

České vysoké učení technické v Praze

Czech technical university in Prague

Fakulta strojní

Faculty of mechanical engineering



Bakalářská práce

Bachelor thesis

Robotické aplikace UV vytvrditelných laků

Robotic applications of UV-curable coatings

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s pomocí vedoucího bakalářské práce Ing. Michala Pakosty, Ph.D. a konzultanta Ing. Jana Kudláčka, Ph.D. Veškeré literární zdroje a informace, které jsem využil ve své bakalářské práci, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne ...

David Novák

Poděkování

Ve své bakalářské práci bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Pakostovi, Ph.D, za vedení a odbornou pomoc. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D, za poskytnutí prostředků nástrojů a přístrojů pro realizaci experimentální části bakalářské práce.

Anotace

V první části bakalářské práce jsou popsány průmyslové roboty, efekторы a jejich aplikace při lakování UV laky a procesu vytvrzování. Dále pak samotné laky vytvrditelné ultrafialovým světlem, jejich porovnání s laky konvenčními a technologie předúprav a vytvrzení potřebných pro získání požadovaných technologických vlastností. Experimentální část se zabývá povrchovou úpravou polymerových vzorků UV laky a zkoumá nejefektivnější parametry pro vytvrzení v závislosti na přilnavosti a tvrdosti povlaku. Na závěr je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení použití průmyslových robotů a UV laků ve strojírenství v porovnání s konvenčními technologiemi.

Klíčová slova: průmyslové roboty, lakovací roboty, UV laky, vytvrzení, plasty, tvrdost

Annotation

The first part of bachelor thesis describes industrial robots, its effectors and application in paint and curing of UV varnishes. Then varnishes curable by ultraviolet light are described and also their pretreatment technology and curing necessary for obtaining required technological properties. Experimental part focus on the application of UV varnishes on the polymer samples and examine the most effective parameters for curing depending on the adhesion and hardness of the coating. The technical-economical evaluation of use of industrial robots and UV varnishes in engineering is made in the end.

Keywords: industrial robots, painting robots, UV varnishes, curing, plastics, hardness

Obsah

1	Úvod	7
2	Průmyslové roboty.....	8
2.1	Hlavní části průmyslového robotu	8
2.2	Klasifikace robotů a jejich struktur	9
2.2.1	Podle řízení a programování	9
2.2.2	Podle počtu stupňů volnosti robotu	10
2.2.3	Podle kinematické struktury	10
2.2.4	Podle druhu pohonů	10
2.2.5	Podle konfigurace robotu.....	10
2.3	Koncové efekty	11
2.3.1	Koncové efekty pro průmyslovou výrobu	11
2.4	Lakovací roboty	13
2.4.1	Lakování malých dílů	14
2.4.2	Lakování středně velkých dílů	15
2.4.3	High-end lakování velkých dílů.....	15
2.4.4	Řídicí systém lakovacích robotů.....	16
3	UV laky ve strojírenství.....	17
3.1	Oblasti použití	17
3.2	Klasifikace UV laků	17
3.3	Předúprava povrchu	18
3.4	Vytvrzení UV zářením	19
3.4.1	Zářiče	20
4	Návrh technologie na úpravu plastů a optimalizace robotického vytvrzení.....	21
4.1	Vzorky.....	21
4.2	Laky.....	22
4.2.1	Lak UD-70	23
4.2.2	Lak UD-10	23
4.3	Předúprava povrchu	24
4.3.1	Mytí a odmaštění	24
4.3.2	Předúprava chemickým plazmatem	24
4.4	Lakování.....	25

4.5	Vytvrzení.....	26
4.5.1	UV zařízení	27
4.5.2	Průmyslový robot IRB 2600	28
4.5.3	Parametry vytvrzení	29
4.6	Tloušťka nátěru	30
4.6.1	Měření tloušťky magneticko-indukční metodou ISO 2808:2007.....	30
4.6.2	Vlastní měření.....	31
4.7	Přilnavost nátěru.....	33
4.7.1	Mřížková zkouška ISO 2409:2013	34
4.7.2	Vlastní měření.....	36
4.8	Tvrдость nátěru	39
4.8.1	Zkouška tvrdosti tužkami ISO 15184:2012	39
4.8.2	Vlastní měření.....	40
5	Technicko-ekonomické zhodnocení	42
6	Závěr.....	45

