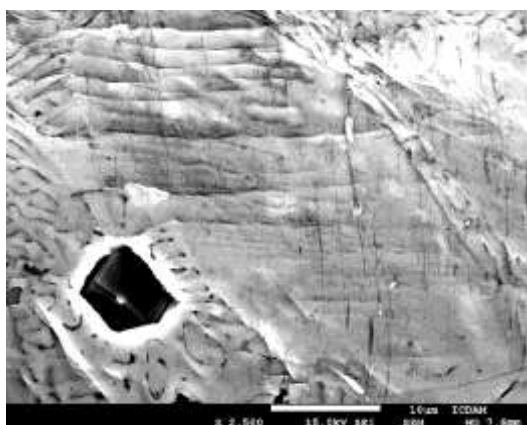
Al slitina deformovaná zrna



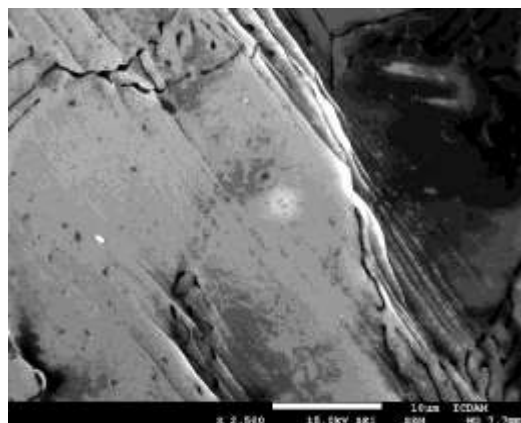
Deformovaná oblast Al slitiny, skluzové čáry



Al slitina deformovaná, oblast pod povrchem



Skluzový systém (a vměstek) v deformované oblasti



Deformovaná oblast Al slitiny, skluzový systém

Obr. 7: Deformovaná oblast Al slitiny pod indentačním vtiskem

Závěr

Práce obsahuje stručný pohled na vývoj teorie měření tvrdosti, teoretických a matematicko-fyzikálních výpočtů hodnot pevnosti z naměřených hodnot tvrdosti. Na základě moderních experimentálních technik autor potvrdil fyzikální podstatu těchto přepočtů, s prezentací strukturní odezvy na zatížení. Výsledky získané autorem potvrzují a dobře znázorňují nejen přítomnost plastické deformace pod indentačním vtiskem, ale i její rozsah v uvedeném materiálu.

Poznámka autora: V článku byly použity monografie D. Tábora a V. Jareše, které autor doporučuje ke studiu všem, kdo se chce věnovat této problematice a zajímá se o historii *měření tvrdosti*.

Použitá literatura:

- [1] D. Tabor. The Hardness of Metals. Oxford: Clarendon Press, 1951, 177 p.
- [2] H. Hertz. Über die Berührung fester elastischer Körper (On the contact of elastic solids). Journal reine und angewandte Mathematik, 1882, Vol. 92, pp. 156–171.
- [3] H. Hertz. Über die Berührung fester elastischer Körper und über die Härte (On the contact of rigid elastic solids and on hardness). Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes, Leipzig, 1882.
- [4] S. M. Walley. Historical origins of indentation hardness testing. Materials Science and Technology, 2012, Vol. 28, Issue 9–10, pp. 1028 – 1044.
- [5] F. C. Calvert, R. Johnson. On the hardness of metals and alloys, Philosophical Magazine, 1859, Vol. 17.
- [6] J.A. Brinell. II Congres Jnt des Methodes d'essai. Paris, 1900, p. 176
- [7] V. Jareš. Základní zkoušky kovů a jejich teorie. Praha: Academia, 1966, 210 p.
- [8] A.J. Ishlinsky. The axi-symmetrical problem in plasticity and the Brinell test. PMM, 1944, Vol. 8, pp. 201-224.

3D tisk a jeho použití ve vývoji bezpilotního vrtulníku

Libor Horáček – MODELÁRNA LIAZ, spol. s r. o.

Společnost Modelárna – Liaz v Liberci vlastní 3D tiskárnu již více než 5 let. Dodavatelem tiskárny byla německá firma ExOne.



Tisk písku je určen původně pro tisk pískových forem pro odlévání kovů. Během používání technologie 3D tisku písku vyvstala myšlenka jak využít tisk pískových struktur pro jiné účely než jsou slévárenské formy. Tak bylo postupně vyvinuto několik technologických postupů výroby přípravků, úprav mechanických vlastností tištěné struktury a povrchu tištěných dílů. Tyto technologie se časem staly běžnými v celém průřezu výroby společnosti v oblasti přípravků, nástrojů, prototypových i sériových dílů pro automotive, energetiku a letectví.

Během posledních 6 let Modelárna Liaz vstoupila i do oblasti bezpilotních vrtulníků.

Posledním typem je plně autonomní vrtulník SkySpotter 151.



hmotnost:	200 kg
rozměry:	3,3 x 1,2x 1,4 m
průměr vrtule:	3,6 m
nosnost:	40 kg
dolet :	500 km

Během vývoje, přípravy výroby i samotného výrobního procesu byly a jsou využívány tištěné pískové díly v různých modifikacích. Využila se jak velikost pracovního prostoru tiskárny 1800x1000x700mm, tak i nízká cena tisku a teplotní odolnost tištěné struktury až 1500°C.

Nejprve byl navržen design vrtulníku. Vytištěný fyzický model ukáže víc nežli datový model ve 3D prohlížený na monitoru. Tak vznikl výsledný tvar trupu vrtulníku a následně byl tištěný model použit v aerodynamickém tunelu.



Většina menších dílů vrtulníku je vyrobena technologií obrábění z bloků materiálu – leteckých slitin hliníku, dále speciálních ocelí a kompozitů.

Větší díly jako rám, výfuk jsou svařené nebo nýtované sestavy. U těchto dílů je nutné dodržet určitou prostorovou přesnost. Proto byly vytištěny přípravky na nýtování a svaření. U nich byla využita teplotní odolnost a dostatečná pevnost tištěné struktury.

