Zhodnocení příčin vzniku defektních kovových povlaků na polymerním systému ABS

The assessment of causes of formation of defective metallic coatings on the ABS polymer system

Pokorný P.¹, Švadlena J.¹, Novák P.¹, Szelag P.², Šubert L.³

¹ VŠCHT Praha, Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství

² Pragochema, s.r.o.

³ ENTHONE, s.r.o.

E-mail: pokorny.vscht@gmail.com

Tento článek seznamuje čtenáře s problematikou galvanického pokovování polymerních materiálů typu ABS nebo ABS/PC. Zhodnocuje nejen vlastní technologii vzniku jednotlivých povlaků, tj. autokatalytických i galvanických na polymerních odlitcích, ale přibližuje čtenáři i vlastní specifické polymery vhodné pro povlakování. Druhá část článku studuje možné příčiny vzniku defektních povlaků na polymeru ABS poskytnutému k zhodnocení komerčním subjektem. Defekty v kovových povlácích a ve vlastním odkoveném polymerním odlitku byly zkoumány metodou rastrovací elektronové mikroskopie s využitím EDS analýzy.

The article briefs readers on the issues relating to galvanizing of ABS or ABS/PC polymer materials. Not only does it assess the technology of formation of different coatings, i.e. both autocatalyst and galvanic polymer casts but it also presents specific polymers suitable for coating. The other part of the article studies potential causes of formation of defective coatings on the ABS polymer provided by a commercial entity for assessment. The defects in metallic coatings and in the de-metallised polymer cast were studied using the raster electron microscopy, involving the EDS analysis.

ÚVOD

Galvanické pokovování obecně nevodivých polymerních systémů (nejčastěji ABS nebo ABS/PC) je z mnoha pohledů fenoménem v oblasti povrchových úprav. Schopnost vytvářet na podkladech z těchto materiálů dokonale přilnavé, oteruvzdorné povlaky s vynikajícími protikorozními vlastnostmi, zcela dostačující pevností a zároveň dokonalým kovovým leskem, posouvá další uplatnění galvanotechniky, a to především v automobilovém průmyslu a ve výrobě sanitární techniky. Zároveň je důležité si uvědomit, že výroba komponent ze zmiňovaných polymerů technikou vstřikování (teplota zpracování 210-250 °C) je spojená s mnoha výhodami. Je to právě nízká hmotnost, dlouhá životnost a především přijatelná cena, které umožňují designérům prakticky neomezené využití dílců z těchto materiálů.

Jako zcela bezpečně použitelný materiál pro galvanické pokovení se osvědčil zmiňovaný polymerní materiál ABS (akrylonitril-butadien-styren) nebo ABS/PC

(s podílem 45-85 % polykarbonátu). Opodstatnění využití těchto materiálů spočívá ve schopnosti vytvořit vhodný kotvící profil pro následné galvanické povlakování. V průběhu moření v kyselině sírové s přídavkem oxidu chromového dochází u těchto materiálů k rozpouštění butadienu a tvorbě především povrchových dutin (tzv. kaverny), které jsou vhodné pro ukotvení povlaků. Je prokázáno, že na takto předupravovaném povrchu se vytváří galvanické povlaky s vynikající přilnavostí.

Celá technologie pokovování polymerů typu ABS je velice komplikovaná. Na kvalitu vyloučeného galvanického povlaku má vliv široké spektrum faktorů. První z nich je kvalita samotného polymerního odlitku, především z pohledu v něm zakotveného vnitřního napětí. Vnitřní napětí v odlitku musí být minimální, aby nedocházelo k jeho uvolňování v průběhu povrchových úprav a tím k poškození vytvořených povlaků. Nesprávnou technologií výroby polymerního dílce lze dosáhnout vysoké míry vnitřního napětí, které může zabránit vytvoření již samotného kotvícího procesu

v průběhu moření. Hlavní vliv na vzniku vnitřního napětí v polymerních odlitcích hrají fyzikální vlivy v průběhu vstřikování polymeru typu ABS (řízení teploty v průběhu vstřikování a v průběhu chladnutí výrobku, doba a rychlost vstřikování). Významnou roli při tvorbě jakostních povlaků hraje rovněž přesné složení polymerního odlitku bez nečistot.

