

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektrochemické vlastnosti kompozitních tvrdochromových povrchových úprav

Autor: Petr PAPEŽ

Vedoucí práce: Ing. Ondřej CHOCHOLATÝ, Ph.D.

Akademický rok 2016/2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr PAPEŽ**
Osobní číslo: **S16B0321P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie**
Název tématu: **Elektrochemické vlastnosti kompozitních tvrdochromových povrchových úprav**
Zadávací katedra: **Katedra materiálu a strojírenské metalurgie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Osnova bakalářské práce:

1. Chromování
2. Kompozitní chromové povlaky
3. Základní korozní principy a metody měření korozního napadení
4. Testování korozních vlastností normy, typy zkoušení
5. Korozní zkoušky
6. Diskuze výsledků
7. Závěr

Rozsah grafických prací: **fotodokumentace, obrázky**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

MUDROCH, O. *Chromování, tvrdé a porosní povlaky SNTL, Praha, 1959*

Multimediální výukový projekt Korozní inženýrství [online] [cit 24-9-2014].

http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/s_iproje.ht

JONES, D.A. *Principles and prevention of corrosion Prentice Hall, New York 1996*

REVIE, W., R., *Corrosion and Corrosion Control Willey Interscience 2008, ISBN: 978-0- 471-73279-2*

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Chocholatý, Ph.D.**

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michaela Nováková**

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Papež	Jméno Petr	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Choholatý, Ph.D.	Jméno Ondřej	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KMM		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtně- te
NÁZEV PRÁCE	Elektrochemické vlastnosti kompozitních tvrdochromových povrchových úprav		

FAKULTA	strojí	KATEDRA	KMM	ROK ODEVZD.	2017
----------------	--------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	55	TEXTOVÁ ČÁST	33	GRAFICKÁ ČÁST	13
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Práce se zabývá vztahem mezi korozními vlastnostmi a složením kompozitních tvrdochromových povrchových vrstev. Rešeršní část popisuje teorii chromování a koroze. V experimentální části je prováděno měření korozních vlastností různých druhů kompozitních tvrdochromových vrstev v závislosti na druhu a objemu plniva v elektrolytu. Cílem práce je vyvinout metodu pro zjištění množství plniva.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Chromování, druhy chromování, kompozitní tvrdochromové povlaky, koroze, korozní principy, testování korozních vlastností, potenciostat</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Papež	Name Petr	
FIELD OF STUDY	B2301 “Materials Engineering and Engineering Metallurgy”		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Choholatý, Ph.D.	Name Ondřej	
INSTITUTION	ZČU - FST - KMM		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Electrochemical properties of composite chromium coatings		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Material Science and Technology	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	55	TEXT PART	33	GRAPHICAL PART	13
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The work deals with the relationship between the corrosion properties and composition of the composite chromium surface layers. The review part describes theory of chromium plating and corrosion. In the experimental part the measurement of the corrosion properties of different types of composite chromium layers depending on the type and amount of filler in the electrolyte is made. The aim of the work is to develop a method for determining the amount of filler.
KEY WORDS	Chromium plating, chromium plating types, composite chromium coatings, corrosion, corrosion principles, testing of corrosion properties, potentiostat

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr bakalářského studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Ondřeji Chocholatému Ph.D., konzultantce Ing. Michaelae Novákové a dalším zaměstnancům katedry materiálu a strojírenské metalurgie za ochotu, trpělivost, čas, který mi věnovali, za odborné rady a umožnění provedení experimentu. Tímto výrazně přispěli k vypracování této bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Chromování	10
2.1	Historie chromování.....	10
2.2	Princip chromování.....	10
2.2.1	Depozice v krocích.....	11
2.2.2	Přímá depozice	11
2.2.3	Děje na katodě	12
2.2.4	Děje na anodě.....	12
2.3	Chromovací lázeň	12
2.3.1	Složení lázně.....	12
2.3.2	Hustota proudu.....	12
2.3.3	Teplota lázně.....	13
2.3.4	Katodový proudový výtěžek	13
2.3.5	Rychlost vylučování.....	13
2.4	Technologie chromování	13
2.5	Vlastnosti chromových vrstev.....	14
2.5.1	Vzhled, lesk a struktura	14
2.5.2	Drsnost	14
2.5.3	Tvrdost	15
2.5.4	Odolnost proti korozi	15
2.5.5	Součinitel tření a smáčivost	15
2.6	Druhy chromování.....	15
2.6.1	Dekorativní	15
2.6.2	Speciální	16
2.6.3	Funkční (tvrdé).....	16
2.7	Kompozitní chromové povlaky	17
2.7.1	Porézní chrom.....	17
2.7.2	Povlak s Al ₂ O ₃ plnivem	17
2.7.3	Povlak s diamantem	18
2.7.4	Povlak s CBN	18
3	Základní korozní principy	18
3.1	Elektrochemická koroze kovů	19
3.1.1	Elektrochemická reakce	19
3.1.2	Polarizace.....	20
3.1.3	Pasivita	20
3.2	Druhy koroze	21
3.2.1	Rovnoměrná koroze	21
3.2.2	Galvanická koroze.....	21
3.2.3	Štěrbinová koroze.....	22
3.2.4	Bodová koroze	22
3.2.5	Prostředím vyvolané praskání	23
3.2.6	Poškození vyvolané vodíkem	23
3.2.7	Mezikrystalová koroze	24
3.2.8	Erozivní koroze.....	24
3.3	Korozní prostředí	25
3.3.1	Atmosféra.....	25
3.3.2	Voda.....	25
3.3.3	Půda.....	26
4	Testování korozních vlastností	26
4.1	Korozní zkoušky	26
4.2	Druhy korozních zkoušek	27
4.2.1	Expoziční metody	27
4.2.1.1	Dlouhodobé atmosférické zkoušky.....	27
4.2.1.2	Zkouška úplným ponorem.....	27
4.2.1.3	Zkouška v solné komoře	27

4.2.1.4	Zkouška v kondenzační komoře.....	28
4.2.2	Elektrochemické metody	28
4.2.2.1	Metoda polarizačního odporu	28
4.2.2.2	Elektrochemická impedanční spektroskopie.....	28
4.2.2.3	Galvanostatické zkoušky	29
4.2.2.4	Potenciostatické zkoušky	29
4.2.2.5	Potenciodynamické zkoušky	29
	Experimentální část	29
5	Teoretický základ experimentu	30
5.1	Potenciostatická korozní zkouška	30
5.2	Měření tloušťky Cr vrstvy optickým mikroskopem.....	31
6	Vzorky	31
6.1	Výroba vzorků	31
6.1.1	Polotovar	32
6.1.2	Vrstvy	33
6.1.3	Použitá plniva	33
6.1.3.1	Al ₂ O ₃	33
6.1.3.2	UDDG	33
6.2	Měření tloušťky vrstev	34
7	Měření	35
7.1	Popis měření.....	35
7.2	Parametry měření.....	35
7.3	Postup měření	35
7.4	Naměřené hodnoty.....	37
8	Diskuze výsledků	41
9	Závěr.....	42
10	Použitá literatura.....	43

1 Úvod

Kompozitní tvrdochromové povrchové vrstvy a jejich vývoj jsou jedním z hlavních a důležitých odvětví moderní galvaniky. Kompozitní tvrdochromové povrchové úpravy se v současnosti používají především jako povrchová úprava pístních kroužků pro spalovací motory. Tato práce se zabývá elektrochemickými vlastnostmi a korozní odolností těchto povrchových úprav. Práci lze rozdělit na dvě části, teoretickou a experimentální. Teoretická část tvoří zhruba tři čtvrtiny z celkového obsahu práce a experimentální část tvoří zbylou čtvrtinu. V teoretické části je popsána problematika chromování a koroze. Je zde stručně nastíněna historie, dále popsány principy, technologie a druhy chromování, vlastnosti chromových vrstev a problematika kompozitních tvrdochromových povlaků. Dále jsou zde popsány korozní principy, druhy koroze, korozní činitelé a druhy korozních zkoušek. Tato část tvoří všeobecný teoretický základ práce. Na teoretickou část navazuje část experimentální. V jejím úvodu je položen teoretický základ, který objasňuje problematiku a principy používané při vlastním experimentu. Na úvod experimentální části navazuje další úsek, který práci posouvá k části praktické. Jsou zde popsány vzorky, jejich výroba a příprava pro měření korozních vlastností. Poslední část práce se týká vlastního měření korozních vlastností vybraných vzorků. Konkrétně jsou zkoumány korozní rychlost, korozní potenciál a polarizační odpor. V závěru práce jsou zhodnoceny naměřené výsledky. Výstupem práce je potvrzení nebo vyvrácení závislosti korozních vlastností na složení kompozitního tvrdochromového povlaku. Pokud se prokáže souvislost mezi těmito vlastnostmi a složením vrstev, může být předmětem další diskuze možnost využívat tento druh měření pro zjišťování složení tvrdochromových kompozitních vrstev.

2 Chromování

2.1 Historie chromování

Tato technologie vznikla a začala se rozvíjet v polovině 19. století, kdy Junot de Bussy provedl první galvanické nanesení chromu. Chromovací lázně používané v začátcích chromování se výrazně lišily od těch, které se používají v současnosti. Vznik dnešní podoby chromovací lázně se datuje od roku 1856, kdy Anton Geuther vyloučil chromový povlak z vodného roztoku kyseliny chromové. Další výrazný zlom přišel na přelomu 19. a 20. století, kdy Reese zjistil, že pokud není v elektrolytu přítomná kyselina sírová, chrom se nevylučuje. Patent na poměr kyseliny sírové v elektrolytu získali nezávisle na sobě Colin Garfield Fink a Erik Liebreich. [1], [2]

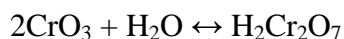
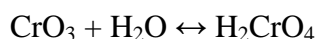
2.2 Princip chromování

Při chromování je využíváno stejnosměrného proudu o napětí 4 až 15 V. Tento proud se do roztoku zavádí dvěma elektrodami. Kladná elektroda – anoda, která je vyrobena ze slitiny Pb-Sb a je nerozpustná, přitahuje záporně nabití ionty z elektrolytu. Zápornou elektrodu – katodu, která přitahuje kladně nabití ionty, tvoří chromovaná součást. Pohyb elektricky nabitých iontů tedy zprostředkuje přenos proudu ve vodném roztoku soli. Pro chromování se používá elektrolyt na bázi kyseliny chromové, která disociuje ve vodě. Přesný princip depozice chromu však stále není jednoznačně určen. Existují dvě stále diskutované teorie. První teorie zastává názor, že depozice probíhá v krocích, s touto teorií přišel E. Liebreich. Druhá teorie,

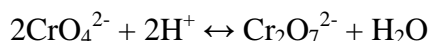
kteřou jako první zastával E. Müller, vychází z předpokladu, že se chrom vylučuje přímo z šestmocného stavu. [1], [2]

2.2.1 Depozice v krocích

Podle této teorie probíhá depozice redukcí v krocích. Jako zdroj kovového chromu je využíván oxid chromový CrO_3 , který se ve vodě rozpouští na kyselinu chromovou a dichromovou:



ve vodném roztoku vznikne rovnováha

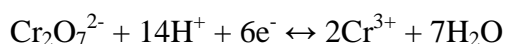


Z důvodu vysokého obsahu chromanu CrO_4 v chromovací lázni je rovnováha posunuta doprava. Z toho vyplývá, že v roztoku jsou obsaženy hlavně dichromany.

Celková rovnice depozice tedy je:

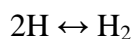
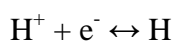
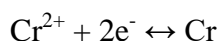
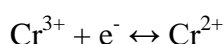


Z této rovnice vyplývá, že pro vyloučení 2 atomů chromu je potřeba reakce dvaceti sedmi reaktantů. Je téměř nemožné, aby došlo ke srážce takového počtu reaktantů zároveň a proto je tato reakce prakticky nemožná. To znamená, že musí proběhnout několik dílčích reakcí, při kterých reaguje méně reaktantů. Při elektrolýze se v elektrolytu objevují ionty trojmocného chromu, z čehož je možné usuzovat, že zde probíhá dílčí reakce. Na začátku elektrolýzy, než se vytvoří film na katodě, je šestmocný chrom redukován na trojmocný.



Z důvodu velké spotřeby vodíku při této reakci pH na katodě stoupá. Tak vznikají podmínky pro vznik chrom chromanového filmu.

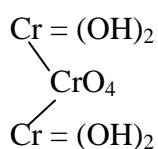
Vedle probíhajících reakcí vzniká velké množství vodíku:



Předmětem diskuze zůstává otázka, zda se vodík v atomovém stavu, který je velice reaktivní, podílí na reakcích nebo zda všechny reakce probíhají prostřednictvím přímého přenosu elektronů. [1], [2]

2.2.2 Přímá depozice

Podle této teorie vzniká na katodě chromanový film následujícího složení:



Tato teorie se dále větví na dva směry. Podle E. Müllera, který zkoumal kyselinu chromovou a kyselinu chromovou s přidavkem kyseliny sírové, je kyselina chromová redukována bez mezikroku přímo na kovový chrom a přidavek katalyzátoru způsobuje vytvoření porézního filmu na katodě. S jiným názorem přichází C. Kasper, který tvrdí, že při první reakci vznikne $\text{Cr}_2(\text{Cr}_2\text{O}_7)_3$, který přejde na chroman chromitý a přítomnost síranů způsobuje porézní film na katodě. [1], [2]

2.2.3 Děje na katodě

1. vybíjení kovových iontů a vylučování chromu,
2. vybíjení vodíkových iontů a vylučování plynného vodíku,
3. redukce kyseliny chromové na chromité soli ($\text{Cr}^{6+} \rightarrow \text{Cr}^{3+}$). [1]

2.2.4 Děje na anodě

1. vybíjení kyslíkových iontů a vývoj kyslíku,
2. tvorba oxidu olovičitého,
3. oxidace chromitých solí na kyselinu chromovou ($\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}^{6+}$). [1]

2.3 Chromovací lázně

2.3.1 Složení lázně

Základem chromovací lázně je oxid chromový, který ve vodném prostředí, v určité koncentraci, tvoří kyselinu chromovou nebo dichromovou. Dále je nutná přítomnost kyseliny sírové, bez níž by vůbec nedocházelo k vylučování chromu z roztoku.

Katalyzátory tvoří velice důležitou složku moderních chromovacích lázní, zvyšují proudový výtěžek a snižují koncentraci toxického šestmocného chromu. Katalyzátory zvyšují proudovou účinnost a tím pozitivně ovlivňují ekonomičnost procesu. Primárními katalyzátory jsou sírany, které jsou zastoupeny již zmíněnou kyselinou sírovou. Dalšími katalyzátory jsou fluoridy např. kyselina fluorovodíková HF nebo fluorokřemičitá H_2SiF_6 a také jejich rozpustné soli. Tyto látky mají však i negativní účinky. Zejména zvyšují agresivitu elektrolytu vůči základnímu materiálu, čímž dochází k rozpouštění základního materiálu v elektrolytu a tím jeho znehodnocování. Tato skutečnost má za následek zvýšení svorkového napětí, v důsledku znečištění lázně rozpouštěnými kovy, a tím zvýšení spotřeby elektrické energie. Nejnovějším trendem jsou organické katalyzátory, které výrazně zlepšují technologii chromování.

Složení základní lázně se pohybuje v rozmezí 200 – 300 g/l CrO_3 a 2,5 – 3 g/l H_2SO_4 .

Nepříznivý vliv na funkci chromovací lázně mají nečistoty, např. železo, měď, zinek apod. Tyto nečistoty se do lázně mohou dostat rozpouštěním chromovacích van při poškození jejich vyložení, z oplachovacích van, rozpouštěním závěsů atd. [1], [11], [2]

2.3.2 Hustota proudu

Hustota proudu představuje množství proudu v A na 1 dm^2 pokovené plochy. Obvyklá hodnota této veličiny se pohybuje okolo 50 A/ dm^2 . Při vylučování tvrdých chromových povlaků se hustota proudu může pohybovat mezi 20 a 100 A/ dm^2 . [1], [11]

2.3.3 Teplota lázně

Teplota chromovací lázně se pohybuje od 35 do 70 °C, průměrně asi 55 – 60 °C. Při použití organických katalyzátorů lze teplotu zvýšit až na 80 °C.

Podle teploty lázně je nutné zvolit správnou proudovou hustotou, aby bylo dosaženo jakostního povrchu co největší rychlostí. [1], [11]

2.3.4 Katodový proudový výtěžek

Katodový proudový výtěžek je procentní poměr vyloučeného kovu k teoretickému množství kovu, které se vyloučí podle Faradayova zákona tehdy, jestliže se veškerý proud spotřebuje na vylučování kovu. U chromovacích lázní se proudový výtěžek pohybuje v rozmezí 10 – 30 %.

Katodový proudový výtěžek je závislý na několika aspektech. Prvním z nich je proudová hustota, dalším teplota a posledním složení lázně. Se stoupající proudovou hustotou stoupá i proudový výtěžek. Teplota lázně je nepřímo úměrná proudovému výtěžku. Co se týká složení lázně, největší vliv na proudový výtěžek mají katalyzátory, tedy jejich množství v chromovací lázni. [1], [2]

2.3.5 Rychlost vylučování

Jak již bylo uvedeno výše, rychlost vylučování chromových vrstev závisí na proudové hustotě a teplotě. Dalším faktorem ovlivňujícím rychlost vylučování je proudový výtěžek. Obvykle se rychlost vylučování pohybuje mezi 0,02 – 0,03 mm/hod. [1]

2.4 Technologie chromování

Operace probíhající při chromování mají následující pořadí:

1. tepelné zpracování součásti (neprovádí se u všech součástí),
2. mechanická úprava součásti – povrch Ra musí být alespoň 0,2,
3. návrh závěsného přípravku a zavěšení součásti,
4. čištění součásti – od brusných past a obráběcích prostředků,
5. izolování ploch, které nejsou určeny k chromování,
6. naleptání – pro odstranění oxidů vzniklých při obrábění nebo elektrolytickém odmašťování,
7. chromování,
8. oplachování – pro odstranění zbytků elektrolytu z povrchu součásti,
9. odvodíkování – odstranění vodíku vzniklého při vylučování chromu během chromování,
10. obrábění chromových povlaků (neprovádí se u všech součástí) – broušení, lapování atd.,
11. kontrola chromových povlaků.

Kromě naleptání a chromování jsou všechny operace pro všechny součásti stejné. [1]



Obr. 1: Linka galvanovny [6]

2.5 Vlastnosti chromových vrstev

2.5.1 Vzhled, lesk a struktura

Tyto vlastnosti chromových povlaků jsou závislé na podmínkách při procesu vlastního chromování, především na teplotě chromovací lázně a proudové hustotě. Další, i když nepatrnou, roli hraje složení lázně.

Na základě těchto vlastností rozlišujeme čtyři druhy chromových povlaků:

1. povlaky velmi lesklé, velmi tvrdé a hladké – dekorativní,
2. povlaky lesklé nebo pololesklé, velmi tvrdé, hladké – tvrdé chromové povlaky,
3. povlaky mléčné s menší tvrdostí – speciální použití (optické přístroje),
4. matné, značně drsné a křehké – zmetky. [1]

2.5.2 Drsnost

Drsnost chromové vrstvy závisí na drsnosti povrchu základního kovu a také na tloušťce chromové vrstvy. Na povrchu s vyšší drsností, např. soustruženém, se drsnost povrchu chromového povlaku zmenšuje, na povrchu s nižší drsností, např. broušeném, je tomu naopak. Při chromování na míru a u součástí, kde má být co nejmenší drsnost, je nutné povrch základního materiálu obrobít na co nejmenší drsnost, protože povlaky slabých tloušťek přesně kopírují povrch základu a při následném obrábění by mohlo dojít k probroušení chromové vrstvy. [1]

2.5.3 Tvrdost

Jednou z nejdůležitějších vlastností, pro kterou se chromové povlaky používají, je právě jejich tvrdost. Podle četných vědeckých výzkumů mají pravděpodobně na tvrdost chromových povlaků zásadní vliv tři činitelé:

1. obsah vodíku a kyslíku v chromových vrstvách,
2. malá velikost krystalů,
3. vnitřní pnutí.

Výsledná tvrdost chromových vrstev závisí z velké části na podmínkách při jejich vylučování. Konkrétně na proudové hustotě a teplotě, v menší míře i na složení lázně. Tvrdost dále závisí na žihání. Žiháním chromových povrchů se nevratně snižuje jejich tvrdost. [1]

2.5.4 Odolnost proti korozi

Chromové povlaky odolávají poměrně velkému počtu chemikálií. Chrom má díky své pasivitě na vzduch vlastnosti elektro pozitivního prvku, ve skutečnosti je však elektronegativnější než železo. Aby bylo dosaženo dostatečné korozní ochrany, musí být chromový povlak co možná nejméně pórovitý, nanesená vrstva musí mít dostatečnou tloušťku a musí dobře přilnout k základnímu kovu. Vliv na korozní odolnost má také kvalita opracování (povrch) základního materiálu. Čím menší je drsnost povrchu základního materiálu, tím vyšší stupeň korozní ochrany chromová vrstva tomuto materiálu poskytuje. Chromové povlaky jsou silně napadány kyselinou solnou, se kterou by vůbec neměly přijít do styku. [1]

2.5.5 Součinitel tření a smáčivost

Díky malému součiniteli tření jsou chromové vrstvy s výhodou používány pro třecí součásti. Součinitel tření chrom - ocel je přibližně poloviční než součinitel tření ocel - ocel. Se zvyšující se teplotou se zvyšuje i součinitel tření chromových povlaků. Vhodnými materiály pro styk s chromovou vrstvou jsou např. bronz, ložiskový kov a litina. Naopak zcela nevhodným materiálem je fosforový bronz, u kterého může dojít až k zadření. Styk dvou chromovaných ploch je také nevhodný, protože okamžitě dochází k výraznému poškození obou ploch. Nevhodné jsou také velmi tvrdé oceli a lehké slitiny. Při použití ocelí vhodných pro styk s chromovou plochou je nutné dostatečné mazání.