1 Úvod

Nanášení laků vytvrzovaných ultrafialovým zářením patří k technologiím, které se v posledních letech rychle rozvíjejí. Výhodou je kombinace ekologických a ekonomických přínosů, kterými jsou např. výrazné zkrácení doby vytvrzení vrstvy laku, snížení energetické náročnosti, nižší prostorové nároky na instalaci technologie, možnost použití UV laků na různé podklady, nízký nebo nulový obsah těkavých organických látek a tedy výrazné snížení emisí do ovzduší a úspora nákladů na jejich likvidaci. UV laky našly uplatnění v různých průmyslových odvětvích (automobilový průmysl, spotřební průmysl, dřevozpracující průmysl atd.) a jejich používání se neustále rozšiřuje. Nevýhodou těchto laků může být problematické vytvrzení na výrobcích složitých tvarů, kde dochází ke stínění UV záření a k nedostatečnému vytvrzení, avšak při aplikaci vhodného UV laku, vhodného systému zářičů či zářiče neseného průmyslovým robotem, optimální intenzity a rychlosti vytvrzování, je možné vytvrzovat lak i na konstrukčně složitých dílech. Samotné nanášení laku za pomoci robotu je ve větších výrobních závodech již běžným standardem, který razantně zvyšuje produkci, kvalitu lakovaných produktů, bezpečnost na pracovišti a snižuje výrobní náklady.

2 Průmyslové roboty

Průmyslový robot je automaticky řízený stroj, sloužící člověku ke zpracování látek, energie a informace, případně ke změnám či udržení prostředí člověka. Slouží k obsluze obráběcích strojů, zpracovatelských a dopravních strojů, nebo jako náhrada lidí v pracovním procesu.

Od ostatních strojů se průmyslové roboty obvykle liší:

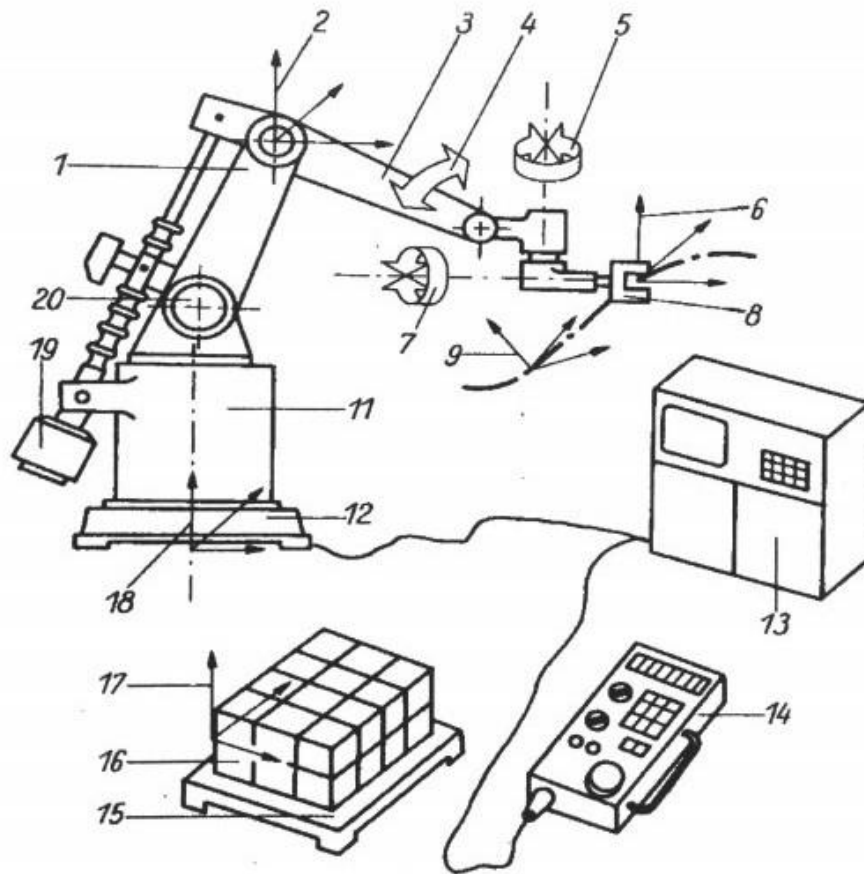
- možností přizpůsobení různým průmyslovým požadavkům
- efektem, upevněným na pohyblivém rameni
- pamětí, sloužící k uložení sledu automaticky opakovatelných pohybů
- programovatelností