Ostatní faktory ovlivňující skladbu a kvalitu kovových povlaků na polymerním podkladu jsou obdobné jako v případě galvanického povlakování kovového povrchu. Stěžejní je opět konstrukce galvanických závěsů. Pokovované dílce je nezbytné vhodně zavěšovat na závěsy k rovnoměrnému rozložení proudové hustoty a tedy k vytvoření povlaků jednotnější tloušťky a vzhledu. Důležitou součástí závěsů je rovněž tvar a konstrukce kontaktů. Jejich geometrie v režimu upnutí nesmí vyvolávat pnutí v polymerním dílci, ale zároveň musí zajišťovat dostatečně pevné upoutání se zajištěním dobrého vodivostního spojení.

Obr. 1. Zjednodušený model povrchu polymeru typu ABS po moření, kulové částice butadienu jsou uloženy v matici akrylonitril-styrénu

Fig. 1. Simple model of ABS

Obr. 2. Skutečný snímek povrchu polymeru typu ABS po moření [1]

Fig. 2. Real surface of ABS after pickling

Technologie tvorby a skladba galvanického povlaku

Obvykle se polymerní dílce z ABS nebo ABS/PC pokovují povlakovým systémem CuNiCr s cílem dosažení kovového povrchu s dokonalým vzhledem a korozní odolností. Předúprava polymeru zahrnuje zvodivění povrchu, kompenzaci vnitřních pnutí, zajišťuje odolnost proti cyklickým změnám teploty a získání dokonalé přilnavosti. Blíží podrobnosti o povlakových systémech používaných na pokovení polymerů typu ABS, požadavcích na skladbu, vlastnosti a tloušťky povlaků lze nalézt zde [5,6]. Následuje bližší popis předúpravy povrchu polymerních dílců a následné povlakování systémem CuNiCr.

Leptání a následná neutralizace

Předúprava polymeru typu ABS je zahájena oxidačním naleptáním povrchu polymeru v lázni kyseliny chromsírové. Odleptáním částic butadienu se vytvoří kavovitá struktura povrchu. Vzniklé dutiny mají velikost od 0,2 μm do přibližně 1 μm. Leptací roztok pracuje při teplotě okolo 55-70 °C a doba leptání je přibližně 5-10 minut. Po moření následuje neutralizační oplach, jehož cílem je redukce šestimocného chromu na trojmocný, který se nesmí dostat do následujících procesů. Na Obr. 1 je zobrazen zjednodušený model povrchu polymeru typu ABS po aktivačním moření a následné neutralizaci. Obr. 2 zobrazuje vzhled povrchu ABS, snímek je pořízený elektronovým mikroskopem po moření.

Vyplnění kaveren galvanickými povlaky dokonale propojí tak nesourodé materiály, jako je polymer typu ABS a kov.

Aktivace povrchu

V aktivační lázni dojde k ulpění částic palladia společně s koloidními částicemi cínu na povrchu jak pokovovaného polymerního materiálu, tak také na izolaci závěsové techniky. Touto vrstvičkou pokrytý povrch neumožní využít autokatalytického efektu vyloučení kovové vrstvy, a proto je třeba koloidní částice odstranit v následné tzv. urychlovací lázni. Zde se vyplaví částice cínu ve formě chloridu cínitého a povrch polymeru ABS zůstane v kavernách pokryt krystalizačními zárodky palladia. Tyto zárodky následně umožní vytvoření vodivé vrstvy niklu nebo mědi z autokatalytických lázní na povrchu polymerního dílce.

Ze závěsové techniky, která je chráněna běžným nevodivým plastem, kde nedojde k vytvoření kavern, se palladium s koloidními částicemi cínu zcela odplaví.