Smáčivost chromových vrstev závisí především na poréznosti a drsnosti povrchu a na použitém mazivu. Maziva snižují součinitel tření chromových vrstev. [1]

2.6 Druhy chromování

2.6.1 Dekorativní

Jak již napovídá název, tento druh chromování se používá především z estetických důvodů, ale také jako korozní ochrana. Tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,5 μm . Pro zvýšení korozní odolnosti se aplikují nejčastěji v kombinaci s niklem, nebo mědí. [2]



Obr. 2: Dekorativně chromovaná nádrž motocyklu [3]

2.6.2 Speciální

Sem lze zařadit například černé nebo duplexní chromování s využitím mléčných povlaků chromu. Tyto druhy chromování tvoří pomyslnou spojnicí mezi dekorativním a funkčním chromováním. [2]



Obr. 3: Černě chromovaná hlaveň střelné zbraně [4]

2.6.3 Funkční (tvrdé)

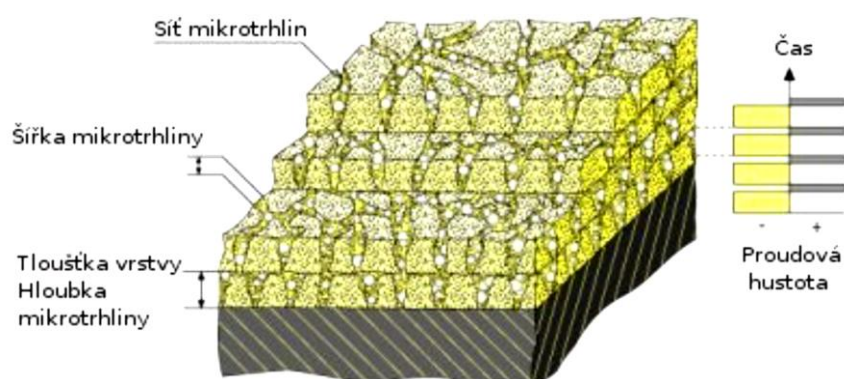
Díky své vysoké otěruvzdornosti a nízkému koeficientu tření je tvrdé chromování hojně využíváno v různých odvětvích průmyslu. Tloušťka vrstvy se pohybuje řádově od jednotek až po stovky mikrometrů. Na rozdíl od dekorativního trvá proces chromování i několik hodin. Tvrdý chrom slouží jako matrice pro kompozitní chromové povlaky. [2]



Obr. 4: Tvrdě chromovaná vačková hřídel [5]

2.7 Kompozitní chromové povlaky

Vývoj kompozitních galvanických povrchů obecně je v současnosti jedním z nejdůležitějších směrů v oboru galvaniky. Princip vylučování těchto povlaků je takový, že částice různých druhů materiálů a velikostí tvoří v elektrolytu suspenzi a během depozice jsou zabudovány do struktury vyloučeného povlaku. Částice ve struktuře povlaku výrazně zlepšují jeho užité vlastnosti a mohou přinášet i některé nové (např. magnetismus). Používají se různé materiály těchto částic. Mohou to být oxidy (Al_2O_3), binární sloučeniny d-prvků (TiN), kovové a nekovové prášky (Mo), soli (BaSO_4), vysokomolekulární sloučeniny (PTFE), nanomateriály (nanodiamant UDD). Při tvorbě kompozitních tvrdochromových vrstev je nutně při depozici obrátit polaritu proudu, tím se v povlaku vytvoří póry, ve kterých následně ulpívají částice plniva. [2]



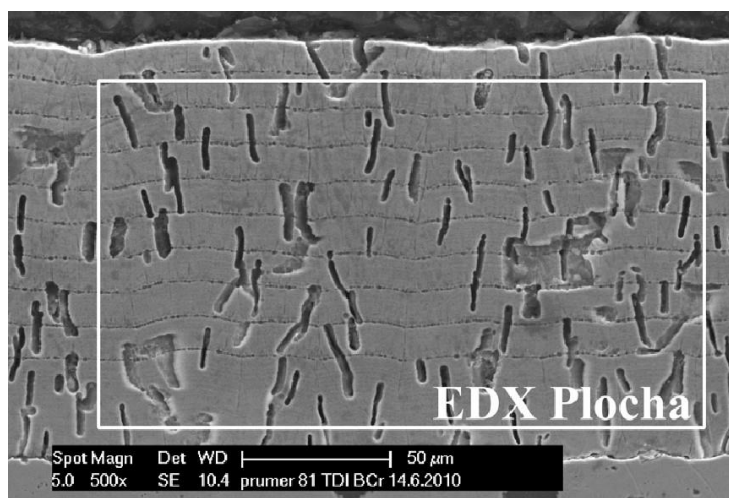
Obr. 5: Struktura kompozitního tvrdochromového povlaku [2]

2.7.1 Porézní chrom

Póry vznikají cyklickou změnou polarity chromovacího proudu při chromování, kdy dochází ke zvětšování mikrotrhlin v chromové vrstvě. Porézní chromové povlaky mají výhodu v tom, že v pórech ulpívá mazivo. Díky tomuto jevu má povrch součásti vysokou schopnost udržet olejový film. [2]

2.7.2 Povlak s Al_2O_3 plnivem

U této vrstvy se jako plnivo, které ulpívá v pórech chromové matrice, používá korund. Velikost částic se pohybuje v rozmezí 2 – 5 μm . Výhodou plniva Al_2O_3 je vysoká odolnost proti otěru, dobré kluzné vlastnosti a vysoká tvrdost. Kromě odolnosti proti opotřebení Al_2O_3 také podstatně zvyšuje termickou odolnost. Objem plniva v chromové matici se pohybuje v rozmezí 4 – 7 % z celkového objemu vrstvy. Tento povlak bývá označován jako chromkeramika. [12] [2]



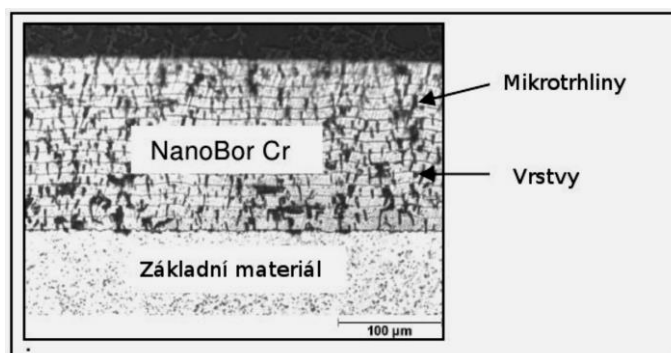
Obr. 6: Kompozitní tvrdchromový povlak s Al₂O₃ plnivem [2]

2.7.3 Povlak s diamantem

Princip je stejný jako u chromkeramiky s tím rozdílem, že jako plnivo je použit vysoce čistý diamant. Velikost částic je ve srovnání s chromkeramikou menší, a sice 0,25 – 0,5 μm. Chromdiamantová vrstva má ještě vyšší ořezuvzdornost a teplotní odolnost než chromkeramika. Při vysokém tlaku a teplotě se diamant přemění na grafit, čímž napomáhá mazání. Tato vlastnost je výhodná zejména při použití chromdiamantu jako povlaku pístních kroužků. [2]

2.7.4 Povlak s CBN

Tento povlak je velice podobný ostatním tvrdchromovým kompozitním povlakům, jak z hlediska výroby, tak z hlediska struktury. Jediným rozdílem je, že plnivem je kubický nitrid boru. Komerčním názvem pro tuto vrstvu je „NanoBor Chromium“. [2]



Obr. 7: Struktura povlaku s CBN viditelná na příčném výbrusu [12]

3 Základní korozní principy

Koroze je destruktivní výsledek chemické reakce mezi kovy, nebo kovovými slitinami a prostředím. Atomy kovů jsou v přírodě součástí chemických sloučenin (např. minerálů). Stejně množství energie, která je potřebná pro získání kovů z těchto sloučenin, je vyzařováno při chemických reakcích, při kterých vzniká koroze. Koroze se snaží vrátit kov do stavu podobného nebo dokonce stejného v jakém se nalézá v přírodě. Díky tomu bývá koroze označována jako obrácená metalurgie. Některým nekovovým materiálům, jako je např. keramika, obsahujícím kov stačí reakce s jinými reaktivními ionty, například s oxidy nebo křemičitany. Tudiž

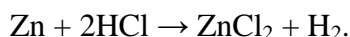
jsou tyto materiály chemicky nereaktivní a degradují pouze při vysokých teplotách nebo mechanickém opotřebením. Podobně jsou na tom polymery, které jsou relativně málo reaktivní, protože obsahují velmi stabilní kovalentní vazby mezi atomy uhlíku. Degradace takových materiálů není definována jako koroze. [7]

3.1 Elektrochemická koroze kovů

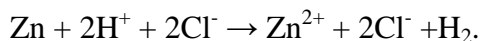
Téměř všechny korozní procesy jsou způsobeny přenosem elektrického náboje ve vodném prostředí. Elektrochemie se zabývá chováním iontů v roztoku a na fázovém rozhraní, konkrétně rovnováhou v soustavě elektroda-elektrolyt a přenosem náboje z jedné fáze do druhé, kdy dochází ke změně nosiče náboje z elektronu na iont a naopak. K průchodu proudu soustavou je potřeba alespoň dvou elektrod, které vytvoří elektrochemický článek. Pokud proud v soustavě probíhá samovolně, jedná se o galvanický nebo koncentrační článek. Pokud proud soustavou samovolně neprobíhá a elektrody musí být připojeny na zdroj stejnosměrného proudu, jedná se o elektrolytický článek. Elektrodou může být každá pevná nebo kapalná fáze, která je elektronově vodivá, elektrolytem každá kapalná nebo pevná fáze, která je iontově vodivá. [7], [8]

3.1.1 Elektrochemická reakce

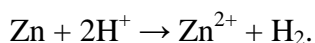
Pro lepší představu je průběh reakce ukázán na příkladu koroze mezi zinkem a kyselinou chlorovodíkovou:



Při reakci zinku a kyseliny chlorovodíkové vzniká roztok chloridu zinečnatého a dvouatomového vodíku. Ionická forma reakce má rovnici:



Pokud odstraníme z obou stran rovnice chlorový aniont Cl^- dostaneme:

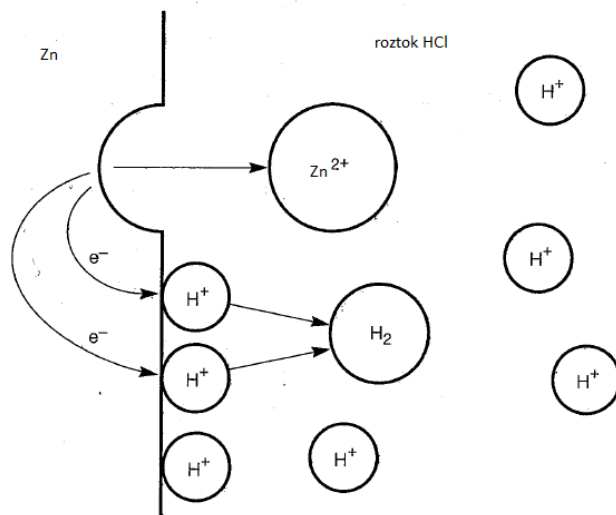


Stejná reakce probíhá v kyselině sírové. Reakce může být rozdělena následovně:



Na anodě probíhá oxidace, při které vzniká dvojmocný zinek a dva volné elektrony, zatímco na katodě probíhá redukce, při které se oxidační číslo vodíku snižuje na nulu přibráním dvou elektronů. Reakce složená z přenosu náboje nebo výměny elektronů je zobrazena na obr. 8. Povrch kovu je rozpouštěn volnými elektrony vzniklými při reakci na anodě, částičky rozpouštěného kovu putují ke katodě, kde reagují s kationtem vodíku a tvoří dvouatomovou molekulu vodíku. Rozdělení rovnice na anodickou a katodickou reakci s výměnou elektronů je pouze teoretické, nicméně je dokázáno, že elektrony se na korozi podílejí. V případě, že jsou přebytečné elektrony dodávány do kovu, je míra koroze, udávaná anodickou reakcí, snižována, zatímco míra vzniku vodíku, daná katodickou reakcí, zvýšena. Všechny korozní reakce ve vodě zahrnují anodickou reakci, jako v našem příkladě. Použití záporného potenciálu s přebytkem elektronů vždy snižuje míru koroze. Toto je základ katodické ochrany pro zmírnění koroze. Všechny korozní reakce probíhající ve vodném prostředí jsou považovány za elektrochemické. Nejreaktivnější vodné prostředí je voda v kapalně fázi a pára. Některé elektrochemické

reakce mohou probíhat bez vodného roztoku, přenos náboje může probíhat v elektrolytu v pevném stavu.



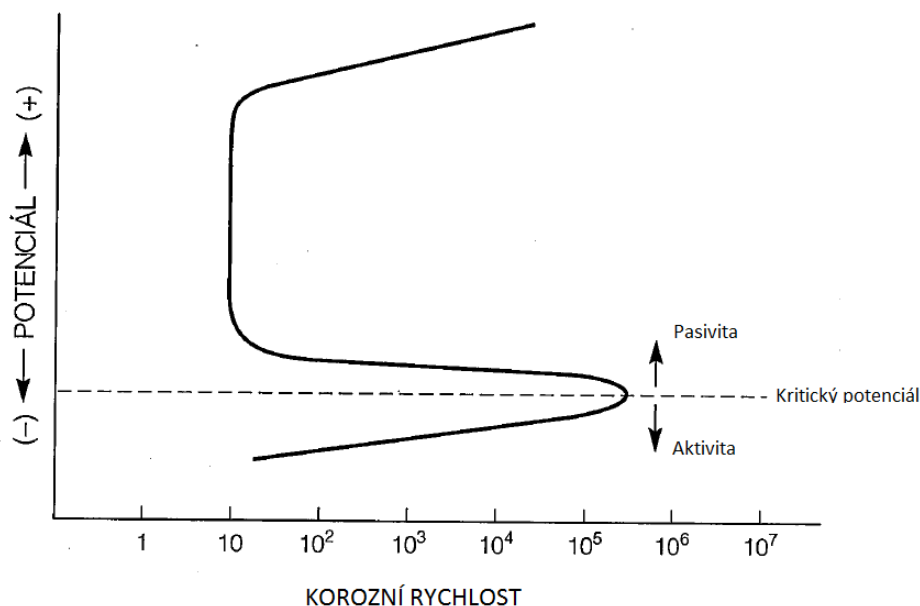
Obr. 8: Schéma elektrochemické korozní reakce [7]

3.1.2 Polarizace

Elektrochemické reakce mohou proběhnout pouze v celém rozsahu. Jestliže jsou k dispozici elektrony pro katodickou reakci, elektronegativita povrchu se zvyšuje, z toho vyplývá, že se elektrony akumulují na rozhraní kovu a roztoku, kde následně reagují. Reakce není dostatečně rychlá na to aby, zreagovaly všechny dostupné elektrony. Tato negativní změna potenciálu se nazývá katodická polarizace. Pokud není při anodické reakci z kovu uvolněn dostatečný počet elektronů, na rozhraní probíhá pozitivní změna potenciálu, která se nazývá anodická polarizace. Čím vyšší je deficit elektronů, tím silnější rozpouštění anody probíhá. Anodická polarizace je tedy důvodem vzniku koroze. Čím pozitivnější je potenciál povrchu, tím vyšší je míra oxidace (koroze), protože anodická polarizace je silnější. Ve vodném elektrolytu bude mít povrch stabilní potenciál, který závisí na schopnosti a rychlosti, kterou dochází k výměně elektronů mezi katodickou a anodickou reakcí. Když se potenciál zvýší, rychlost anodické reakce a tím pádem i rychlost koroze se také zvýší. [7]

3.1.3 Pasivita

V některých kovech, jako například železo, nikl, chrom, titan a kobalt, se korozní rychlost snižuje po překročení určité hodnoty potenciálu, která se nazývá kritický potenciál. Tato korozní rezistence se nazývá pasivita. Při potenciálu nižším, než je kritický, slitiny korodují relativně rychle. Pasivitu způsobuje tenká vrstva hydratovaných oxidů, která na povrchu materiálu vytvoří ochranný film, který zabraňuje anodické rozpouštěcí reakci. V závislosti na potenciálu nebo oxidačním výkonu roztoku může slitina existovat v pasivním i aktivním stavu. Hodnoty pasivity/aktivity pro běžně používané konstrukční materiály jsou zaznamenány v tabulkách. Klíčovým legujícím prvkem, který způsobuje vznik ochranné oxidické vrstvy na povrchu materiálu je chrom. Ačkoli chrom zvyšuje pasivitu materiálu, také zvyšuje jeho křehkost, proto se používá nejčastěji v kombinaci s jinými prvky. Zvyšování pasivity s sebou však přináší i některé problémy. Pasivní film na povrchu materiálu je tenký a často křehký, jeho poškození může vést ke vzniku lokálních druhů koroze. [7]



Graf 1: Závislost korozní rychlosti na potenciálu [7]

3.2 Druhy koroze

3.2.1 Rovnoměrná koroze

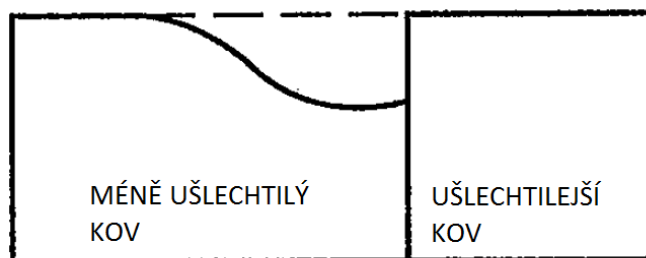
Jedná se o rovnoměrné rozpouštění celého povrchu součásti vlivem působení koroze. Na celý povrch součásti musí působit stejné korozní prostředí a celý povrch součásti musí být homogenní z hlediska metalurgického a také svým složením. Tyto požadavky jsou v praxi nesplnitelné a proto i rovnoměrná koroze obsahuje drobné nerovnoměrnosti. Atmosférická koroze je pravděpodobně nejběžnější příklad rovnoměrné koroze. Dalším běžným příkladem rovnoměrné koroze je koroze oceli v roztoku kyseliny. Tento druh koroze je velice snadno předvídatelný a proto akceptovatelný z technického hlediska i z hlediska designu. [7]



Obr. 9: Schéma rovnoměrné koroze [7]

3.2.2 Galvanická koroze

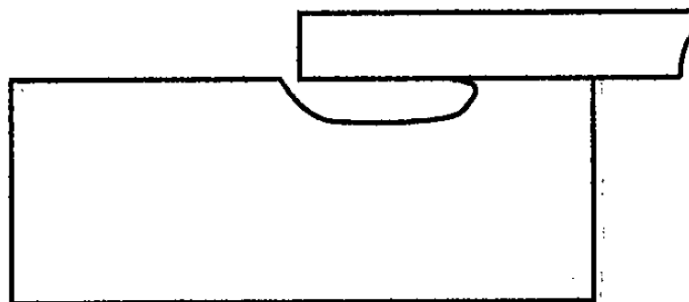
Galvanická koroze vzniká, pokud jsou dva materiály s rozdílným korozním potenciálem spojeny za přítomnosti korozivního elektrolytu. Jeden z materiálů přednostně koroduje, zatímco druhý je před korozi chráněn. Přednostně koroduje materiál s nižším korozním potenciálem, zatímco ušlechtilejší materiál je chráněn. Koroze je nejsilnější v místě dotyku materiálů. Tato skutečnost je způsobená nízkou proudovou vodivostí elektrolytu. [7]



Obr. 10: Schéma galvanické koroze [7]

3.2.3 Štěrbínová koroze

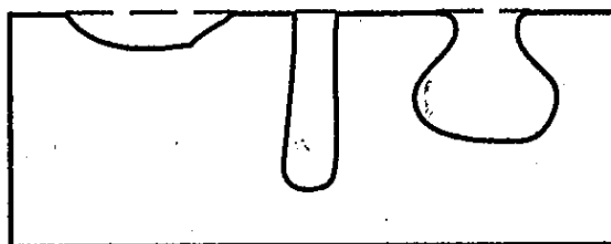
Tato koroze vzniká v drobných štěrbinách, v místech, kde se dotýkají dva materiály. Druhý materiál může být součástí spojovacího materiálu (např. hlava šroubu, podložka, nýt). Ve štěrbině může ulpět malé množství nečistot. Pokud jsou tyto nečistoty vodivé, fungují jako elektrolyt a tudíž může probíhat galvanický proces. Ve štěrbině může ulpět například voda z atmosférické vlhkosti a koroze tak probíhá, i když se zdá povrch součástí suchý. Z povrchu štěrbin se stává anoda a dochází ke korozi. [7]



Obr. 11: Schéma štěrbinové koroze [7]

3.2.4 Bodová koroze

Vzniká v místech, kde je porušená ochranná pasivní vrstva. Korozní důlky mohou mít různý tvar a mohou být různě hluboké. Tyto důlky mohou být poměrně hluboké a proto je tento druh koroze nebezpečný. Nerezové oceli a niklové slitiny obsahující chrom, závislé na pasivním ochranném filmu, jsou obzvláště náchylné na tento druh koroze. Když je pasivní film poškozen, vzniká centrum pro vznik bodové koroze. Bodová koroze má stejný mechanismus jako štěrbinová. [7]



Obr. 12: Schéma bodové koroze

3.2.5 Prostředím vyvolané praskání

Křehké praskliny jinak relativně houževnatého materiálu vyvolané mechanickým namáháním v nepříliš korozně agresivním prostředí se nazývá prostředím vyvolané praskání. Dělí se na tři druhy:

- 1) korozní praskání,
- 2) korozní únava,
- 3) vodíkem způsobené praskání.

Korozní praskání vzniká u materiálů namáhaných statickým tahem v určitém prostředí. Čisté kovy jsou poměrně odolné vůči koroznímu praskání. V materiálu vznikají trhliny, které vedou k prasknutí materiálu. Korozní trhliny vznikají v místech porušení pasivní vrstvy vlivem působení tahového napětí. Trhlina roste kolmo na směr tahového namáhání.

Korozní únava vzniká při cyklickém namáhání v korozním prostředí. Únavové praskání probíhá při cyklickém namáhání i bez působení korozního prostředí. Při cyklickém namáhání v korozním prostředí neexistuje mez únavy materiálu. Na korozní praskání má vliv frekvence namáhání. Při vyšší frekvenci se nestíhá projevit koroze a převažuje vliv mechanického namáhání.