Definice ISO 8373 z roku 1982 uvádí, že průmyslový robot je automatický, polohově říditelný, pružně programovatelný vícefunkční manipulátor s různými osami, který je schopen vykonat opakovaně pomocí různě programovatelných operací pohyb materiálu, částí, nástrojů a speciálního nářadí. [1]

2.1 Hlavní části průmyslového robotu

- efekty: chapadla, montážní nástroje, rozprašovací nástavce, svařovací kleště
- převody mechanické energie
- pohony rotační a posuvné (elektrické, hydraulické a pneumatické)
- převodníky, čidla
- řídicí orgány: periferní počítač, zpracování informace pro řízení pohonu
- podpůrné konstrukce a různá vedení: konzoly, příruby, kuličková vedení
- periferní orgány: paměť, bezpečnostní systém

Periférií se rozumí souhrn všech zařízení, se kterými průmyslový robot spolupracuje z důvodu své funkčnosti anebo proto, že není sám robot dostatečně vybaven pro splnění zadaného úkolu. Mezi periferie nepatří základ nebo portál robotu, řízení a programovací terminál. Naopak mezi periferie patří dopravníky, zásobníky (valivé, otočné, pásové, páskové, hadicové), otočné stoly apod. [1]



Obr. 1 Schéma průmyslového robotu [1]

1 spodní rameno, 2 souřadnice osy, 3 horní rameno, 4 sklon ramene, 5 rotace kolem osy, 6 souřadnice chapadla, 7 rotace kolem osy, 8 zápěstí, 9 souřadnice dráhy, 10 rotace základní osy, 11 stojan, 12 základ, 13 skříň řízení, 14 ruční ovladač, 15 paleta, 16 předmět (zátěž), 17 souřadnice předmětu, 18 souřadnice robotu, 19 motor + měřicí systém, 20 kloub (osa)

2.2 Klasifikace robotů a jejich struktur

Manipulační zařízení typu robotů mohou být klasifikována podle různých kritérií – počtu stupňů volnosti, kinematické struktury, použitých pohonů, geometrie pracovního prostoru, pohybových charakteristik, způsobu řízení, způsobu programování, aj. [2]

2.2.1 Podle řízení a programování

- Manipulátor - případně jednoúčelový manipulátor, manipulátor s pevným programem, apod.
- Synchronní manipulátor - člověk ve smyčce, man on line, master – slave manipulátor

- Robot - manipulátor s pružným programem
- Adaptivní robot - robot reagující na změny pracovní scény
- Kognitivní robot - robot s určitou – ale blíže nedefinovanou – mírou umělé inteligence [2], [1]

2.2.2 Podle počtu stupňů volnosti robotu

- Univerzální robot – se 6 stupni volnosti, jednoznačně vymežující v kartézském souřadném systému polohu a orientaci objektu manipulace
- Redundantní robot – s více než 6 stupni volnosti, využívající větší volnosti k obcházení překážek, nebo k pohybu ve stísněném prostoru
- Deficitní robot – s méně než 6 stupni volnosti (některé Scara roboty, se 3-4 stupni volnosti, provádějící montáž prvků v rovině) [2], [1]

2.2.3 Podle kinematické struktury

- Sériové roboty - s otevřeným kinematickým řetězcem manipulátoru (open-loop chain)
- Paralelní roboty - s uzavřeným kinematickým řetězcem manipulátoru (closed-loop chain)
- Hybridní roboty – kombinující oba typy řetězců [12]