Povlak mědi nebo niklu vyloučený bez přispění elektrického proudu (autokatalytická měď/nikl)

Vodivý povrch už umožňuje galvanické pokovení. Nejprve se vylučují vrstvy mědi (označené jako Cu a – tvárná měď s vyrovnávací schopností) z kyselých lázní

nebo niklu (označené jako Ni *dp* - tvárný, sloupcovitý nikl) elektrolyticky vyloučeného použitím speciálních lázní. Vrstva tvárného niklu může sloužit zároveň i jako základní vrstva dvojvrstvého niklového povlaku. Typ niklu požadovaný pro odolnost proti cyklickým změnám teploty lze získat elektrolytickým vyloučením z Wattsovy lázně nebo z amidosíranových lázní. Povlaky vzniklé z těchto lázní se vyznačují vysokou tažností a nízkým pnutím a neobsahující organická aditiva ani leskotvorné přísady, rovněž také ze speciálně formulovaných lázní dostupných u výrobců přípravků pro pokovování [5,6,7,8].

Galvanické mědění/niklování

Pro dosažení vyšší korozní odolnosti a životnosti se používají jednak dvojvrstvé i trojvrstvé niklové povlaky, jednak mikropórezní nebo mikrotrhlinkové povlaky chromu. Povlaky niklu rozhodují o korozní odolnosti povlakového systému. Obvykle se používá dvojvrstvý povlakový systém niklu. Principem ochrany tohoto způsobu je vytvoření dvou vrstev niklu s různým obsahem síry. Spodní vrstva (tzv. pololesklý nikl) téměř síru nemá (<0,005 % S). Na ní je vyloučena vrstva niklu s obsahem 0,04-0,15 % síry, která se označuje jako lesklý nikl. Obsah síry ovlivňuje termodynamickou stálost – ušlechtilost niklu. Rozdíl elektrochemických potenciálů obou vrstev je 80-120 mV. Při korozi dvojvrstvého niklu rozdílné elektrochemické chování způsobí, že se korozní napadení soustředí na méně ušlechtilou vrstvu lesklého niklu a nepostupuje do hloubky povlakového systému. Dalším vylepšením dvojvrstvého povlaku niklu je trojvrstvý niklový povlak, kdy se mezi pololesklý a lesklý nikl vyloučí ještě tenká vrstva (2-3 μm) niklu vysokým obsahem síry >0,15 %. Povlaky niklu se odlišují svou strukturou na řezu, pololesklý nikl má sloupcovou strukturu, zatímco lesklý nikl má lamelární strukturu. Dvojvrstvé a trojvrstvé povlaky se označují Nid.

Dalším způsobem dosažení vysoké korozní odolnosti jsou mikropórezní nebo mikrotrhlinkové chromové povlaky. Mikropórezní povlaky chromu se tvoří přes tenkou (2-3 μm) mezivrstvu kompozitního niklového povlaku (Ni Seal). V kompozitním povlaku niklu jsou zabudovány nevodivé částice. Při chromování se na místech, kde částice vyčnívají z povlaku Ni Seal, nevyloučí chrom a vzniknou póry v chromovém povlaku. Při působení agresivního korozního prostředí se pak korozní napadení rozptýlí do velké plochy pórů a nesoustředí se jen na několik kritických míst chráněného povrchu. Pro dosažení dobré funkce se musí vytvořit více než 10 000 pórů na cm^2 . Obdobné nespojitosti ve vrstvě chromu vznikají při vytváření mikrotrhlinkových chromových povlaků. Nejčastěji se vytváří pomocí tenké vrstvy povlaku niklu s tak vysokým tahovým pnutím, že povlak niklu a chromu rozpraská pravidelnou sítí trhlinek. Také zde musí, pro dobrou funkci mikrotrhlinkovém povlaku, vniknout alespoň 250 trhlinek na cm^2 .