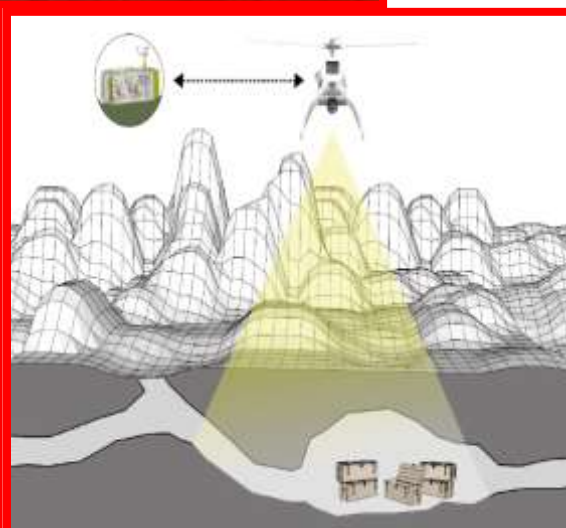
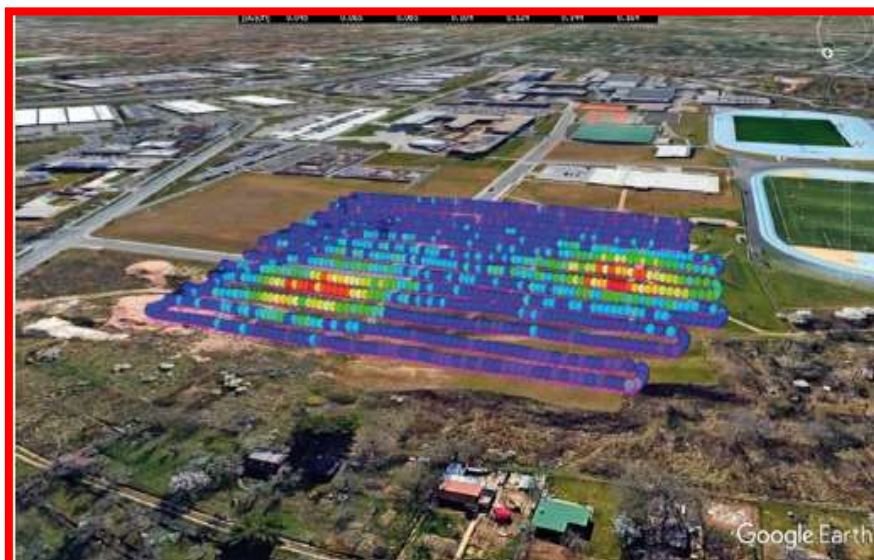


Pro výrobu kompozitních dílů byly vytištěny několikadílné rozebirací laminovací formy. Pro zlepšení jejich vlastností byla tištěná písková struktura zpevněna nasycením speciální pryskyřicí a byl upraven jejich povrch. Tyto postupy vyvinula Modelárna – Liaz a zcela změnila vlastnosti tištěných dílů. Laminovací formy lze použít pro ruční i vakuové infuzní laminování.



Díky 3D tisku písku se podařilo zkrátit technologickou přípravu o 50% času oproti konvenčním technologiím.

UAV vrtulník SkySpotter151 je vybaven řadou senzorů a užitečných zatížení pro plnění náročných monitorovacích, ochranných a obranných úkolů a to i v nepřístupném terénu.



Pneumatická tryska IKEUCHI – úprava vlhkosti při výrobě vína a ostatních lihovin

Ing. Rudolf Jisl a Ing. Petr Tomeš – Otto Kühnen



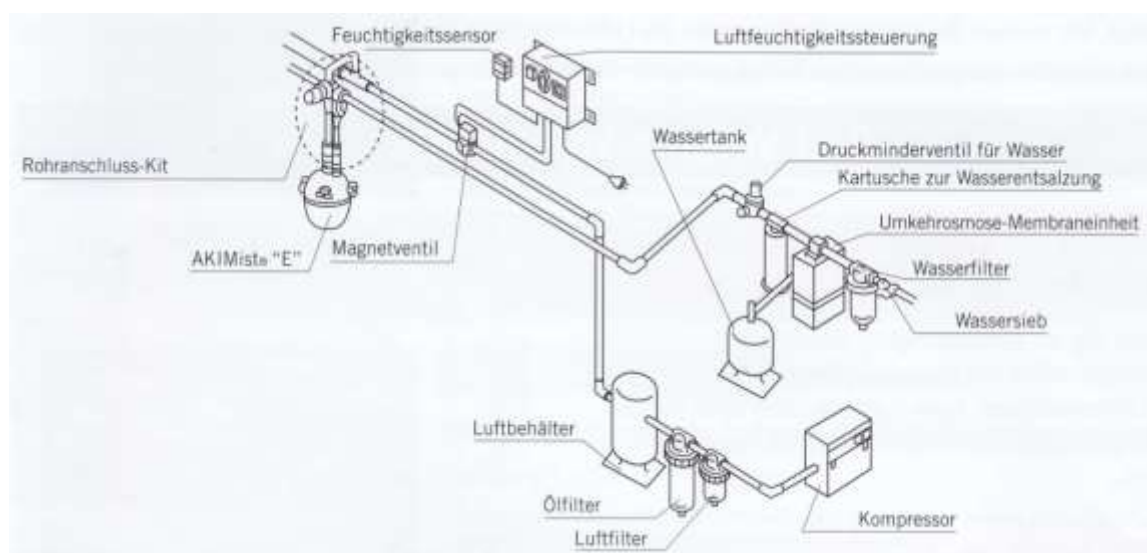
V návaznosti na článek z minulého vydání Povrcháře o vlhčení tryskou typu Ikeuchi bychom se rádi zmínili o použití vlhčení při výrobě vína a dalších destilátů. Jedná se o regulaci okolní vlhkosti ve sklepech při zrání lihovin v sudech. Vliv neregulovaného stupně vlhkosti může vést ke ztrátě produktu až o 5 % ročně.

Ztráty mohou vznikat následujícími příčinami:

Vyšší Andělský podíl: ztráta vína a destilovaného lihu v důsledku odpařování.
Vyšší Dábova daň: nekontrolovaná absorpce vína nebo jiného alkoholu dřevěným sudem.

Zvlhčovací systém AirAKI se zvlhčovačem AKIMist "E" a jeho aplikace

- **AirAKI systém** – je spravován řídicí jednotkou s čidlem vlhkosti anebo časovačem, který udržuje konstantní úroveň teploty ve sklepech po celý rok.



Flexibilní instalace – díky malým rozměrům zvlhčovače AKIMist „E“ (cca. 25 cm vysoký) a nízké hmotnosti se snadno instaluje bez ohledu na stávající klimatizaci. Je proto vhodný pro jakékoliv konfigurace i pro prostorově omezené místnosti, protože zvlhčuje bez namočení povrchu.

“Okolní“ nebo bodové zvlhčování AKIMist “E”

- může pokrýt velké prostory, avšak stejně tak i malé sklepy
- až 4 trysky na každé jednotce
- pokrytí více než 4 m horizontálně každou tryskou
- stabilizace relativní vlhkosti v místnosti o velikosti 100 m³ pouze jednou tryskou



Kontrola Andělského podílu a Ďáblovy daně pomocí zvlhčování

Andělský podíl: při stabilnější vlhkosti a nižší teplotě, dochází k menšímu odpařování alkoholu a vody.

Ďáblova daň: druh a kvalita dřevěného sudu ovlivní kolik nápoje se absorbuje.

- Vyšší vlhkost = menší absorpce produktu, protože sud vstřebal vlhkost.

Metoda rozprašování, stlačený vzduch – voda, versus alternativní systémy:

Vysoký tlak: vysoké riziko vytvoření vodních kaluží v případě poruchy.

Parní vlhčení: jako vedlejší efekt má tendenci ohřívat vzduch.