2.2.4 Podle druhu pohonů

- S pohony elektrickými
- S pohony hydraulickými
- S pohony pneumatickými

V současnosti početně jednoznačně převažují konstrukce průmyslových robotů s elektrickými pohony. Pokud jsou požadovány vysoké nosnosti, používají se hydraulické pohony a pro vysoké rychlosti pneumatické pohony. [12]

2.2.5 Podle konfigurace robotu

Uspořádání stavebních kinematických prvků robotu se nazývá konfigurací robotu. Ačkoliv jsou roboty podle definice univerzální stroje, nemusí jedna konfigurace vyhovovat všem požadavkům. Takový univerzální robot by byl pro většinu úloh příliš nákladný.

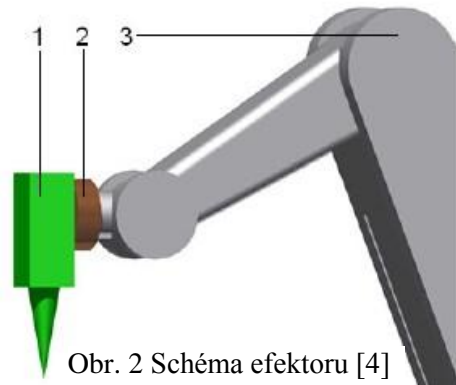
- Konfigurace kartézská
- Konfigurace cylindrická

- Konfigurace kulovitá
- Antropomorfní konfigurace
- SCARA
- Konfigurace flexibilní [1]

2.3 Koncové efekty

Koncový efektor je termín používaný pro všechny funkční jednotky zapojené do interakce mezi robotickým systémem a okolím. To zahrnuje chapadla, svařovací hlavice, stříkací hlavice, řezací nástroje a další zařízení na konci kinematického řetězce.[3]

- 1 – Koncový efektor
- 2 – Příruba – neboli redukce, používá se pro připojení efektoru k rameni průmyslového robotu
- 3 – Rameno průmyslového robotu



Obr. 2 Schéma efektoru [4]

Koncové efekty je možné z hlediska oblasti využití rozdělit do tří základních skupin. Hlavice pro:

- Manipulaci a paletizaci
- Průmyslovou výrobu
- Kontrolu [3]

2.3.1 Koncové efekty pro průmyslovou výrobu

Do skupiny pro jakoukoliv výrobu je možné samozřejmě zařadit i koncové efekty pro manipulaci a paletizaci, protože je potřeba přemísťovat výrobky mezi jednotlivými technologickými operacemi. Hlavní velkou skupinou jsou ale hlavice, které se přímo podílí na výrobě. Tyto efekty lze rozdělit dle účelu použití na efekty pro:

- Dělení
- Obrábění
- Spojování
- Povrchovou úpravu [3]

Do skupiny pro **dělení materiálu** patří například hlavice pro řezání:

- Laserové
- Plazmové
- Kyslíkové
- Vodním paprskem
- Mechanické

V procesu **obrábění** je možno koncových efektorů na průmyslových robotech využít například k vrtání otvorů do složitých tvarových součástí, frézování tvarových ploch nebo k soustružení, kdy koncový efektor může zastávat funkci včetně se sklíčidlem, poskytující potřebný hlavní pohyb obrábění. Bohužel průmyslové roboty nedisponují takovou tuhostí jako specializované obráběcí stroje a proto je jejich využití do jisté míry omezené.

Do kategorie koncových efektorů pro **spojování součástí** patří zejména hlavice pro svařování, lepení, tmelení a pájení. V praxi nejvíce využívaným způsobem spojování kovových materiálu je svařování. Jako ve všech odvětvích, kde se přistupuje k robotizaci výroby, se i u svařování dosahuje větší produktivity a jakosti svarových spojů. Dělení na hlavice pro svařování:

- Obloukové
- Laserové
- Plazmové
- Švové
- Bodové [4]

Do kategorie **povrchových úprav** patří především hlavice pro předúpravy, lakování a speciální hlavice pro dokončovací operace, kam lze zařadit i UV lampu s kloubovým mechanismem. Mezi nejpoužívanější technologie nanášení nátěrových hmot u robotů patří:

- Pneumatické vysokotlaké stříkání
- Airless vysokotlaké stříkání
- Elektrostatické stříkání – Korona, Tribo [13]

Hlavici pro **pneumatické stříkání** je stříkací pistole. Tato pistole používá pro atomizaci barvy velký objem vzduchu či jiného plynu při tlacích 3,5 - 7 bar. Výsledkem je velmi dobré rozprášení barvy, ale vyšší přestřík (vysoké ztráty barvy rozptýlené do okolí) a tím menší přenosová účinnost.

