



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POKOVOVÁNÍ PLASTOVÝCH DÍLCŮ

PLASTIC PLATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Čermák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jan Čermák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Pokovování plastových dílců

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem závěrečné bakalářské práce je komplexní studium, rozbor a vlastní hodnocení a porovnání možností vytváření kovových povlaků na plastových materiálech. Pokovování plastových dílů různými technologiemi se provádí především z dekorativních, ale i jiných důvodů např. u konstrukčních součástí, kde mechanické vlastnosti plastu zaručují požadované užité vlastnosti při nízké hmotnosti a současně vytvářejí dojem celokovového dílce.

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit ucelený přehled dostupných technologií pro vytváření (nanášení) kovových povlaků (vrstev) na plastových materiálech s cílem ochrany nebo dekorace. Nejdůležitější jsou technologie vycházející z chemického nebo galvanického pokovování. Práce by měla obsahovat kromě popisu specifik a možností uvedených technologií též souhrnný přehled kovových materiálů použitelných pro tyto technologie u nejčastěji v praxi používaných plastů.

Seznam doporučené literatury:

ŠTĚPEK, Jiří, Jiří ZELINGER a Antonín KUTA. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. 1. vyd. Praha, Bratislava: SNTL, Alfa, 1989.

SCHWARZ, Otto, Friedrich EBELING a Götz LÜPKE. Kunststoffverarbeitung. 6. Auflage. Würzburg: Vogel Verlag und Druck, 1991. ISBN 3-8023-0836-0.

WOEBCKEN, Wilbrand. International Plastics Handbook: for the Technologist, Engineer and User. 3rd ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 1-56990-182-1.

ROTREKL, Bedřich, Zdeněk DITRYCH a Jiří TAMCHYNA. Zpracování plastických hmot: Pokovování.
1. vyd. Praha: SNTL, 1966.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Čermák Jan: Pokovování plastových dílců

Perspektiva vyrábění plastových dílců dopomohla k tomu, že se pokovování těchto dílců rozšířilo ve velkém měřítku. Ať už se jedná o povlak funkční nebo pouze dekorativní. Tato práce předkládá komplexní studium, rozbor, hodnocení a porovnání možností vytváření kovových povlaků na plastových materiálech. V této práci je pojednáno o galvanické, chemické, vakuové a speciálních způsobech pokovování. U všech zmíněných způsobů pokovování je uveden technologický postup, zařízení pro pokovování, zhodnocení jednotlivých způsobů a rozbor použití pokovených plastových dílců.

Klíčová slova: plasty, pokovování, galvanizace, elektrolýza, kovový povlak

ABSTRACT

Čermák Jan: Plastic plating

The perspective of the production of plastic parts has helped to spread the metallization of these parts on a large scale. Whether a coating is functional or just decorative. This bachelor thesis presents a comprehensive study, analysis, evaluation and comparison of the possibilities of creating metal coatings on plastic materials. The thesis deals with galvanic, chemical, vacuum and special methods of plating. For all the mentioned methods of plating, the technological procedure, equipment for plating, evaluation of individual methods and analysis of the use of plated plastic parts are given.

Keywords: plastic, plating, galvanization, electrolysis, metal coating

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERMÁK, Jan. *Pokovování plastových dílců* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-01-19].
Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121472>. Bakalářská práce.
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
Vedoucí práce Ladislav Žák.

PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci *Pokovování plastových dílců* jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 20.6. 2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas, které mi poskytl. Dále děkuji své rodině a obzvláště mé přítelkyni za veškerou podporu a pomoc, kterou mi během tvorby této práce i během celého mého studia poskytli.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 VLASTNOSTI A PROBLEMATIKA POKOVOVÁNÍ PLASTŮ	10
2 DŮVODY POKOVOVÁNÍ PLASTŮ	10
3 METODY POKOVOVÁNÍ	12
3.1 Galvanické pokovování	12
3.1.1 Úvod do technologického postupu a úprava povrchu plastické hmoty	13
3.1.2 První vodivá vrstva a vytváření mezivrstev	14
3.1.3 Vytváření konečné vrstvy kovu	15
3.1.4 Konkrétní příklad procesu galvanizace	16
3.1.5 Zhodnocení galvanického pokovování	17
3.2 Chemické pokovování	18
3.2.1 Porovnání klasické a sorpční metody	18
3.2.2 Klasický způsob pokovování	19
3.2.3 Sorpční způsob pokovování	22
3.2.4 Zhodnocení chemického pokovování	25
3.3 Pokovování ve vakuu	26
3.3.1 Napařovací metoda	26
3.3.2 Katodové rozprašování kovů	30
3.3.4 Zhodnocení vakuového pokovování	30
3.4 Speciální metody pokovování	31
3.4.1 Žárové stříkání kovů	31
3.4.2 Pokovování z plynné fáze	32
3.4.3 Lepení kovových fólií	32
4 ZÁVĚRY	33

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Přílohy

ÚVOD [1], [4], [8], [10], [15], [16]

Z počátku bylo pokovování vyvíjeno pro jiné materiály než plasty. Pro pokovení plastových hmot se musely původní postupy výroby upravit.

Pokovování je velmi důležitý proces konečné úpravy povrchu surových plastových dílců. Popsat lze jako nanesení kovového materiálu na dílec za účelem zlepšení vzhledových nebo mechanických vlastností

Vlastní pokovování může probíhat chemickým, galvanickým, vakuovým způsobem i dalšími speciálními metodami. Vzhledem k rozsahu problematiky pokovování plastů je v této práci možné podat pouze omezený přehled pokovování plastů.

Mnoho plastových dílů pro pokovování je vyráběno metodou vstřikování, což dává neuvěřitelné možnosti konstruktérům, návrhářům i designerům pokovit opravdu složité tvarované dílce. (Obr. 1, 2) Použití plastů je také výhodné z ekonomického hlediska. Když je to možné, můžeme nahradit původní kovový materiál levnějším plastovým dílcem.

Použití pokovených dílců není vůbec vzácné a můžeme se s nimi setkat např. u lékařské techniky, nábytkářského průmyslu, elektroniky, šperkařství ad. Naprosto dominantní je v tomto oboru automobilový průmysl, který je největším odběratelem pokovených plastových dílců. V praxi nacházejí největší uplatnění k pokovování termoplasty např. ABS (obr. 4) nebo PVC. Na obr. 3 je možné porovnat vzhled pokovených a nepokovených předmětů.



Obr. 1 Možné odstíny pokovených plastů [21]



Obr. 2 Tvarově složitý pokovený předmět [22]



Obr. 3 Porovnání vzhledu pokoveného a nepokoveného plastu [23]

1 VLASTNOSTI A PROBLEMATIKA POKOVOVÁNÍ PLASTŮ

[1], [10], [11], [12], [14]

V současné době existuje na trhu několik tisíc různých druhů plastů. V technické praxi má však výrazné uplatnění jen několik desítek druhů plastických hmot. Při volbě materiálu je třeba vedle vlastností a ceny hmoty vzít také v úvahu jeho zpracovatelnost, která výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti konečného výrobku. Nesmí se zapomenout ani na technologické podmínky, konstrukční řešení nástroje a volbu stroje. Vlastnosti a odolnost polymerů jsou dány jejich chemickou a fyzikální strukturou, ale mohou být do značné míry ovlivněny i zpracovatelským procesem.

Synteticky připravované makromolekulární látky vznikají tzv. polyreakcemi. Jedná se ve své podstatě o velmi jednoduché chemické reakce, které se mnohokrát opakují, takže původní nízkomolekulární sloučenina (monomér) přechází ve vysokomolekulární látku zvanou polymer. Plastem se polymer stane poté, co ho smísíme s nezbytnými přísadami a převedeme do formy vhodné k dalšímu technologickému zpracování. Obecný termín polymer představuje chemickou látku, zatímco plast je technický materiál, který musí mít vhodné užité vlastnosti.

Podle jejich chování k teplotě dělíme plastické hmoty na termoplasty a reaktoplasty. Toto rozdělení je výhodné i pro účely pokovování, protože to umožňuje zvolit nejvhodnější technologii pokovování.

Nanášení kovů na plastové dílce se může zdát složité, protože plast a kov jsou značně rozdílné materiály. Povrch plastu, který je hladký, nemusí udržet nanášený kov. Je-li povrch plastu navíc znečištěn (např. prachem nebo mastnotou), problém se násobí. Z tohoto důvodu je nezbytné použití povrchových úprav daného dílce. Značný vliv má také způsob výroby jednotlivého dílu, který má spolu s povrchovou úpravou vytvořit dobrou adhezi plastového povrchu. Další z podmínek pro dobrou adhezi povlaku je smáčivost povrchu.

Přilnavost na rozhraní dvou rozdílných materiálů, plastické hmoty a vodivé vrstvy, je často nejslabším článkem všech způsobů pokovování nekovových materiálů.



Obr. 4 Povrch nepokoveného a pokoveného ABS [27]



Obr. 5 Zavěšené dílce pro pokovování [23]

2 DŮVODY POKOVOVÁNÍ PLASTŮ [1],[4],[8],[15],[17]

Základní myšlenkou je dosáhnout změny vlastností dílce a rovněž získání lesklého kovového vzhledu.

Jako první důvod bych uvedl celkové zlepšení mechanických vlastností,lepší se zejména tažnost, rázová houževnatost ale také pevnost v ohybu.

Také se zvětší tvrdost a odolnost proti opotřebení, a to zvláště při použití niklu, tvrdého chromu nebo slitiny Ni-Co.

Zmenší se navlhavost a propustnost pro kapaliny a plyny. Naopak se zvětší odolnost proti různým rozpouštědlům a olejům.

Na dílci nebo spíše kolem dílce se vytvoří tzv. skořepina (povlak). Díky tomu se výraznělepší odolnost proti tvarování teplem, protože tato kovová skořepina zabrání případnému tvarování dílce, protože nanášené kovy mají vyšší teplotu tání než polymery.

Významně se zabrání tzv. stárnutí plastu, které se projevuje na dílci změnou barvy, ztrátou lesku, průhlednosti, povrchovým praskáním a poklesem mechanickým vlastností.

Odolnost kovového povlaku proti korozi na elektricky nevodivém plastu je také větší než na kovovém podkladu, protože nevznikají lokální galvanické články.

Dále obal z pokoveného plastu má charakter Faradayovy klece a může sloužit k elektrickému nebo magnetickému stínění. Elektricky vodivý povrch zabraňuje tvorbě statické elektřiny na dílci.

Je možné také brát v některých případech plastový dílec jako možné odlehčení celé soustavy, protože příslušný kovový díl by byl bezpochybně těžší než díl z plastu.

Pokovený plast může vizuálně působit na člověka dojmem vyšší kvality, vyšší cenové kategorie, lepších vlastností. V dnešní době jsou cenově daleko dostupnější polymery, a to zvláště ty, na které nejsou kladeny vysoké nároky. Z důvodů jejich jednoduché a levné výroby a celkovému zpracování plastických hmot.

Níže můžeme vidět příklady pokovení plastů z estetických důvodů (Obr. 6) a důvodů estetických i praktických. (Obr. 7)



Obr. 6 Pokovené díly autíček [22]



Obr. 7 Pokovené funkční dílce [22]

3 METODY POKOVOVÁNÍ

3.1 Galvanické pokovování [1], [4], [6], [8], [13], [15], [18], [19]

Galvanické (elektrolytické) pokovování patří k jednomu z nejrozšířenějších oborů v aplikované elektrochemii. Z elektrochemických dějů je pro tuto metodu základně důležitá elektrolýza a pochody, které probíhají v galvanických člancích. Vylučování některých kovů je touto technologií velmi obtížné nebo je výtěžek kovu malý a nelze ji tudíž použít. Na obr. 8 a 9 jsou vidět dílce pokovené galvanickou metodou.

Kvalita vyloučeného kovu závisí na podmínkách při elektrolýze. Na teplotě, koncentraci solí v lázni, složení lázně, proudové hustotě, vzdálenosti elektrod, tvaru pokovovaného dílce nebo také na druhu použitého kovu.

Tloušťka kovového povlaku závisí na době průchodu elektrického proudu, jeho proudové hustotě (intenzitě proudu procházejícího elektrolytem) a proudovém výtěžku. Množství vyloučeného kovu lze matematicky vyjádřit pomocí Faradayových zákonů a je přímo úměrné množství prošlého proudu a nepřímo úměrné mocenství iontu.

Pokovovaný dílec musí být vodivý, protože jinak nebude schopen vést elektrický proud. Tuto podmínku plně splňují kovy. Plasty ji obecně nesplňují, protože pro své elektrické vlastnosti (povrchový a vnitřní izolační odpor, elektrickou pevnost, ztrátový součinitel aj.) se řadí mezi dobré izolátory. Povrch plastických hmot je nutné ze začátku upravit z nevodivého na vodivý.