Povlaky niklu zajišťují také konečný vzhled povlakového systému, protože vrstva chromu jen kopíruje vzhled konečné vrstvy niklu. Obvyklý je vysoce lesklý povrch, který se získá z niklových lázní s vyrovnávací schopností. Někdy je výhodnější použít povlaky s rozptýleným leskem, kterým se říká saténový lesk. Tyto povlaky se získávají ze speciálních niklovacích lázní, které se použijí na místo lesklého niklování nebo se aplikují na vrstvu lesklého niklu.

Galvanické chromování

Poslední vrstvou povlakového systému CuNiCr je chrom. Vylučuje se jen velmi tenká vrstva chromu (0,3-0,7 μm), obvykle z chromovacích lázní na bázi oxidu chromového. Zajišťuje dlouhodobě stálý dekorativní vzhled povrchu povlakového systému. V poslední době, v souvislosti s restrikcí používání chromu v oxidačním stavu VI, se začínají používat i chromovací lázně na bázi Cr^{III} . Vzhled povlaků z těchto elektrolytů se však mírně liší od obvyklých chromových povlaků. Postrádají typický studený namodralý odstín barvy klasických chromových povlaků, mají šedavý nádech. Povlaky dekorativního chromu se označují Cr r, mikrotrhlinkového chromu Cr mc a mikroporezního chromu Cr mp.

Sušení

Obdobně jako u ostatních povrchových úprav je jejich sled dovršen dokonalým oplachem. Několikastupňový oplach je zakončen oplachem v demineralizované vodě. Následuje jejich sušení proudem teplého vzduchu v sušící vaně [1].

Skladba a tloušťky povlakového systému se mění podle požadované korozní odolnosti (stupně provozních podmínek). Identifikaci povlakového systému umožňuje normalizované označení [5]. Například povlak s 15 μm tvárné mědi a 30 μm dvojvrstvého nebo trojvrstvého niklu s mikropórezním povlakem chromu se označí takto: *Elektrolytický vyloučený povlak ISO 4525 - PL/Cu15a Ni30d Cr mp*.

Mezivrstvy potřebné k získání vodivého povlaku a mezivrstva Ni Seal se v označení neobjeví. Čísla za označením povlaku chemickou značkou určují tloušťku povlaku. Jeden z příkladů skladby povlaků na povlakovaném polymeru ABS je modelován na Obr. 3

Následující podkapitola shrnuje jednotlivé procesy po technologické stránce a dodržuje jejich souslednost tak, jak jsou postupně na povrch polymerního dílce aplikovány na testované díly [1,2].

Zkoumané díly byly pokoveny podle následujícího technologického postupu:

1. Naleptávání v roztoku kyseliny sírové oxidu chromového,
2. aktivace povrchu,
3. vylučování autokatalytického niklu,

4. vylučování autokatalytické mědi,
5. galvanické mědění,
6. galvanické niklování,
7. pololesklý nikl,
8. lesklý nikl,
9. mikrotrhlinkový nikl,
10. galvanické chromování,
11. sušení.

Obr. 3. Příklad skladby povlaků na ABS polymeru s naznačením obvyklé tloušťky jednotlivých povlaků
Fig. 3. Typical coating composition on ABS

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V rámci práce byla studována možná příčina vzniku tvorby nejakostních povlaků na menších kruhových profilech a větších profilech tvaru elipsy z polymeru ABS poskytnuté komerčním subjektem. Na chromovaných dílech lze už pouze vizuálně pozorovat lokálně vzniklé trhlinky a vrásky šířící se nejčastěji příčně povlakovaným dílem.

Na základě odborné diskuze, s ohledem na nejčastější příčiny tvorby defektních povlaků při systémovém povlakování ABS polymerů, bylo stanoveno, že nejfrekvencovanější příčinou tvorby povlaků s lokální tvorbou trhlinek a vrás je zabudované vnitřní napětí v polymerním odlitku. Lokálně zabudované napětí v odlitku může vyvolat tvorbu nespojitých povlaků, které se zvyšuje v závislosti na počtu vyloučených kovových vrstev. Lokalizace vzniklých trhlin v místech ohybu polymerních odlitků zvyšuje pravděpodobnost zapříčinění defektů vlivem zabudovaného vnitřního napětí.