AKIMist E – užívaný tlak vody, 2 bar = voda z vodovodu

- bez úniků = okamžité zastavení rozprašování, jakmile je vypnut stlačený vzduch

- úspora nákladů = snižuje náklady na klimatizování, protože snižuje teplotu

Systém zvlhčování suchou mlhou AirAKI se zvlhčovačem AKIMist “E” a jeho výhody:

- dvoustranná výhoda: zvlhčení a snížení teploty (chlazení) atomizací vody
- jednoduchá instalace přidáním do stávajícího systému HV AC
- vysoká účinnost
- nízké náklady na údržbu
- snadno přizpůsobitelné změnám prostor

Systém zvlhčování suchou mlhou AirAKI se zvlhčovačem AKIMist “E” a jeho přínosy:

Snížení výrobních ztrát:

- Redukce doplňování potřebného produktu pro vyrovnání ztrát způsobených odpařováním a absorpcí dřeva.

Zvýšení produktivity:

- Méně doplňování.

- Méně práce.

- Úspora na ztrátě produktu v důsledku snížení Andělského podílu a Ďáblovy daně.

Řešení IKEUCHI – systém zvlhčování za pomoci suché mlhy Air AKI se zvlhčovačem AKIMist “E”

Systém AirAKI – je zvlhčovací systém sestávající se ze zvlhčovače AKIMist E, řídicího zařízení a reverzní osmózy. Rozprašuje kapičky vody o průměrné velikosti 7,5 µm, které se odpařují před dosažením jakéhokoliv povrchu bez jeho zvlhčení. Vytváří takzvanou suchou mlhu.

Úspora energie:

- Snížení nákladů na klimatizování, protože snižuje teplotu.

- Menší spotřeba energie.

- Menší dopad na životní prostředí (snížení emisí CO2)

Kontrola chuti a vůně (charakteristik) produktů:

- Zvýšení kvality produktu.

- Vylepšená a kontrolovaná chuť a vůně.

- Kontrola propustnosti dřevěných sudů.



Autoři přejí všem čtenářům šťastné a veselé Vánoce, mnoho zdraví a v případě zájmu o provedení ukázky nás kontaktujte.

KDO JE ROZSOUDÍ II.

Josef Ježek – JEVAN, Ledec nad Sázavou

Spor mezi zájemci o **pyramidy v Gíze** je stále živý. Stavby takto pojmenované se nachází prakticky ve všech světadílech, určitě i v Antarktidě pod ledem. V předchozím díle jsme se zastavili u nejslavnější z nich, faraona Cheopse. Sem vzal na výlet **Euklides** své svěřence z **Alexandrijské školy**. Chtěl jim ukázat div světa se všemi jeho tajemstvími. Když byli na místě, začal svou přednášku. „**Milí studenti, kolegové.** Povšimněte si některých důležitých faktů. Jak víte z hodin astronomie a astrologie, Země je rotující těleso kulovitého tvaru a my se nacházíme zhruba v jedné třetině od rovníku k pólu. Dvě základnové strany zdejších pyramid směřují k severnímu pólu, zbývající dvě základnové strany na ně kolmé z východu na západ. Tato orientace staveb má hluboký smysl, protože nám pomáhá orientovat se v prostoru a čase, odměřovat čas během dne i roku. Když **Slunce dosáhne nadhlavníku** (poledne), potom je stín nejkratší a směřuje k Severu. O této největší pyramidě se říká, že se vysmívá času a že požírá svůj stín. To nastává právě v tomto letním období kolem poledne. Stín pyramidionu totiž nedopadne až na písek. Pyramida tak funguje jako gnómon (obelisk, hodinářská ručka) k určování slunovratů“.

A pokračoval dále: „Je tu však ještě další a mnohem důležitější skutečnost. Kdybychom se mohli podívat na tuto pyramidu shora, uviděli bychom obraz čtverce s oběma úhlopříčkami. **Velký otec Pythagora** v tomto obrazci objevil cosi, co nelze rozumem pochopit. Odlehlost protilehlých hrotů pyramidy na základně v poměru k odlehlosti dvou hrotů pyramidy sousedících nelze vyjádřit žádným poměrem dvou přirozených čísel. Pro Pythagora i jeho žáky to byl před dvěma sty padesáti lety obrovský šok“.

Ozval se **Konón ze Samu** a povídá. „Znamená to, pane učiteli, že kdyby někdo přicházel shůry, uviděl by tento obrazec, a ptal by se, co to znamená?“ „Ano, správně chlapče. Řekl by si, že obyvatelé této planety už **objevili nerozumnost (iracionalitu)**, a tudíž je možné s nimi komunikovat skrze čísla, matematiku. Vysvětlím! Délku základové strany pyramidy berme jako jednotkovou. Potom dvě sousedící strany v pravém úhlu, spojené úhlopříčkou, představují pravoúhlý rovnoramenný trojúhelník. Součet druhých mocí jednotkových délek musí dát druhou moc délky třetí, přepony. V tomto případě však takové přirozené číslo neexistuje. Víme, že součet dvou shodných lichých čísel, ať už jednotkových či jakýchkoliv jiných větších, v první, v druhé, třetí i další mocnině je vždy a zase dvojnásobkem lichého čísla. Takové číslo nikdy nemůže být druhou mocninou jiného čísla. $1^2+1^2 = 2^2$. $(1^2+1^2=2L = 2^2)$. A i kdyby někdo pochyboval, zda by to nefungovalo se sudými čísly, pak mu musím říci, že celý vztah je možné dělit mocninou dvojky, a jsme zase na počátku.“

Jiná situace by nastala v případě **Džosérovy pyramidy**. Ta, jak víme, má obdélníkový půdorys. U ní by se mohl nalézt poměr délek základových hran takový, jenž by umožnil jejich souměřitelnost s délkou úhlopříčky. Jeden rozměr by musel představovat vhodné liché a druhý vhodné sudé celé číslo. Potom by přepona (úhlopříčka základny pyramidy) představovala třetí celé číslo, a to liché. Nerozumný vztah mezi stranami základového obdélníku a jeho úhlopříčky nastává pokaždé, pokud poměr stran (odvěsen) je v poměru dvou lichých čísel“

Výlet se povedl, a všichni měli ze slov mistra hlavu zamotanou. V prvním díle jsme se dozvěděli, že **Apolónius z Pergy**, inspirovaný pyramidou, se stal geometrem a učitelem kuželoseček. Všichni zúčastnění potom skutečnými astronomy. Uchvátila je představa, že božstva přicházející z nebeských výšin (mimozemšťané) poznají vzdělanost obyvatel planety z výšky podle staveb, jako jsou zdejší pyramidy. **Eratosthenes z Kyrény**, jenž později vypracoval metodu hledání prvočísel, zvanou po něm jako Eratostenovo síto, ještě cestou lodí zpět do Alexandrie povídá: „Mistře, v půdorysném pohledu na pyramidu je taková zajímavost. První úhlopříčka rozdělí čtverec na dva shodné trojúhelníky. Druhá pak oba vzniklé trojúhelníky zase na dva shodné trojúhelníky, menší, ale tvarově shodné s prvními“. „Výborně chlapče“, povídá Euklides. „Pro všechny pravím. Úhlopříčným půlením čtverců dostáváme pravoúhlé rovnoramenné trojúhelníky, jejichž délky stran mají tu zvláštnost, že sestrojením obdélníků z přepony a odvěsny získáme objekty, které lze do nekonečna půlit po delší straně a jejich tvar, myšlena podobnost (proporce), zůstávají shodné.“