K vytvoření vodivého povrchu na dílci lze použít vakuové pokovování, chemické pokovování (nejčastější volba), nanášení vodivých laků, nanášení práškového grafitu aj. Chceme-li, aby se na prvních povlacích výrazněji projevily některé výhodné vlastnosti kovu (elektrická vodivost, odolnost proti odírání a teplotě, tvrdost a odolnost proti korozi), je potřeba vytvořit povlak o tloušťce nad 1 mikron. Takový povlak zlepšuje četné fyzikální a mechanické vlastnosti nosného plastu. Tyto povlaky se obvykle vytvoří na základní vodivé vrstvě galvanicky. Musí se však přihlídnout také k některým zvláštnostem, které galvanické pokovování plastických hmot odlišují od jiných metod. Stejněměrná elektrická vodivost povlaku závisí na jeho tloušťce, druhu kovu nebo jiného vodivého materiálu i jeho čistotě.

Od pokovených plastových dílců obvykle vyžadujeme pevně připoutaný kovový povlak k povrchu nosného materiálu i při proměnlivých teplotních a vlhkostních podmínkách. Z důvodu rozdílné chemické podstaty kovu a plastické hmoty je dobré spojení difuzí, tvorbou slitin nemožné. Mechanismus přilnavosti se většinou tvoří pouze fyzikálně, mechanickou vazbou mezi molekulami kovu a makromolekulami plastické hmoty. V takových případech se nutně projevuje rozdílná tepelná roztažnost obou materiálů. Rozdílná tepelná roztažnost kovu a plastu způsobuje mezi oběma materiály napětí, které se projevuje v kolmém směru na síly přilnavosti. Toto napětí působí proti silám přilnavosti, a jestliže bude větší, způsobí odloupení kovového povlaku z plastového dílce. Do tloušťky povlaku 0,003 mm (obvykle) můžeme účinky tohoto napětí snížit zdrsněním povrchu. Do této tloušťky převládají síly přilnavosti. Vyplývá z toho, že pro vytvoření vrstvy o větší tloušťce s dobrou přilnavostí je třeba provést



Obr. 8 Galvanicky pokovený díl [24]

opatření již při konstrukci předmětu. Výborné přilnavosti také dosáhneme např. přidáním uhlíku, grafitu nebo sazí do fenolické lisovací hmoty jako plnivo, které se vhodným způsobem matování odhalí, a proto se dobře galvanicky pokovuje. Někdy se řeší zlepšení přilnavosti také tak, že se kovový povlak vytvoří na lakové vrstvě, která se dostatečně vytvrzuje za tlaku a zvýšené teploty.



Obr. 9 Příklad galvanického pokovení [24]

Někdy je obtížné pokovit profilovaný a větší dílec stejnoměrně, proto musíme daný dílec pokovit několikanásobně nebo zvolit jiné opatření k vytvoření vrstvy větší tloušťky.

Galvanicky se pokovují téměř všechny termoplasty. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s ABS, který má nejvyšší adhezi k povrchu. Nejrozšířenější materiál pro galvanické pokovení je tedy ABS a ABS/PC (s podílem 45-85 % PC polykarbonátu).

Důvod pro použití těchto materiálů je schopnost vytvořit při jejich moření kaverny, do kterých se zabuduje galvanický povlak. Na tomto připraveném povrchu je prokazatelně lepší přilnavost galvanického povlaku ve srovnání s jinými druhy plastických hmot. Tloušťka, kterou může kovová vrstva dosáhnout, není nijak omezena a může se skládat i z více vrstev, nanesených postupně.

3.1.1 Úvod do technologického postupu a úprava povrchu plastické hmoty [2], [4], [9], [13], [15]

Proces galvanického pokovování je obecně rozdělen do devíti až patnácti po sobě jdoucích kroků, vždy záleží na konkrétním plastovém materiálu a povlaku, který se bude nanášet. Jeden z nejjednodušších procesů by mohl vypadat v pořadí takto: chemické odmašťování - oplach - elektrochemické odmašťování - oplach - dekapování - oplach - pokovení konečnou vrstvou - oplach - sušení. Pro zajímavost je v příloze 3 zobrazena celá galvanická linka.

Proces v podstatě začíná už při výrobě plastového dílce (nejčastěji vstřikováním). Podmínky vstřikování mohou významně ovlivnit nanášení první kovové vrstvy. Bylo by vhodné vyrobít díl s malým vnitřním pnutím, aby byly vytvořeny vhodné podmínky pro moření. Základním požadavkem je vždy důkladné odmaštění dílce.

Dílec, který je připraven, je nutné při zavěšení vhodně orientovat, aby bylo dosaženo rovnoměrného rozložení proudové hustoty. Musí se také přizpůsobit geometrii dílce a parametrům galvanické linky. Jestliže všechno splníme, dosáhneme rovnoměrné tloušťky a jednotného vzhledu. Dílce musí být pevně uchyceny pomocí hrotů, ale nesmí to vést k pnutí materiálu. V některých případech upevňujeme dílec do více držáků, jednak aby nedošlo k místnímu spálení kontaktu, ale také proto, že na místech, která jsou držáky kryta, nedojde k pokovení a museli bychom je uchytit i na dalším místě. Počet kontaktů závisí také na velikosti pokovené plochy.

Dalším procesem v řadě je moření a neutralizace, kterým se připraví povrch pro vytvoření a zakotvení galvanizace. V případě materiálu ABS by se jednalo o vymoření

částic butadien-polymerů, díky čemuž by se vytvořila na povrchu síť kavern a nerovností, které nám umožní dobrou adhezi následného povlaku. Následuje neutralizační oplach.

Další částí procesu je naleptání základního materiálu a zabudování kolonií kovových částic do povrchu plastu, které tak vytvoří podklad pro následný kovový povlak. Velmi důležitým parametrem této lázně je optimální nastavení koncentrace kovů. Nedostatek způsobuje problém s rovnoměrným vylučováním vrstvy povlaku a přebytek naopak způsobuje pokovování závěsové techniky.

Tyto přípravné operace nevyužívají elektrický proud a slouží k vytvoření potřebné první kovové vrstvy na plastovém dílu. Galvanické pokovení základní vodivé kovové vrstvy potřebuje dostatečnou tloušťku, stejnosměrnou vodivost i přilnavost. Následuje několik galvanických operací k dosažení potřebné tloušťky a finálního povrchu povlaku.

Důležitá je také konstrukce vhodné techniky k zavěšení dílce, která se musí přizpůsobit geometrii dílce a vlastním parametrům galvanické linky.

3.1.2 První vodivá vrstva a vytváření mezivrstev [2], [4], [9], [13], [15]

V další části se vytvoří první vodivá vrstva povlaku. Nejčastěji se setkáme s chemickým způsobem pokovení, ale jak už bylo zmíněno, možností je víc. Chemickému pokovování bude věnována celá kapitola, proto zmíním jen, že na obnažených zárodcích se začne vylučovat kov (velmi často nikl nebo měď) a vytvoří vrstvu obvykle několik desetin mikronu tlustou. Po nanesení této vrstvy může být daný dílec zpracováván už čistě galvanicky, neboť je splněna podmínka vodivosti dílce.

Dílce opatřené tímto povlakem musí být zbaveny nečistot (zbytků redukční nebo pokovovací lázně, prachu a mastnoty). Když je dílec mokrá, přilnavost je velmi malá a další povlak může být snadno poškozen, proto se doporučuje důkladné vysušení základního povlaku. Vhodná je destilovaná voda, která po vysušení nezanechává skvrny. Dílec se nemůže bez nebezpečí naleptání nebo popraskání ponořit přímo do lázně, kde je obvyklé složení a běžně používaná proudová hustota. Doporučuje se, nejprve vytvořit tenkou vrstvu mědi či niklu, tzv. mezivrstvu, v bezpečnějších podmínkách. Celý proces vytváření mezivrstev bude detailněji popsán u příkladu konkrétního pokovovacího procesu, který je uveden níže.

Při pokovování existuje pro daný kov často několik typů pokovovacích lázní. Účel pokovení a druh pokovovaných předmětů rozhodne o tom, který z jednotlivých druhů lázní je nejvhodnější. Složení lázně musí odpovídat požadavkům technické praxe a požadavkům na konečný vzhled výrobku. V tab. 1 uvádím některé příklady mezivrstev u běžně pokovovaných plastů.

Tab. 1 Skladba mezivrstev u nejčastějších kovových povlaků [15]

Chrom - lesklý, matný	Nikl - lesklý, matný	Zlato - lesklé, matné	Měď - lesklá
chemický nikl, galvanická měď, galvanický nikl (lesklý, matný), galvanický chrom	chemický nikl, galvanická měď, galvanický nikl (lesklý, matný)	chemický nikl, galvanická měď, galvanický nikl (lesklý, matný), galvanické zlato	chemický nikl, galvanická měď

Parametry procesu galvanického pokovování tvoří soubor tepelně-technických, elektrických a technologických veličin a podmínek, které mají společný vliv na kvalitu povlaku. Rozsah a míra významnosti jednotlivých podmínek je závislá na typu procesu a na kritériích požadované výsledné kvality. Tyto veličiny (uvedeny v příložené tab. 2) je nutné v průběhu procesu měřit a upravovat.

Základ v galvanotechnice je dodržení všech těchto podmínek, které musí být splněny nezávisle na sobě, ale také ve vzájemných vazbách. Dobrá galvanická lázeň dává vysoký proudový výtěžek, má dobrý hloubkový rozptyl a nemění své složení ani po delší době.

Tab. 2 Soubor technických a technologických veličin a podmínek [6]

Pracovní podmínky:	tepelně-technické:	teplota, tlak, hladina, účinnost míchání
	elektrické:	proud, napětí, proudová hustota, polarita
Technologické podmínky:	složení lázně (obsah základních složek, obsah přísad, obsah nečistot)	vylučovací rychlost, proudový výtěžek, hloubková účinnost, vyrovnávací schopnost

Proudový výtěžek udává, jaké množství kovu bylo prošlým proudem vyloučeno. Např. kyselé mědicí lázně využijí na vyloučení kovu téměř 100 % prošlého proudu, naproti tomu alkalická lázeň pouze 50-75 %. Zbytek proudu se spotřebuje na vedlejší reakce, např. vylučování vodíku apod. Důležitou vlastností galvanické lázně je její rozptyl (schopnost nanášet kov rovnoměrně po celé ploše i profilovaných předmětů). Lázeň s dobrým hloubkovým rozptylem pokoví předmět, bez toho, aby se hrany spálily nebo se hrany dokonce nepokovily.

3.1.3 Vytváření konečné vrstvy kovu [2], [4], [5], [6], [9], [13], [15]

Požadovanou tloušťku povlaku můžeme nyní bezpečně získat dalším elektrolytickým pokovením zvoleným kovem v obvyklé lázni a za předepsané proudové hustoty, např. měděním, niklováním, mosazením, stříbřením, zlacením, chromováním nebo vytvářením slitin.

Většinou se pokovují předměty, které jsou profilované. Z těchto důvodů některé zdroje doporučují použití alkalické mědicí lázně, které se vyznačují značným hloubkovým rozptylem, dávají hladké a lesklé povlaky, umožňují pracovat s nižšími proudovými hustotami, přestože nedávají velký proudový výtěžek. Použití lesklých lázní s vyrovnávacím účinkem umožňuje vylučování povlaků, které jsou méně drsné než základní vodivá vrstva. Tyto lázně obsahují přísady, které vytvářejí vysoký lesk a hladkost vyloučeného povlaku a obvykle zvyšují i hloubkový rozptyl.

Galvanické lázně, pro které lze s ohledem na všechny parametry použít většího proudového zatížení, umožní rychlejší nanášení kovového povlaku a zvýšení výrobní kapacity. Spolu s použitím vyrovnávacích lázní, které ušetří náklady na leštění, se sníží spotřeba nanášeného kovu i provozní náklady a zmenší se provozní plocha.

V tab. 3 uvádím pro přehlednost příklady složení jednotlivých galvanických lázní a optimální podmínky pro pokovení plastových dílců.

Tab. 3 Příklady složení galvanických lázní, podmínky a specifika procesu [4]

Kov	Složení lázně	A/dm ²	Jakost povrchu
Cu	Alkalická: CuSO ₄ 60 g/l	0,3-0,4	Doba galvanizace 5 minut.
	NaOH 50 g/l		
	Seignettova sůl 160 g/l		
	Kyselá: CuSO ₄ 150-200 g/l	2,6-3,5	Tloušťka povlaku 1-5 μm, povrch určen jakostí podkladu, vzhled dobrý.
H ₂ SO ₄ 25-37 g/l			
Ni	NiSO ₄ 140 g/l	0,8-2,0	Tloušťka povlaku 1-5 μm, teplota lázně 25-35 °C, vzhled dobrý, dobře se leští.
	NH ₄ Cl		

Cr	(CrO ₃) 150-250 g/l	15-60	Tloušťka povlaku 1 μm, teplota lázně 45-60 °C, vyžaduje výbornou přilnavost.
	H ₂ SO ₄ 1,5-2,5 g/l		
Ag	AgCl 25-30 g/l	0,3	Vzhled dobrý, tloušťka povlaku 2-3 μm, teplota lázně 15-23 °C
	KCN 54-55 g/l		
Au	KAu(CN) ₂ 5-6 g/l	0,1-0,3	Dobré dekorační vlastnosti v červenožluté barvě, tloušťka povlaku 1-5 μm, teplota lázně 15-75 °C
	KCN 8-15 g/l		
Mosaz	CuSO ₄ 10 g/l	2-3 V napětí se při vzdálenosti elektrod 100 mm ustaví	Vzhled zlata, dobrý lesk, tloušťka povlaku 2-3 μm, nejdříve poměřit.
	ZnSO ₄ 10 g/l		
	KCN 15 g/l		
	NaHSO ₃ 10 g/l		
	NH ₄ (OH) 25%ní roztok 70 ml/l		
	NH ₄ Cl 7 g/l		
MgSO ₄ 7 g/l			

Poslední oplach dílu je prováděn pomocí demineralizované vody a poté se přistoupí k sušení proudem teplého vzduchu v sušící vaně. Po důkladném oplachu a vysušení dílu je konečná úprava povlaku podobná jako při povrchové úpravě kovů. Při mechanickém broušení je potřeba být opatrný, aby se příliš nezahřál kov a povlak se neodloupl nebo se stal puchýřovitým. Sundávání dokončených dílců ze závěsu je nutné provádět velmi šetrně, aby nedošlo k poškození vyloučené vrstvy. Závěsovou techniku je nutné poté očistit elektrochemickou cestou rozpouštěním vyloučených galvanických vrstev na kontaktech.