Vnitřní napětí v materiálu odlitku se sčítá s napětím galvanického povlakového systému, a proto nelze opominout i vliv vnitřního pnutí jednotlivých vrstev galvanických povlaků. Rozhodující jsou napětí v niklové vrstvě dvojvrstvého niklování. Napětí tenkých vrstev povlakového systému má malý vliv a galvanická vrstva

mědi má nízké napětí. Tažnost měděného povlaku vyrovnává napětí mezi polymerním odlitkem a niklovou dvojvrstvou. Složení leskotvorných přísad pro niklovací lázně je optimalizováno tak, aby vnitřní napětí povlaků bylo minimalizováno. Platí to zejména pro optimální dávkování leskotvorných přísad. Napětí v povlaku z provozních lázní však může ovlivňovat i obsah organických nečistot a rozkladných produktů leskotvorných přísad, dávkování přísad pro kompenzování elektrochemické spotřeby přísad apod. Měření vnitřního napětí galvanických povlaků je složité a provádí se pokovením ve speciálních přístrojích [4], v provozních podmínkách se obvykle neprovádí. Ve vyloučených povlacích povlakového systému se již napětí jednotlivých vrstev ani celkové napětí v povlakovém systému zpětně určit nedá.

Proto u obou druhů vzorků se výzkum zaměřil na odhalení defektů a nehomogenit v povrchové vrstvě ABS polymeru s cílem nalézt příčiny koncentrace vnitřních napětí a vyvolání prasklin. Nejdříve byla dokumentována morfologie vzniklých trhlin a vrás prostřednictvím rastrovací elektronové mikroskopie v režimu SE a okrajově i v BSE. Režimem SE (tj. sekundární elektrony) sledujeme povrch vzorku z hlediska topografie. V režimu BSE (zpětně odražené elektrony) sledujeme chemický kontrast. Elektrony totiž vycházejí z větší hloubky a reagují citlivě na změnu složení ve sledované části vzorku (tj. na změny průměrného protonového čísla). Prostudováno bylo rovněž složení povlaku uvnitř samotné trhliny a mimo ni metodou EDS. Následně byl polymerní díl odkoven v koncentrované kyselině chlorovodíkové (38 %) a po oplachu a sušení byl pozlacen vrstvičkou zlata o tloušťce přibližně 100 nm. V místech dříve pozorovaných trhlin a vrás byl povrch opět zkoumán rastrovací elektronovou mikroskopií, tentokrát nejen v režimu SE, ale i v režimu BSE. Cílem bylo prostudování vlivu případného vnitřního napětí v ABS polymeru na integritu generovaného povlaku zlata.

Kruhové vzorky

Nejdříve došlo k dokumentaci vzniklých trhlin pomocí rastrovací elektronové mikroskopie na neupraveném povrchu (SEM: TESCAN VEGA 3-LMU). Trhliny jsou jasně viditelné i při relativně nízkém zvětšení (Obr. 4.) Podél příčné trhliny jsou viditelné výčnělky, jejichž šířka je přibližně 8 µm (Obr. 5.). Tloušťka vlastní trhlinky je několikanásobně menší.

V dalším kroku byla provedena systematická analýza složení výčnělků, vizuálních nehomogenit a vlastního povlaku (Obr. 6.). Výsledky složení bodové analýzy je zobrazeno v Tab. 1. Z výsledků je zřejmé, že výčnělky a nehomogenity nejsou tvořeny nečistotami, nebo dokonce vyloučenými cizorodými kovy. V místech poškození povlaku dochází k navýšení proudové hustoty vlivem vzniku ostrohranné trhliny a k drobnému nárůstu

tloušťky povlaku. Příčinou vzniku nehomogenit ovšem můžou být i zabudované nečistoty v předchozích povlácích nebo koncentrace napětí v místech porušení. Ovšem ani jedno nelze na základě EDS analýzy zcela potvrdit nebo vyloučit.