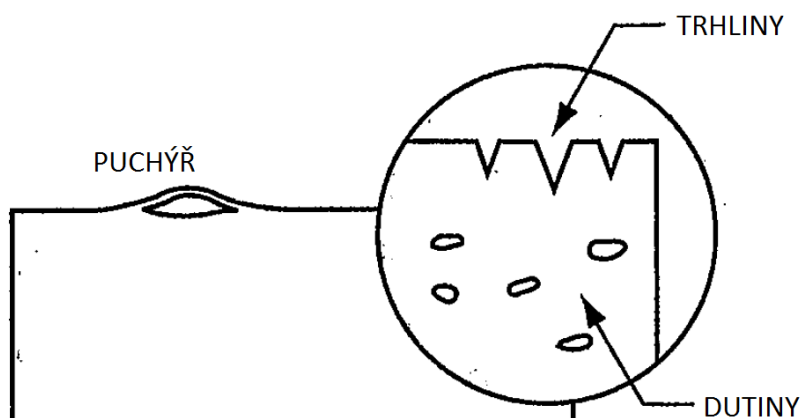
Vodíkem způsobené praskání vzniká difúzí vodíku do mřížky materiálu. Atomový vodík vzniká na povrchu materiálu během koroze, elektrolýzy, čištění a moření nebo katodické ochrany. [7], [8]



Obr. 13: Schémata prostředím vyvolaných praskání [7]

3.2.6 Poškození vyvolané vodíkem

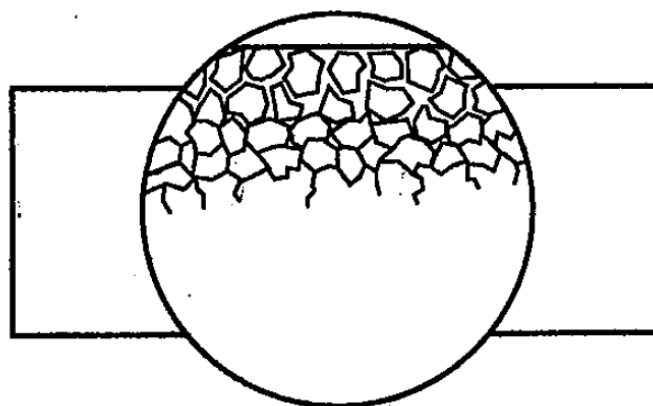
Interakce kovu s vodíkem v chemickém provozu tomuto kovu výrazně neprospívá. Vliv vodíku na kov se mění se vzrůstající teplotou. Vodík může difundovat do kovu v atomové formě a způsobovat vznik trhlin a dutin a také způsobuje vnitřní pnutí. Projevuje se vodíkovou křehkostí. Při vyšších teplotách se atomový vodík může slučovat s uhlíkem (např. u ocelí) za vzniku metanu a tím dochází k oduhličování povrchu nebo může vytvářet puchýře pod povrchem materiálu. [7], [8]



Obr. 14: Schéma vodíkem vyvolaných poškození [7]

3.2.7 Mezikrystalová koroze

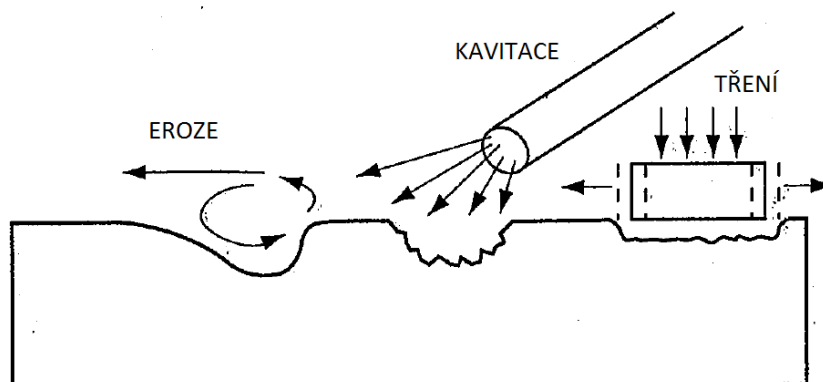
Mezikrystalová koroze dokazuje vliv strukturních změn kovu na korozní odolnost. Vzniká v důsledku chemické a strukturní nehomogenity materiálu na hranicích zrn. Jedná se o nerovnoměrné korozní napadení a trpí jí hlavně korozivzdorné oceli po tepelném zpracování, po kterém zůstávají hranice zrn ochuzené o chrom v důsledku tvorby karbidů obsahujících chrom. Mohou také vznikat fáze s odlišnými elektrochemickými vlastnostmi. Koroze se nemusí vizuálně projevit, nicméně dochází k výraznému poklesu pevnosti v důsledku ztráty soudržnosti zrn. [7], [8]



Obr. 15: Schéma mezikrystalové koroze [7]

3.2.8 Erozivní koroze

Kombinuje mechanické opotřebení (abrazivní, adhezivní, kavitační) a korozní účinky. Při styku materiálu s rychle proudícím médiem dochází k mechanickému poškození, to se navíc ještě zvýší, pokud médium obsahuje částice (plyn pevné nebo kapalné, kapalina pevné nebo plynové – bubliny). V elektrolyticky vodivém prostředí následně dochází k zvýšenému koroznímu účinku. Proudící médium intenzivně odstraňuje pasivní vrstvy z povrchu materiálu a tím dává prostor pro vznik koroze. Nežádoucí je turbulentní proudění, které dokáže poškodit i silnější ochranné vrstvy a tím zvyšuje korozní rychlost. [7], [8]

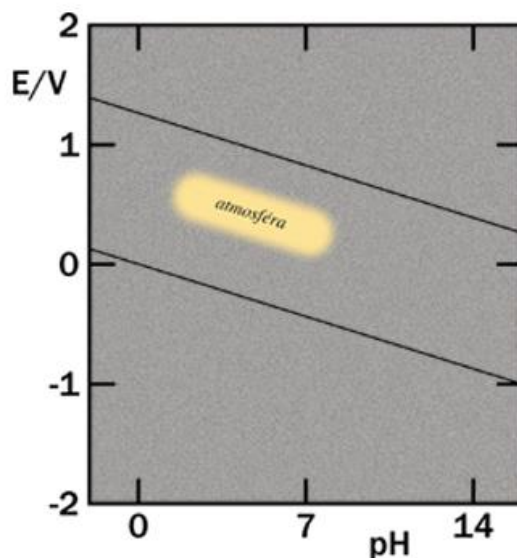


Obr. 16: Schéma erozní koroze [7]

3.3 Korozní prostředí

3.3.1 Atmosféra

Z hlediska korozního prostředí je atmosférická koroze největším činitelem korozních ztrát. Tato skutečnost je dána faktem, že atmosféře je vystaven největší povrch konstrukčních materiálů. Koroze v atmosféře probíhá díky atmosférické vlhkosti a za běžných teplot má elektrochemický mechanismus. Dostatečně tlustý film elektrolytu, potřebný pro průběh koroze, na povrchu materiálu vzniká až po překročení kritické hodnoty vlhkosti, která se pohybuje mezi 60 – 80%. Nejagresivnější elektrolyt vzniká při mlze. Atmosférická koroze závisí na pH a potenciálu kovů v atmosférických podmínkách. Agresivitu atmosféry ovlivňují různé látky, např. oxid siřičitý, který zvyšuje korozní rychlost. Na korozi mají vliv také některé chloridy, tuhé látky (prach), amoniak, oxidy dusíku a přízemní ozon. [8]



Obr. 17: Diagram potenciál - pH s vyznačenou oblastí, kde se budou pohybovat potenciály pro dané pH [8]

3.3.2 Voda

Ve smyslu korozního prostředí se pod pojmem voda nerozumí jen chemicky čistá voda, ale také slabě koncentrované vodné roztoky. Tyto roztoky mohou obsahovat látky, které se do vody dostávají při přirozeném koloběhu vody v přírodě nebo při průmyslové výrobě. Přírodní

vody se dělí na sladké, mořské, minerální a brakické (sladké vody znečištěné mořskou). Průmyslové vody se dělí na vody pro energetické účely (upravené), chladicí (upravené i neupravené), technologické (přidávané do tech. roztoků) a odpadní. Pokud je voda zcela čistá, má její působení na kovový povrch zcela zanedbatelné korozní účinky. Korozní reakce ve vodě jsou způsobeny příměsemi, které voda vždy v určité míře obsahuje. Agresivitu vody způsobují např. kyslík a jiné agresivní plyny, rozpuštěné soli, organické látky, mikroorganismy, pH, teplota, rychlost proudění a obsah pevných částic. [8]

3.3.3 Půda

Půdní koroze se týká především zařízení ukládaných do půdy, jako jsou různé potrubní systémy. Agresivita půdního prostředí závisí především na typu a soudržnosti půdy, další ovlivňující faktory jsou homogenita, vlhkost, chemické složení půdních elektrolytů, pH a redox potenciál, tlumivá kapacita, kolísání spodní vody. Kritériem pro hodnocení agresivity půd je rezistivita. Při rezistivitě na 100 Ω se předpokládá, že je půda neagresivní. Většina korozních poruch v půdním prostředí se projevuje bodovým nebo nerovnoměrným charakterem. Velké škody může způsobit také korozní praskání. Dalším významným korozním činitelem v půdě jsou bludné proudy, které mohou vést k rychlému poškození konstrukce uložené v půdě. [8]

Tab. 1: Rezistivita různých druhů půd [8]

druh půdy	rezistivita [Ω .m]
jíl	3 - 10
jemný písek	10 - 100
písek, hrubý písek	100 - 400
šterk	400 - 1700

4 Testování korozních vlastností

4.1 Korozní zkoušky

V současnosti existuje mnoho druhů tohoto typu zkoušení materiálu. Množství korozních zkoušek téměř odpovídá množství zkoušených materiálů. Primárně je zkoušena korozní odolnost aplikovaných povrchových vrstev. Nej kvalitnější výstup vykazují zkoušky dlouhodobě prováděné v provozu za skutečných podmínek. Tyto zkoušky probíhají bez jakéhokoliv urychlování a nazývají se provozní zkoušky. Druhým typem jsou zrychlené zkoušky, probíhající v laboratoři. Tyto zkoušky jsou výhodné z časového hlediska, výstup však není tak přesný jako u provozních zkoušek. Zrychlené zkoušky probíhají v nasimulovaných podmínkách. Cílem je co nejvěrněji napodobit skutečné provozní podmínky, za zesílení hlavních korozních činitelů, čímž dochází k urychlení celého děje. Všeobecné podmínky korozních zkoušek zajišťuje norma ČSN ISO11845 – Koroze kovů a slitin – Všeobecné zásady pro korozní zkoušky. [9]

4.2 Druhy korozních zkoušek

4.2.1 Expoziční metody

Jak bylo naznačeno v předchozím odstavci, principem těchto metod je nasimulování provozních podmínek za zesílení korozních činitelů. Vztah pro odhad doby trvání je definován jako

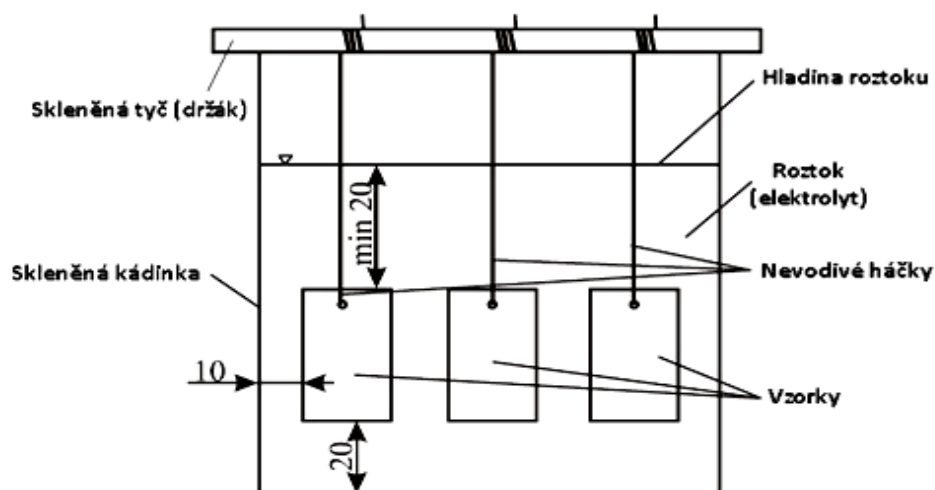
$\tau = 5/v$, kde τ je délka trvání testu [hod] a v korozní rychlost [mm/rok]. Tento vztah neplatí pro inhibici a pasivitu. [9]

4.2.1.1 Dlouhodobé atmosférické zkoušky

Při dlouhodobé zkoušce je materiál vystaven koroznímu působení po dobu šesti měsíců až tří let. Ploché vzorky jsou v nerezových rámečcích, pod určitým úhlem sklonu, zavěšeny v korozním prostředí, např. v městském prostředí atd. Tuto zkoušku lze provést i ve zrychleném režimu, kdy se kromě atmosférického korozního prostředí využívá také voda, nebo roztoky solí, kyselin, nebo alkálií atd.

4.2.1.2 Zkouška úplným ponorem

Nejjednodušší expoziční metodou je právě metoda úplným ponorem neboli Bac Ford Test. Průběh zkoušky spočívá v zavěšení přesně definovaných vzorků materiálu na nevodivé skleněné háčky a následném ponoření těchto vzorků, potažmo háčků, do korozního prostředí. Vzorky ponořené do korozního prostředí mohou být pouze stejného materiálu a povrchové vrstvy. Dále je přesně definované umístění vzorků ve zkušební nádobě. Doba expozice se pohybuje v řádech dnů. [9]



Obr. 18: Schéma zkoušky úplným ponorem [9]

4.2.1.3 Zkouška v solné komoře

Tato zkouška se řídí normou ČSN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou. Jak napovídá název normy korozním prostředím během této zkoušky je solná mlha. Může to být například mlha neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS), mlha okyseleného roztoku chloridu sodného (AASS), nebo mlha okyseleného chloridu sodného a chloridu měďnatého (CASS). Zkouška probíhá ve speciální komoře, která zajišťuje homog-

nitů a rovnoměrné rozložení solné mlhy, takovým způsobem, aby kapky rozprašovaného roztoku, které kondenzují na povrchu vzorku, nestékaly na ostatní vzorky. [9]

4.2.1.4 Zkouška v kondenzační komoře

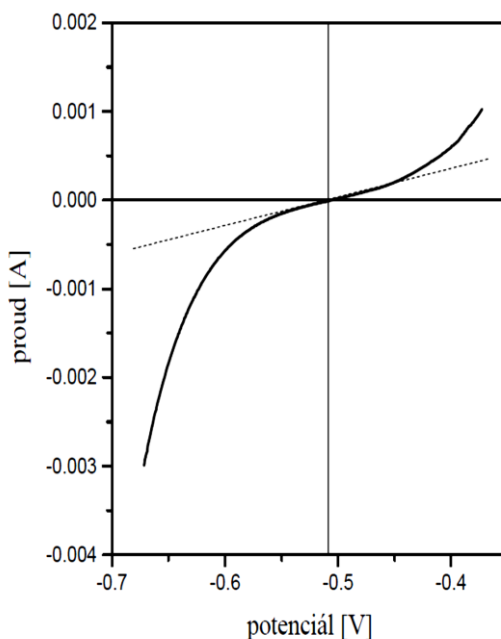
Parametry této zkoušky udává norma ČSN 03 8131 Korozní zkouška v kondenzační komoře. V komoře je simulována průmyslově znečištěná atmosféra nebo atmosféra znečištěná oxidem siřičitým. Zkušební komory nejsou normalizované, avšak nesmí docházet ke skapávání kondenzátu ze stěn komory na vzorky. Komory musí být vyrobeny z korozivzdorného materiálu. [9]

4.2.2 Elektrochemické metody

Elektrochemické korozní zkoušky vycházejí z principů elektrochemické koroze. Je využíváno korozního potenciálu a proudu procházejícího kovovým vzorkem ve vodivém prostředí. Korozní rychlost se určuje na základě změny potenciálu při průchodu proudu kovovým vzorkem. [9]

4.2.2.1 Metoda polarizačního odporu

Tato metoda je v praxi nejběžněji používanou metodou zjišťování korozní rychlosti. Doba trvání procesu se pohybuje v řádech minut. Jedná se o nedestructivní zkoušku. Metoda je založena na skutečnosti, že se na polarizační křivce v okolí polarizačního potenciálu vyskytuje linearita. [9]



Graf 2: Linearita na polarizační křivce [9]

4.2.2.2 Elektrochemická impedanční spektroskopie

Metoda je využívána pro vzorky opatřené nevodivým nátěrem nebo materiály, které v testovacím prostředí na svém povrchu vytváří vrstvu s velkým polarizačním odporem. Metoda je využívána i pro elektrolyty s malou vodivostí. Metoda se zakládá na přivedení střídavého napětí o dané frekvenci do vzorku, poté se změří impedance, tedy velikost potenciálu a proudu.

vé hustoty a jejich vzájemný fázový posun. Výsledkem je logaritmická frekvenční charakteristika korozního systému. [9]

4.2.2.3 Galvanostatické zkoušky

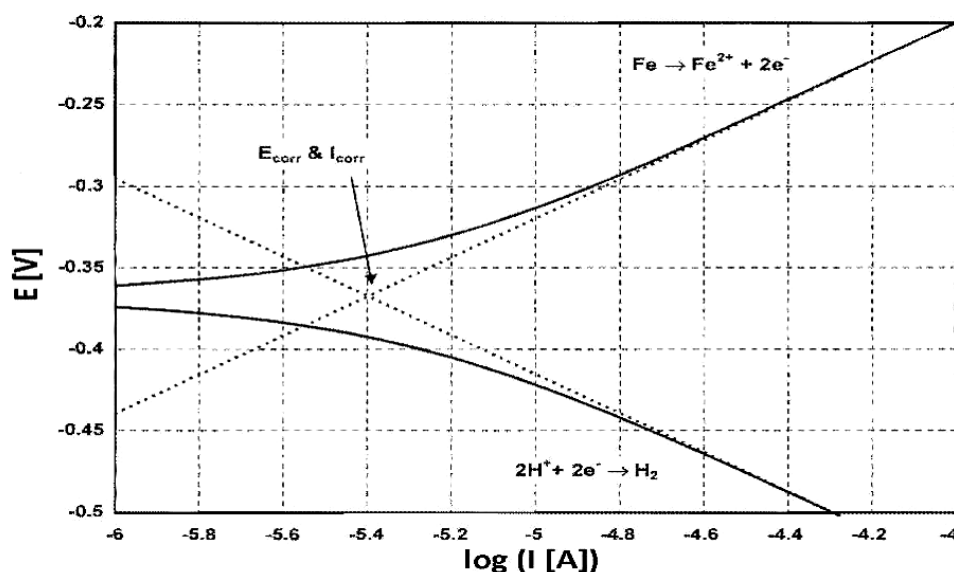
Při galvanostatické zkoušce se měří potenciál vzorku vůči referenční elektrodě. Proudová hustota, která vzorek katodicky a anodicky polarizuje, je v průběhu zkoušky udržovaná na konstantní hodnotě. Během této zkoušky se zkoumá korozní potenciál vzorku v závislosti na čase. Velikost polarizace je určena hodnotou ustáleného potenciálu vzorku. [9]

4.2.2.4 Potenciostatické zkoušky

Potenciostatická zkouška je podobná galvanostatické. Rozdílem je, že se měří proudová hustota vzorku vůči referenční elektrodě při konstantním elektronovém potenciálu. [9]

4.2.2.5 Potenciodynamické zkoušky

Při této zkoušce je měřena proudová hustota vzorku vůči referenční elektrodě. Potenciál je postupně měněn, tudíž se vzorek chová jako katoda i jako anoda. Výstupem je potenciodynamická polarizační křivka, která představuje závislost proudové hustoty na potenciálu. Používá se pro materiály bez povrchové úpravy a v dobře vodivých elektrolytech. [9]



Graf 3: Potenciodynamická křivka Fe [9]

Experimentální část

V této části práce budou blíže vysvětleny metodiky používané v experimentální části, čímž bude práce pozvolna přecházet od teoretické k experimentální části. Samotná experimentální část bude popisovat celou praktickou část této bakalářské práce. Účelem experimentu bude zjistit, zda má druh a objem plniva v tvrdochromové kompozitní povrchové vrstvě vliv na korozní chování této vrstvy. Experiment bude prováděn na sedmi vzorcích, které budou blíže specifikovány v následujících kapitolách. Na těchto vzorcích bude měřena korozní rychlost, polarizační odpor a korozní potenciál. Na každém vzorku budou provedena alespoň tři měření, aby bylo možné tyto výsledky analyticky vyhodnotit. V závěru práce budou posouzené naměřené hodnoty a jejich přesnost. Cílem experimentu bude prokázání závislosti mezi slož-

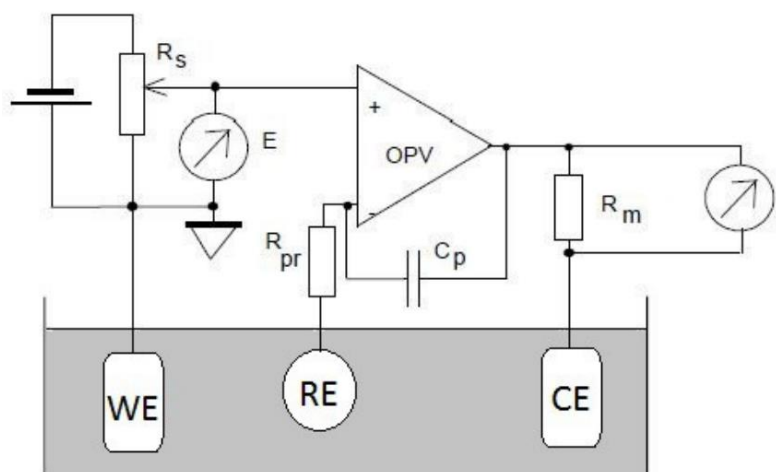
ním vrstvy a jejími korozními vlastnostmi. Používání navržené metody ke zpětnému určování objemu plniva v elektrolytu, pokud se závislost podaří prokázat, může být předmětem další diskuze.

5 Teoretický základ experimentu

5.1 Potenciostatická korozní zkouška

Tato metoda se řadí mezi elektrochemické metody korozních zkoušek. Potenciostat je základní přístroj pro sledování elektrochemické koroze kovů. Metoda využívá závislosti mezi korozním potenciálem a proudem procházejícím přes kovový povrch a jejich časové změny. Samovolný korozní potenciál je měřítkem oxidačních podmínek na kovovém povrchu v elektrolytu. Korozní rychlost se určuje ze závislosti potenciálu kovu na změně procházejícího proudu. Snímají se tzv. potenciodynamické křivky, zároveň je zaznamenávána proudová odezva na plynulou změnu potenciálu. Pro měření těchto křivek se využívá tzv. tříelektrodové zapojení. Při využití lineární polarizace lze touto metodou měřit také polarizační odpor.