3.1.4 Konkrétní příklad procesu galvanizace [4], [9], [13]

Jedná se o pochromování materiálu ABS. Na obr. 10 je možné vidět schematický průřez takto pokoveného plastového dílce.

1. Výroba surového dílu: Pomocí technologie vstřikování plastů.
2. Navěšování na závěsy: Musí být bez pnutí, špičatý nebo svírající kontakt.
3. Moření: Leptací roztok je velmi agresivní, skládá se z kyseliny chrom-sírové (380 g/l CrO₃; 380 g/l H₂SO₄). Roztok pracuje při teplotě 63–70 °C. V materiálu ABS se odleptají částičky butadienu a na povrchu vzniknou 0,2 až 1 μm velké kavery. Doba moření se pohybuje v rozmezí 5-10 minut.
4. Aktivace: Jedná se o koncentrovaný roztok, který se skládá z PdCl₂ a v HCl rozpuštěného SnCl₂. Důležitým parametrem pro provozování lázně je optimální nastavení koncentrace kovů.
5. Urychlovač (akcelerátor): Upraví prvky aktivátoru pro rychlejší nanášení niklu. Tato operace se provádí v roztoku urychlovače, kdy dojde k vymoření částic cínu, a tím se obnaží a zaktivují zárodková centra paládia.
6. Chemický nikl: Na obnažených zárodkách paládia začíná autokatalytické vylučování niklu. Vytvoří vrstvičku o tloušťce cca. 0,5 μm, dílec se stává vodivým.
7. Imerzní měď: Vyloučení vrstvičky mědi o tloušťce <0,1 μm. Snížení odporu galvanické nanášení imerzní mědi (Cu, H₂SO₄, inhibitory). Cca. 1-2 Ω /7 cm.
8. Kyselá měď: Elektrolyt na bázi H₂SO₄, který musí být intenzivně filtrován přes naplavenou jemně rozemletou křemelinu. Galvanicky vyloučená měděná vrstvička vytvoří brilantní lesklý povrch o tloušťce 20-30 μm.

9. Pololesklý nikl: Nanesení pololesklého niklu vytvoří bezpečnou bariéru proti hloubkové korozi.
10. Lesklý nikl: Vytvoří vysoce lesklé vyrovnání.
11. Mikroporézní nikl: Na vytvoření vnějšího korozně ochranného systému, spolehlivé vytvoření nutných pórů, spolehlivé dodržení ochranných potenciálů. Tloušťka vrstvy 1,5-2,5 μm .
12. Chrom: Finální kovová vrstvička o tloušťce 0,25-0,5 μm . Při proudové hustotě 10 A/dm² se pohybuje cca 0,12 $\mu\text{m}/\text{min}$, při 20 A/dm² může dosáhnout až 0,3 $\mu\text{m}/\text{min}$. Povlak se vyznačuje dobrou krycí schopností, vysokým leskem, otěruvzdorností a korozní odolností.
13. Sušení: Odstraňování zbytků elektrolytů z chromového povlaku. Poslední oplach se provádí pomocí demineralizované vody, sušení proudem teplého vzduchu.
14. Svěšování dílů: Sundávání a kontrola dílců, 100% optická kontrola a namátkové důkladnější kontroly.
15. Čištění závěsů.



Obr. 10 Příklad galvanického pokovení [24]

3.1.5 Zhodnocení galvanického pokovování [1], [2], [4], [6], [8], [9]

Celý proces galvanického pokovování plastových dílců je charakteristický vysokou čistotou a přesným dodržováním všech parametrů elektrolytů a operačních kroků. Výsledkem pak jsou brilantně lesklé povlaky použitelné na exteriérových i interiérových plastových dílech.

Obvykle vylučovanými kovy jsou zinek, kadmium, měď, nikl, chrom, cín, stříbro, mosaz a zlato.

Volba technologického postupu galvanického pokovování závisí na druhu zboží, druhu lázně, stavu povrchu zboží a technologickém vybavení galvanovny.

Velmi důležitý je také způsob zavěšení pokovovaných předmětů. Předměty se pokovují ve vanách, v bubnech nebo na závěsech, zavěšených na dopravnících v technologickém sledu operací. Při menších sériích se pokovuje ve vanách, na závěsech či ve zvonech s ruční obsluhou. U větších sérií je proces výroby značně automatizovaný.

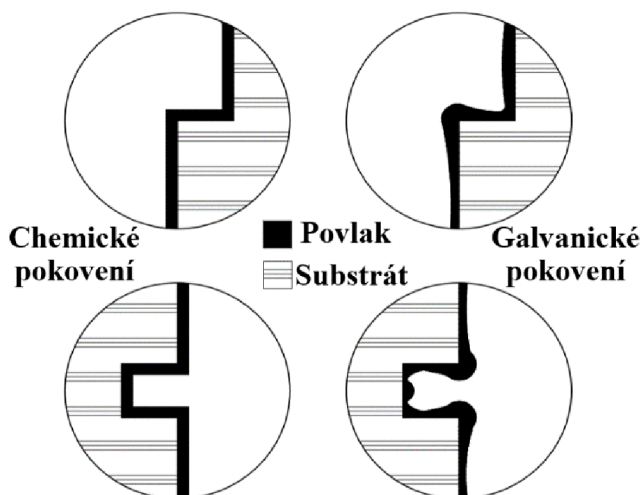
Galvanické pokovování vyžaduje kromě výrobního zařízení (vany, dopravníky, zdroje stejnosměrného proudu, ad.) také zařízení pomocné (sklady chemikálií, laboratoře, ad.) a zařízení pro ochranu životního prostředí (čistící a neutralizační stanice).

Cenným ekonomickým přínosem může být regenerace použitých lázní nebo získávání kovů z použitých roztoků pomocí měničů iontů. Další velkou výhodou je, že jsou plastové dílce často vyráběny vstřikováním plastů. Což představuje téměř neomezené možnosti pro designéry, co se týká tvarů a geometrie dílců.

Jejich nízká hmotnost, zvýšená životnost a výrobní cena jsou hlavní výhody, které vedou k značnému uplatnění galvanického pokovování.

3.2 Chemické pokovování [1], [4], [5], [6], [15]

Už ve druhé polovině devatenáctého století byl objeven způsob chemického pokovování nekovových předmětů. Disponuje celou řadou výhod jako např. jednoduchostí, nenáročností na výrobní zařízení, velkou produktivitou. A jak bylo uvedeno má velký, význam také pro galvanické pokovování, kdy se často první vodivá vrstva vytváří právě pomocí chemického pokovování. Metody chemického pokovování se zakládají na oxidačně redukčních reakcích, při kterých dochází k redukci jedné látky (kovu) za současné oxidace druhé látky.



Obr. 11 Rozdílné nanášení povrchů [15]

Při chemickém pokovování se spotřebuje velké množství vody. Je potřebná v celém technologickém procesu, a to nejen na četné oplachy ale také na přípravu roztoků. Čistota této vody ovlivní kvalitu povlaku i jeho přilnavost.

Kovová vrstva je vylučována rovnoměrně po celém povrchu i u složitých dílců. Dosažitelná tloušťka je až 10 mm. Toto je rozdíl oproti galvanickému pokovování, kdy se povlak vylučuje poněkud nerovnoměrně. (Ukazuje obr. 11)

Chemické pokovování můžeme rozdělit na dvě základní metody: Klasický způsob chemického pokovování a sorpční způsob chemického pokovování. Nyní něco k jejich rozdílům.

3.2.1 Porovnání klasické a sorpční metody [2], [4], [6], [11], [13]

Porovnáním klasického a sorpčního způsobu zjistíme, že sorpční způsob potřebuje vnést nebo vytvořit na povrchu plastu funkční skupiny, které by byly schopny vázat ionty kovu nebo jejich komplexy. Tento postup je obecně znám pod termínem aktivace.

Přilnavost povlaku závisí u obou metod na stupni smáčivosti a také na zdrsnění povrchu plastu. Sorpční metoda toho dosahuje pomocí vhodné doby aktivace. Naproti tomu klasická metoda používá odmašťování a matování.

Klasicky vytvořený kovový povlak má přilnavost závislou pouze na velikosti adhezní síly, kterou působí navzájem na sebe kov a povrch plastické hmoty. Sorpční metoda dosahuje větší přilnavosti, protože zakotvuje kovový povlak hlouběji do povrchu. Spojení řetězců makromolekul plastového dílu s kovem je bezprostřední.

Klasickou metodou se kovový povlak vytváří po smíchání roztoků, dochází k redukci všech iontů kovu přítomných v roztoku, z nichž jen část se váže na povrch pokovovaného předmětu. Naproti tomu sorpční metoda se vyznačuje tím, že se vyredukuje jenom ionty kovu, které byly do povrchu chemicky nasorbovány, proto je také hospodárnější a jednodušší.

Sorpční způsob pokovování dovoluje nejenom vyredukovat kovové ionty, ale také vytvářet kovové sloučeniny s různými luminiscenčními, fotochemickými nebo elektrickými vlastnostmi na povrchu ale také v hloubce plastické hmoty. Klasická metoda bohužel touto vlastností nedisponuje.

Částečné pokovení povrchu klasickou metodou je velmi obtížné, téměř nemožné. Sorpční metoda může poskytnout několik možností, jak daný díl částečně pokovit (např. nanesením laku). Jedná se zejména o písmena, reliéfy nebo spoje.

Klasická metoda dovoluje vytvoření kovového povlaku téměř na všech druzích plastických hmot. Naproti tomu sorpční metoda je výběrem pokovovaných plastů omezena způsobem použité aktivace.

Thloušťka lesklých povlaků je v obou případech srovnatelná. Klasická metoda vytváří dokonalejší povlak stejnoměrného vzhledu i jakosti, výhodný zvláště pro dekorativní účely. Úprava povrchu sorpční metodou vede v některých případech k jeho naleptání a dosažení vysokého lesku je tedy možné jen po některých úpravách.

Jedním z hlavních bodů při srovnávání těchto metod jsou požadavky praxe. Kvalita vytvořeného kovového povlaku závisí na úpravě povrchu. Obě metody umožňují vytvořit hladké, lesklé i matové kovové povlaky.

3.2.2 Klasický způsob pokovování [1], [4], [8], [11], [13],

K úspěšnému dosažení pokovení je důležité dodržení správného technologického postupu, použité suroviny, způsob přípravy roztoků i jejich složení a skladování, jejich výběr, dostupnost, stupeň využití, trvanlivost a v neposlední řadě také cena.

Plastové dílce se zde mohou pokovovat ve tvaru výlisků, odlitků, válcovaných nebo stříkaných výrobků. Klasickou metodou se mohou pokovovat všechny typy plastických hmot s výjimkou těch, které mají vysokou nasákavost (např. polyamidy). Druh plastické hmoty rozhoduje o způsobu úpravy povrchu a složení laků. K posouzení možnosti pokovení a nalezení správného technologického postupu u určitého typu plastické hmoty však nestačí znát pouze složení a konečné mechanické vlastnosti.

První a velmi důležitou částí je úprava povrchu plastového dílce, protože může rozhodnout konečný výsledek pokovení. Způsob povrchové úpravy musí být podřízen vlastnostem plastové hmoty a také požadavkům na finální výrobek. Ve většině případů bude technologický postup jednodušší, ale nyní uvedu celý obecný postup. Tedy: 1. lakování, 2. matování (mechanický způsob, chemický způsob), 3. čištění a odmašťování povrchu, 4. zcitlivování, 5. samotné pokovení (ponorem, postřikem). Nyní jednotlivé části samostatně popíšu.

Lakování

Předpokladem pro dobrou kvalitu lesklého povrchu je vytvoření dokonale hladkého povrchu pokovovaného plastového dílce. Obvyklými technologiemi zpracování plastů nemusíme takové kvality dosáhnout. V takovýchto případech opatříme povrch předmětu po dokonalém odmaštění co nejtěsnější vrstvou laku.