„Ale mistře, ty dva trojúhelníky je přece možné také do nekonečna půlit při zachování jejich tvaru, pro jejich podobnost“. „Vidím hochu, že tohle tajemství ti neuniklo. Proto vám všem povím, co z toho vyplynulo. Tvar po dělení půlením těchto dvou rovinných objektů zůstává zachován, ale co můžeme říci o jejich velikostech?“ „Že součet ploch všech takto vzniklých obdélníků nebo trojúhelníků dá i po nekonečném počtu řezů počáteční plochu. Buď čtverce, obdélníku nebo trojúhelníku, mistře“. „Správně hochu. Ale to už jsme se posunuli z geometrie do světa čísel, říkejme třeba Aritmetiky. Celek je složen z poloviny, následně poloviny z poloviny. Dále pak z půlky poloviny půlky, až do nekonečna. Je to šílená představa o tom, že nekonečný součet podobných ploch dá **konečnou plochu K**, kterou jsme začali dělit. Matematika nás, přátelé, stále překvapuje. Mluvíme o řadě čísel a o součtu této nekonečné řady. Moderně můžeme zapsat formuli:

$$\sum K/2^n = K \quad (n = 1; 2; 3; \dots)$$

Nejmladší z účastníků výletu, jistý **Archimédes ze Syrakus**, se vypracoval na největšího matematika a fyzika své doby. Byl velmi prakticky založen. Pracoval s mžikovou rovnováhou (zapisuje se rovnicemi, znaménkem =). Vymýšlel třeba pracovní stroje na principu pák, hřídelí, válců a ozubených kol, válečné stroje (praky, obléhací stroje), čerpací stroje. Pracoval také se světlem (čochy a zrcadla), vymýšlel hydraulické stroje. Proslavil se novým zákonem o rovnováze vztaku (síly) kapaliny a gravitační síly, nebo měřením hustoty materiálů (králova koruna). Byl aktivní i v teoretické oblasti. Vypracoval teorii spirály, byl průkopníkem oblasti dnes nazývané infinitezimálním počtem. Ze svých mnoha objevů si ale nejvíce cenil toho, který ho napadl po výletu do Gízy. Namaloval si Velkou pyramidu shora a viděl, že čtverec s oběma úhlopříčkami je rozdělen na čtyři shodné pravoúhlé rovnoramenné trojúhelníky. Vždy dva protilehlé proto mají poloviční plochu oproti čtverci. Když však tento obrázek (v mysli) roztočil kolem vlastní osy, rovnoběžně se dvěma hranami a procházející průsečíkem úhlopříček, potom v něm uviděl rotační rovnostranný (čtvercový) válec, ve kterém je ukryt kolmý dvojité kužel. Když do čtverce zakreslil ještě kružnici, a tu společně s úhlopříčkami roztočil, dostal tři rotační tělesa. Jejich objemy jsou v poměru. **Dvojitý kužel : kouli : válci**, jsou **1 : 2 : 3**. Byl tou symbolikou natolik okouzlen, že si přál mít tento obrazec vytesán na své náhrobní desce. Po mnoha desetiletích a peripetiích se mu toho dostalo.

Vůbec se jeho přání nedivím. Symbolika přesýpacích hodin je nádherná. Na ní se ve školách vyučují kuželosečky, jak je zpracoval starší spolužák **Apolónius z Pergy**. Singularita coby hrdlo plynutí času (přítomnost) a proměna světů (minulost v budoucnost). Jak jinak lépe si představit velký třesk nebo stvoření světa. Ano, dvojitý kužel by mohl mít podobu vřetýnka (káči), pokud by se oba vrcholy dotýkaly středů kruhových základů válce. Tímto uvažováním se o mnoho staletí později vydal jistý **Guldin** (a také Pappus), a naučili nás vypočítávat objemy a povrchy jednoosých rotačních těles. Dovolím si jen poznamenat, že v onom kouzelném poměru objemů jsou i obecnější trojice těles. Například štíhlejší nebo nižší válce, vyplněné jednoosými elipsoidy a mono kuželem či bi kuželi, výše popsány.

Dále si dovoluji upozornit na skutečnost, že symbolika tří rotačních těles s uvedeným poměrem objemnosti by mohl být základ pro „tetranomickou numerační soustavu“. Číslice 1,2,3 by měly i prostorové tvary mohutnosti, nikoliv pouze cosi abstraktního. Například pro představivost. Válec plus kužel by byl objem dvou koulí a výsledek by měl tvar středověké strážní věže. Válec mínus kužel by byl objem jedné koule s tvarem odstředěné kapaliny. Dva kužele by měly objem jedné koule. Tato hra s objemy by nikomu nemohla ublížit a děti by mohly nerušeně pracovat s tvarem rovnostranných těles.

Dnes se nám zdá být neuvěřitelné, že stále trvá diskuse o tom, zdali Země představuje placku, kolem níž krouží Slunce, Měsíc a hvězdy. Nebo je to jinak? Pořád jde o to, kdo je hlasitější, arogantnější v prosazování svých pravd. Nevím, nad čím se pane Grygare pozastavujete? Vždyť i tenkrát prohrál názor, že Země je kulatá a že se kolem ní netočí Svět. Pravda to má hold někdy těžké, pokud nedokáže to, co dokáže lež. Ve lži se dá pohodlně žít i několik tisíciletí.

Jistý pan Taylor, nakladatel a vydavatel London magazine, se stal otcem pyramidologie, když v rozměrech Velké pyramidy objevil Ludolfovo číslo (π). Základem vyšší matematiky jsou dvě nerozumná (iracionální) čísla. Toto číslo π a Eulerovo číslo (e). Taylor prý změřil obvod pyramidy v průniku s podloží (4a) a vydělil dvojnásobkem její výšky (2v). ($\pi = 4a / 2v = 3,14$). Netvrdím, že by to nebylo možné, ale jde trochu o přesnost měření, kdy jeho cílem je potvrzení domněnky. Poměr délky kružnice k jejímu průměru je to slavné nerozumné číslo, vyjadřující rovinný úhel daný počtem radiánů (rad).

Tajemnější však je veličina, kterou nazýváme prostorový úhel (sr). Jak velký trojrozměrný prostor sledovaná pyramida vytýká? To právě nevíme. Co víme s jistotou, je skutečnost, že prostor kolem volného bodu v prostoru má velikost 4π steradiánů (sr). Tato hodnota platí i pro součet vnitřních prostorových úhlů krychle. Z ní potom lze usoudit, jakými prostorovými úhly je vybavena pyramida, ze které je možné sestavit krychli o hraně a. Tato pyramida má výšku $a/2$ a vrcholový úhel $2\pi/3$ sr. Čtyři prostorové úhly u základny mají velikost $\pi/6$ sr, a protože jsou čtyři ($4 \times \pi/6 = 2\pi/3$), potom součet všech vnitřních úhlů této pyramidy je dohromady $(4\pi/3)$ srad. Nominální hodnota součtu vnitřních prostorových úhlů této pyramidy je roztomilá v tom smyslu, že se shoduje s konstantou pro výpočet objemu koule ($V = (4\pi/3) \cdot r^3$).