Obr. 4. Snímek trhlinek a vrás v povlaku při nízkém zvětšení
Fig. 4. Morphology of the coating

Obr. 5. Zobrazení šířky výčnělků
Fig. 5. Width of peaks

Následovala bodová EDS analýzy trhliny s cílem ozřejmit kompaktnost nejsvrchnější chromové vrstvy (Obr. 7. a Tab. 2.). Na základě proběhlé analýzy bylo ověřeno, že trhlina je vedena celým chromovým povlakem až na mikroporézní nikl, rovněž ovšem tato vrstva povlaku nemusí být kompaktní.

Při skenování pozlacených vzorků v oblasti dříve snímaných defektů při relativně malém zvětšení se zdá povrch relativně hladký, bez vystupujících trhlin a vrás (Obr. 8.). Větší zvětšení ovšem poodhalují vystupování menších vrás. Výstup zvrásnění je dobře patrný z Obr. 9, kdy je sledována jedna z intenzivních vrás při největším zvětšení.

Obr. 6. Lokalizace jednotlivých spekter EDS analýzy povlaku a výčnělků

Fig. 6. Sites of defects EDS analysis

Tab. 1. Vyhodnocení EDS analýzy z Obr. 6. / Results of EDS analysis

Číslo spektra	Obsah Cr (hm. %)
1	100
2	100
3	100
4	100
5	100

Obr. 7. Lokalizace jednotlivých spekter EDS analýzy trhliny
Fig. 7. Sites of defects EDS analysis

Tab. 2. Vyhodnocení EDS analýzy z Obr. 7. / Results of EDS analysis

Číslo spektra	Obsah Cr (hm. %)	Obsah Ni (hm. %)
1	0	100
2	0	100
3	0	100
4	42,9	57,1

Vzorky elipsoidního tvaru

Podobně jako v první etapě se analýzy na elipsoidních vzorcích zaměřily na mikroskopii vzniklých vad, odkovené části polymerního dílu a dílu následně zlaceného silnější vrstvou zlata. Cílem analýz je potvrdit nebo vyloučit vliv možných vnitřních napětí na kvalitu vyloučených povlaků.

Z předaných elipsoidních vzorků větších rozměrů byl vybrán jeden s největším podílem nehomogenit povlaku (rozhodovala tloušťka trhlín a jejich počet). Trhlíny se šířily především v místech ohybu vzorku.

Nejdříve byly vzniklé trhlíny dokumentovány pomocí rastrovací elektronové mikroskopie (SEM: TESCAN VEGA 3-LMU). Trhlíny jsou jasně viditelné i při relativně nízkém zvětšení (Obr. 10) a na rozdíl od

a) SE

b) BSE

Obr. 8. SEM analýza pozlaceného segmentu v oblasti dříve snímaných defektů – a) SE, b) BSE

Fig. 8. SEM image of the coating above defects

kruhových vzorků jsou na těchto elipsoidních vzorcích trhlíny výrazně širší. U tohoto druhu vzorků nebyla prokázána existence rozměrnějších výčnělků. Ovšem z prostudovaných snímků lze poukázat na vznik širších pásů defektních povlaků, než tomu bylo u kruhových

a) SE

b) BSE

Obr. 9. SEM analýza pozlaceného segmentu v oblasti dříve snímaných defektů při vyšším zvětšení – a) SE, b) BSE
 Fig. 9. SEM image of the coating above defects

vzorků. Na Obr. 11 a v Tab. 3 je dokumentována EDS analýza prvkového složení v blízkosti vlasové trhliny. Obdobně jako u kruhových vzorků, rovněž v tomto případě je defekt vyvolán neuzavřením chromového

Obr. 10. Snímek příčné trhliny
 Fig. 10. Image of transversal crack

Obr. 11. Lokalizace jednotlivých spekter EDS analýzy trhliny
 Fig. 11. Sites of defects EDS analysis

povlaku a odhalením spodních povlaků niklu. Jednoznačný důkaz o odhalení spodních niklových vrstev, a tedy o nekompatibilitě chromové vrstvy, podávají prvkové mapy rozdělení chromu a niklu (Obr. 12) na povrchu vzorku.