Kovová vrstva má potom často lepší adhezi k lakové vrstvě než k samotnému plastovému dílci. Laková vrstva musí mít k základní plastové hmotě dokonalou adhezi, protože je to základ jak pro konečný kovový povlak, tak i pro lakovou vrstvu. Často je využito laků na bázi termoplastů nebo reaktoplastů. Z termoplastů jsou to deriváty celulózy (nitrát, acetát, acetobutyrát celulózy, etylcelulóza), polymetylmakrylát, polystyrén, polyvinylbutyral nebo polyvinylalkohol. Těmito látkami se vytváří laková vrstva odpařováním rozpouštědla za teplot 20-25 °C. Jako základní laky jsou vhodnější laky termoreaktivní (např. fenolformaldehydové nebo samotné alkydové). Mezi použitelné se také řadí laky polyuretanové a epoxidové.

Samotné nanášení laků na povrch plastového dílce se provádí klasickými lakařskými postupy (stříkáním, máčením, poléváním), které se musí provádět v bezprašném prostředí, aby laková vrstva neobsahovala částičky prachu, který by se projevil v konečném výsledku. Nalakované plastové dílce se podle druhu použitého laku a plastové hmoty nechají schnout nebo vytvrzovat na vzduchu při teplotě místnosti nebo častěji se vypalují při vyšší teplotě.

Matování povrchu

Matování povrchu se provádí nejčastěji, když chceme chemicky vytvořený povlak dále galvanicky pokovovat, protože potřebujeme maximální možnou přilnavost k nosnému materiálu. Matováním se zdrsňuje povrch plastového dílu, odstraňují se z povrchu nálitky, přetoky a jiné nerovnosti, zaoblují se ostré hrany, odstraňuje se mastnota, zbytky separátoru a podobné nečistoty. Matovat lze mechanicky nebo chemicky. Záleží na jakosti, velikosti a tvaru upravovaného povrchu, chemickém složení, vlastnostech plastového dílce i množství matovaných dílů.

Mechanický způsob používá v domácích nebo laboratorních podmínkách jednoduché prostředky (smirkový papír, pemza, brusná pasta, ocelový kartáč). V průmyslu se používá častěji otryskávání nebo omílání za vlhka v omílacím bubnu. K otryskávání se používají drobné tuhé částečky (smirkový prášek, porcelánová drť, křemenný písek). Nepravidelná ostrá zrnečka jsou lepší než kulatá a hladká. Velikost použitých zrn je 0,08–0,1 mm. Po skončení otryskání je potřeba odstranit z povrchu plastového dílce rozdrčená zrníčka písku, smirku nebo prach. Toto se provádí stlačeným vzduchem. Toto matování není vhodné pro všechny díly a plasty. Např. profilované plochy s tím mají velký problém a musí se používat jiný způsob.

Chemický způsob matování se používá hlavně u drobných profilovaných předmětů, ale nejen u nich. Narušování povrchu se provádí naleptáváním povrchu do nejmenší hloubky pomocí rozpouštědel, louhů nebo kyselin. Je velmi výhodné vybrat činidlo, které nám zároveň se zdrsněním danou plochu i odmastí. V literatuře je mnoho navržených roztoků k chemickému matování, např. k matování esterů celulózy je možné použít 10-20% roztoku hydroxidu draselného, za dobu ponoření 10–25 minut. Po vytažení dílu z roztoku je nutná neutralizační lázeň, která nás zbaví zbylého roztoku na povrchu dílce. Jako příklad bych uvedl použití 10% roztoku uhličitanu sodného a následný oplach vodou.

Čištění a odmašťování povrchu

Před vlastním pokovováním je nezbytné zbavit se všech znečištění, mastnoty, prachu a jiných nečistot na povrchu plastového dílce. Tyto nečistoty jsou velmi často příčinou nesouvislého a skvrnitého povlaku s rozdílnou přilnavostí, která by se negativně projevila při možném následném galvanickém pokovení. Odmaštění je založeno na fyzikálněchemických vlastnostech tuků a olejů. Často používané jsou organická rozpouštědla (aceton, metanol, trichlóretylén, benzín). Je nezbytné, aby bylo při volbě rozpouštědla bráno v úvahu chemické složení plastového dílce a vlastnosti rozpouštědla. Pokud budeme odmašťovat při zvýšené teplotě nebo budeme lázeň stříkat na povrch, můžeme proces urychlit. Ovšem zvýšená teplota a tlak proudící kapaliny nesmí plastový dílec deformovat. O výsledku odmaštění se přesvědčíme po oplachu vodou, kdy by měl být povrch stejnoměrně mokrá a dokonale smáčivý.

Předchozí úpravu můžeme vylepšit tzv. zcitlivováním, také známé jako aktivace nebo očkování. Aktivační činidlo se silně absorbuje na dobře očištěném a odmaštěném povrchu plastového dílce. Tudíž se nedá spláchnout ani s předpokladem dlouho trvajícím oplachováním. Často se zcitlivuje ponorem na 20-30 minut do vodného roztoku 5-10% roztoku chloridu cínatého. Jako činidlo se také používá pyrogalol, hydrochinon, 2,5% amoniakální roztok síranu železnatého aj.

Vytváření kovového povlaku

Zde rozeberu pokovování třemi kovy a to: mědí, niklem a stříbrem. Vytváření měděného povlaku chemickou redukcí naráží na několik problémů. Příliš pomalé tvoření povlaku. Nestejnoměrnost a malá přilnavost vytvořeného povlaku. Zrychlení redukce je možné při příliš vysoké teplotě. Při tvorbě povlaku vznikají nežádoucí zplodiny (kal, dehtové zplodiny, dráždivé plyny).

K pokovování mědí se často jako aktivace používá ponor do roztoku chloridu cínatého a dusičnanu stříbrného. Pokovovací lázně připravujeme obvykle ze dvou roztoků, které je nutné smíchat až před aplikací lázně.

Uvedu příklad takovéto lázně. Mědicí roztok se skládá z: 50 g síranu měďnatého, 12,5 g chloridu nikelnatého, 37,5 g síranu hydrazinu, 1000 ml vody. Redukční roztok se skládá ze: 37,5 g hydroxidu sodného, 150 g vianu sodno-draselného, 12,5 g uhličitanu sodného, 1000 ml vody. Celý proces pokovení mědí touto metodou je uveden níže na konkrétním příkladu v tab. 4.

Vytvoření niklového povlaku je podobné jako vytváření měděného povlaku. K dosažení dobré přilnavosti je potřeba důkladné očištění a zdrsnění povrchu. K redukcí je nutné použít katalyzátor. Může se použít železo, samotný nikl, kobalt, hliník nebo paladium. Když je vytvořena první vrstvička niklu, katalyzuje další průběh redukce sám vytvořený nikl a ta může pokračovat až téměř do vyčerpání lázně. Proto je nikl schopen vytvořit silnější povlak



Obr. 12 Niklovací lázeň [26]

než např. měď nebo stříbro. Na obr. 12 je zobrazena vana s niklovací lázní.

Problematickou vlastností niklovacích lázní je její náchylnost k rozkladu. Příčinnou bývají nejčastěji ionty paladia a cínu (které zůstanou po aktivaci na povrchu dílce), proto se musí dílec před pokovením velmi důkladně opláchnout. U některých roztoků s tímto problémem počítáme, a tudíž nejsou tak moc náchylné na rozklad. Jeden takovýto roztok uvedu.

Tento roztok se skládá z: 35 g síranu nikelnatého, 10 g citranu sodného, 10 g octanu sodného, 15 g fosforanu sodného, 20 g síranu hořečnatého, 10 ml smáčedla, 1000 ml vody.

Stříbření můžeme provádět pomocí ponoru nebo postřiku. Stříbření ponorem se provádí ve vaně nebo bubnu, kde se smíchá odměřené množství stříbrného a redukčního roztoku. Na závěsech upevněné plastové dílce vkládáme do roztoku. Roztok se opět musí smíchat těsně před použitím. Nyní opět příklad stříbrící a redukční lázně. Složení stříbrícího roztoku: 60 g dusičnanu stříbrného, 60 ml 30% roztoku hydroxidu amonného a 1000 ml vody. Redukční roztok se skládá z: 65 ml 40% formaldehydu a 1000 ml vody.

Předměty pokovujeme ponorem na 10-15 minut. Pokovené předměty vyjmeme z vany nebo bubnu a opláchneme vodou. Pokud chceme tlustší pokovenou vrstvu ponor opakujeme. Vytažený povlak ovšem nesmí uschnout. Po krátkém opláchnutí ponor opakujeme.

Stříbření postříkem se často používá u profilovaných dílců. Stříkáním vzniká lesklý stejnoměrný povlak s větší přilnavostí. Rychlejší redukci stříbra můžeme pokovit 1 m² plochy za minutu. Úprava povrchu je stejná jako u předchozích způsobů. Rozdíl je pouze ve složení stříbrných a redukčních roztoků. Jako příklad uvedu tento roztok. Stříbřící roztok je ve složení: 18,5 g dusičnanu stříbrného, 15 ml koncentrovaného roztoku hydroxidu amonného a 1000 ml destilované vody. Redukční roztok se skládá z: 25,5 g glyoxalu, 9 ml trietanolaminu, 1000 ml destilované vody.

Konkrétní postup klasického způsobu chemického pokovování:

Tab. 4 Příklad chemického pokovení mědi [4]

Postup	Účel	Prostředky	Doba postupu
1	Matování povrchu plastické hmoty	V otáčivém bubnu ve směsi pemzy a vody	2-3 hod podle velikosti a tvaru součásti
		Otryskáváním	1 m ² asi 2 minuty
		Chemickou cestou	Ponořením na krátkou dobu
2	Čištění povrchu	Vodou, vzduchem, rozpouštědlem, roztokem smáčedla apod.	Obvykle 1-2 minuty
4	Aktivace povrchu	0,25 g/l chloridu platičitého	5-10 minut
5	Vytváření měděného povlaku	Mědicí roztok: 35 g síranu měďnatého, 173 g vlnanu sodno-draselného, 52 g hydroxidu sodného, 1000 ml destilované vody	30-40 minut při použití v poměru 1:1
		Redukční roztok: 200 g formaldehydsulfoxylátu zinečnatého, 100 ml destilované vody	
6	Vytváření kovové mezivrstvy (galvanicky)	Počáteční lázeň: 40-100 g/l síranu měďnatého, 2,5 g/l koncentrované kyseliny sírové	Asi 1 hodinu ponechat v počáteční lázni a potom v druhé lázni, tloušťka vrstvy asi 8 mikrometrů.
		Druhá lázeň: 200-300 g/l síranu měďnatého, 15-40 g/l koncentrované kyseliny sírové	
7	Vytvoření vrchní kovové vrstvy	Obvyklá elektrolytická lázeň podle druhu požadovaného povlaku	Běžná doba podle požadované tloušťky

3.2.3 Sorpční způsob pokovování [1], [4], [8], [13]

U tohoto způsobu pokovování je nejdůležitější částí vytvoření vrstvy, která sorbuje (iontově váže) pouze kovové ionty nebo jejich komplexy. Využíváme chemické reakce, při které se do struktury makromolekuly plastového dílce vměstnají zbytky např. kyseliny fosforité, arzenité, sulfonové nebo se vytvoří skupiny hydroxilové, sulfhydrilové, aminové, iminové, kvarterní amoniové, fosfoniové, oximové aj. Tyto postupy se obecně nazývají aktivací. K následnému popisu vyberu dva postupy, sulfonaci a hydrolýzu.

Sulfonací rozumíme vnesení sulfonové skupiny do aromatického jádra (často fenolu nebo styrenu). Hydrolýzou rozumíme vytváření hydroxylových skupin v řetězci makromolekulárních látek. Oba tyto postupy jsou využívány pro svou technologickou i ekonomickou nenáročnost. A také pro možnost aplikace na nejběžnější typy reaktoplastů.

Aktivace povrchu je možná několika způsoby (povrchově, hloubkově, v celém průřezu hmoty, oboustranně nebo na části povrchu). Ovšem pro účely pokovování plastových dílců nám velmi často stačí povrchová aktivace.

Pokovení tímto způsobem je závislé na schopnosti vytvořit v makromolekule pomocí aktivačního činidla nebo do ní přijmout tzv. funkční skupiny. Většinu známých a používaných plastických materiálů by bylo možné některým výše uvedeným způsobem aktivovat. Z praktických důvodů se ale budu věnovat pouze plastům, které lze aktivovat pomocí sulfonace nebo hydrolyzy.

K těmto plastovým hmotám patří makromolekulární látky, které mají v řetězci fenolové nebo naftalénové skupiny (různé pryskyřice, fenolignin nebo kopolymery styrénu). Látky jako polypropylén, polyetylén, polytetrafluórethylén aj. můžeme aktivovat, ale až poté, co u nich bude provedeno tzv. roubování (radiálně chemická úprava). K látkám vhodným k sorpčnímu pokovování se řadí také např. kopolymery styrénu s dieny, fenolformaldehydové typy nebo kopolymery styrénu s butadienem a akrylonitrilem (polymery ABS).