Na krychli lze vyzorovat i vztah součtu vnitřních úhlů čtyřstěnu, který vzniká odříznutím jednoho jejího „pravého“ vrcholu ($\pi/2$ sr.). Rovina řezu je v tomto případě vedena třemi sousedními vrcholy, čímž vznikne základna čtyřstěnu v podobě rovnostranného trojúhelníku a jeho tři boční stěny bude tvořit trojice identických pravouhlých rovnoramenných trojúhelníků. Vazba pravidelného čtyřstěnu (tetraedru) na pravidelný šestistěn (hexaedr – krychli) je zřejmá. Pravidelný čtyřstěn je „neviditelnou duší“ krychle, kterou uvidíme až tehdy, když čtyřmi rovinnými řezy odstraníme „čtyři pravé vrcholy“ krychle. Čtyři zbývající „pravé vrcholy“ se potom rozpadají na tři základnové prostorové úhly „pravouhlého čtyřstěnu“ a jeden prostorový úhel „pravidelného čtyřstěnu“. Pět čtyřstěnů dvou typů vytvoří „obraz krychle“.

Já, ačkoliv jsem „technický suchar“, občas podlehnu múze zvané „Poezie“ se slovy Jiřího Suchého, „že ta trocha poezie, nikoho nezabije!“. Proto berte následující podobenství jako moje chvilkové poblouznění láskou. Odříznuté čtyři kusy Caesarovy „svaloviny“ v podobě „pravouhlých čtyřstěnů“ můžeme uspořádat po dvojicích tak, že dva jsou vpravo, dva vlevo, dva vpředu, dva vzadu. Stejně tak jsou pojmenovány části srdce, srdeční síně. Pokud tyto části spojíme k sobě pravými prostorovými úhly, dostaneme tvar pyramid v Gíze. Velkého řeckého ducha se srdcem zapíšeme tvarovou rovnicí Caesara:

$$\text{Polyedr Caesar} = \text{Adam I.} + \text{Pyramidion} = \text{Duch} + \text{Srdce.}$$

V duši Caesara však můžeme dále číst, že je v ní skryt i obraz Cleopatry a čtyř malých dušiček (Adama, Evy, Kleopatry a Jeho samotného).

$$\text{Caesar} = \text{Pyramidion} + \text{Cleopatra} + 4 \times \text{Adam I.} = \text{Srdce} + \text{Žena} + 4 \times \text{Duše}$$

Cleopatra má na svém „těle“ osm definujících bodů, jimiž jsou těžiště jejich trojúhelníkových stěn. Pokud je spojíme vzájemně přímostmi (úsečkami), uvidíme obraz malého Caesara. Lze říci, že má pod kůží, nebo „pod srdcem“, malého chlapce. Zřejmě potomka. Dejme mu jméno Caesaron.

Moc by mě zajímalo, kdo radil staviteli Cheopsovi pyramidu, jak velký prostor má vytknout. Ten je dán volbou rovinného úhlu mezi každou ze čtyř trojúhelníkových stěn pyramidy a její základnou. Pokud se pokusíme analyzovat velikost tohoto rovinného úhlu, dojdeme k následujícím závěrům. Blíží-li se nule rad, potom se vrcholový úhel blíží hodnotě 2π sr. V součtu se čtyřmi základnovými úhly blízkým nule tak dostáváme v limitě celkovou hodnotu vnitřních úhlů takové pyramidy 2π sr. Pokud se úhel stěn blíží k $\pi/2$ rad, potom vrcholový úhel pyramidy se blíží k 0 sr, a hodnota každého ze čtyř základnových úhlů se blíží hodnotě $\pi/2$ sr. Sumární hodnota všech vnitřních prostorových úhlů pyramidy v limitě dosahuje též hodnoty 2π sr. Z analýzy velikosti vnitřních prostorových úhlů čtyřboké pyramidy (nejen čtvercové základny) vyplývá, že je v limitě maximálně 2π steradiánů. U „trojboké pyramidy“ (čtyřstěnu) jsou limitní hodnoty sumy vnitřních prostorových úhlů v intervalu $3\pi/2$ až 2π sr.

Druhou a zřejmě poslední příležitostí, jak zjistit, nebo se přiblížit hodnotě vrcholového úhlu Cheopsovy pyramidy, je polovina pravidelného osmistěnu. Vrcholový úhel představuje hodnotu $\pi/2$ sr. Jaký byl záměr architekta skutečně nevím, ale chybí nám na výšku cca 16 metrů, aby vrcholový úhel byl ten „pravý“, tedy $\pi/2$ sr. Na čtyřech hranách stěn to dělá jedenáct metrů, což není zase tak velká chybička (5%), pokud byl takový záměr. Pravidelný osmistěn je anti polyedr ke krychli a naopak. Počet stěn krát jejich tvar (násobnost) dává shodnou konstantu – dvojnásobek hran. Pišme: $6 \times 4 = 8 \times 3 = 24$. Caesar (krychle) a Cleopatra (osmistěn) mají 12 shodně dlouhých hran. Další párovou dvojici tvoří dvanáctistěn a dvacetistěn. Pišme: $12 \times 5 = 20 \times 3 = 60$. Oba mají 30 hran stejně dlouhých. Čtyřstěn je sám sobě anti polyedrem.

Cheopsova pyramida má prý mezi základnou a jednotlivými stěnami rovinný úhel cca $51^\circ 51'$. Pokud by měla kopírovat polovinu pravidelného osmistěnu, pak by tento úhel musel být větší, $54^\circ 45'$. Chybička necelé tři úhlové stupně! Asi by stálo za pokus změřit úhel stěn spodní části pyramidy faraona Snofrua s lomenými stěnami u Dahšúru. Vůbec první z hladkých pyramid z 26. století před Kristem. Chtěl bych ho znát! Američané postavili v Las Vegas obrovskou skleněnou pyramidu (hotel Luxor) o výšce 160 m (půdorys neznám), jehož výška by u Cheopsovy pyramidy postačila právě na polovinu Cleopatry.

Diskuse mezi Egyptology a Pyramidology by měla být vedena seriózně a bez emocí. Cítím, že každá strana sporu klade akcent trochu na jinou otázku. Archeologové se ptají spíše „jak a kdy“, ti druzí „proč právě tak“. Heslo obou pak zní, „vše pro bohy a kvůli nim“. Přirozená kultovní místa (kopce, hory) jsou volbou „být co nejlíže k nim“. V rovinách se staví umělé vyvýšeniny (oratoria) z kamene nebo cihel, a zpravidla se svatostánkem na vršku. K němu však musí vést nějaké schody. A právě v Gíze je matoucí ta věc, že dokonale hladký bílý vápencový povrch s úžasným tvarem nemá přístup k vrcholu. Vypadá jako trezor, reflektor, technická stavba, stroj. Uvnitř kamenný „sarkofág“ může být prostě nádobou na tekutinu. Tyto stavby se trochu vymykají potřebě uskladnit v nich „jen“ pozůstatky nějakého poloboha. Další povídání o pyramidách zase příště.