Potenciostat udržuje na pracovní elektrodě požadovaný potenciál, který vzniká průtokem proudu elektrodou a roztokem, který vytváří korozní prostředí. Udržování potenciálu na požadované hodnotě je prováděno regulací proudu protékajícího pracovní elektrodou. Potenciál pracovní elektrody je porovnáván s potenciálem referenční elektrody. Používají se dva typy zapojení potenciostatu, dvouelektrodové a tříelektrodové. U dvouelektrodového zapojení je v roztoku ponořena pouze pracovní a referenční elektroda. Veškerý proud protékající pracovní elektrodou protéká i referenční elektrodou, čímž může dojít k ovlivnění jejich vlastností. Tento jev může mít vliv na přesnost výsledků. Dalším faktorem snižujícím přesnost výsledků je vliv odporu samotného roztoku. Tyto skutečnosti vedou k faktu, že dvouelektrodové zapojení se používá je velmi zřídka a preferováno je spíše tříelektrodové zapojení. U tříelektrodového zapojení se využívá navíc ještě pomocná elektroda. Proud protéká mezi pracovní a pomocnou elektrodou. Potenciál se měří mezi pracovní a referenční elektrodou, kterou neprotéká žádný proud, tudíž nejsou ovlivněny její vlastnosti. [8], [10]



Obr. 19: Schéma potenciostatu [10]

5.2 Měření tloušťky Cr vrstvy optickým mikroskopem

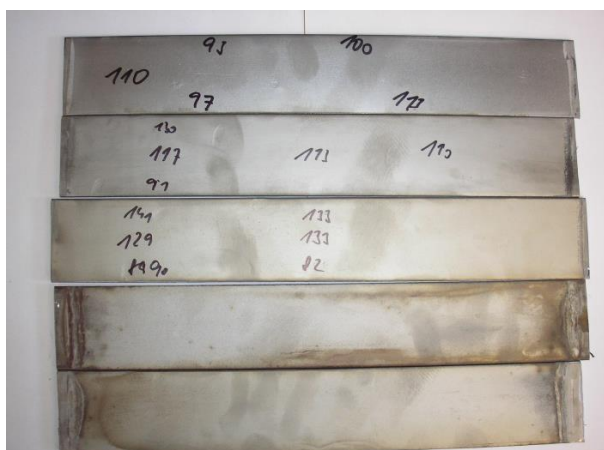
Měření tloušťky Cr vrstvy optickým mikroskopem se provádí na příčném výbrusu vzorku. Jedná se o destruktivní metodu, která je však velmi spolehlivá z hlediska přesnosti. Touto metodou lze měřit také tloušťku jednotlivých vrstev kompozitního povlaku, což v této práci není prováděno. Tento způsob měření sebou však přináší několik nevýhod. Hlavní nevýhodou je fakt, že se jedná o destruktivní zkoušku, tudíž dojde k nevratnému poškození vzorků. Další nevýhodou je časová náročnost a pracnost celého procesu.

6 Vzorky

K dispozici je celkem sedm vzorků, které byly převzaty z dizertační práce [2], která se zabývá vlastnostmi, zkoušením a vývojem Cr povlaků pro pístní kroužky. Jak je patrné z následující tabulky (Tab. 2), jednotlivé vzorky se vzájemně liší druhem použitého plniva nebo objemem plniva, které bylo přidáno do elektrolytu při výrobě. Vzorky 1 a 2 jsou připraveny zcela bez použití plniva.

Tab. 2: Přehled vzorků [2]

Číslo vzorku	Matrice	Zporézněno	Plnivo	Objem plniva v elektrolytu	Obchodní název
1	Cr	Ne	-	-	Tvrký chrom
2	Cr	Ano	-	-	Porézní chrom
3	Cr	Ano	UDDG	5g/l	-
4	Cr	Ano	UDDG	10g/l	-
5	Cr	Ano	UDDG	15g/l	-
6	Cr	Ano	UDDG	15g/l	-
7	Cr	Ano	Al ₂ O ₃	7% obj.	BCr



Obr. 20: Nachromované vzorky 2 - 6 [2]

6.1 Výroba vzorků

Příprava vzorků kompozitních tvrdochromových povlaků byla prováděna ve firmě Buzuluk a.s. na zkušebním chromovacím zařízení. Chromovací vana byla původně stavěna pro objem 800 l elektrolytu. Tento objem byl pro přípravu vzorků příliš veliký. Měnit s každou změnou složení chromovací lázně o objemu 800 l elektrolytu bylo nežádoucí, zejména z hlediska eko-

nomického a z hlediska zatížení životního prostředí nebezpečným odpadem. Zařízení bylo upraveno. Do velké vany byla vložena malá titanová vanička. Zařízení se skládalo z titanové vany o objemu 60 l, která byla vybavena vzduchovým mícháním elektrolytu. Teplotu elektrolytu bylo možno regulovat, stejně jako intenzitu vzduchového míchání. Proud byl dodáván galvanicky tyristorovým zdrojem Eprona 12V/800A. Zdroj byl řízen počítačovým programem a umožňoval cyklickou reverzaci. Jako anoda byl použit titanový koš s Pt povlakem. Zařízení bylo zkonstruováno dle návrhu autora dizertační práce [2].



Obr. 21: Vývojová chromovací vana (vlevo) [2]

Obr. 22: Zdroj Eprona (vpravo) [2]



Obr. 23: Zkušební vana (vlevo) [2]

Obr. 24: Anoda (vpravo) [2]

Při přípravě vzorků na zkušebním zařízení byly dodržovány veškeré nařízení bezpečnosti práce (ochranný oděv, rukavice, brýle atd.) dle platné legislativy. Odpadní elektrolyt byl likvidován v neutralizační stanici nebo byl odvezen k likvidaci specializovanou smluvní firmou.[2]

6.1.1 Polotovar

Povlaky byly deponovány na ocelový plech. Chemické složení substrátu (plechu) udává tabulka 3. Vrstva chromu na vzorcích se pohybuje v intervalu 100 - 140 μm . Z důvodu vyšší proudové hustoty na hranách vzorku bylo použito při chromování stínění. Stíněním bylo do-

saženo rovnoměrného rozložení Cr povlaku na ploše vzorku. Teflonovou páskou byl na plechu vymezen prostor 50x200mm, tedy 1dm². Stínění bylo navrženo experimentálně dle zkušenosti autora disertační práce [2] s galvanickým pokovováním. Plech byl po nachromování i odmaskován, nachromovaná část byla vyříznuta a rozříznuta na dvě přibližně stejné části. [2]

Tab. 3: Chemické složení substrátu [2]

Fe	C	Mn	P	S	Cr	Ni	
97,97	<1,20	0,58	0,01	0,005	0,08	0,04	[%]
Cu	Al	W	Pb	Mo	Mg	Sr	
0,05	0,04	0,01	0,001	0,01	0,0008	0,0012	[%]

6.1.2 Vrstvy

Všechny zkoušené chromové povrchové úpravy, mimo povlak BCr, byly deponovány ve vývojovém zařízení firmy Buzuluk a.s. Povlak BCr byl připraven v jiné vaně standardním sériovým postupem. Tloušťky všech vrstev by se měly pohybovat mezi 100 až 140 mikrometry. Základem všech sedmi vrstev je tvrdochromová matrice. Všechny vzorky, kromě vzorku č. 1, byly připraveny technologií měnění polarity během procesu, čímž se vytvoří v chromové matici síť mikrotrhlinek, ve kterých ulpívá plnivo. Příprava povlaků se liší pouze použitím různých druhů a koncentrací plniva v elektrolytu. Povlaky vzorku 1, 2 a 7 byly připraveny dle standardních technologických postupů ve firmě Buzuluk a.s. Příprava povlaků 3,4,5 a 6 vychází ze stejných principů, jako u vzorku 7, jen je korundové plnivo nahrazeno plnivem UDDG, materiálem na bázi diamantu a grafitu. V dizertační práci [2] bylo atomovým emisním spektrometrem zjištěno, že u vzorků 3 a 4 je ve výsledné vrstvě více uhlíku než u vzorků 5 a 6, což se může vzhledem k množství plniva v elektrolytu při chromování jevit jako paradox. [2]

6.1.3 Použitá plniva

6.1.3.1 Al₂O₃

Toto plnivo bylo použito u vzorku 7. Objem plniva v elektrolytu tvořil 7% z celkového objemu elektrolytu. Obchodní název pro tento povlak je BCr. Použitý korund má zrnitost 1500. Velikost částic se pohybuje v rozmezí 2 – 5 mikrometrů. [2]

6.1.3.2 UDDG

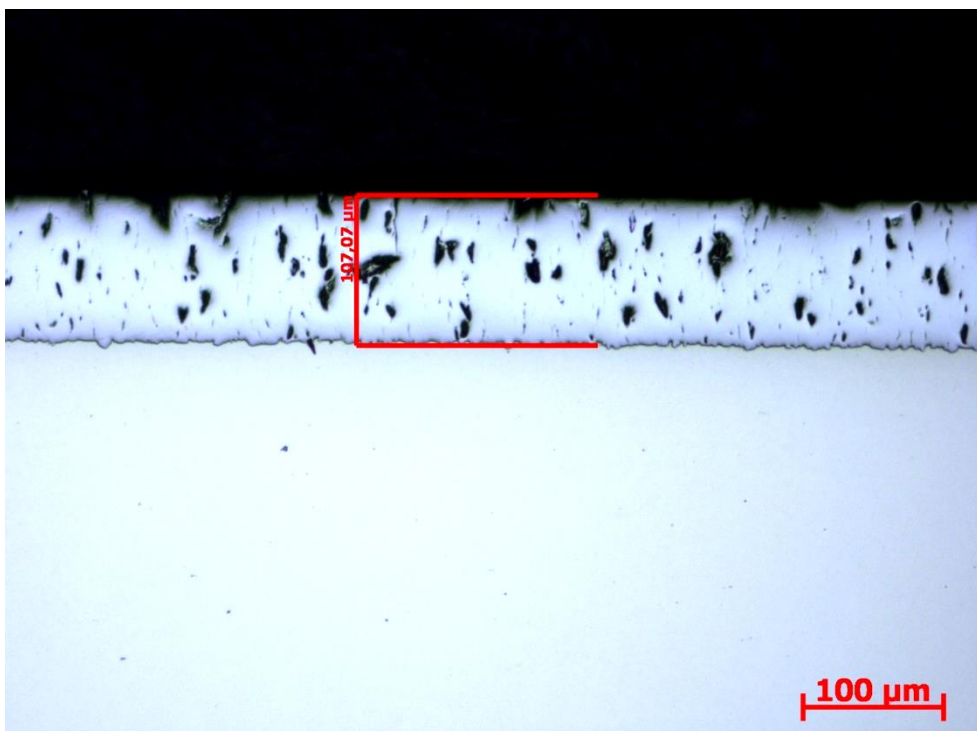
Ultra Dispersed Diamond Graphite. Toto plnivo bylo použito u vzorků 3, 4, 5 a 6 v různých koncentracích vzhledem k elektrolytu. Tyto koncentrace se pohybují od 5 od 15 gramů plniva na 1 litr elektrolytu. Směs nanodiamantu a grafitu vyráběna detonační metodou. Je dodávána ve formě vodné suspenze. [2]



Obr. 25: Suspenze UDDG [2]

6.2 Měření tloušťky vrstev

Na metalografické pile Struers Discotom 6 byl z každého vzorku odříznut pruh, který byl na lisu Struers Citopress 10 zataven do plastového kroužku pro další zpracování. Následně byl na metalografické brusce/leštičce Struers Tegramin zhotoven metalografický výbrus. Pomocí optického mikroskopu Observer Zeiss Z1M byla u všech vzorků změřena tloušťka povrchové vrstvy. Bylo zjištěno, že u všech vzorků se síla vrstvy pohybuje těsně okolo 100 μ m.

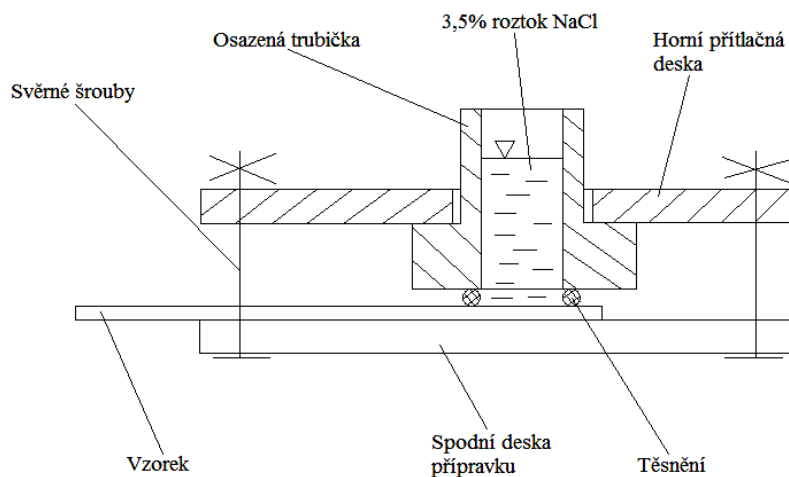


Obr. 26: Tloušťka povrchové vrstvy - vzorek 1

7 Měření

7.1 Popis měření

Metodou pro měření korozních vlastností kompozitních tvrdochromových vrstev v tomto experimentu byla vybrána potenciostatická korozní zkouška. Pro vyšší přesnost bylo zvoleno tříelektrodové zapojení. Jako pracovní elektroda byl připojen vždy měřený vzorek, jako pomocná elektroda byl použit platinový drát a referenční elektrodou byla nasycená kalomelová elektroda (SCE). Aby byla dodržena u všech vzorků stejná plocha, na které probíhalo měření, probíhalo měření ve speciálním přípravku, kde vlastní vzorek tvořil dno nádoby s roztokem tvořícím korozní prostředí. Do této nádoby byly postupně ponořeny referenční a pomocná elektroda. Následně proběhlo měření pomocí potenciostatu a vyhodnocení výsledků pomocí softwaru. Hodnoty byly zaznamenány do tabulky a z této tabulky byly vygenerovány grafy, které mají znázorňovat vliv složení vrstvy na její korozní vlastnosti, konkrétně korozní rychlost, polarizační odpor a korozní potenciál.



Obr. 27: Schéma přípravku pro měření korozních vlastností na potenciostatu

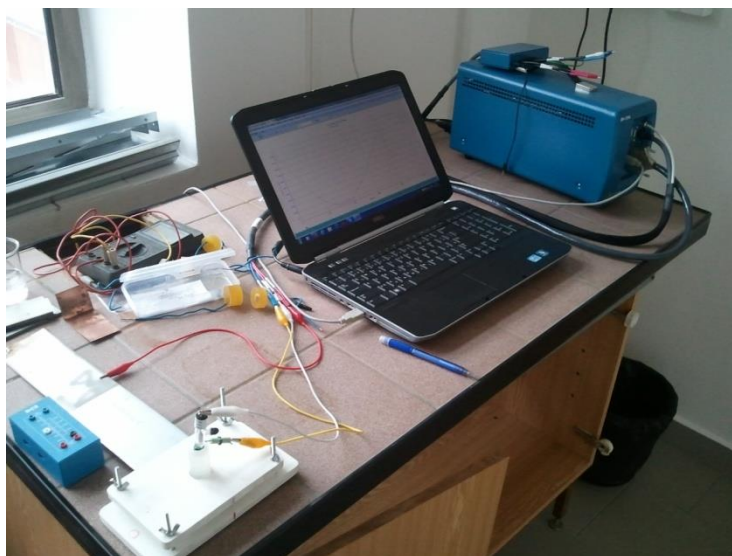
7.2 Parametry měření

Potenciostat: BioLogic SP-150
Software: EC-Lab
Plocha vzorku: 177mm^2
Referenční elektroda: SCE (nasycená kalomelová elektroda)
Pomocná elektroda: Pt
Korozní prostředí: 3,5% vodný roztok NaCl

7.3 Postup měření

Nejprve byly pomocí brusného papíru očištěny plochy vzorku od oxidické vrstvy a následně byly otřeny čistým suchým hadříkem. Toho očištění bylo provedeno, aby byl zajištěn kvalitní

průchod elektrického proudu mezi svorkou vodiče a vzorkem a také aby nedocházelo ke zkreslování výsledků měření, v důsledku špatného průchodu proudu, způsobeného oxidickou vrstvou a nečistotami na povrchu. Následně byl vzorek položen na spodní desku přípravku, na vzorek bylo položeno těsnění a osazená trubička, na kterou byla nasazena vrchní deska přípravku s otvorem, a pomocí čtyř šroubů byly obě desky přípravku staženy k sobě. Do trubičky, zdola uzavřené vzorkem, byl nalit 3,5% vodný roztok NaCl. Do roztoku byly ponořeny referenční kalomelová a pomocná platinová elektroda tak, aby se vzájemně nedotýkaly a aby se nedotýkaly ani pracovní elektrody. Následně byly na všechny tři elektrody, podle schématu, připojeny vodiče.



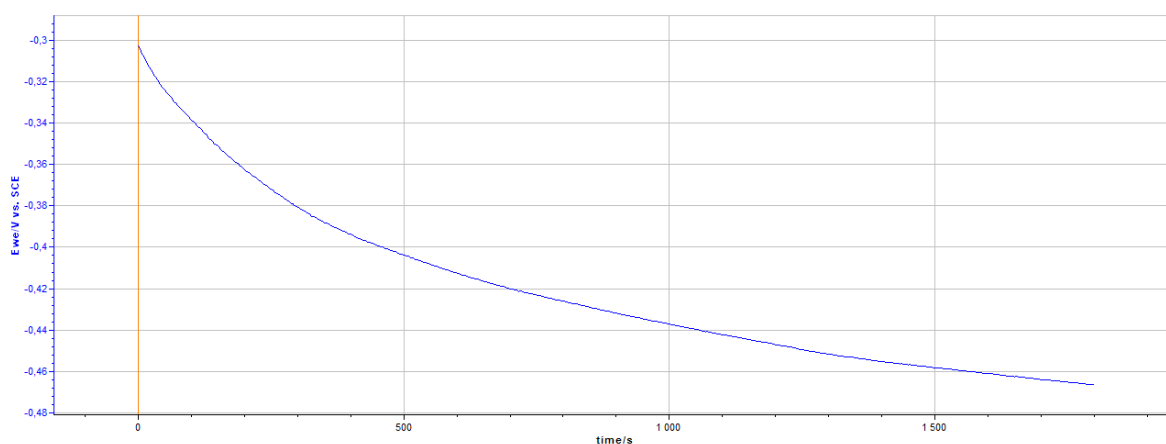
Obr. 28: Měření na potenciostatu SP 150



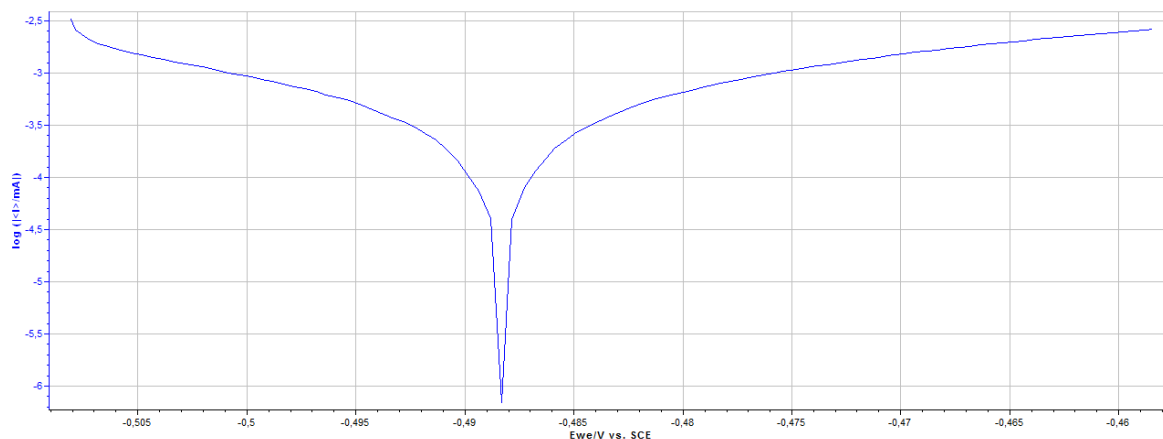
Obr. 29: Připojení elektrod při měření

Do softwaru EC-Lab byly zadány všechny parametry měření a bylo spuštěno nejprve ustálení korozního potenciálu a následně pomocí lineární polarizace měření polarizačního odporu.

Z výsledné polarizační křivky byly extrapolací Tafelových oblastí zjištěny hodnoty korozní rychlosti a korozního potenciálu. Extrapolace byla provedena pomocí softwaru EC-Lab. Software spočítal, pomocí funkce R_p -fit, převrácenou hodnotu směrnice lineární oblasti polarizační křivky v lineárních souřadnicích, která se nachází v oblasti korozního potenciálu. Tato hodnota odpovídá hodnotě polarizačního odporu. Stejný postup byl zopakován pro všechny vzorky, pro každý třikrát. Na každé měření byl použit nový roztok. Byl vždy naléván, ze stejné nádoby, takže měl vždy naprosto stejné vlastnosti a složení. Kalomelová elektroda byla po každém měření opláchnuta vodou a osušena. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky a analyticky zpracovány. Z průměrných hodnot výsledků pro každý vzorek byly vygenerovány grafy, ze kterých je lépe vidět závislost korozních vlastností na složení vrstvy.



Obr. 30: Křivka ustálení korozního potenciálu



Obr. 31: Polarizační křivka v logaritmických souřadnicích

7.4 Naměřené hodnoty

Pro každý vzorek byly provedeny 3 měření, výsledky těchto měření jsou zaznamenány v tabulce 4.