Požadavky na tento lak závisí na tom, zda jej nanášíme přímo na povrch pokovovaného plastového dílce nebo nepřímo, nebo zda má být po pokovení předmětu sundán.

Technologický postup [1], [4], [8], [13]

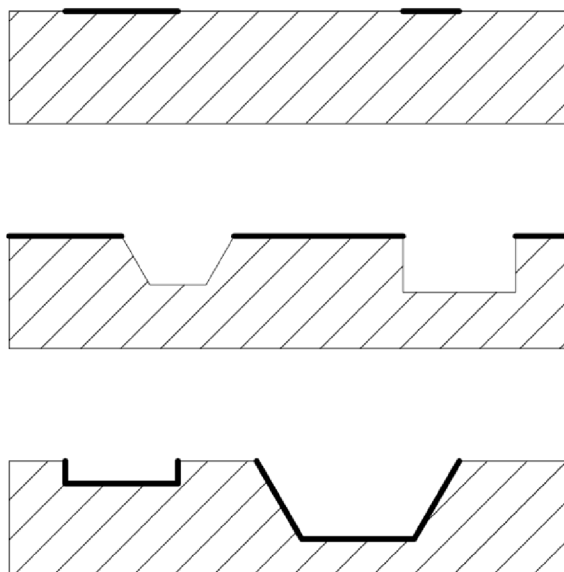
Technologie sorpční metody se liší od klasické metody v několika ohledech. Úprava povrchu se skládá většinou jenom z odmaštění a aktivace. Tato technologie zahrnuje obecně tyto postupy: 1. předběžnou úpravu povrchu plastového dílce, 2. vytvoření sorpční vrstvy (aktivaci), 3. oplach proudící vodou, 4. sorpci kovových iontů, 5. redukci kovových iontů, 6. oplach proudící vodou, 7. konečnou úpravu povrchu.

Některé typy plastických materiálů vyžadují zvláštní úpravu povrchu (např. předbotnění, nanesení laku obsahující již aktivní skupiny nebo radiálně chemickou úpravu). Požaduje-li se pouze částečné pokovení plastového dílce, zařadí se k postupům úpravy ještě potiskování ochranným lakem. Na obr. 13 jsou zobrazeny možné konfigurace naneseného ochranného laku podle toho, která část dílu se pokovuje. Předběžná úprava povrchu tedy může obsahovat postupy odmašťování, předbotnění, potiskování ochranným lakem nebo jejich kombinaci.

Odmaštění a očištění dílu probíhá v lázních, pro které platí stejné požadavky jako u klasického způsobu pokovování. Probíhá tehdy, když se bude povrch přímo aktivovat nebo lakovat. Doba aktivace je proměnlivá a velmi záleží na druhu plastické hmoty a hloubce požadované aktivace. V některých případech je možné spojit proces odmaštění s procesem předbotnění. Předbotnění nelze provést u lineárních polymerů (termoplastů), protože by nastalo naleptání povrchu dílce. V rozpouštědlech botnají hlavně zesíťované makromolekuly (např. kopolymer styrenu s divinylbenzemem nebo butadienem, kopolymery kyseliny akrylové apod.). Botnadlo se musí po aktivaci odstranit vysušením dílce.

Požaduje-li se pokovení jen na části povrchu dílce (např. za účelem umístění plošného spoje, reliéfu nebo písmen) nanese na ostatní místa povrchu lak nebo jiný ochranný materiál, který odolá činidlu po dobu aktivace.

Dále sulfonace. Jedná se o chemickou reakci, při níž se za pomoci kyseliny sírové, oxidu sírového nebo kyseliny chlór sírové nahrazuje vodík organické sloučeniny (zejména



Obr. 13 Možnosti nanesení laku [4]

benzenového kruhu) sulfoskupinou ($-\text{SO}_3\text{H}$). Tato reakce probíhá tím rychleji, čím je v systému méně vody. Výsledkem této operace je aktivovaný povrch a reakční voda. Doba sulfonace rozhodne o kvalitě povrchu ale také jeho přilnavosti. Sulfonace je provedena ponorem, poléváním nebo stříkáním za normální pokojové teploty. Po skončení sulfonace sundáme dílce a necháme je okapat, popř. odstraníme proudem stlačeného vzduchu a proudící vodou opláchneme zbytky kyseliny. Do fáze oplachování kyseliny můžeme zařadit i zcitlivování (uvedené u klasického způsobu pokovování) nebo ji provést jako samostatnou operaci.

Hydrolýzou (působením louhů a kyselin na plastické hmoty, které obsahují esterovou vazbu) můžeme sorbovat ionty hydroxylové ($-\text{OH}$) a karboxylové ($-\text{COOH}$) skupiny. Hydrolýzou tak můžeme sorbovat např. vytvrzené nenasyčené polyesterové pryskyřice, polyakryláty aj. Dobrých výsledků u těchto materiálů dosahuje hydrolýza pomocí alkalických louhů. Hydrolýza probíhá za normálních teplot pomalu, a proto se pracuje s koncentrovanými louhy za teplot 50-70 °C, což představuje velkou nevýhodu. Aktivace hydrolýzou je málokdy výhodná a používání této metody není časté. Po hydrolýze opláchneme dílec proudící vodou.

Existují i další způsoby aktivace např. vytvoření skupin $-\text{PO}_3\text{H}_2$, $-\text{PHO}_2\text{H}$, $-\text{NOH}$ aj. Dávají také dobré výsledky při pokovování, nejsou příliš složité a lze je provádět na vhodných typech plastických hmot.

Nyní přejdeme k další operaci, což je sorpce kovových iontů. V tomto postupu se do povrchu nasorbují (iontově naváží) kovové ionty nebo jejich komplexy. Dochází k tomu již při oplachu nebo při zcitlivování. Sorpce se provádí ponorem, oplachem nebo stříkáním. K vyšší rychlosti sorbce je potřeba vyšší koncentrace sorbovaného iontu a pohyb lázně. Jako příklad sorbční lázně uvedu roztok k sorbci stříbra. Roztok se skládá z: 70 g uhlíčitanu draselného, 70 ml 35% roztoku hydroxidu amonného a 1000 ml destilované vody. Složení sorpčního roztoku je potřeba upravit s ohledem na aktivitu redukčního činidla. Teplota sorpční lázně neovlivní rychlost sorpce.

V dalším kroku následuje redukce kovových iontů. Ve srovnání s klasickým způsobem je redukční roztok oddělen a redukce jako zvláštní proces se týká pouze kovových iontů nebo jejich komplexů, nasorbovaných v aktivované vrstvě. Výhodou je, že u této metody nevznikají kaly, které jsou příčinou zmetkovitosti dílců. Rychlost redukce závisí na redukční schopnosti a na množství redukční látky, koncentraci vodíkových iontů, teplotě a množství reakčních zplodin. Redukce se provádí ponorem, stříkáním nebo oplachem dílců redukčním roztokem. Redukci ponorem je nutné z důvodu reakčních zplodin (redukci zpomalují) provést v proudícím roztoku. Pro postříbření, jehož sorbční roztok je uveden výše, je možné použít více redukčních roztoků jako např. hydrazinový roztok (15 g síranu hydrazinu, 40 g hydroxidu sodného, 1000 ml destilované vody), formaldehydový roztok (125 ml 40% formaldehydu, 1000 ml destilované vody), hydrochinonový roztok (12 g hydrochinonu, 1000 ml destilované vody). Použití těchto roztoků má své výhody i nevýhody. Zvolení vhodného roztoku závisí na předešlých operacích a na požadavcích na finální pokovený dílec.

Touto metodou se samozřejmě vytváří i jiné povlaky. Uvedu zde ještě příklad mědi. Mědění plastových dílců sorpční metodou je možné provést vyredukováním pouze měděných iontů nasorbovaných v aktivované vrstvě. Aktivovaný a důkladně opláchnutý povrch plastového dílce ponoříme na 3-5 minut do roztoku o složení: 70 g zásaditého uhlíčitanu měďnatého, 77 ml 30% roztoku hydroxidu amonného a 200 ml destilované vody. Další variantou je nasorbovat ionty katalytického kovu k vyvolání redukce mědi na povrchu plastového dílce. Druhá varianta dává příležitost vytvořit tlustší vrstvu mědi (až několik mikrometrů) s dobrou přilnavostí a vodivostí.

3.2.4 Zhodnocení chemického pokovování [1], [4], [5], [6], [13], [15]

Pro použití klasické metody chemického pokovování je zásadní jeho ekonomické zhodnocení a účel, jemuž má sloužit. Volba technologického postupu chemického pokovování závisí na mnoha faktorech. Hlavním se požadavek na finální produkt.

Srovnání metody ponorem a stříkáním. Technologie pokovení je pro oba postupy téměř stejná. Rozdíl je jenom ve způsobu vytváření povlaku. Při pokovování ponorem je využito méně kovu (uvádí se 10-15 %). Metodou postřiku může být využito až 80 % kovu. Zdá se tedy, že druhý způsob je v tomto výhodnější. Ovšem když kov regenerujeme jsou oba systémy skoro rovnocenné.

Pro pokovování postřikem mohou hovořit i praktické důvody. Vyžaduje totiž minimální provozní plochu, rychleji vytváří kovový povlak. Tloušťka povlaku závisí na době stříkání. Zmetkovitost je menší, protože vznikající kaly je neznečišťují. Je také výhodné pro pokovení velkých ploch i profilovaných předmětů. Možnost vytvoření povlaku o větší tloušťce je výhodná zvláště pro další galvanické pokovování. Oproti ponoru je nutné regenerovat menší část kovu. Postřik umožňuje také pokovení jen jedné strany povrchu dílce i části povrchu za použití masky.

V praxi se používá samozřejmě také metoda ponoru. Její velkou výhodou je, že nevyžaduje velké investiční ani provozní náklady, je rychlá, výhodná především pro hromadné pokovování velkého množství drobných předmětů. Proces je velmi jednoduché automatizovat.

Ekonomika sorpční metody pokovování je v mnoha směrech příznivější než u způsobu klasického. Jak již bylo zmíněno výhodou této metody je možnost pokovení pouze části povrchu. Použití ochranného laku sloužícího k zabránění aktivace a tím zabránění pokovení.

Velkou nevýhodou ovšem je nepříjemná práce s koncentrovanými kyselinami a jejich uskladnění. Provozní zařízení je podobné jako u klasického způsobu. Všechny technologické postupy jsou jednoduché, krátkodobé a kontinuální, lze je proto také snadno automatizovat. Hospodárné využití všech chemikálií je prokazatelné, zvláště u drahých kovových solí. Značná spotřeba roztoků si žádá připravovat koncentrované zásoby roztoků, které se před použitím ve správném poměru rozředí destilovanou vodou.

Nejširší uplatnění nacházejí chemické způsoby pokovování v technice, kde dosažení vysokého lesku je většinou podružné a převažuje požadavek dokonalé přilnavosti kovového povlaku s možností jeho dalšího pokovení.

3.3 Pokovování ve vakuu [1], [4], [5], [6], [8], [15]

V základu můžeme metodu rozdělit na napařovací a napařovací metodu. Princip obou metod spočívá ve vytváření atomů kovu za vakua, které kondenzují na povrchu pokovovaného plastového dílce. Jejich společným znakem je evakuovaný prostor, který však u katodového rozprašování lze nahradit prostředím inertního plynu. U napařovací metody lze ovšem úspěšně pokovovat pouze ve vysokém vakuu. Úspěšné pokovení záleží nejenom na dobré volbě plastického materiálu, ale také na vhodné konstrukci plastového dílce. A to především na jeho velikosti a tvaru.

3.3.1 Napařovací metoda [2], [4], [6], [15]

Touto metodou je teoreticky možné nanášet většinu kovů a mnoho kovových sloučenin. Kovy, které chceme pro pokovování použít, musí být v nejlepší dosažitelné čistotě. Nežádoucí je, aby obsahovaly látky, které mají vyšší tenzi par při teplotě odpařování. Důležité také je, aby teplota odpařování byla nižší než tavná teplota odpařovacího zdroje. Kov, který chceme použít by měl být dokonale odmaštěn a zbaven dalších různých nečistot. Uskladnění nesmí dovolovat kovu oxidaci nebo jiné znečištění.

U této metody je velmi oblíbené použití hliníku, protože je dostupný, levný, snadno se odpařuje, jeho povlak je zrcadlově lesklý a je odolný proti korozi. Hliník ale není jediný používaný kov. Touto metodou je možné pokovovat i zinkem, stříbrem, zlatem, mědí, kadmíem, selenem nebo různými slitinami. Pokovení slitinami se provádí např. hliníkem s mědí, s cínem, s hořčíkem, s manganem nebo chromem s niklem ad. Na obr. 14 jsou znázorněny vakuově pokovené plastové dílce.