V zařízeních pro **bezvzduchové stříkání** (tzv. zvoncích) se materiál protlačuje vysokým tlakem přes úzkou štěrbinu stříkací trysky. Rychle se pohybující proud kapaliny pod vysokým tlakem má dostatek energie pro překonání viskozity a povrchového napětí kapaliny. Když se dostane barva do styku se vzduchem, začne se rozpadat na větší fragmenty a nakonec kapičky, které vytvoří výsledný oblak jemně rozprášené barvy. Průtok nátěrové hmoty je určen velikostí trysky a tlakem. Výsledný tvar paprsku je plochý a jeho šířku nelze regulovat, s výjimkou použití stavitelných trysek. Zařízení pro airless stříkání poskytuje snadný a ekonomický způsob nanášení nátěrů bez ohledu na množství sušiny. [13], [4]

Nanášení prášku pomocí **elektrostatiky** existuje ve dvou provedeních - Korona a Tribo. U obou metod je prášek umístěn v násypce, kde je fluidizován (prášek je míchán se vzduchem) a následně je vzduchem tlačěn do pistole. Metody se liší jen ve způsobu nabití částic prášku. Nabítený prášek tlačný vzduchem se elektrostaticky přichytává na uzemněný obrobek. Fluidizace usnadňuje pumpování prášku a také jeho prostup hadicemi až do pistole. Vzduch použitý k fluidizaci musí být suchý, čistý, bez mastnot a olejů, jinak by nečistoty mohly znečistit prášek a ucpat síta a membrány v násypce nebo celém systému. [13]

2.4 Lakovací roboty

Lakovací roboty mají základ u klasických robotů se šesti osami na obsluhu výrobních strojů, avšak kvůli práci ve výbušném prostředí a z důvodu výkonu finální úpravy výrobku jsou na ně kladeny speciální požadavky. Mezi požadavky lakovacího robotu patří:

- kloubová kinematika s dlouhými rameny kvůli dobré dostupnosti ke stříkaným plochám
- 6 stupňů volnosti
- nosnost cca 5-15 kg – hmotnost stříkací hlavice a příslušenství
- přesnost sledování trajektorie řádově v mm
- pracovní rychlost v řádech desítek $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$

- pohony do nevýbušného prostředí
- ochranný návlak proti znečištění barvou [7], [6]

Společnosti zabývající se průmyslovou robotikou většinou dodávají hotová řešení pro lakovací procesy, tedy komplety spolu se specializovaným, či upraveným průmyslovým robotem, lakovací hlavicí a dalšími zařízeními potřebnými pro lakovací operace. Při programování lakovací dráhy je důležité dodržet stálou orientaci nástroje vůči lakované součásti pod požadovaným úhlem. Programování těchto drah je proto poněkud složitější.

Výhody použití lakovacího robotu:

- Snížení provozních nákladů - úspora barvy a ředidel, nižší požadavky na vzduchotechniku a osvětlení
- Zlepšení kvality výroby a snížení zmetkovitosti
- Úspora užité plochy pracoviště
- Zvýšení bezpečnosti na pracovišti
- Absence vysoce kvalifikovaných pracovníků [5]

2.4.1 Lakování malých dílů

Manipulátor robotu většinou vychází z typových řad klasických robotů, avšak doplněných o schopnost práce ve výbušném prostředí. Nabízí se základní funkce pro proces lakování, lakovací příslušenství je vedeno vně robotu. Samozřejmostí je sofistikované řízení se všemi potřebnými funkcemi. Kvůli nižší nosnosti je opatřen pneumatickou pistolí. [5], [12]