Tab. 4: Tabulka naměřených hodnot

	vzorek 1	vzorek 2	vzorek 3	vzorek 4	vzorek 5	vzorek 6	vzorek 7	
Korozní rychlost	0,411	1,583	5,166	2,084	0,299	0,072	1,239	[μm/rok]
	0,322	2,321	6,481	3,918	0,402	0,098	1,757	
	0,259	1,776	9,102	2,513	0,805	0,339	1,770	
Korozní potenciál E_{kor}	-385,996	-490,425	-474,688	-475,605	-420,984	-286,753	-354,627	[mV]
	-431,290	-516,174	-479,672	-502,541	-459,273	-301,815	-487,254	
	-425,775	-556,037	-505,507	-487,658	-468,222	-421,239	-531,633	
Polarizační odpor R_p	27635,028	6363,277	2442,373	4329,944	35715,819	111942,373	10734,463	[Ω]
	32150,847	4439,548	1981,921	2824,859	33231,073	115155,932	6444,068	
	51469,492	5125,424	1229,944	4406,215	15857,062	47214,689	5535,028	

Všechny naměřené hodnoty byly pomocí matematického výpočetního softwaru analyticky zpracovány. Byly určeny hodnoty korozních rychlostí, potenciálů a polarizačních odporů jednotlivých vzorků a jejich směrodatné odchylky. Tyto hodnoty byly zaznamenány do tabulky 5.

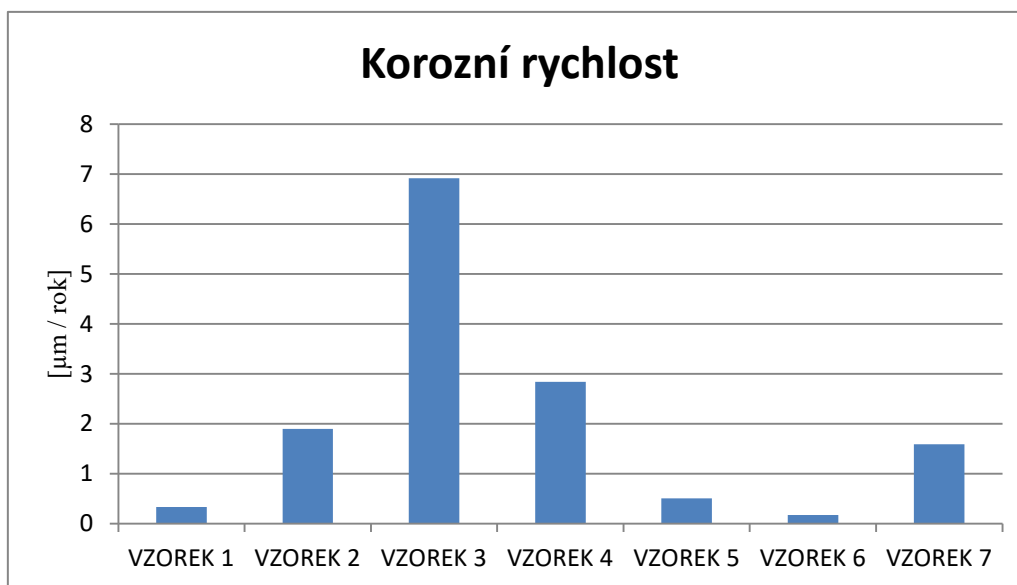
Tab. 5: Analyticky zpracované naměřené hodnoty

	KOROZNÍ RYCHLOST [μm/rok]	směrodatná odchylka	KOROZNÍ POTENCIÁL E_{kor} [mV]	směrodatná odchylka	POLARIZAČNÍ ODPOR R_p [Ω]	směrodatná odchylka
vzorek 1	0,33	± 0,06	-414	± 20	37085	± 10337
vzorek 2	1,9	± 0,3	-521	± 27	5309	± 796
vzorek 3	7	± 2	-487	± 14	1885	± 500
vzorek 4	2,8	± 0,8	-489	± 11	3854	± 728
vzorek 5	0,5	± 0,2	-449	± 20	28268	± 8834
vzorek 6	0,2	± 0,1	-337	± 60	91438	± 31298
vzorek 7	1,6	± 0,2	-458	± 75	7571	± 2267

Z důvodu větší názornosti a přehlednosti byly z hodnot v tabulce 5 vygenerovány grafy, kde jsou jasně vidět rozdíly mezi korozními vlastnostmi jednotlivých vzorků.

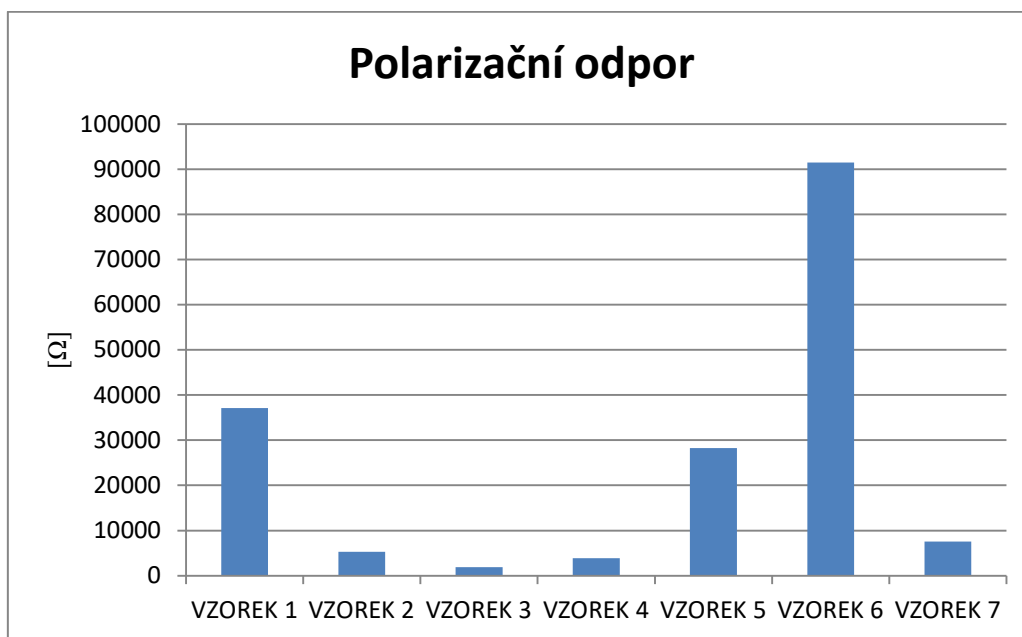
Prvním grafem je graf 4, zobrazující rozdíly v korozní rychlosti jednotlivých vzorků. U hodnot vzorků 3, 4, 5 a 6 je patrné, že korozní rychlost závisí na objemu plniva v chromovací lázni. Se zvyšujícím se objemem plniva v elektrolytu, čili se snižujícím se množstvím uhlíku v chromové vrstvě, klesá korozní rychlost. Rozdíl mezi vzorky 5 a 6, které by měli být identické, může být způsoben nepřesností v měření. Z grafu je také patrné, že nejvyšší korozní rychlost vykazuje vrstva 3, která obsahuje nejvíce uhlíku. Naopak nejnižší hodnoty vykazují

vzorky 1 a 5, resp. 6, čili nezporézněný tvrdý chrom a vrstvy s plnivem UDDG s objemem 15 gramů plniva na 1 litr elektrolytu.



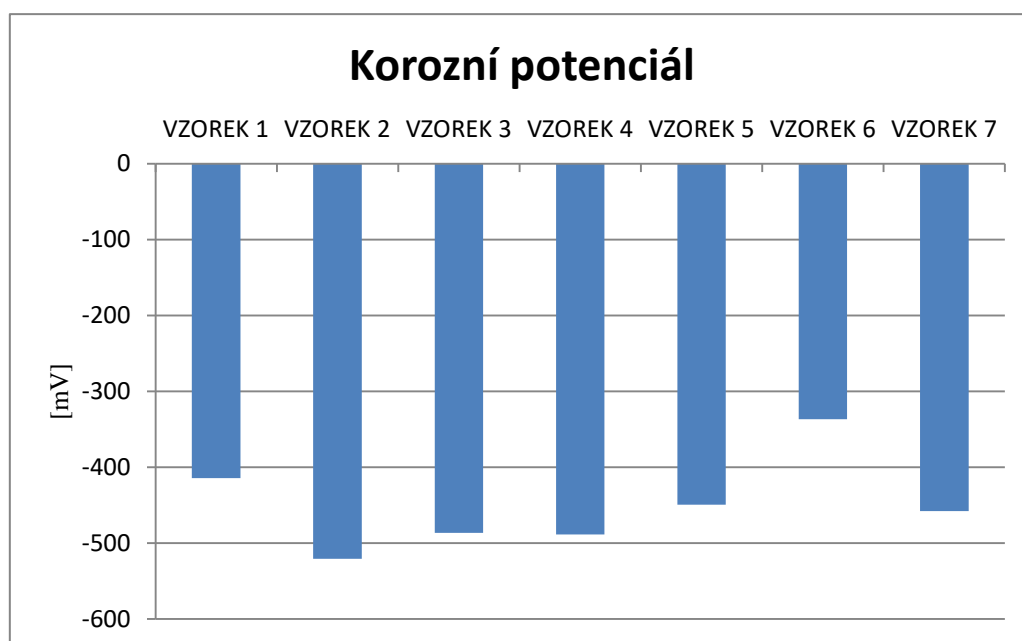
Graf 4: Korozní rychlost jednotlivých vzorků

Další graf (Graf 5) zobrazuje rozdíly v polarizačním odporu jednotlivých vzorků. Zde je, u vzorků 3, 4, 5 a 6, závislost oproti korozní rychlosti opačná. Polarizační odpor má se zvyšujícím se množstvím plniva v elektrolytu (snižujícím se obsahem uhlíku ve vrstvě) vzrůstající tendenci. Zde se však projevila markantní rozdíl mezi vzorky 5 a 6. S přihlédnutím k tabulce naměřených hodnot je proto usuzováno, že první dvě hodnoty polarizačního odporu u vzorku 6 jsou hrubými chybami. Stejně vzorky, které v grafu 4 vykazují nejnížší korozní rychlost (5 a 6), zde vykazují nejvyšší polarizační odpor a naopak vzorek 3, který vykazoval nejvyšší korozní rychlost, zde vykazuje nejnížší polarizační odpor.



Graf 5: Polarizační odpor jednotlivých vzorků

V posledním grafu (Graf 6) jsou vidět rozdíly v korozním potenciálu jednotlivých vzorků. Tyto rozdíly nejsou nijak výrazné, nicméně vzorky 1, 5 a 6, které vykazují nejnižší korozní rychlost a nejvyšší polarizační odpor vykazují i nejvyšší korozní potenciál. Nejnižší korozní potenciál má tentokrát vzorek 2, čili porézní chrom bez jakéhokoliv plniva.



Graf 6: Korozní potenciál jednotlivých vzorků

8 Diskuze výsledků

Číselné výsledky v tabulce 5 vykazují jisté rozdíly mezi korozní rychlostí, polarizačním odporem a korozním potenciálem jednotlivých vzorků. Pro větší přehlednost byly naměřené hodnoty vloženy do grafů. Z grafů je patrné, že určitá závislost mezi složením vrstvy a korozními vlastnostmi této vrstvy opravdu existuje. Tuto skutečnost pozorujeme u vzorků 3, 4, 5 a 6, které se liší pouze objemem plniva v elektrolytu při chromování. Z grafu 2 je patrné, že se zvyšujícím se objemem plniva v elektrolytu poměrně výrazně klesá korozní rychlost. Nejvyšší korozní rychlost má vzorek 3 s 5g plniva UDDG na jeden litr elektrolytu, konkrétně 7 ± 2 $\mu\text{m}/\text{rok}$. Nejnižší korozní rychlost má vzorek 6 s 15g plniva UDDG na jeden litr elektrolytu, $0,2 \pm 0,1$ $\mu\text{m}/\text{rok}$. Vzorek 5, který by měl být stejný jako vzorek 6 má korozní rychlost $0,5 \pm 0,2$ $\mu\text{m}/\text{rok}$. Tento rozdíl může být způsoben nepřesností v měření, které je velmi citlivé na okolní vlivy. Podobně je na tom také vzorek 1, čili tvrdý chrom, s $0,33 \pm 0,06$ $\mu\text{m}/\text{rok}$. Co se týče polarizačního odporu v grafu 3, je také zřejmá souvislost. Polarizační odpor je přímo úměrný objemu plniva v elektrolytu při chromování. Zároveň tedy platí, že polarizační odpor je nepřímo úměrný obsahu uhlíku ve vrstvě. Nejvyšší hodnotu polarizačního odporu vykazuje vzorek 6, zde se ale nejspíše jedná o chybu měření. Proto je za nejvyšší hodnotu považována hodnota 37085 ± 10337 Ω vzorku 1, tedy tvrdého chromu. Následuje vzorek 5 (15g UDDG / 1l elektrolytu), pro naše porovnání důležitější, s 28268 ± 8834 Ω . Nejnižší polarizační odpor má naopak vzorek 3, 1885 ± 500 Ω . U korozního potenciálu v grafu 4 je opět vidět přímá úměra k objemu plniva v chromovací lázni, avšak rozdíly mezi jednotlivými vzorky nejsou moc výrazné. Nicméně nejvyšší korozní potenciál má, pomineme-li vzorek 6 jevící se jako chybně naměřený, vzorek 1, konkrétně -414 ± 20 mV a pro nás důležitý vzorek 5 -449 ± 20 mV. Nejnižší hodnota byla naměřena u vzorku 2, kterým je porézni chrom, -521 ± 27 mV. Vzorky 3 a 4 mají shodně -487 ± 14 mV a -489 ± 11 mV. Co se týče přesnosti a věrohodnosti výsledných hodnot bylo by lepší provést více než tři měření na každém vzorku. Směrodatná odchylka některých výsledků je vzhledem k hodnotě vlastního výsledku poměrně vysoká. Tyto odchylky jsou způsobeny náchylností procesu měření k mnoha vnějším vlivům. Pro určení závislosti plniva na korozní vlastnosti tyto jsou tyto výsledky dostačující.

9 Závěr

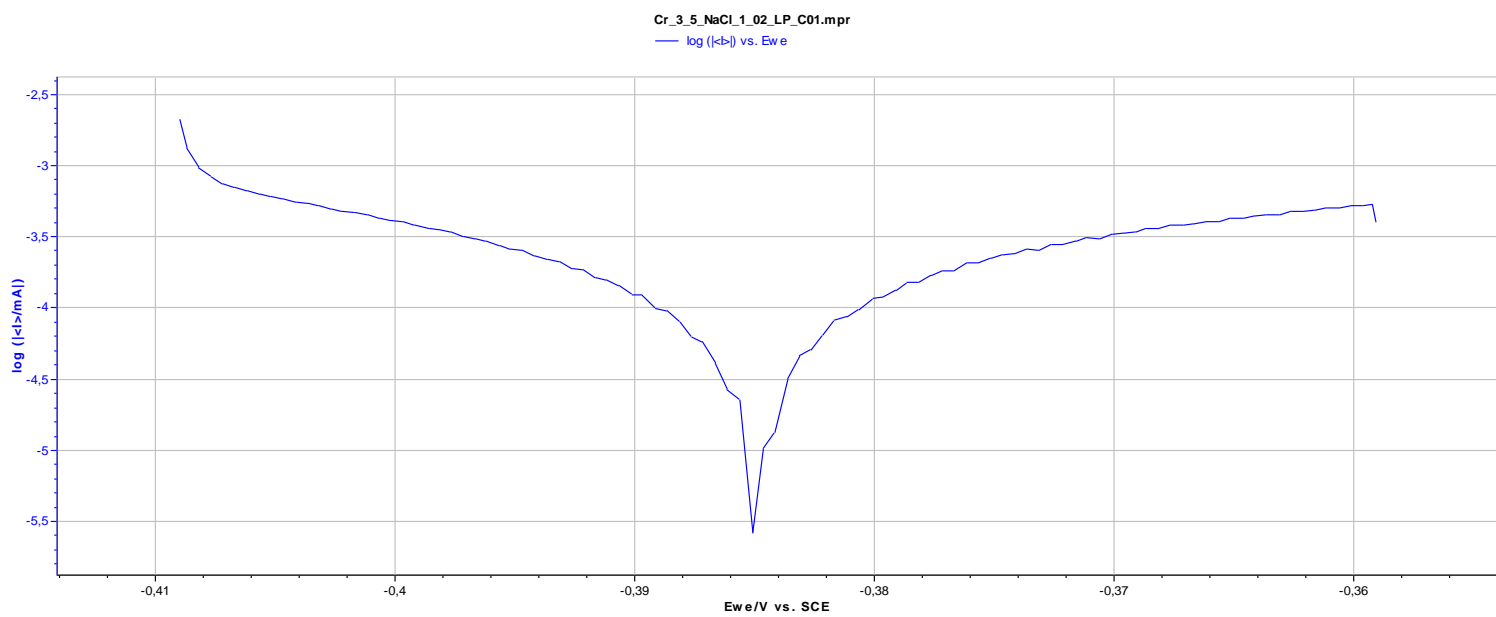
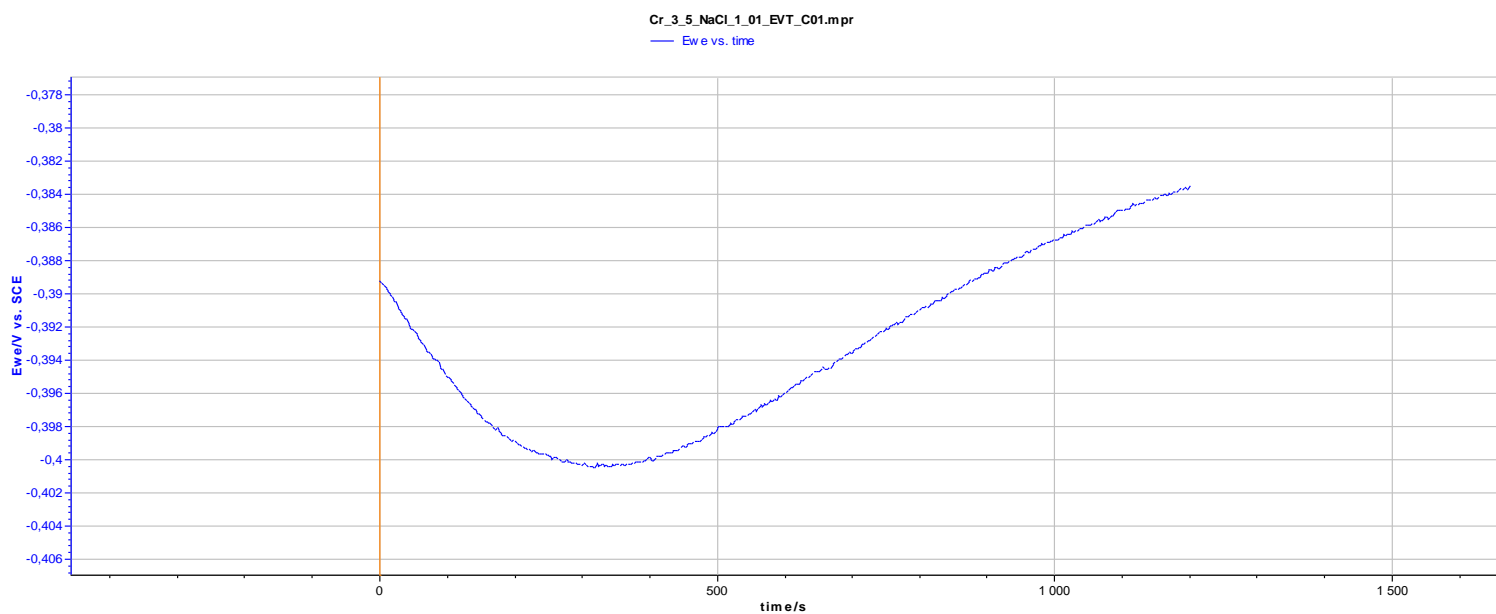
Tato práce se zabývala elektrochemickými vlastnostmi a korozní odolností kompozitních tvrdochromových povrchových úprav a korozi a chromováním obecně. V teoretické části byla objasněna problematika chromování a koroze. Byla zde popsána historie, principy, technologie a druhy chromování, dále vlastnosti chromových vrstev a kompozitní tvrdochromové povrchové vrstvy. Na chromování navazovala teorie koroze, kde byly nastíněny korozní principy, druhy koroze, korozní činitelé. Další kapitola se zabývala teorií testování korozních vlastností. V experimentální části byl navržen vhodný experiment a provedeno měření korozních vlastností, jako jsou korozní rychlost, korozní potenciál a polarizační odpor. Měření probíhalo na předem připravených vzorcích, kdy nás zajímaly hlavně rozdíly v korozních vlastnostech vzorků, u kterých bylo při depozici kompozitní tvrdochromové vrstvy použito stejné plnivo v různém množství. Rozdíly se měřením opravdu podařilo prokázat. Pro větší přesnost výsledků by bylo nutné provést větší počet měření pro každý vzorek. V této práci byly na každém vzorku byly provedeny tři měření. Naměřené výsledky jsou zcela dostačující pro prokázání souvislosti mezi korozními vlastnostmi a složením vrstev. Zjištěné souvislosti by mohli mít praktický význam při určování složení kompozitních tvrdochromových povrchových úprav.