Obr. 14 Dílce pokovené vakuovou metodou [25]

Nanášený kov se taví a odpařuje pomocí přivedeného tepla (příchodem elektrického proudu). Zdroje odpařování jsou umístěny ve vakuové pokovovací komoře tak, aby jejich vzdálenost od pokovovaného předmětu byla menší, než je střední volná dráha částic kovu. Ve velkých komorách bývá umístěno více zdrojů, které jsou nažhaveny postupně. Atomy kovu by měly dopadat na pokovovanou plochu plastového dílce v kolmém směru. Bude-li úhel jiný, dopadne jich na povrch méně a také by se pohybovaly po povrchu delší dobu. Při použití malého úhlu by vznikaly na povrchu hrubé povlaky.

Je nutné vhodně vybrat materiál odpařovaného zdroje, protože je to jeden z hlavních předpokladů ekonomiky provozu. Podmínkou je, aby vybraný materiál netvořil s odpařovaným kovem slitinu. Častými volbami jsou materiály s vysokým bodem tání (wolfram, molybden, tantal). Pro odpar kovů, které nemají tak vysokou teplotu tání můžeme použít zinek, kadmium, slitiny chromu a železa. Nekovové materiály jako grafit a keramika (nahřívání odporově) lze také použít.

Odpařovací zdroje se dělí na dva základní typy, drátové a plošné. Nejčastější drátové zdroje mají tvar vlnovky, oblouku, spirály nebo šroubovice. Plošné zdroje se v praxi užívají

méně než drátové. Existují ve tvaru misek, košíčků, lodiček nebo kelímků. V tab. 5 je uveden přehled odpařovaných kovů a zdrojů.

Tab. 5 Přehled odpařovaných kovů a odpařovacích zdrojů [4]

Odpařovaný kov	Bod tání [°C]	Teplota odpovídající tlaku par kovu 10^{-2} torru [°C]	Odpařovací zdroj	
			Kov	Tvar
Antimon	630	678	W, Ta	drát, miska
Berylium	1280	1246	W, Ta, Mo	košíček
Cín	232	1189	W, Ta, Mo	kelímek, košíček
Germánium	958	1251	W, Ta, Mo	drát, košíček
Hliník	659	996	W, Ta, Mo, grafit	drát, kelímek
Hořčík	657	443	W, Mo, Ta, Ni, Nb, Fe	drát, košíček
Chrom	1920	1205	W, Mo, grafit	drát, kelímek
Kadmium	321	264	W, Nb, Ta, Ni, Fe, Al_2O_3 , křemen	drát, kelímek, košíček
Kobalt	1492	1649	W, Nb, Al_2O_3 , BeO , grafit	drát, kelímek
Měď	1084	1273	W, Ta, Mo, Nb	drát, košíček
Nikl	1453	1510	W, Al_2O_3 , grafit	drát, kelímek
Niob	1950	2700	W	drát
Olovo	327	718	W, Ni, Fe	drát, miska
Paladium	1555	1566	W	drát
Platina	1773	2090	W, grafit	drát, kelímek
Rhodium	1966	2149	Mo, W, Rh, grafit	drát, kelímek
Selen	217	234	Mo, W, Ni, Al_2O_3 , porcelán	drát, kelímek
Stříbro	960	1047	W, Ta, Mo, Nb, Pt	drát
Tantal	3030	3000	Ta	drát
Bizmut	271	698	W, Ta, Ni, Fe, porcelán	drát, miska
Zinek	420	343	W, Ta, Mo, Nb, Al_2O_3	drát, kelímek
Zlato	1063	1465	W, Mo	drát
Železo	1535	1447	W	drát

Druhy pokovovaných plastických hmot a jejich tvar

Vakuovým způsobem je možné pokovit většinu plastických materiálů. Ovšem u měkčených materiálů je to obtížné.

Z termoplastů je možné pokovovat např. polystyrén, polymethylmetakrylát, polyvinylchlorid, polyvinylidenchlorid, polyvinylacetát, polyamidy, polykarbonáty, deriváty celulózy aj. kromě silně změkčených plastických materiálů. Některé další materiály je možné pokovit až po předběžné úpravě povrchu.

Reaktoplasty jsou ve většině případů tepelně odolnější než termoplasty. Je tedy možné použít při případném vypalování základní nebo lakové vrstvy vyšších teplot. Navíc nejsou termosety nepříznivě ovlivněny organickými rozpouštědly základních laků. Mezi vakuově pokovované reaktoplasty se řadí např. fenoplasty, aminoplasty, furanové a epoxidové pryskyřice a polyestery.

U konstrukcí pokovovaných dílců je důležité, aby povrch těchto dílců netvořil (pokud je to možné) příliš velké nepřerušované plochy, protože povrch vyrobených výlisků není dokonale hladký. Mají vždy nějaké nerovnosti, zkřivení nebo dokonce malé deformace. Tyto nerovnosti obyčejný člověk na výlisku ani nemusí vidět. Ovšem po pokovení jsou už patrné,

protože díky lesklému povrchu znatelně vystoupí. Příliš tenké stěny dílců jsou také problematické. Dílec by se mohl při vypalování základního nebo vrchního nátěru zborstit.

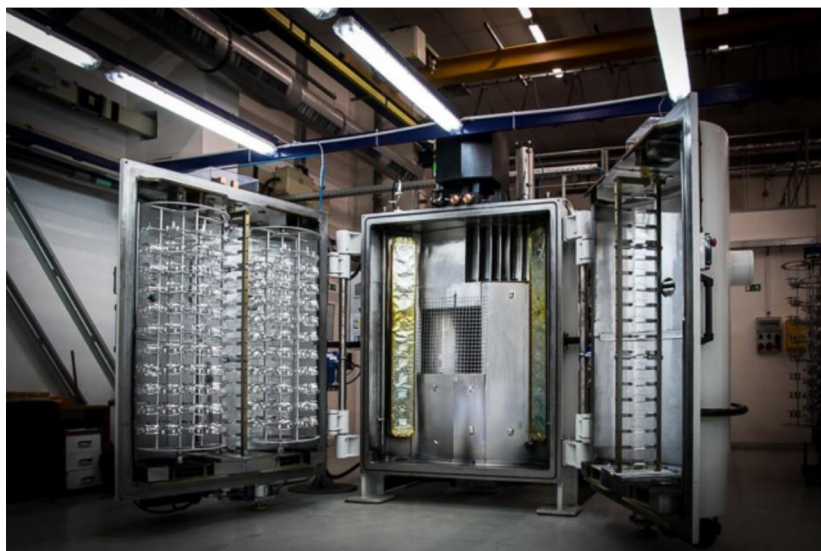
Pro toto pokovování jsou vhodné kulaté nebo zaoblené povrchy. Nevhodné jsou dílce, které mají na pokovovaném povrchu výčnělky, jemné okraje nebo hrany. Protože na takových místech je obtížné dosáhnout dobré přilnavosti základního nátěru. Dále je podstatné vyhnout se hlubokým a úzkým prohlubeninám, štěrbinám nebo zářezům. Mezi, které se nedá nanést dostatečné množství kovu a pokud je zářez příliš úzký může se celý zaplnit lakem.

Častým doporučením je, vyhnout se použití maziv na vyndávání výlisků z forem, protože jakákoli mastnota je pro výsledek nepříznivá.

Upínání a zavěšování dílců by mělo být snadné. U malých výlisků je možné použít vtokovou soustavu od lisování, která nám dovoluje zavěšovat a pokovovat celé svazky.

Technologický postup

Napařovací metoda se skládá obecně z těchto operací: 1. předběžná úprava povrchu, 2. nanášení základní lakové vrstvy, 3. pokovení ve vakuu, 4. nanášení vrchní lakové vrstvy, 5. barvení vrchní lakové vrstvy.



Obr. 15 Vakuová komora [25]

U galvanického nebo chemického pokovování se často dílce před pokovováním zdrsňují z důvodu lepší adheze. U vakuového pokovování se dílce nezdrsňují, protože by se nedosáhlo hladkého a vysoce lesklého povrchu.

K předběžným úpravám povrchu patří odmaštění, sušení nebo odplynování. Odmašťování je nutné provést u výlisků, u kterých bylo při lisování užito maziva. Zbytky maziv snižují přilnavost, proto je výhodnější je v procesu

lisování vůbec nepoužít. K odstranění zbytků maziva na plastovém dílci se ponoří na několik minut do rozpouštědel. Někdy postačí pouze dílce opláchnout ve vodě se saponátem.

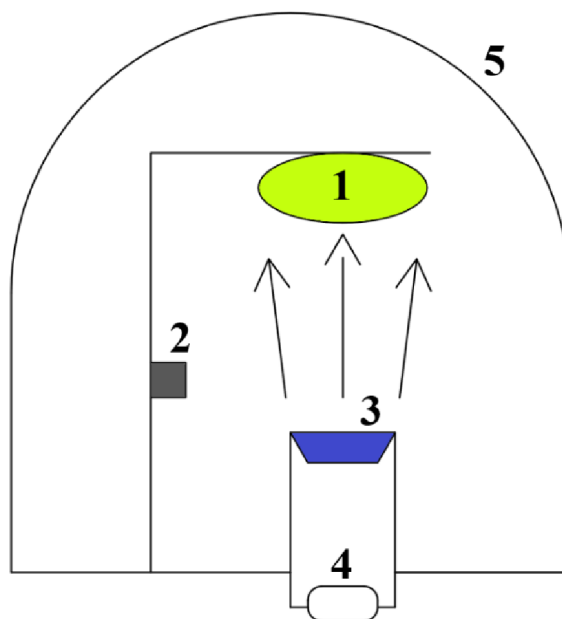
Dalším krokem v předběžné úpravě je tzv. odplynování. Jedná se o odstranění plynů pohlčených v pokovovaném dílci. Chceme tím dosáhnout zkrácení doby čerpání při evakuaci. Dílce vložíme do vakuové komory. Odplynění a zároveň vysušení dílce se provádí při zvýšené teplotě a nízkém tlaku.

Ionizace se provádí pro maximální adhezi kovu k plastovému dílci. Prováděna je jako čištění výbojem vysokého napětí. Doutnavým výbojem se povrch vyčistí a odstraní se poslední zbytky vlhkosti, rozpouštědel, změkčovadel a absorbovaného plynu. Intenzita elektrického výboje se musí kontrolovat, aby nedošlo k přehřátí a rozkladu plastické hmoty.

V případě vakuového pokovování se opatřuje povrch plastového dílu základní vrstvou laku. Tato vrstva odstraňuje nepravidelnosti a vady povrchu dílce, které tenká kovová vrstva věrně kopíruje. Hodně důležitá je tato operace pro druhy plastů, které po lisování nabývají pórovitosti. Složení laků je obdobné jako u chemického pokovování.

Samotné pokovování plastových dílců většinou provádíme diskontinuálním (přetržitým) nebo polokontinuálním způsobem. Polokontinuálním způsobem se pokovují různé fólie nebo tkaniny ze syntetických materiálů. Plastové dílce se touto metodou nevyrobějí, proto budu popisovat pouze přetržitý způsob pokovování.

U diskontinuálního způsobu se odpařovací kov rovnoměrně zavěsí ve tvaru drátu nebo pásky na odpařovací zdroj. Počet drátů nebo pásek závisí hlavně na velikosti a tvaru odpařovacího tělíska. Do pokovovací komory (obr. 15) zasuneme plastové dílce k pokovování. Uzavřeme komoru a odčerpáme z ní vzduch. Nyní přijde řada na výše zmíněnou ionizaci plastového dílce. Čištění je ukončeno po dosažení tlaku, kdy doutnavý výboj zhasíná. Po dosažení požadovaného vakua se zapne elektrický proud a postupně se zvyšuje napětí. Teplota odpařovacího tělíska roste a poté začne odpařovaný kov tát a smáčí odpařovací tělísko. Je vytvořen povrch pro odpařování. Musíme ovšem dosáhnout teploty, kdy se začíná kov odpařovat. Vzniklé páry kondenzují na chladném povrchu plastového dílce, na stěnách komory a držácích. Snahou je rychlé odpařování, protože tím vzniká kompaktnější povlak s větší adhezí k podkladu. Rychlost odpařování stoupá s teplotou. Nesmíme však vytvořit příliš velkou hustotu par, díky které vznikají nepřilnavé práškové povlaky. Pro většinu kovů je nejvhodnější teplota odpovídající tlaku par kovu 10^{-2} torru, které jsou uvedeny v tabulce 5. Po dosažení požadované vrstvy kovu se nechá tělísko minutu vychladnout. Připouští se pozvolna filtrovaný vzduch. Po dosažení atmosférického tlaku otevíráme dveře komory, vyndáme pokovené plastové dílce. A proces může pokračovat s novou várkou dílců. Doba pracovního cyklu je závislá na výkonu vývěvy a použité plastové hmotě. Zjednodušené schéma vakuové komory při tomto procesu je na obrázku 16. (Kde 1 je pokovovaný díl, 2 snímač tlaku, 3 odpařovaný materiál, 4 zdroj napětí, 5 vakuová komora)



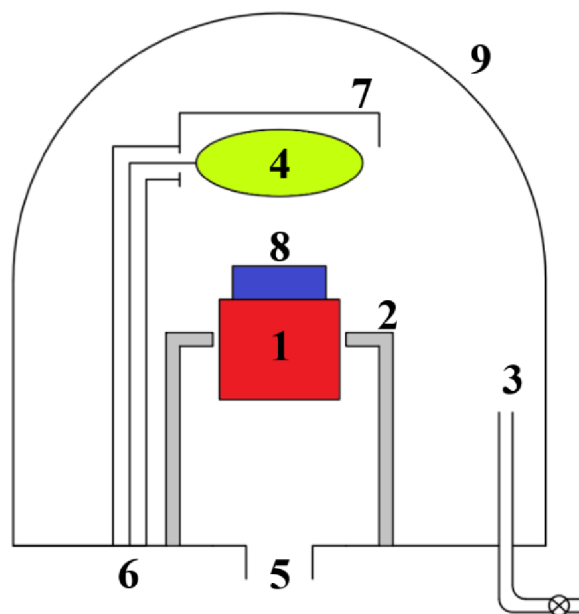
Obr. 16 Schéma napařovací metody [15]

Často se vytvořený povlak chrání lakovou vrstvou, protože povlak na plastovém dílci je tenký a není tudíž tak odolný proti poškození. Tento lak nesmí způsobit ztrátu lesku a musí být odolný proti odírání a nárazu. Volba použitého laku závisí na druhu plastické hmoty, aplikaci pokovených výrobků, požadovaným zbarvením apod. Většina používaných laků schne na vzduchu za zvýšené teploty.