Tab. 3. Vyhodnocení EDS analýzy z Obr. 11. / Results of EDS analysis

Číslo spektra	Obsah Cr (hm. %)	Obsah Ni (hm. %)
1	95,0	5,0
2	95,3	4,7
3	61,6	38,4
4	55,5	44,5
5	63,2	36,8
6	95,3	4,7
7	94,9	5,1

a) Cr

b) Ni

Obr. 12. EDS prvkové mapy pro Cr (a) a Ni (b) v oblasti defektu povlaku

Fig. 12. EDS maps of Cr and Ni near the defect

Obr. 13. Snímek povrchu vzorku po odleptání kovových povlaků a následném zlacení, na snímku je patrné objevující se vrásčité poškození

Fig. 13. Surface of the sample after etching of metallic coatings and subsequent gilding

Obr. 14. Detailní snímek zlaceného povrchu v oblasti dříve existující trhliny

Fig. 14. SEM image of the gilded surface above fracture

Cílem dalšího kroku bylo opět potvrdit nebo vyloučit možnost vlivu koncentrace napětí v polymerních odlitcích na tvorbu defektů v podobě trhlin a vrás. Nejdříve byl polymerní díl odkoven v koncentrované kyselině chlorovodíkové (38 hm. %) a po oplachu a sušení byl pozlacen vrstvičkou zlata o tloušťce přibližně 100 nm. V místech dříve pozorovaných trhlin a vrás byl opět zkoumán rastrovací elektronovou mikroskopií, tentokrát pouze v režimu SE.

Výsledky zkoumání povrchu opatřeného povlakem zlata v oblastech dříve existujícího poškození ukazuje Obr. 13. Detailní zkoumání opětovného vzniku trhlin v povlaku zlata v místech dřívějších defektů dokazují detailnější záběry na Obr. 14.

ZÁVĚR

Protože vnitřní napětí nelze zpětně na vyloučených povlácích systému CuNiCr změřit, zaměřila se tato práce na studium defektů povrchu ABS polymeru.

Na základě získané fotodokumentace nelze ani u jednoho druhu vzorků vyloučit vliv vnitřního napětí vlastního polymerního odlitku na vznik defektních povlaků. Masivnější rozšíření trhlin a jejich větší šířka u elipsoidních vzorků lze vysvětlit většími rozměry těchto vzorků oproti vzorkům kruhovým. Takové vzorky se hůře ochlazují a jsou náchylnější ke vzniku vnitřního napětí.

Přestože negativní vliv vnitřního napětí na kvalitu povlaků se jeví jako nejpravděpodobnější, nelze vyloučit i další vlivy. Především však vznik napětí v samotných galvanických povlácích niklu.

Poděkování

Financováno za účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum (MŠMT č.20/2014).

LITERATURA

1. Šubert L. Plasty a galvanická povrchová úprava, *Tribotechnika* **2014**, 2, 40-43.
2. Olyšar K., Srb M. *Galvanotechnika*, VŠCHT: Praha, 1984.
3. Ostrá V. Pokovování plastů, *Povrcháři* **2009**, 9, 4-6.
4. ČSN 03 8162 Stanovení vnitřního pnutí galvanických povlaků.
5. ČSN ISO 4525 Kovové povlaky - Elektrolyticky vyloučené povlaky nikl-chrom na plastech.
6. Di Bari, G. A. Corrosion of Decorative Electroplated Nickel Chromium Coatings on Steel, Zinc, Aluminium and Plastics, *Metal Finishing* **1977**, 75, 17-24.
7. Möbius, A., Tolls, E. Plating on Plastic – New Developments in the Field of Chemistry, *Trans. IMF* **1999**, 77 (1), B9.
8. Hurley, J. L., Chart, J. E. Dependence of Thermal Cycle Response of Plated Plastic on the Mechanical Properties of the Electroplate, *Plating* **1975**, 62, 127.