10 Použitá literatura

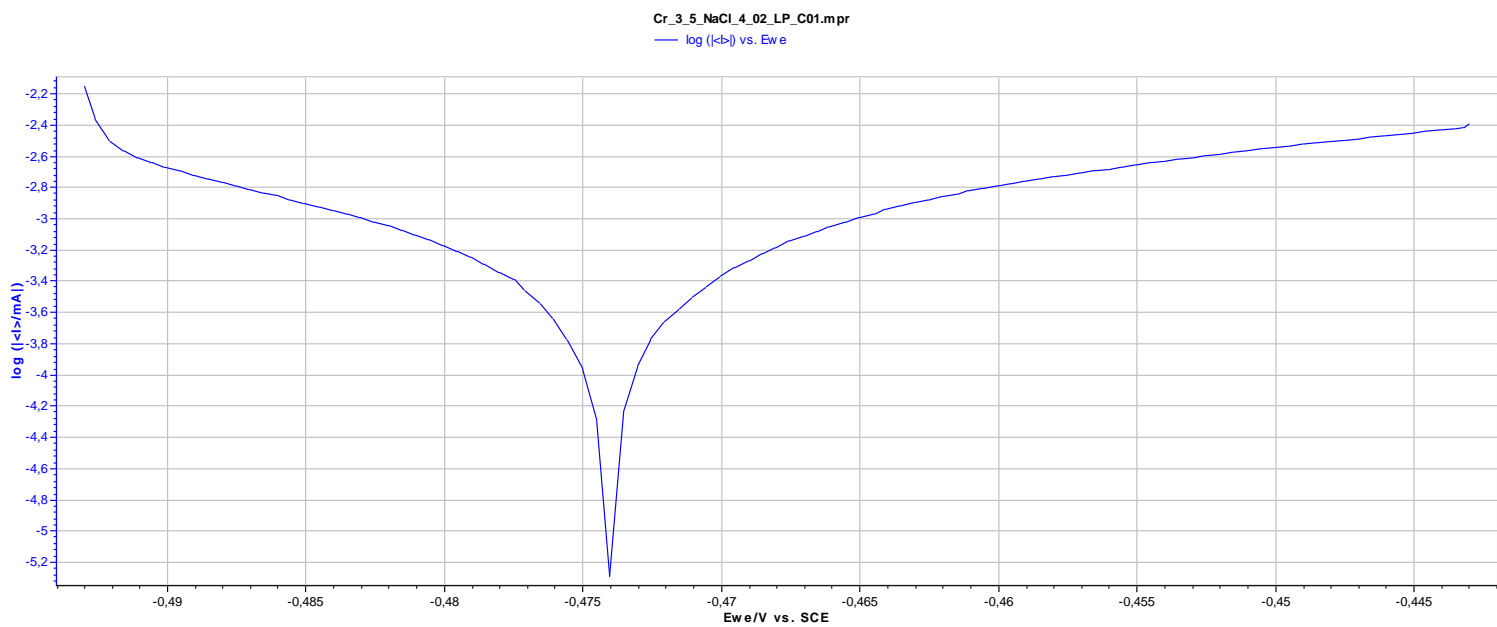
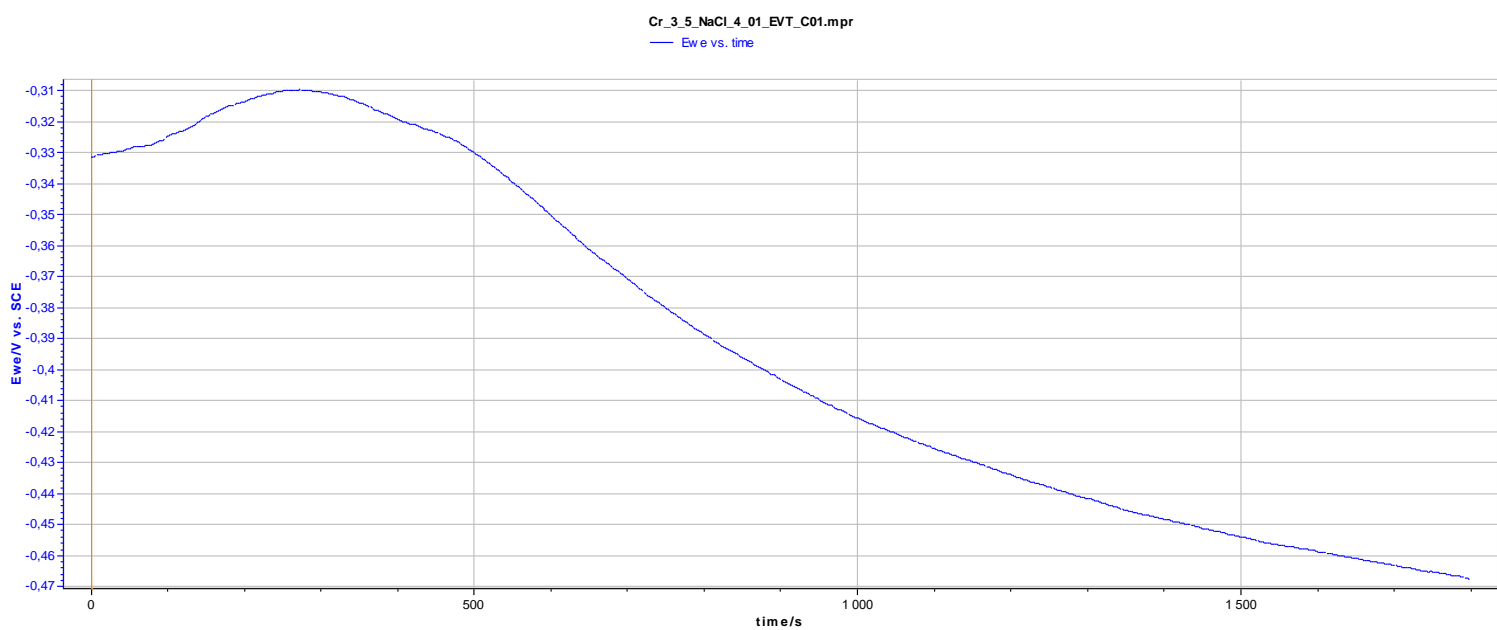
- [1] MUDROCH, O., Chromování, tvrdé a porosní povlaky, Vyd. 1., SNTL, Praha, 1959, Typové číslo L 13-BI-3-II/2368
- [2] CHOCHOLATÝ, O., Vlastnosti, zkoušení a vývoj kompozitních Cr povlaků pro pístní kroužky, Plzeň, 2012, Disertační práce, ZČU, Fakulta strojní
- [3] SUPERCHROM, [online], [cit.30.11.2015-22:03], Dostupné z: www.superchrom.cz/SUPER-CHROM.cz-fotoplus.php?foto=chromovany-dil-006.jpg
- [4] ESAKO, [online], [cit.30.11.2015-22:10], Dostupné z: www.eshop.esako.cz/editor/image/eshop_products_other_pictures/filename_3752.jpg
- [5] AUTO-KSPORT, [online], [cit 30.11.2015-22:15], Dostupné z: www.auto-ksport.cz/foto/max/fws_20120301005215_0.jpg
- [6] GALVANOVNA, [online], [cit 1.12.2015-15:57], Dostupné z: www.galvanovna.cz/image/s/foto/galo20.jpg
- [7] JONES, D. A., Principles and prevention of corrosion, 2nd ed., Prentice Hall, New York, 1996, ISBN 0-13-359993-0
- [8] Multimediální výukový projekt Korozní inženýrství, [online], [cit 2.12.2015], Dostupné z: www.old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/s_iproje.htm
- [9] MONHART, P., Studium vlivu zbytkových napětí na korozní vlastnosti, Plzeň, 2015, Bakalářská práce, ZČU, Fakulta strojní
- [10] KRÁL, V., Automatizované měření elektrických parametrů roztoků, Plzeň, 2013, Bakalářská práce, ZČU, Fakulta elektrotechnická
- [11] LAUSMANN, G. A., Chromium Plating, 1st ed., Eugen G Leuze Verlag, Bad Saulgau, 2007, ISBN 3-87480-228-0
- [12] SOARES, E., FERRARESE, A., BANFIELD, R., MAIER, K., Nanobor – reinforced chromium top ring coating for diesel engines application, SAE Technical Paper Series 2009-36-0179, 2009, ISSN 0148-7191

Přílohy:

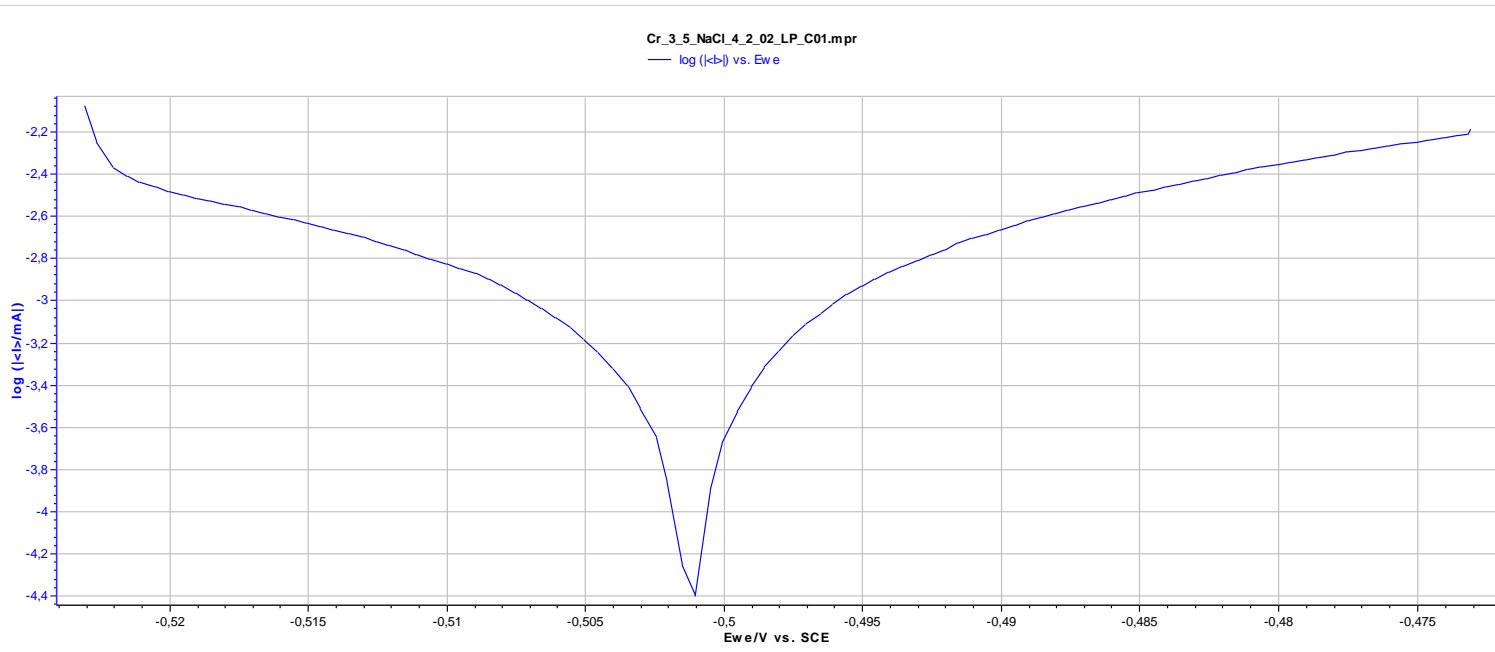
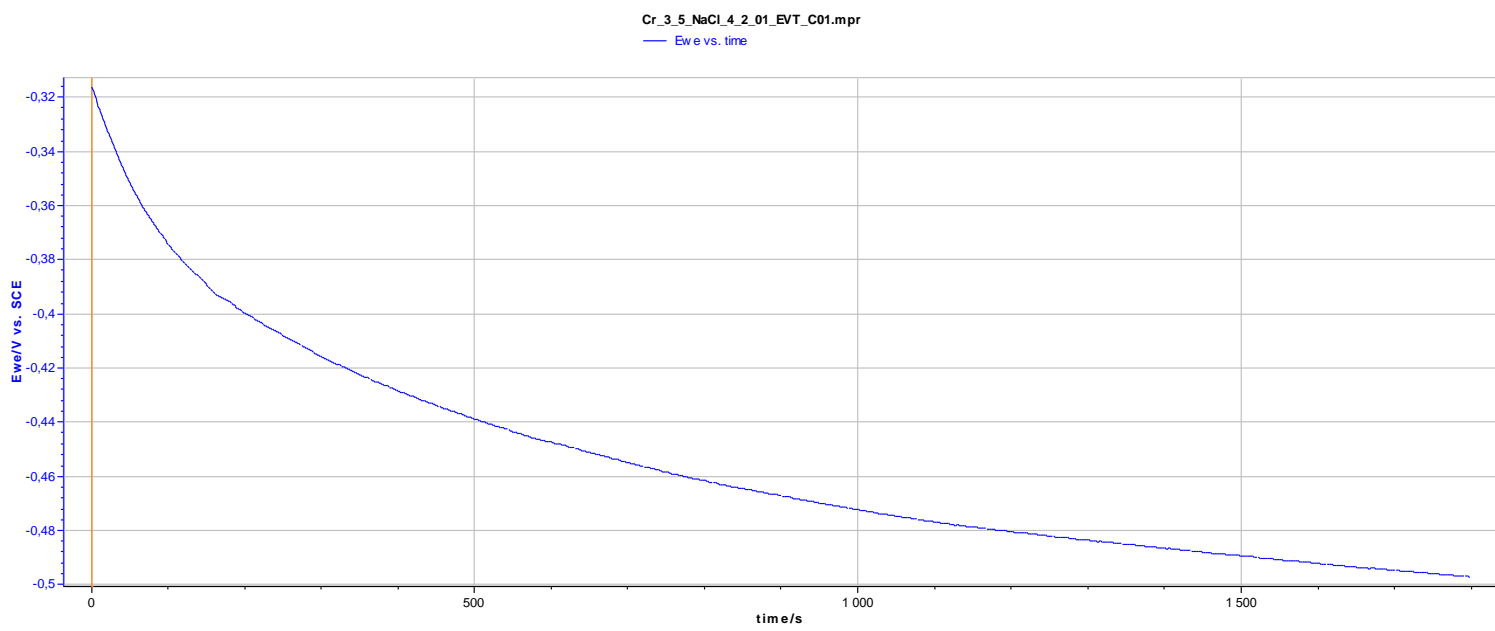
Vzorek 1 měření 1



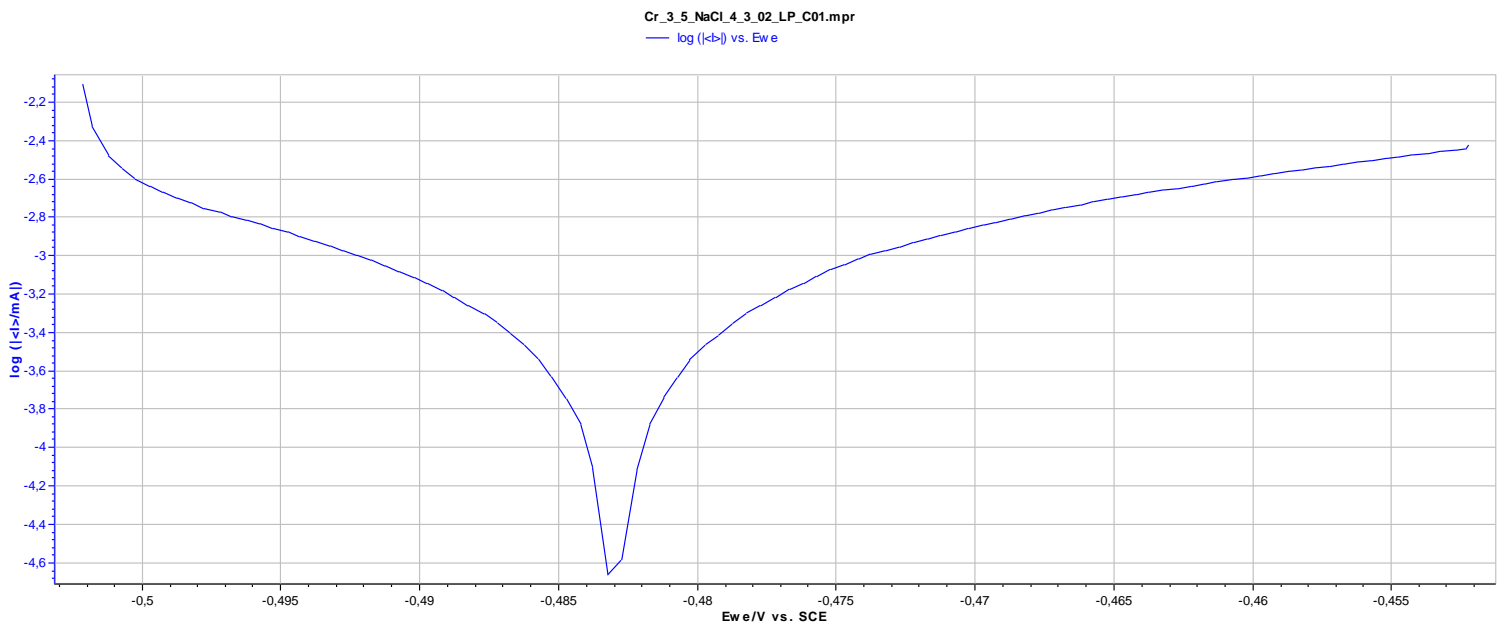
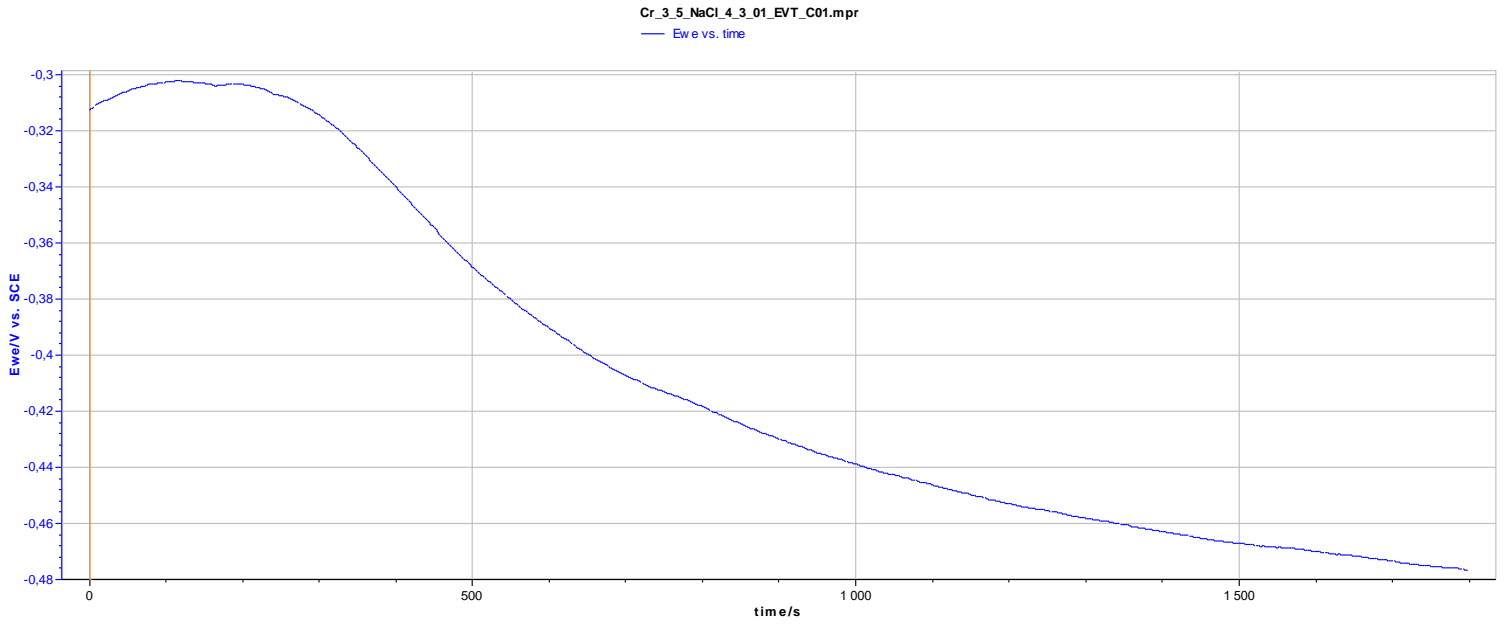
Vzorek 4 měření 1



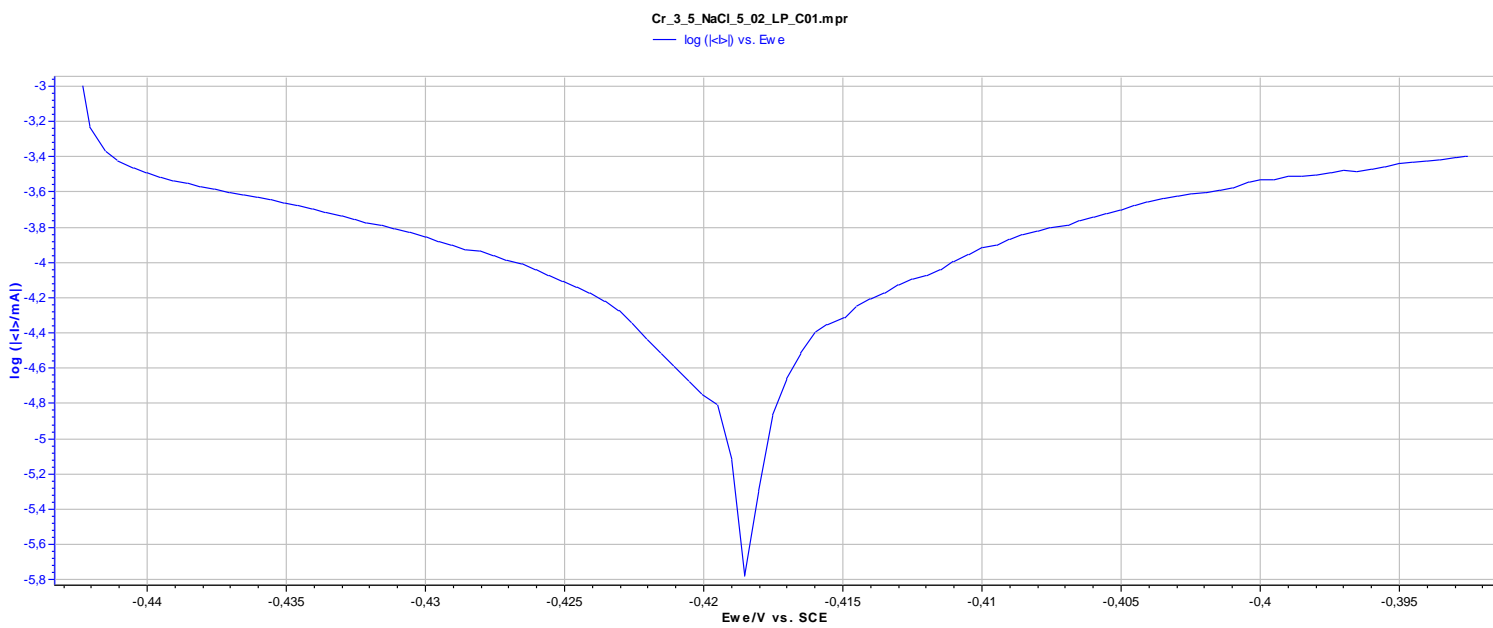
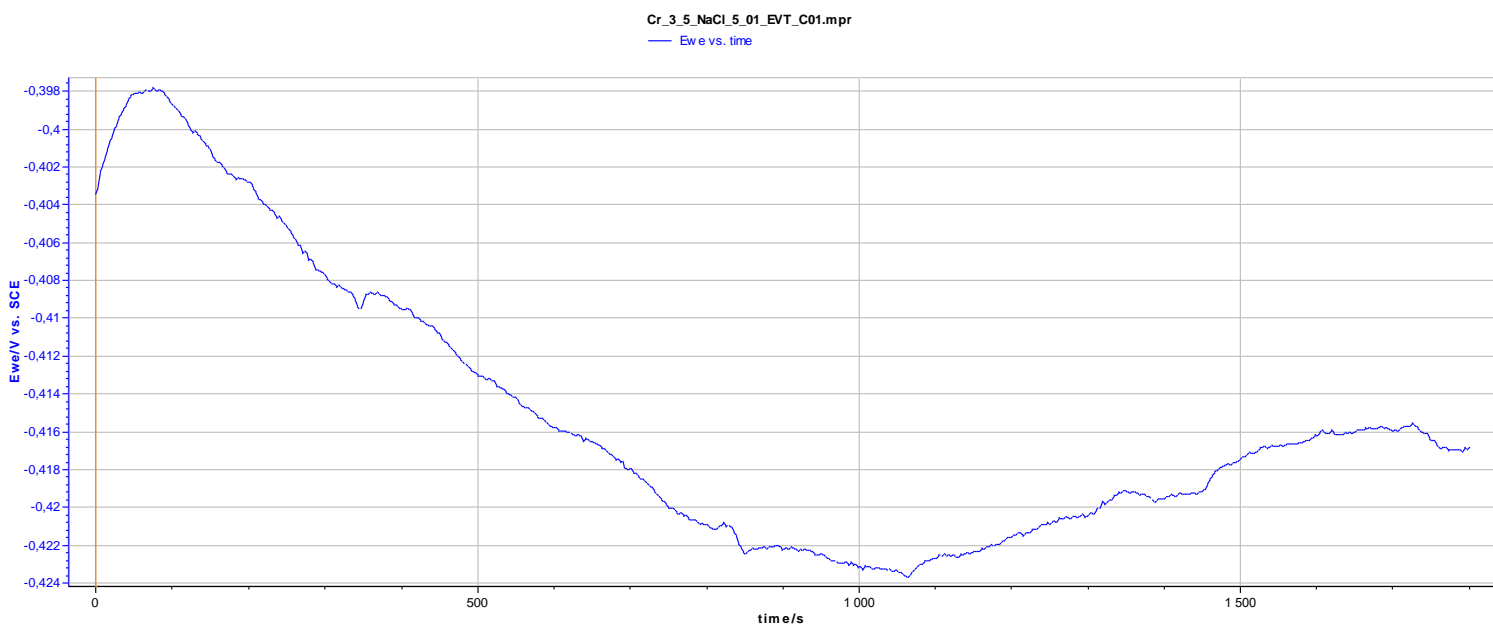
Vzorek 4 měření 2