Závěrečnou fází vakuového pokovování je barvení vrchní lakové vrstvy. Jedná se o rychlý a jednoduchý postup, který se použije pouze v případě, chceme-li jinou barvu povrchu, než má napařený kov. Pokovené a nalakované plastové dílce se ponoří do barvicí lázně, kde nastane sorpce barviva do vrchní lakové vrstvy. Následuje oplach přebytečné barvy vodou a proces pokovování je u konce.

3.3.2 Katodové rozprašování kovů [2], [4], [6], [15]

Katodové rozprašování se používá pro vytváření velmi tenkých kovových povlaků. Dále v případech, kde je nutné kontrolovat tloušťku nanášení kovové vrstvy nebo tam, kde se při vakuovém pokovování uvolňují plyny. Kovy, které se obtížně odpařují (např. platina nebo nikl) se mohou snadněji nanášet rozprašováním. Nelze ho však použít pro všechny běžně používané kovy. Tato metoda je založena na rozpadu katody elektrickým výbojem ve vakuu. Z katody jsou vytrhovány atomy kovu, které mají negativní náboj a jsou unášeny k anodě. Umístíme-li do prostoru mezi katodou a anodu nějaký předmět, kondenzuje na jeho povrchu kov, z kterého je katoda zhotovena nebo jehož vrstvou je alespoň opatřena. Zjednodušené schéma vakuové komory při tomto procesu je na obr. 17. (Kde 1 je topné těleso, 2 anoda, 3



Obr. 17 Schéma napařovací metody [15]

přívod inertního plynu, 4 napařovaný materiál, 5 vakuová pumpa, 6 zdroj napětí, 7 katoda, 8 pokovovaný díl, 9 vakuová komora)

3.3.4 Zhodnocení vakuového pokovování [1], [4], [5], [6], [8]

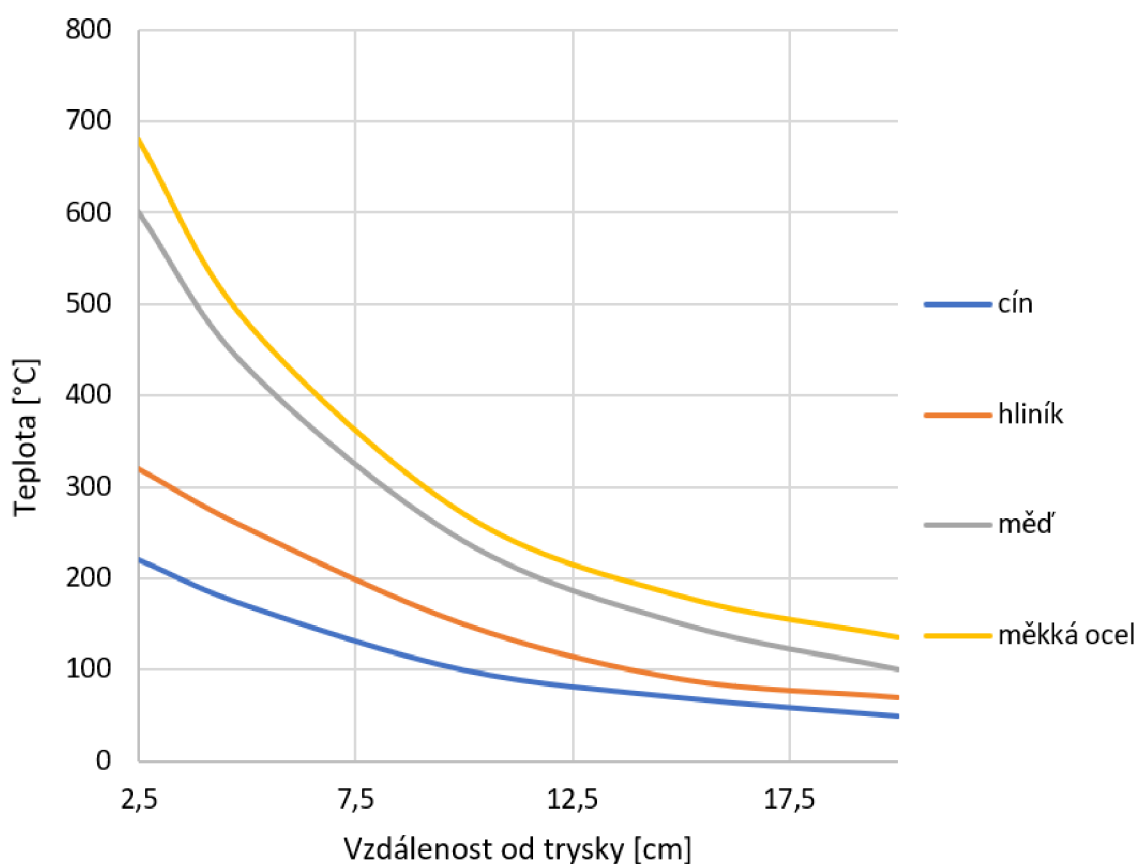
Výhodou vakuové metody je, že dílec není potřeba před vlastním pokovováním mechanicky ani chemicky upravovat. Dílec stačí (pokud je to nutné) opatřit základní lakovou vrstvou, kterou napařovaný kov věrně reprodukuje. Pokovované dílce nemusí být vodivé jako například u galvanického pokovování. Neprobíhá zde žádný chemický proces, proto odpadá práce se škodlivými a koncentrovanými chemikáliemi, působící také degradaci platových hmot. Velmi dobře se touto metodou pokovuje hliník, který je dobře dostupný a levný. K výhodám je možné řadit možnost pokovit velké množství menších dílců najednou.

Nevýhodou této metody je vysoká cena pokovovacího zařízení, závislost trvanlivosti tenkého kovového povrchu na vrchním laku a časová náročnost procesu (nutnost vytvoření vakua).

3.4 Speciální metody pokovování

3.4.1 Žárové stříkání kovů [1], [4], [6]

Touto povrchovou metodou získáme opět dekorační nebo vodivé povlaky. Protože to je metoda poměrně rychlá a má snadný pracovní postup, dají se s ní pokovit poměrně velké dílce. U drobnějších součástí se tato metoda nevyplácí, protože značná část stříkaného kovu není využita. Dílce nepřicházejí do styku s žádnými roztoky kyselin a jiných chemikálií. Stříkáním je možné nanášet všechny kovy a jejich slitiny, ale pokovují pouze ty, které mají dostatečně nízký bod tání, protože spolu s vhodně zvoleným postupem můžeme pokovit i plasty. Teplota ve vzdálenosti rychle klesá (jak je vidět podle grafu na obr. 18), proto nemusí dojít k teplenému poškození plastové hmoty.



Obr. 18 Závislost teploty rozprašeného kovu na vzdálenosti od trysky [4]

Jednotlivé základní metody stříkání kovů se liší především v konstrukci metalizačních pistolí. Jedná se o metalizace: plynovou pistolí drátovou, elektrickou obloukovou pistolí drátovou, pistolí pro stříkání práškového kovu, pistolí na roztavený kov.

Úprava povrchu před stříkáním se provádí z důvodu odstranění zbytků mastnoty, vlhkosti nebo nečistot, aby byla zajištěna dobrá přilnavost kovového povlaku. Z tohoto důvodu se povrch také zdrsnuje. Čím tlustšího povlaku chceme dosáhnout, tím musíme udělat zdrsnění hlubší. Nejběžnějším způsobem je otryskávání. Ostrá zrna otryskávacího materiálu ubírají svým řezným účinkem částice povrchu a vytvářejí tak zdrsněný povrch.

Teplně mechanickým procesem žárového stříkání rozprašujeme roztavený kov na jemné částice. Tyto částice jsou proudem stlačeného vzduchu dopravovány na povrch plastového dílce, kde se na upraveném povrchu zachytí. V tekutém stavu povrch kapičky kovu

oxiduje. Když narazí na dílec, zdeformují se, zploští, rozbije se oxidová slupka a vytvoří na povrchu šupinky kovu. Takto nanesený povlak může být až několik milimetrů tlustý. Při metalizaci je důležité sledovat teplotu základního materiálu, vzdálenost pistole od dílce a úhel dopadu. Úhel dopadu by měl být mezi 60-90°. Při pokovování termoplastických dílců je silně nežádoucí, aby teplota stoupla nad 70-80 °C, protože je nutné zbránit tepelné deformaci výrobku. U reaktoplastů, které mají vyšší tepelnou odolnost je dovolená teplota o trochu vyšší.

Nastříkaný povrch nemá kovově čistý vzhled. Ten získáme až opracováním této vrstvy. Opracovatelnost nastříkané plochy není problematická. Většinou stačí povrch vyleštit jemnými kartáči nebo leštícími kotouči. Tlustěji pokovené dílce můžeme dokonce soustružit.

Velkou nevýhodou metalizovaných povlaků je jejich pórovitost, která se projevuje hlavně u tenkých vrstev. Pórovitost můžeme různými modifikacemi zmenšit, nikdy však nezmezí úplně. Pořizovací cena zařízení je vysoká, provozní náklady nejsou tolik náročné. Bezpečnost práce musí být na vysoké úrovni. Vytvořený kovový povlak není tak kvalitní jako u galvanického nebo chemického pokovování. Pokud je obsah oxidů ve vrstvě vysoký, dojde k zhoršení mechanické pevnosti. Velké ztráty kovu nejsou hospodárné. Vznikají nejvíce postřikem, odražením částic kovu i oxidací. Ztráty kovu se udávají až na 30-60 %. O proti většině jiných způsobů pokovování je metalizační zařízení poměrně náročné.

3.4.2 Pokovování z plynné fáze [1], [4], [6]

Podstatou tohoto procesu je tepelný rozklad par některých těkavých kovových sloučenin, při kterém se na pokovovaném dílci vylučuje kov. Používané jsou sloučeniny, které mají schopnost odpaření při relativně nízkých teplotách (karbonyly, nitrozyly, hydridy). Pokovování z plynné fáze probíhá kontinuálně. Očištěné předměty se zavěsí na pohybující se pás, postupně prochází předkomorou s ochrannou atmosférou a pracovním reaktorem. Zahřejí se a pokračují do reaktoru, kde se pokoví. Teplota rozkladu sloučenin musí být pouze v těsné blízkosti pokovovaného povrchu, jinde musí být teplota nižší. Průběh pokovení je závislý na koncentraci kovové sloučeniny v nosném plynu, na rychlosti jeho cirkulace a na teplotě pokovených předmětů. Vytvořený kovový povlak má velkou hustotu a je velmi čistý. Nevýhodou tohoto způsobu pokovování je nákladnost zařízení.

3.4.3 Lepení kovových fólií [1], [4], [6]

Zvláštní metodou pro pokovování plastového dílce je lepení (nalepování) kovových fólií. Použité kovové fólie musí být z čistého, neoxidovaného kovu a musí mít rovnoměrnou tloušťku. Fólie by měly mít na jedné straně hrubší povrch, a to z důvodu lepší adheze k lepenému povrchu dílce. Lepidlo by mělo mít dobrou adhezi jak k povrchu dílce, tak k použité fólii. Jako lepidla se osvědčily směsi na bázi epoxydových a fenolytických pryskyřic, polyvinylbutyralu aj.

4 ZÁVĚRY

Tato závěrečná práce obsahuje přehled dostupných technologií pro vytváření kovových povlaků na plastových materiálech. Obsahuje kromě popisu specifik a možností uvedených technologií také přehled kovových materiálů použitelných pro tyto technologie u nejčastěji pokovovaných plastů.