Certifikace pracovníků v oblasti protikorozních ochran a povrchových úprav

Ing. Jan Kudláček, Ph.D. – ČVUT v Praze, FS, Ústav strojírenské technologie

Odborná úroveň osob vykonávající odborné a manažerské činnosti v našich oborech a jejich řádná způsobilost musí být pro bezproblémové vykonávání kvalifikací a certifikací podle platné legislativy a v souladu se změním standardu APC Std-401 „Kvalifikace a certifikace pracovníků v oboru koroze a protikorozní ochrany“.

Certifikovaní pracovníci musí mít, stejně jako v jiných oborech, teoretické a praktické vědomosti v rozsahu, ve kterém provádějí činnosti při práci projekční, inspekční, při hodnocení rizik a při práci řízené odborných pracovišť tohoto zaměření.

Kvalifikace a certifikace v tomto oboru představuje nejen splnění požadavku dostatečné praxe, ale též absolvování dokumentovaného školení ve schváleném školicím středisku a fyzickou (zrakovou) způsobilost.

Způsobilost pracovníků a jejich pravomoce odpovídají stupni absolvovaného studia (Korozní technik, Korozní technolog, Korozní inženýr – není podmíněno vysokoškolským stupněm vzdělání, ale poukazuje na skutečnost, že jde o velmi zkušeného pracovníka v oboru s vysokými teoretickými, praktickými a manažerskými znalostmi schopného vykonávat odborné práce ve specifických zaměřeních protikorozní ochrany a povrchových úprav na nejvyšší úrovni). Což je dáno kombinací praxe a teoretických vědomostí z protikorozních ochran a povrchových úprav.

Každoročně je na FS ČVUT v Praze, již více jak 15 let pořádáno v rámci celoživotního vzdělávání ucelené studium „Povrchové úpravy ve strojírenství“, které umožňuje doplnit si potřebné vzdělání o nové poznatky a získat certifikovanou kvalifikaci „**Korozní inženýr**“.

Bližší informace o tomto studiu na www.povrchari.cz nebo na emailu jan.kudlacek@fs.cvut.cz.

Fakulta strojní ČVUT v Praze
ve spolupráci s Centrem pro povrchové úpravy
nabízí technické veřejnosti v rámci programu
celoživotního vzdělávání
studijní program:

POVRCHOVÉ ÚPRAVY VE STROJÍRENSTVÍ

Po absolvování tohoto studia lze způsobilost a získanou kvalifikaci
v tomto oboru prokázat certifikací
dle standardu APC Std-401 - Korozní inženýr

Zahájení nového studijního programu - **únor 2021**



Bližší informace, včetně učebních plánů a přihlášky, získáte na
www.povrchari.cz nebo info@povrchari.cz



WWW.POVRCHARI.CZ

Centrum pro povrchové úpravy v rámci celoživotního vzdělávání v oboru povrchových úprav připravuje základní kvalifikační kurz pro pracovníky práškových lakoven:

POVLAKY Z PRÁŠKOVÝCH PLASTŮ

ZAHÁJENÍ KURZŮ – dle požadavků firmy

Kurz je určen pro pracovníky práškových lakoven, kteří si potřebují doplnit vzdělání v této technologii povrchových úprav. Program studia umožňuje porozumět teoretickým základům povrchových úprav a získat potřebné vědomosti o základních technologiích práškového lakování.

Cílem studia je zabezpečit potřebnou kvalifikaci pracovníků práškových lakoven, zvýšit efektivnost těchto provozů a zlepšit kvalitu realizovaných povrchových úprav.

Postupně je probrána problematika této technologie v celém rozsahu teoretických i praktických požadavků a potřeb pro získání kvalifikačního certifikátu.

Obsah kurzu:

- Základy koroze a protikorozní ochrany
- Předúpravy a čištění povrchů
- Práškové plasty (vlastnosti, volba, aplikace)
- Technologie práškového lakování
- Zařízení a vybavení práškových lakoven
- Kontrola kvality povlaků
- Bezpečnost práce v lakovnách
- Související procesy (zdroje vzduchu a jeho čištění, vytvrzovací pece, stříkácí pistole, roboty)
- Příčiny a odstranění vad v povlacích



Garant kurzu:

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Viktor.Kreibich@fs.cvut.cz

Rozsah kurzu:

6 dnů (42 hodin)

Po dobu zdravotních omezení realizujeme toto vzdělávání zaměstnanců (při dodržení všech hygienických opatření) přímo ve firmách.

Centrum pro povrchové úpravy v rámci celoživotního vzdělávání v oboru povrchových úprav připravuje základní kvalifikační kurz pro pracovníky galvanoven:

GALVANICKÉ POKOVENÍ

ZAHÁJENÍ KURZŮ – dle požadavků firmy

Kurz je určen pro pracovníky galvanických provozů, kteří potřebují doplnit vzdělání v této kvalifikačně náročné technologii povrchových úprav. Program studia umožňuje porozumět teoretickým základům a získat vědomosti o technologiích galvanického pokovení potřebné pro praxi.

Cílem studia je zabezpečit potřebnou kvalifikaci pracovníků galvanoven, zvýšit efektivnost těchto provozů a zlepšit kvalitu galvanických povlaků. Postupně je probírána problematika povrchových úprav s důrazem na galvanické technologie v celém rozsahu potřeb pro získání kvalifikačního certifikátu.

Obsah kurzu:

- Příprava a čištění povrchu před pokovením
- Principy vylučování galvanických povlaků
- Technologie galvanického pokovení
- Následné a související procesy povrchových úprav
- Bezpečnost práce a provozů v galvanovnách
- Zařízení galvanoven
- Kontrola kvality povlaků – přístrojové vybavení
- Ekologické aspekty galvanického pokovení a péče o vodu
- Příčiny a odstranění vad v povlacích
- Exkurze do předních provozů povrchových úprav



V případě potřeby připravíme program dle požadavků firmy.

Garanti kurzu:

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Ing. Petr Szelag (Pragochema spol. s r.o.)

Rozsah kurzu:

6 dnů (42 hodin)
(3 x 2 dny)

Po dobu zdravotních omezení realizujeme toto vzdělávání zaměstnanců (při dodržení všech hygienických opatření) přímo ve firmách.

Kromě specializace na technologie povrchových úprav je možné připravit školení z dalších výrobních technologií.

Více informací: Ing. Jan Kudláček, Ph.D. (tel: 605868932, email: info@povrchari.cz)

ZNEŠKODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ A STANICE ODPADNÍCH VOD

Nedílnou součástí všech pracovišť povrchových úprav jsou zařízení zneškodňující provozní odpadní vody. Technologické vybavení musí zajišťovat bezpečné zneškodnění odpadních vod, přitékající do stanice, v souladu s platnými normami. Současně musí mít stanice dostatečnou kapacitu, aby bylo možné bez narušení provozu povrchových úprav zpracovávat veškerý objem přitékající odpadní vody, a to i v případě mimořádné události.