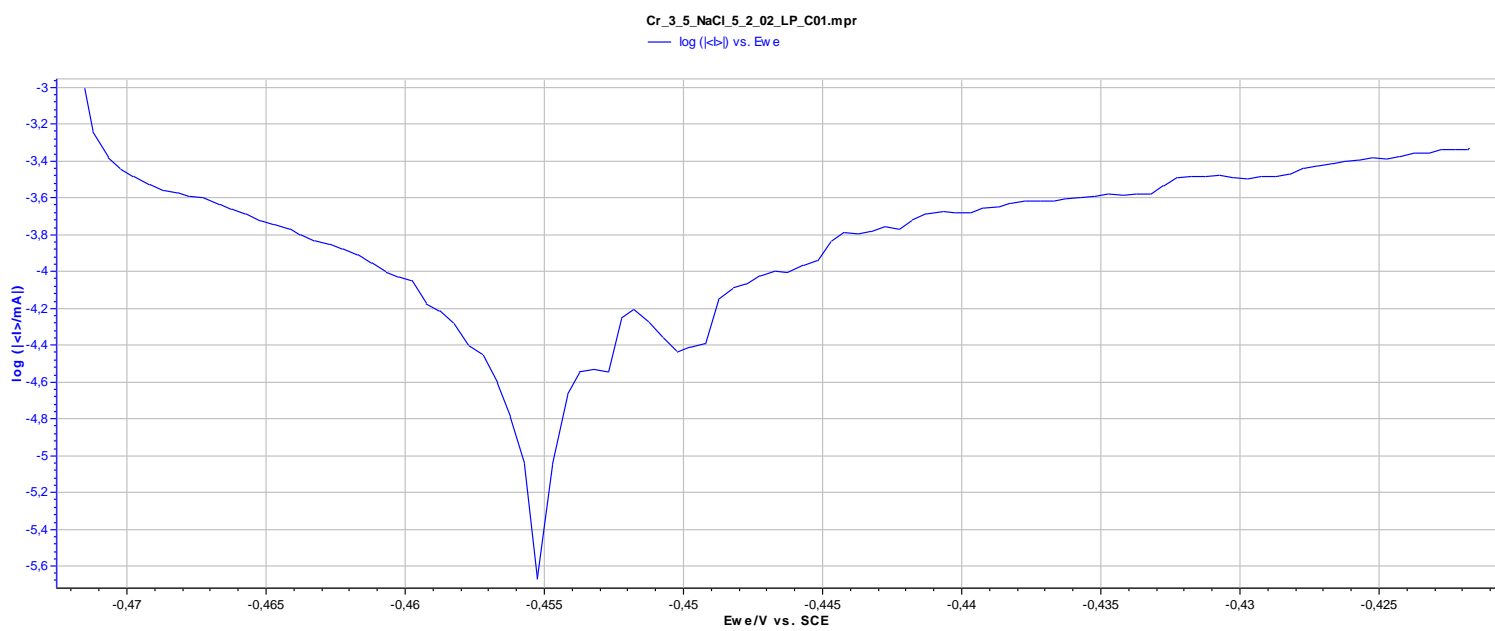
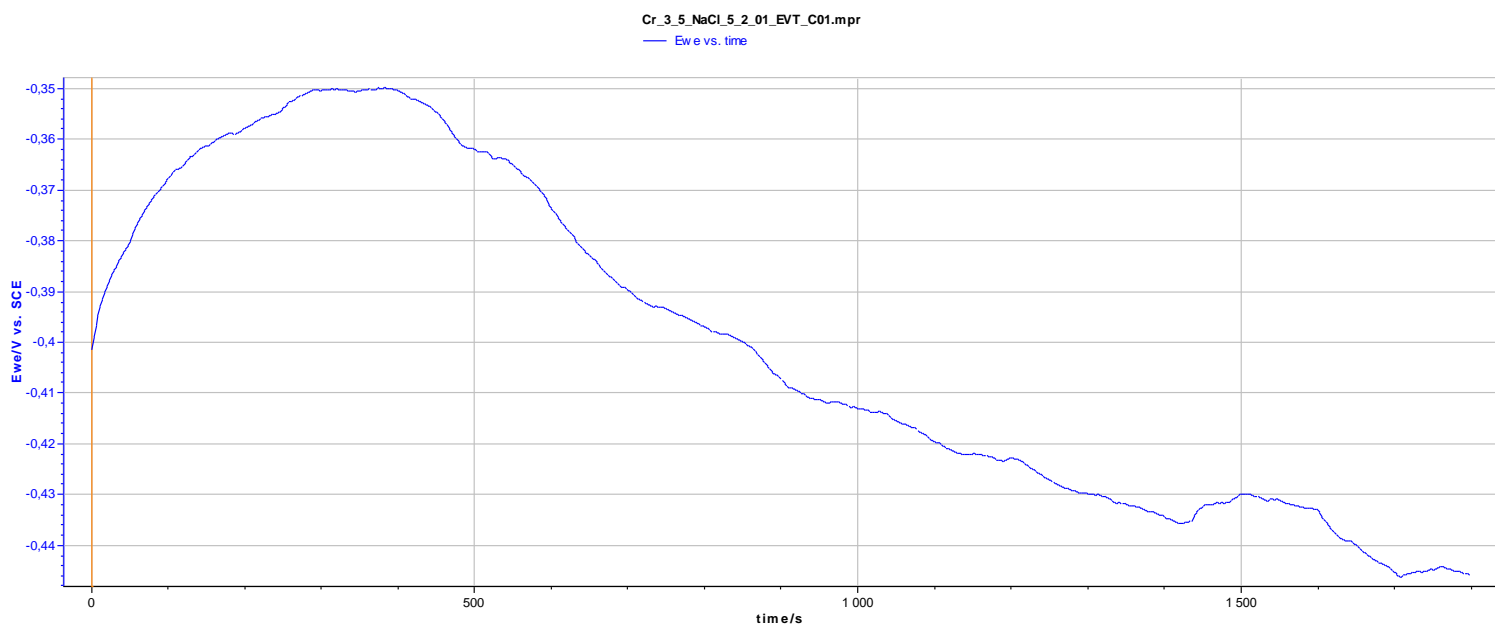
Vzorek 4 měření 3



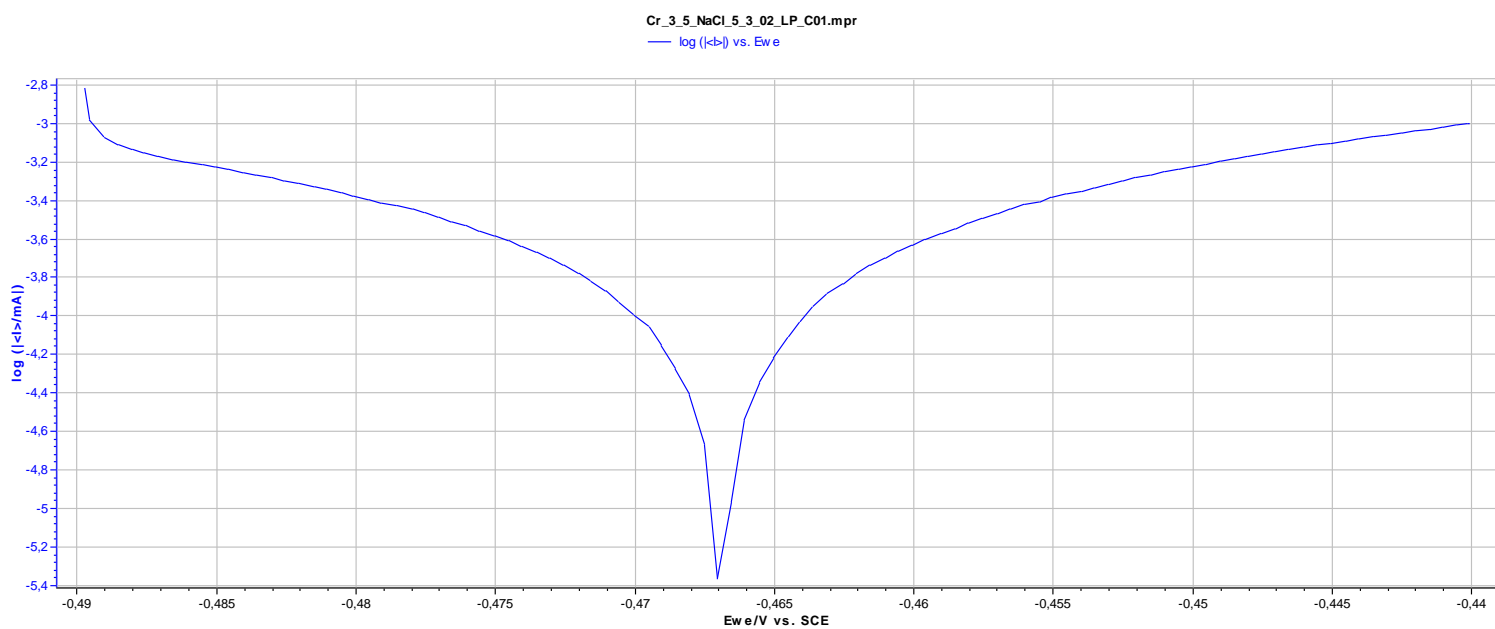
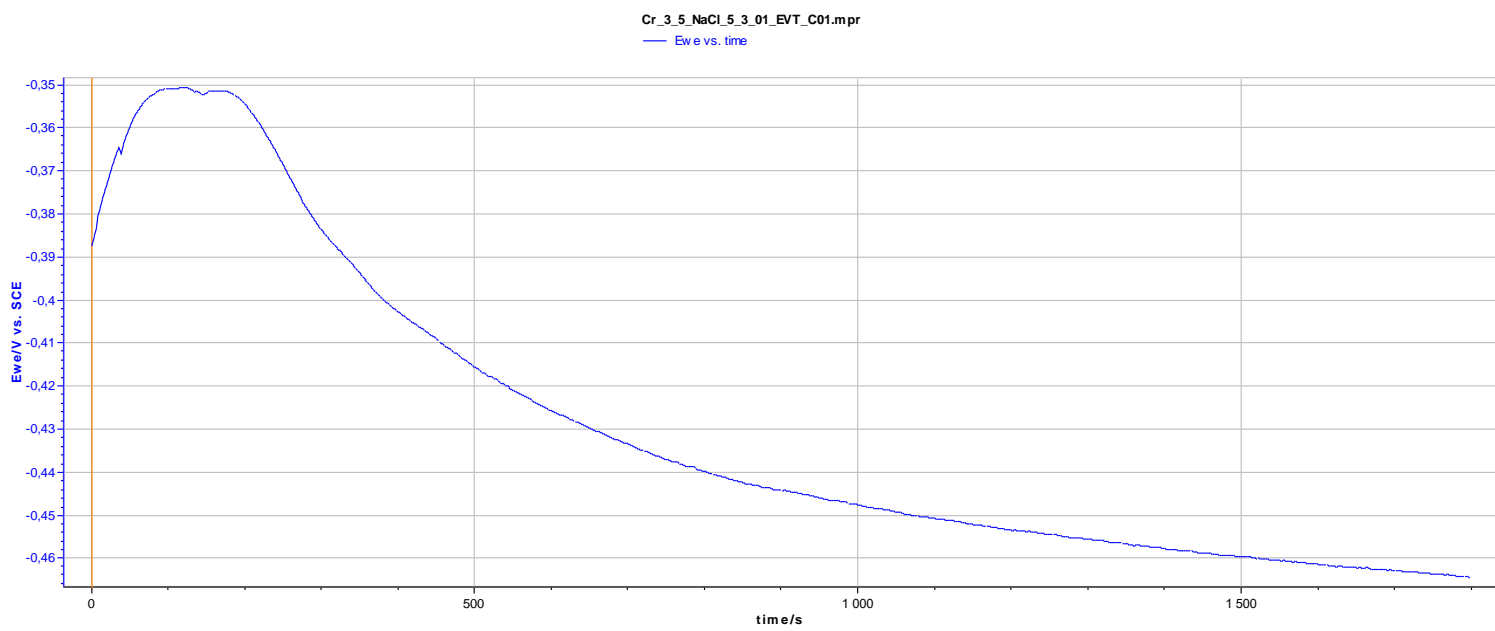
Vzorek 5 měření 1



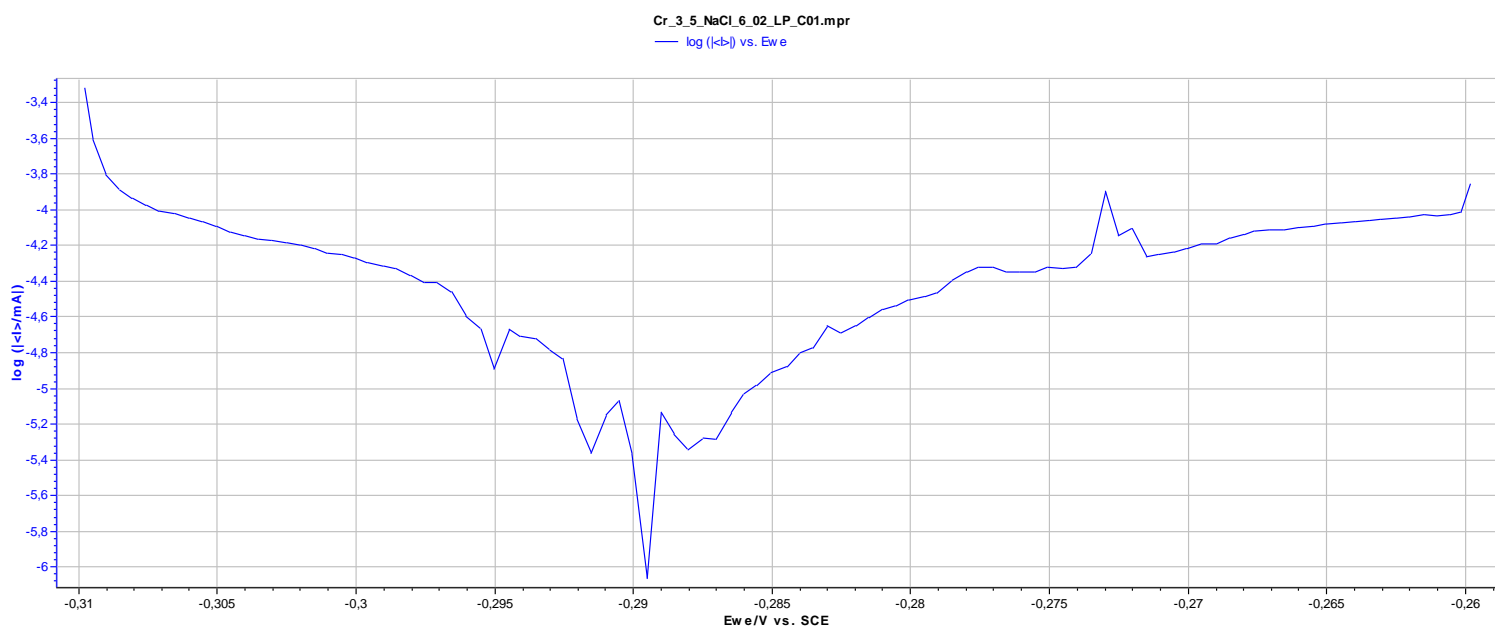
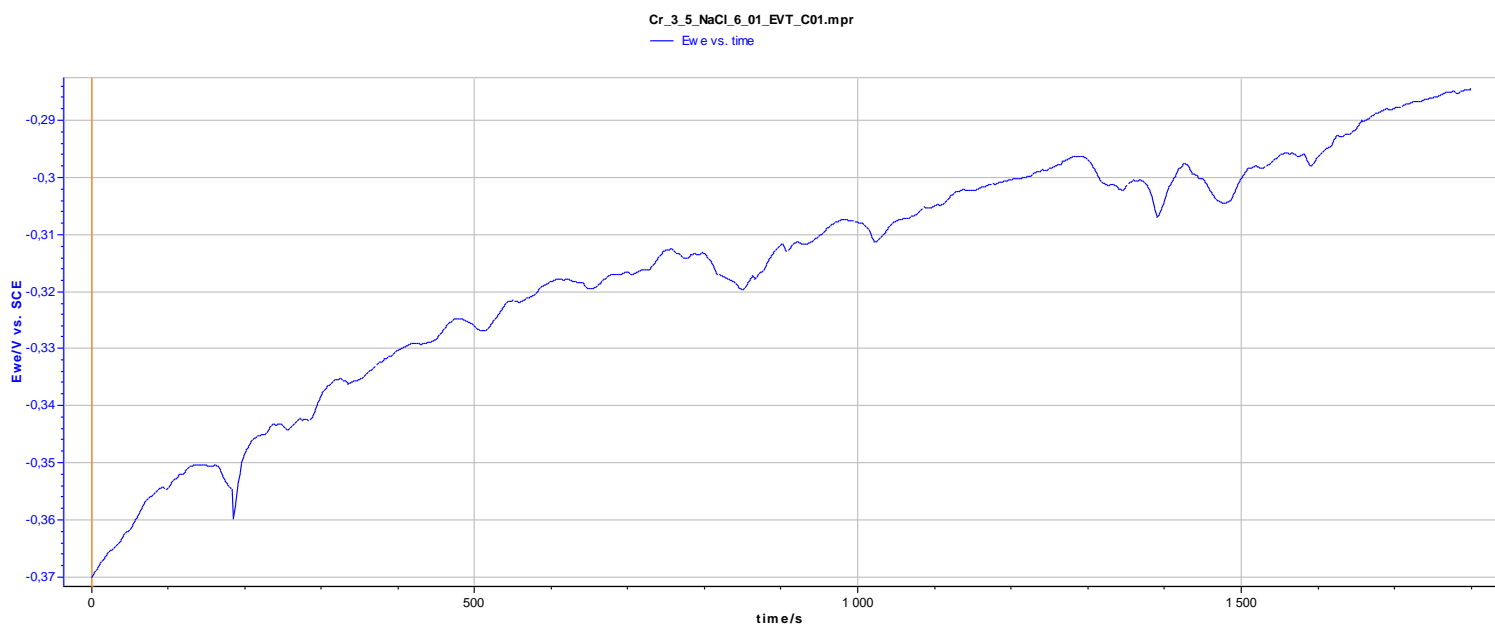
Vzorek 5 měření 2