Na úvod jsem se zabýval vlastnostmi plastů a problematikou jejich pokovování. V následující kapitole rozebírám důvody, proč plastové hmoty pokovujeme. Základní rozdělení je na estetické a funkční. V dnešní době jsou cenově daleko dostupnější plasty, a to zvláště ty, na které neklademe vysoké mechanické nároky. Pokovený plast působí vizuálně dojmem vyšší kvality, vyšší cenové kategorie, lepších vlastností. Ve 3. kapitole se věnuji jednotlivým metodám pokovování. U každé metody uvádím obecné informace, možnosti technologie, technologický postup a celkové zhodnocení, popř. výhody nebo nevýhody.

U galvanického pokovování je vylučování některých kovů touto metodou velmi obtížné nebo je výtěžek kovu tak malý, že ji nelze hospodárně použít. Volba vhodného technologického postupu galvanizace závisí na druhu požadovaného výrobku, druhu lázně, stavu, povrchu surového dílce a technologickém vybavení galvanovny. Dále vyžaduje kromě výrobního zařízení (vany, dopravníky, zdroje, stejnosměrného proudu, ad.) také zařízení pomocné (sklady chemikálií, laboratoře, ad.) a zařízení pro ochranu životního prostředí (čistící a neutralizační stanice).

Chemické pokovování disponuje velkým množstvím výhod např. svojí jednoduchostí, nenáročností na výrobní zařízení, velkou produktivitou. Využívá se jak metoda ponoru, tak i postřiku. Velkou nevýhodou ovšem je nepříjemná práce s koncentrovanými chemikáliemi a jejich uskladnění.

Úspěšné pokovení vakuovou metodou nezáleží jenom na dobré volbě plastového materiálu, ale také na konstrukci jednotlivých dílů. Touto metodou je možné nanášet většinu kovů a mnoho kovových sloučenin. Je vhodná pro možné pokovení velkého množství menších dílců najednou.

Speciální metody jsou okrajovou záležitostí a pro průmysl nemají takový význam jako výše jmenované tři metody.

Vlastní přínos této práce vidím ve stručném shrnutí problému pokovování plastových dílců pro ty, kteří se s touto problematikou zásadně nesetkali.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [20]

1. ŠTĚPEK, Jiří, Antonín KUTA a Jiří ZELINGER. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů: celostátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy chemickotechnologické, studijní obor 28-10-8 Technologie výroby a zpracování polymerů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
2. SCHWARZ, Otto, Friedrich EBELING a Götz LÜPKE. *Kunststoffverarbeitung*. 6. Auflage. Würzburg: Vogel Verlag und Druck, 1991. ISBN 3-8023-0836-0.
3. WOEBCKEN, Wilbrand. *International Plastics Handbook: for the Technologist, Engineer and User*. 3rd ed. Munich: Carl Hanser Verlag, 1995. ISBN 1-56990-182-1.
4. ROTREKL, Bedřich, Jiří TAMCHYNA a Zdeněk DITRYCH. *Pokovování: zpracování plastických hmot : pomůcka pro stud. na odb. školách chemických*. Praha: SNTL, 1966. Řada chemické literatury.
5. KOTTFER, Daniel a Milan FERDINANDY. *Tenké vrstvy*. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2010. ISBN 978-80-553-0359-8.
6. KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-X.
7. KŘEPELKA, Jaromír. *Tenké vrstvy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3109-3.
8. *Povrchové úpravy* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/17.html>
9. *Tribológia: plasty a galvanická povrchová úprava* [online]. 2008 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22014/plasty-a-galvanicka-povrchova-uprava.html>
10. *Podstata, význam a historie polymerů* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/01.html>
11. *Struktura polymerů a její vliv na vlastnosti* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/03.html>
12. *Rozdělení a charakteristika polymerů* [online]. Liberec, 2014 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>
13. *Doplňkové technologie pro zpracování kovů* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm#122
14. *Plasty a jejich zpracovatelné vlastnosti* [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm
15. *Povrcháři* [online]. 2009, (9) [cit. 2020-06-15]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200909_povrchari.pdf
16. *Povrcháři* [online]. 2008, (2) [cit. 2020-06-15]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200802_povrchari.pdf
17. *Povrcháři* [online]. 2008, (3) [cit. 2020-06-15]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200803_povrchari.pdf
18. *Povrcháři* [online]. 2008, (6) [cit. 2020-06-15]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200806_povrchari.pdf
19. *Povrcháři* [online]. 2013, (5) [cit. 2020-06-15]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/201305_povrchari.pdf
20. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
21. *Povrchové úpravy 3D tisku a plastových dílů*. In: *Protocast.cz* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.protocast.cz/cz/povrchove-upravy/>
22. *Vakuové pokovení - Preciosa*. In: *Pokoveni-lakovani.cz* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.pokoveni-lakovani.cz/cs/vakuove-pokoveni.html>

23. Zavěšené dílce pro pokovování. In: *Publi.cz* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/images/pics/127.jpg>
24. Plastic galvanization - Chromoplasticacmc plating on plastic. In: *Cromoplasticacmc.com* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.cromoplasticacmc.com/electroplate-finishes-on-plastics/>
25. LISOVNA PLASTŮ - Vakuové pokovování. In: *Irisa.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.iris.cz/vakuove-pokovovani>
26. Electroless nickel. In: *Bomex.cz* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.bomex.cz/en/technologie/electroless-nickel>
27. *ABS Plastic Chrome Service* [online]. In: . [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/abs-plastic-chrome-electroplating-service-12731171062.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	akrylonitrilbutadienstyren
Co	kobalt
Cu	měď
CrO ₃	oxid chromový
HCl	kyselina chlorovodíková
H ₂ SO ₄	kyselina sírová
Ni	nikl
PdCl ₂	chlorid paladnatý
PC	polykarbonát
PMMA	polymethylmethakrylát
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PS	polystyren
PVA	polykarbonát
PVC	polyvinylchlorid
CnCl ₂	chlorid cínatý
-COOH	karboxylový iont
-OH	hydroxylový iont

SEZNAM POŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1 Možné odstíny pokovených plastů [21]	9
Obr. 2 Tvarově složitý pokovený předmět [22]	9
Obr. 3 Porovnání vzhledu pokoveného a nepokoveného plastu [14]	9
Obr. 4 Povrch nepokoveného a pokoveného ABS [27]	10
Obr. 5 Zavěšené dílce pro pokovování [23]	10
Obr. 6 Pokovené díly autíček [22]	11
Obr. 7 Pokovené funkční dílce [22]	11
Obr. 8 Galvanicky pokovený díl [24]	12
Obr. 9 Příklad galvanického pokovení [24]	13
Obr. 10 Skladba galvanického povrchu [9]	17
Obr. 11 Rozdílné nanášení povrchů [15]	18
Obr. 12 Niklovací lázeň [26]	21
Obr. 13 Možnosti nanesení laku [4]	23
Obr. 14 Dílce pokovené vakuovou metodou [25]	26
Obr. 15 Vakuová komora [25]	28
Obr. 16 Schéma napařovací metody [15]	29
Obr. 17 Schéma napařovací metody [15]	30
Obr. 18 Závislost teploty rozprášeného kovu na vzdálenosti od trysky [4]	31

SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tab. 1 Skladba mezivrstev u nejčastějších kovových povlaků [15]	14
Tab. 2 Soubor technických a technologických veličin a podmínek [6]	15
Tab. 3 Příklady složení galvanických lázní, podmínky a specifika procesu [4]	15
Tab. 4 Příklad chemického pokovení mědi [4]	22
Tab. 5 Přehled odpařovaných kovů a odpařovacích zdrojů [4]	27

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Přehled plastických hmot z hlediska jejich chemického pokovení klasickou a sornčnř metodou [4] |
| Příloha 2 | Souhrnný přehled kovových materiálů použitelných pro jednotlivé technologie pokovování u nejčastěji v praxi používaných plastů [1, 2, 3, 4] |
| Příloha 3 | Galvanická linka |

Příloha 1

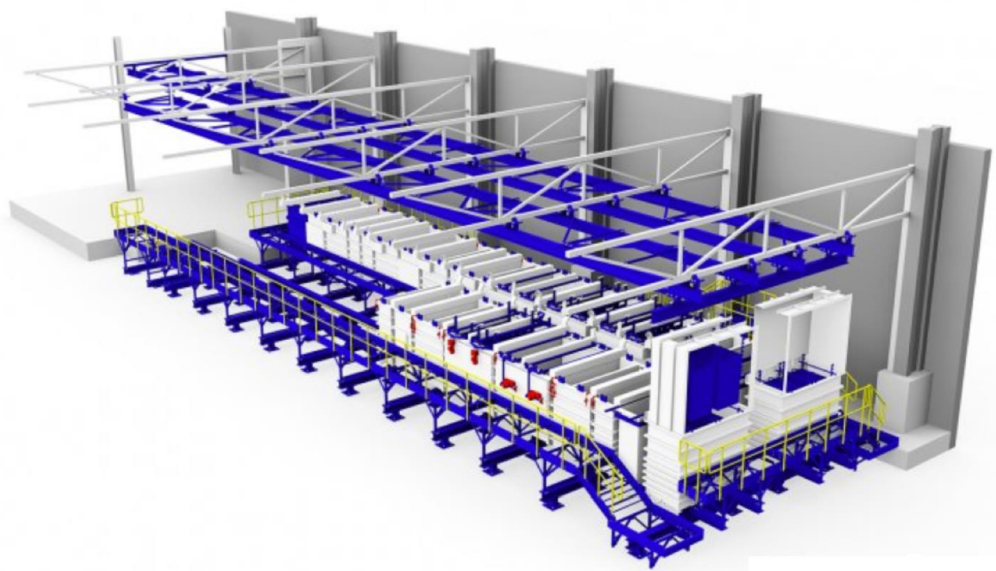
Plastická hmota	Použití	Klasická metoda		Sorpční metoda	
		úprava povrchu	poznámka	úprava povrchu	poznámka
Akryláty	1. vstřikovací hmoty 2. zalévací hmoty 3. folie, desky 4. laky, impregnace	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	hydrolyza	hladký povrch
Akrylofenolové pryskyřice	nátěrové hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	sulfonace	lesklý povrch
Aminoaldehydové pryskyřice	1. nátěrové hmoty 2. vrstvené hmoty 3. lisované hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	X
Deriváty celulozy	1. vstřikovací hmoty 2. nátěrové hmoty 3. folie, desky	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	jako ochranný lak
Epoxidy	1. zalévací hmoty 2. vrstvené hmoty 3. nátěrové hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	X
Fenolformaldehydová, krezolformaldehydová pryskyřice	1. lisovací hmoty 2. vrstvené hmoty 3. novolaky 4. licí pryskyřice	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	sulfonace	jemně matový povrch
Fenolligninové pryskyřice	vrstvené hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	sulfonace	jemně matový povrch
Kaseinové hmoty	desky, profily, tyče, trubky, vlákna	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	X
Kopolymery styrénu	1. měniče iontů 2. lisovací hmoty 3. nátěrové hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	sulfonace	lesklý i matový povrch
Kopolymery vinylchloridu	vlákna, laky, folie, lisovací a vstřikovací hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	X	některých lze použitých jako ochranných laků
Nenasycené polyestery	1. licí pryskyřice 2. lamináty 3. nátěrové hmoty 4. lisovací hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	1. sulfonace 2. hydrolyza	1. hladký i matový povrch 2. pouze hladký povrch
Polyamidy	1. vstřikování 2. lisovací hmoty 3. nátěrové hmoty 4. folie, desky 5. vlákna	odmaštění zcitlivování	obtíže s vysokou navlhavostí	lakování	X
Polyetylén Polypropylén	1. vstřikovací hmoty 2. folie	zvláštní úprava	přímé pokovování obtížné	po naroubování styrénu-sulfonace	X

Polyfluoretylény	folie, desky, tyče, trubky, lamináty	zvláštní úprava	přímé pokovování obtížné	po naroubování styrénu-sulfonace	X
Polykarbonát	1. vstřikovací hmoty 2. folie, desky 3. vlákna	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	po naroubování styrénu-sulfonace	X
Polystyrén	1. vstřikovací hmoty 2. lisovací hmoty 3. nátěrové hmoty 4. folie, vlákna 5. pěnové hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	po chemickém naroubování divinylbenzenenu - sulfonace	používá se jako ochranný lak
Polyuretany	1. nátěrové hmoty 2. rychlolisovací hmoty 3. folie 4. pěnové hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	X
Polyvinylchlorid	1. lisovací hmoty 2. vstřikovací hmoty 3. folie 4. laky, lepidla aj.	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	používá se jako ochranný lak
Polyvinylidenchlorid	folie, lisovací a vstřikovací hmoty, nátěrové hmoty	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	X	používá se jako ochranný lak
Polyvinylkarbazol	1. vstřikovací hmoty 2. folie desky	odmaštění zcitlivování	bez obtíží	lakování	X

Příloha 2

Pokovovací metoda	Nejrozšířenější pokovované plastové hmoty	Kovové materiály, kterými se nejčastěji pokovuje
Vakuové pokovování	PS, PMMA, PVC, PVA, ABS	Al, Ni, Cr
Chemické pokovování	ABS, PVC, PS, PP PE	Cu, Ni, Ag, Au, Zn
Galvanické pokovování	ABS, ABS/PC, PC	Zn, Cu, Ni, Cr, Ag, Au

Příloha 3



Galvanická linka