Odpadní vody přitékající do zneškodňovací stanice je možné hodnotit podle dvou kritérií:

a) podle chemického složení,

b) podle koncentrace závadných látek

a) Rozdělení odpadních vod podle chemického složení

1. Odpadní vody kyanidové. Kyanidové odpadní vody jsou alkalické vody, obsahující kyanidy, přitékající po kyanidových pokovovacích procesech (zinkování, mědění, kadmiování, stříbření a zlacení). Při úpravě se musí kyanidové vody oddělit od kyselých odpadních vod a jejich zneškodnění se provádí odděleně nebo spolu s ostatními alkalickými vodami.
2. Odpadní vody chromové. Chromové odpadní vody obsahují šestmocný chrom, který se při běžných neutralizačních procesech nevysráží a musí být nejdříve redukován na trojmocný. Redukce probíhá při použití běžných redukčních činidel v kyselém prostředí. Z důvodu úspory chemikálií, zajištění rychlé a úplné redukce, provádí se jímání a čištění chromových vod odděleně od ostatních odpadních vod.
3. Odpadní vody kyselé a alkalické. Odpadní vody kyselé a alkalické lze odvádět společně, přičemž se jejich rozdílná hodnota pH využívá k jejich vzájemné neutralizaci. Obvykle převažují kyselé odpadní vody. Proto se do nich před vypuštěním dávkuje alkalická činidla, aby se pH odpadní vody upravilo na požadovanou hodnotu 8,5 až 9. Tato úprava v běžných případech postačí k vysrážení některých kovů přítomných v odpadních vodách, např. iontů Fe^{2+} , Al^{3+} a Ni^{2+} .
4. Vedle těchto odpadních vod jsou povrchovými úpravami produkovány i vody s obsahem fluoridů, drahých kovů (Ag, Au), vody s vysokým obsahem olejů i další, které se likvidují odděleně.

b) Rozdělení odpadních vod podle koncentrace závadných látek

1. Koncentrované odpadní vody s obsahem závadných látek větším než cca 20 g.l^{-1} . Vznikají při vypouštění galvanických a chemických lázní, když se jejich obsah vyměňuje. Výměna lázní se provádí po dohodě s obsluhou zneškodňovací stanice podle předem dohodnutého časového plánu. Výměna galvanických lázní se provádí v dlouhých časových intervalech (1 až 2krát během roku). Častěji se provádí výměna odmašťovacích, fosfátovacích a chromátovacích lázní. K výměně těchto lázní dochází po jejich vyčerpání, které je závislé na množství zboží.
2. Polokoncentráty, obsahující až 10 g.l^{-1} závadných látek. Za polokoncentráty se považují např. vyčerpané dekapovací lázně, pasivační roztoky, v některých případech úsporné oplachy apod.
3. Oplachové odpadní vody, obsahující závadné látky v koncentracích do $0,5 \text{ g.l}^{-1}$. Představují hlavní objem přitékajících odpadních vod do zneškodňovací stanice. Jsou hlavním kritériem při dimenzování zneškodňovacích stanic.

Vzhledem k aktuálním problémům v oblasti odpadních vod z průmyslových areálů a výrob nabízíme pracovníkům zodpovědných ve firmách za tuto oblast, případně pracovníkům obsluhujícím neutralizační zařízení, potřebné proškolení, ale i obnovu potřebné kvalifikace. Dá se totiž reálně předpokládat, že ve velmi blízké době nastane zvýšená aktivita kontrolních orgánů, a to především v oblasti legislativy a platných dokladů pracovníků ve firmách pod tlakem sdělovacích prostředků.

Bližší informace o školení na emailu jiri.kuchar@fs.cvut.cz u Ing. Jiřího Kuchaře, Ph.D., IWE na FS ČVUT v Praze. Termín předpokládaného školení: leden, únor 2021 dle zájmu a počtu přihlášených.

Odborné akce



Česká společnost pro povrchové úpravy opět připravuje tradiční setkání odborníků v oblasti povrchových úprav - **54. ročník celostátního Aktivu galvanizérů v Jihlavě**

Hotel Gustav Mahler

4. a 5. února 2020

Ústřední téma přednášek i diskusí dvoudenního jednání 53. ročníku:

Povrchové úpravy v „ Covidovém období“

email: cspu@seznam.cz

Reklamy

NEJEFEKTIVNĚJŠÍ SYSTÉM MĚŘENÍ ČISTOTY POVRCHŮ

Recognoil®

Pro ty, kterým záleží

- na špičkové a stabilní kvalitě výrobků
- na skvělých vztazích se zákazníky
- mít čistící procesy plně pod kontrolou
- na šetření nákladů

7 důvodů, proč používat Recognoil®

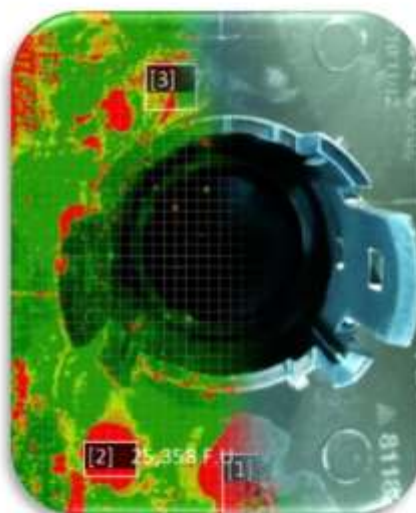
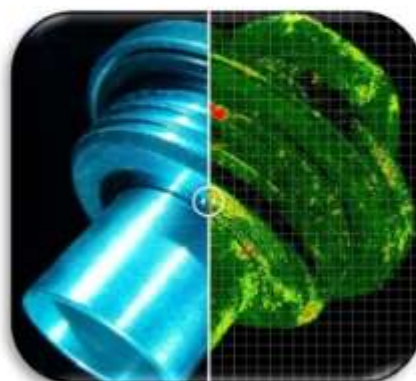
Z pohledu technologa, kvalitáře:

1. zobrazení velké plochy v jednom kroku
2. umožňuje okamžitou možnost ladění a nastavení procesů
3. povrch je možné postupně skenovat a vyhledat kritická místa
4. pokročilý software v sobě integruje veškeré potřebné funkce
5. operátorský mód OK/NOK s minimem rušivých informací
6. metoda je nenáročná, jednoduchá, nevyžaduje dlouhé zaškolení
7. modularita - na přístroj lze nasadit např. tvarové adaptéry

Z pohledu manažera, jednatele:

1. cenově dostupný, s rychlou návratností investice
2. předchází problémům, odhaluje skryté vady
3. předchází reklamacím, šetří náklady a tím udržuje dobré vztahy se zákazníky
4. snadné zaškolení operátorů
5. test je nedestruktivní
6. přináší významné úspory optimalizací čistících (a dalších) procesů
7. přispívá k pozitivní tváři firmy - důraz na ekologii a udržitelný rozvoj

Od ručních přístrojů po plně automatizované systémy průmyslu 4.0





ZÁVĚSOVÉ PŘÍPRAVKY

Galvanické zinkování, pokovení plastů, práškové a mokré
lakování, KTL

ODSTRANĚNÍ PLASTOVÉ IZOLACE

AmonisMetal s.r.o.