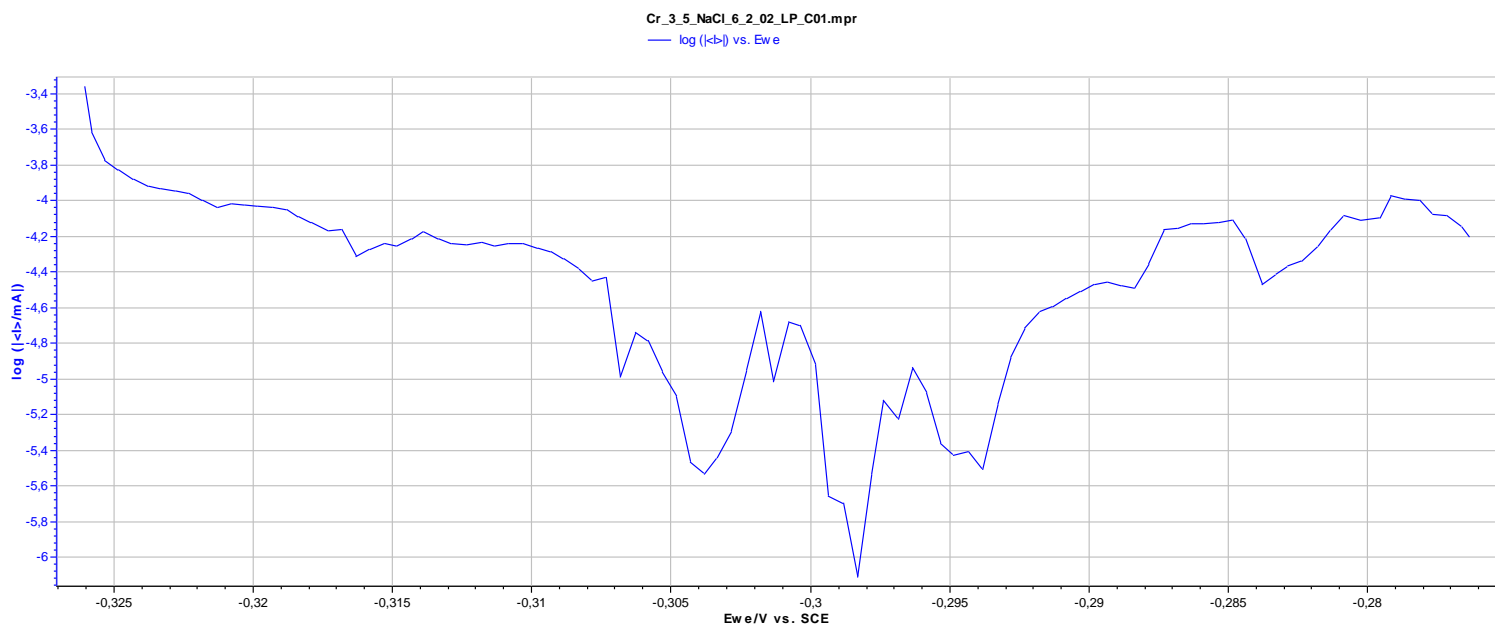
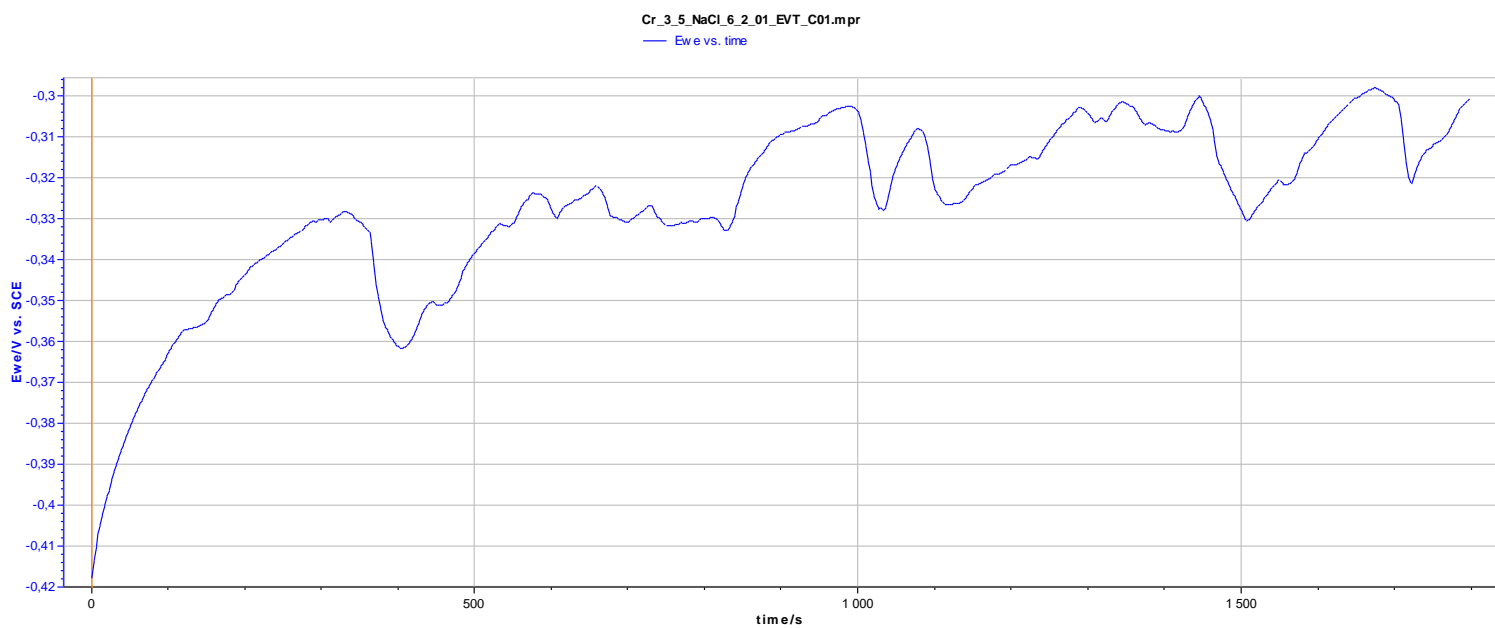
Vzorek 5 měření 3



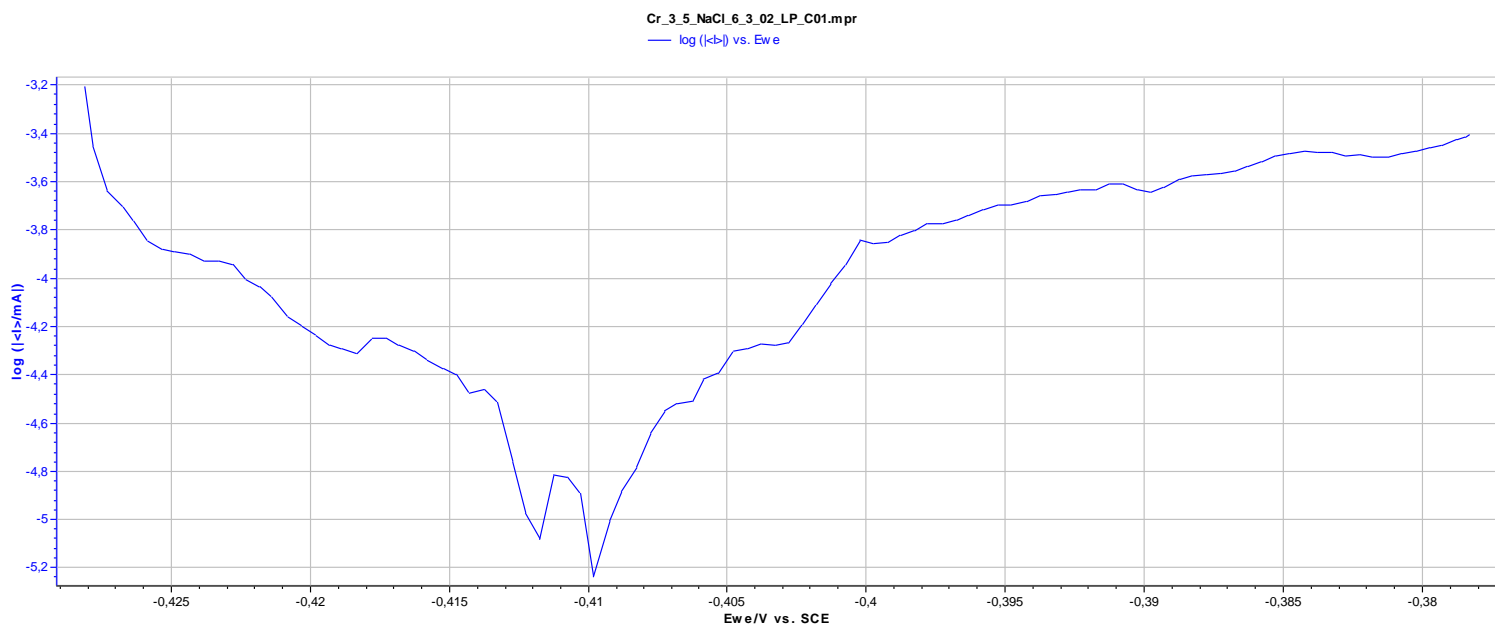
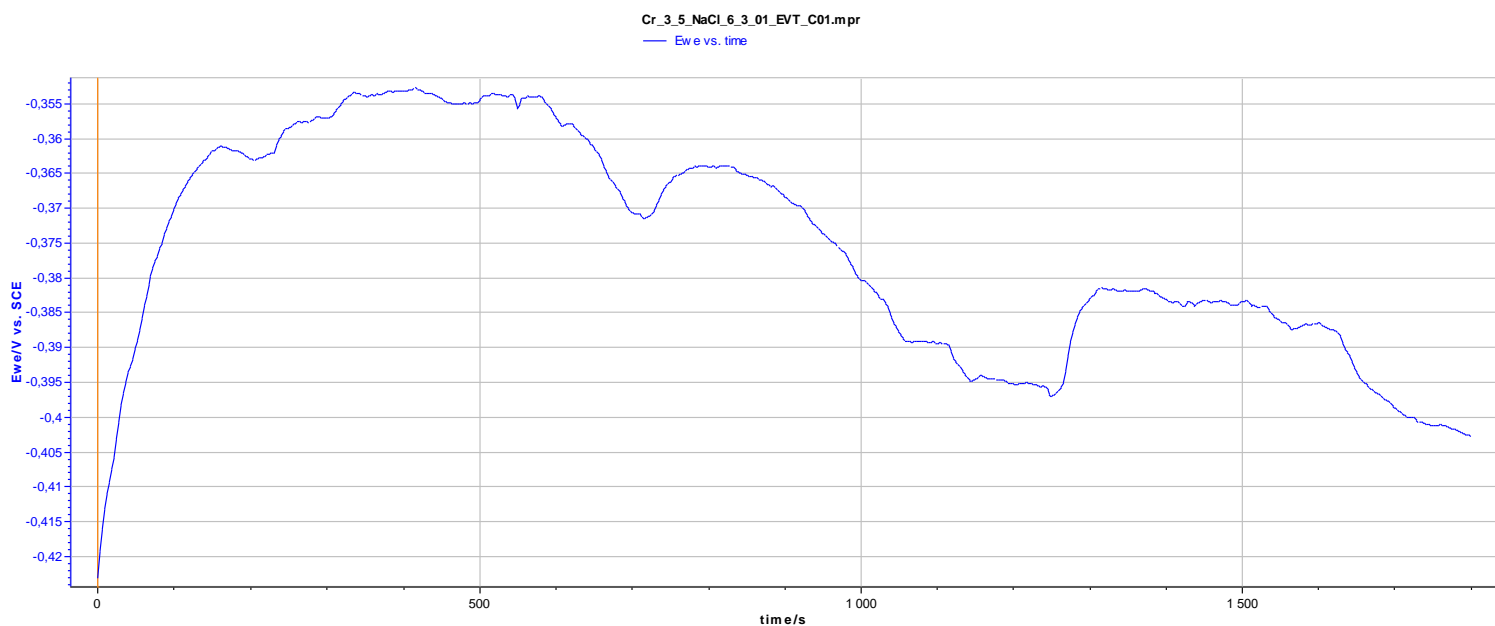
Vzorek 6 měření 1



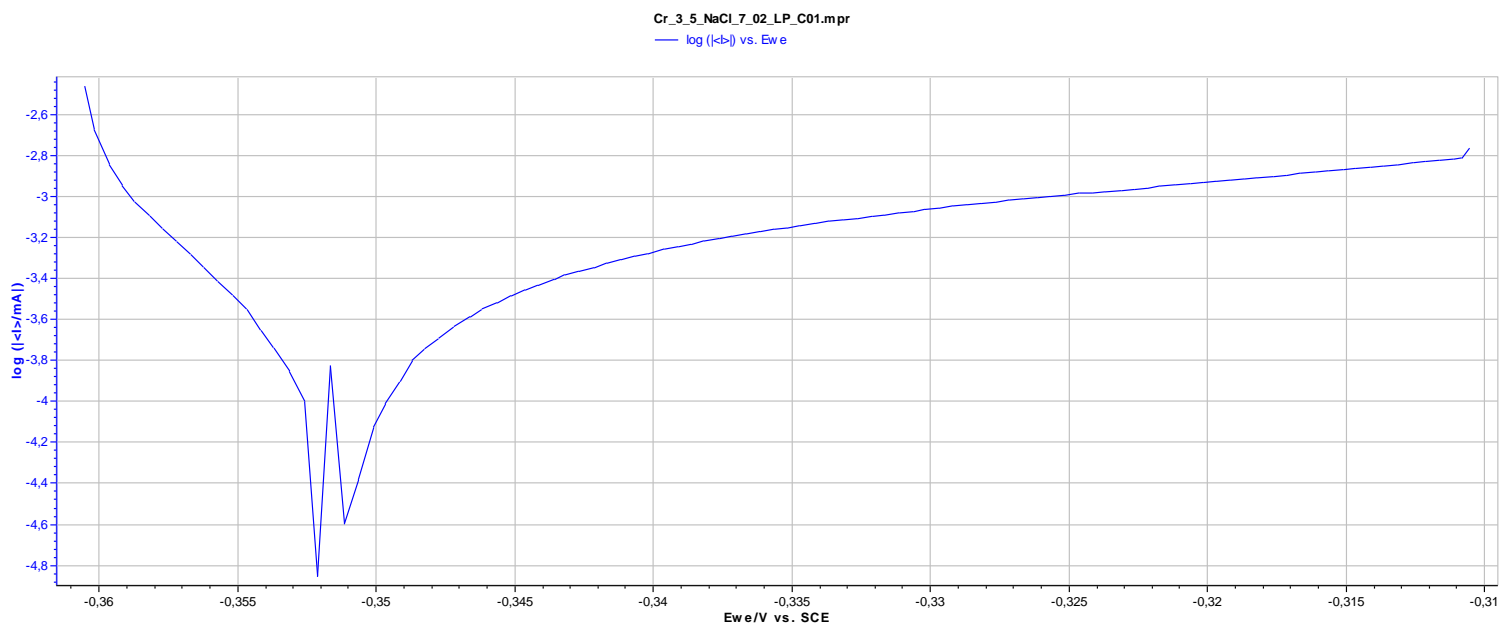
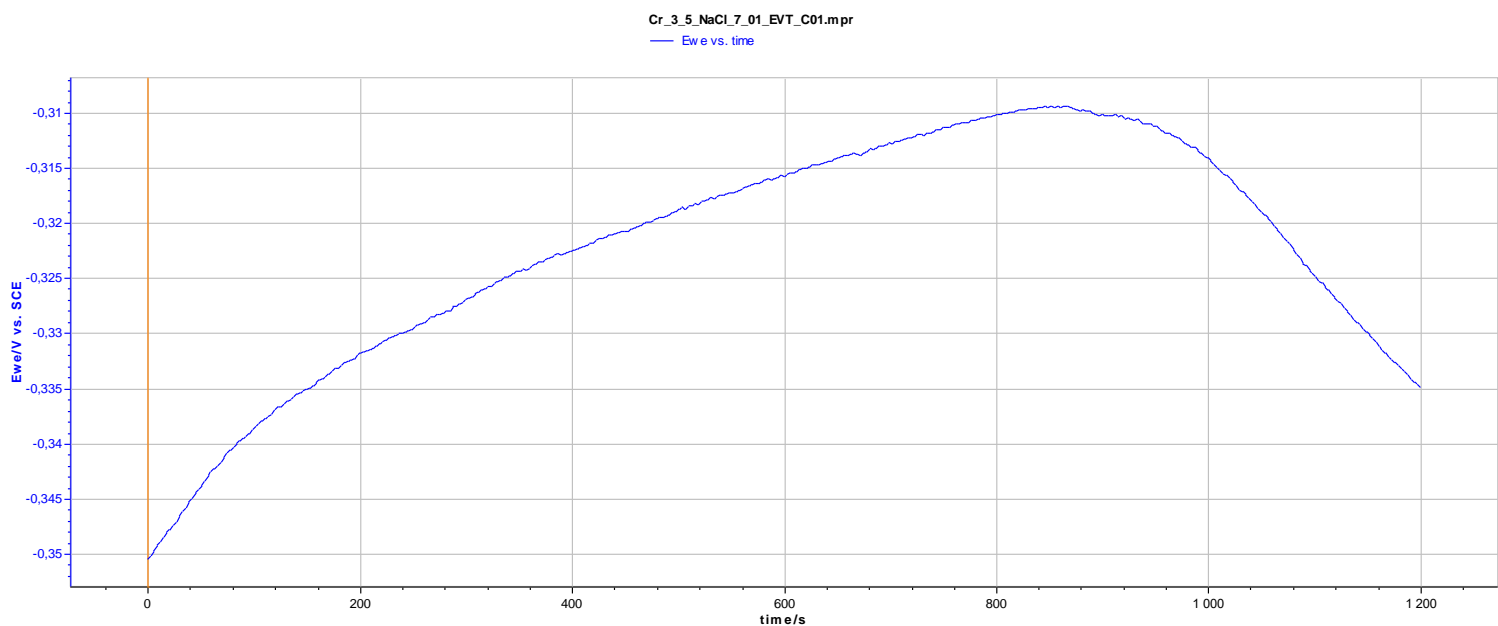
Vzorek 6 měření 2



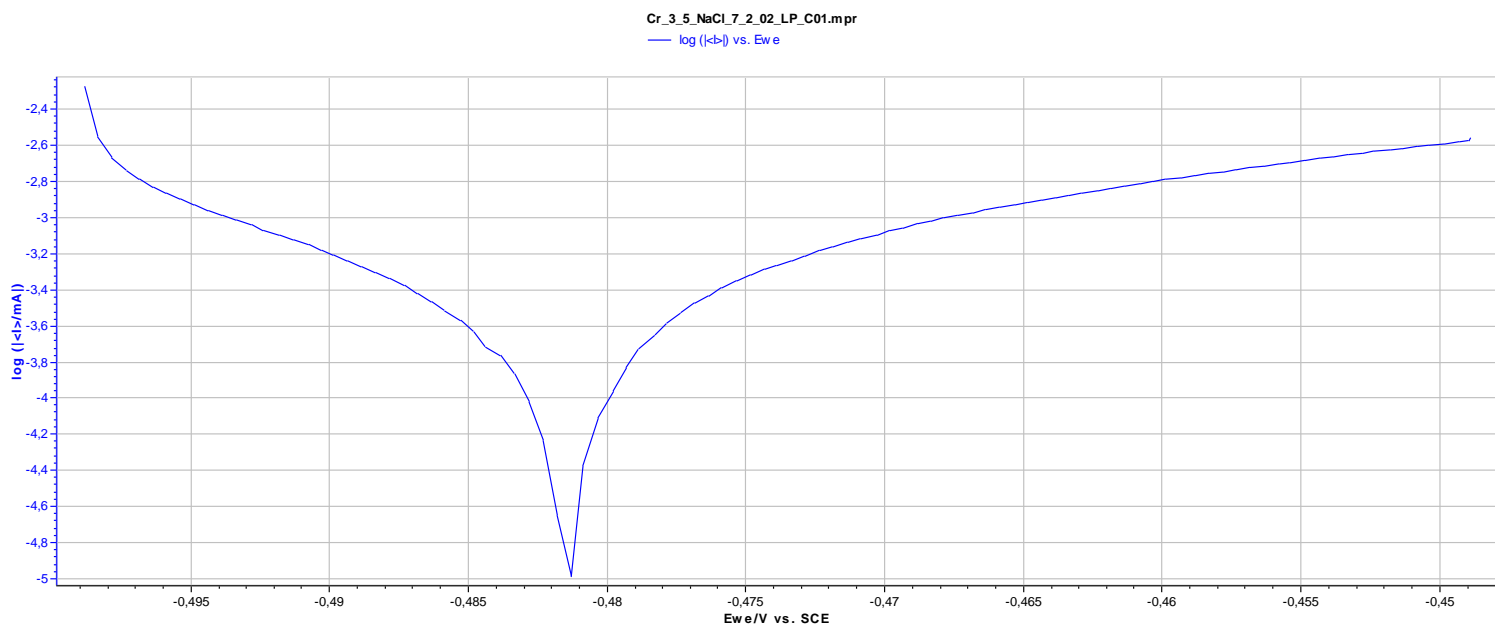
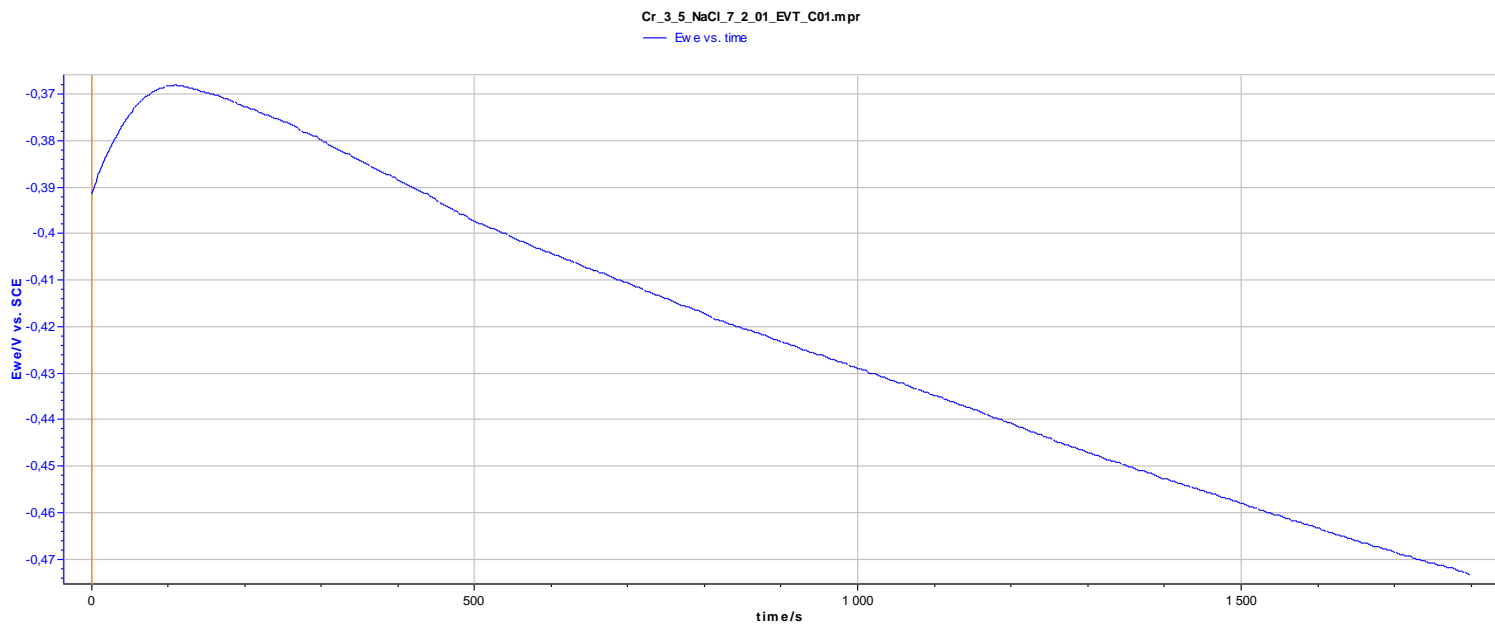
Vzorek 6 měření 3



Vzorek 7 měření 1



Vzorek 7 měření 2



Vzorek 7 měření 3