Vrbátky 1166

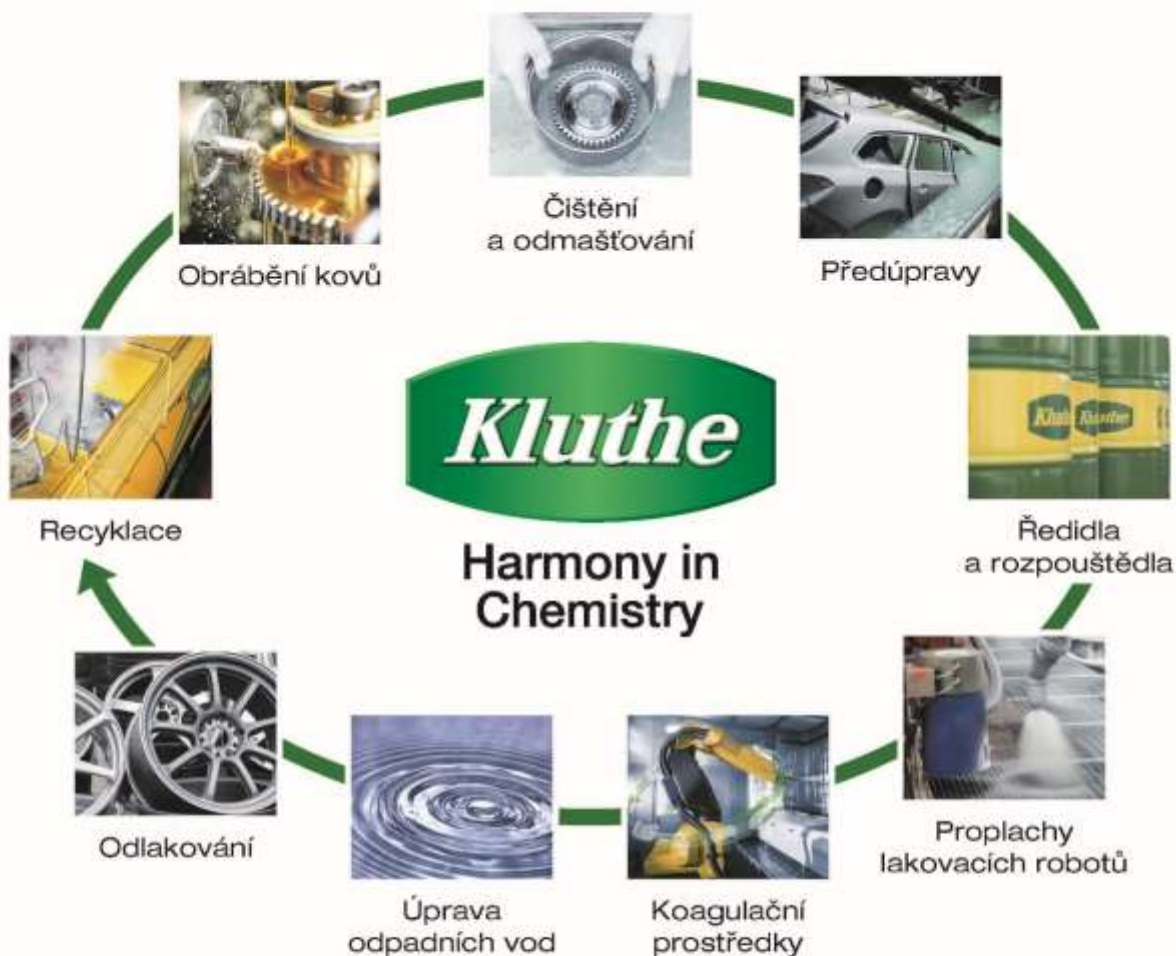
696 04 Svatobořice – Místřín

Mail: marketa.luzova@amonismetall.cz

Tel.: +420 739 474 220

www.amonismetall.cz

KOMPLEXNÍ CHEMIE PRO VÝROBU 360°



Kluthe CR, s.r.o.

Podkovářská 674/2

190 00 Praha 9

Česká republika

Tel.: +420 493571623

E-mail: kluthe@kluthe.cz

www.kluthe.cz

ČIŠTĚNÍ VNITŘNÍCH POVRCHŮ OTOPNÝCH A CHLADICÍCH SYSTÉMŮ



Čištění vnitřních povrchů otopných a chladicích systémů je nezbytnou podmínkou dlouhodobého, účinného a úsporného provozu.

Již při vrstvě minerálů a koroze tloušťky 1 mm stoupne spotřeba energie v systému o 6 až 8 %. Korozní produkty a úsady minerálů zhoršují přestup tepla, zvyšují tlakové ztráty a omezují možnost regulace.

V závislosti na péči a údržbě věnované otopným, resp. chladicím systémům jsou obvyklé tloušťky znečištění 4 až 6 mm a celkový nárůst spotřeby energie činí 25 až 50 %.

Nové bezpečné čisticí prostředky a provedení, resp. vyčištění kvalifikovanou firmou, přináší návratnost vložených prostředků obvykle za jednu topnou sezónu.



Ukázka vyčištění vnitřních povrchů.

Zetfaza s.r.o.

Tel.: +420 720 108 375

E-mail: kuchar@optimalcleaning.cz

www.optimalcleaning.cz

The advertisement features a central image of several filter components: a pleated cylindrical filter, a square pleated filter, a flat square filter, and a circular disc filter. The background is dark blue with white text labels for different filter types and materials. At the bottom center, there is a logo for 'BEST FILTER' and the website 'www.bestfilter.club'.

FILTRAČNÍ PATRONY
práškové lakovny
brusárny
POLYESTER
PAINT STOP

PODLAHOVÉ FILTRY
PTFE
mokré lakovny

KAPSOVÉ FILTRY
dělení plazmou

FILTRAČNÍ KAZETY
svařovny

KOMPAKTNÍ FILTRY
tryskače
vzduchotechnika

STROPNÍ FILTRY
CELLULOSE

BEST FILTER
www.bestfilter.club

Redakce online časopisu POVRCHÁŘI

Časopis Povrcháři je registrován jako pokračující zdroj u Českého národního střediska ISSN.

Tento on-line zdroj byl vybrán za kvalitní zdroj, který je uchováván do budoucna jako součást českého kulturního dědictví.

Povrcháři ISSN 1802-9833.

Šéfredaktor

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc., tel: 602 341 597

Redakce

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., tel: 605 868 932

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., tel: 720 108 375

Ing. Zdeněk Hazdra

Kontaktní adresa

Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Semonice 110

551 01 Jaroměř

e-mail: info@povrchari.cz

tel: 605 868 932

Grafické zpracování

Ing. Jaroslav Červený, Ph.D.

Redakční rada

Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ing. Zuzana Ságová, PhD., Žilinská univerzita v Žilině, Strojnická fakulta

Ing. Jakub Horník, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ing. Jana Vrbová, Certifikační sdružení pro personál z.s.

prof. Ing. Pavol Božek, STU Bratislava, MTF Trnava

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Přihlášení k zasílání online časopisu je možno provést na info@povrchari.cz

Všechna vyšlá čísla je možné stáhnout na www.povrchari.cz