Typické parametry:

- nosnost 7 kg
- 6 řízených os
- upevnění na konzolu, strop, nakloněnou rovinu, zeď
- dosah do 1500 mm

Obr. 3 Lakovací robot Paint Mate 200iA [14]

2.4.2 Lakování středně velkých dílů

Jedná se o sféru výroků, kde jsou již extrémně vysoké požadavky na kvalitu, avšak díly nedosahují rozměrů automobilového nárazníku. Snaha o efektivní řešení pro široký rozsah aplikací v automobilovém ale i všeobecném průmyslu. Robot je velikostně mezistupněm mezi high-end roboty a roboty nižších tříd. Může nabídnout tzv. duté procesní rameno pro vedení laků, ředidel, tlakového vzduchu k aplikátoru středem ramena. Nosnost koncového členu robotu bývá 10 kg, je vhodný pro montáž pneumatických pistolí, menších zvonků i elektrostatických pistolí. [5], [7]



Typické parametry:

- nosnost 10 kg
- 6 řízených os
- upevnění na konzolu, pojezd, strop
- dosah až 2500 mm
- řešení s procesním ramenem

Obr. 4 Lakovací robot P-50iB/15 [15]

2.4.3 High-end lakování velkých dílů

Typickým příkladem použití je lakování karoserií a nárazníků automobilů. Obvykle se jedná o 2 možné varianty provedení a to se standardním ramenem a s procesním ramenem. V procesním ramenu jsou oproti středně velkým robotům integrovány regulátory, pumpy, ventilové bloky atd. Toto řešení nesnižuje pohybovou flexibilitu robotu, maximalizuje jeho životnost, umožňuje přesněji regulovat proces lakování a snižuje spotřebu barev a ředidel. Nosnost koncového členu robotu je 15 kg. Díky tomu je na něj možné namontovat i největší z Airless lakovacích systémů. [5], [13], [12]



Obr. 5 Lakovací robot P-350iA/45 [16]

Typické parametry:

- nosnost 15 kg
- 6 řízených os
- upevnění na konzolu, pojezd, strop
- dosah až 3000 mm
- řešení s procesním ramenem

2.4.4 Řídicí systém lakovacích robotů

Princip řízení lakovacích robotů se může zdát totožný s ostatními roboty, avšak není tomu tak. Spolu s kvalitní a intuitivně ovladatelnou programovací jednotkou do výbušného prostředí je nezbytné zdokonalit klasické řízení o mnohé funkce, podporující proces lakování. Těmi jsou schopnosti robotu řídit celý lakovací proces – od ovládnutí čerpadel barev přes řízení všech vzduchů v pistoli až po kompenzaci zpoždění uzavírací jehly. Další nezbytnou součástí je vizualizace celého procesu v lakovně a snadná tvorba programů přímo na pracovišti. Cílem je řídit proces lakování v reálném čase, to znamená bez mechanického zpoždění, která se generují na regulátorech, měničích barvy apod.



Obr. 6 Řídicí systém PaintPro [17]

Trendem je rovněž mít schopnost předpřipravit lakovací programy off-line, bez přerušení provozu lakovny. Pohyb robotu je v průběhu programování vypočítáván automaticky tak, aby zrychlení a zpomalení přispělo nejvyšší možnou měrou k efektivitě lakovacího procesu. Samotný proces lakování je možné díky tomu optimalizovat v návaznosti na zadané podmínky ještě před samotnou implementací do robotu. Po převedení do robotu, jsou zadané trajektorie lakování finálně optimalizovány pro nejlepší možný výsledek. Tím se výrazně urychlí práce spojená se zaváděním nových výrobků do produkce. [5]

3 UV laky ve strojírenství

Při současném tlaku na efektivnost a hospodárnost výroby se stále více uplatňují technologie, které umožňují snížení výrobních nákladů, spotřeby energií a mají co nejmenší negativní vliv na životní prostředí. Mezi tyto technologie patří i aplikace laků vytvrzovaných UV zářením. Vývoj UV laků zpočátku provázely problémy se špatnou přilnavostí, smršťováním při polymerizaci a byly vyráběny pouze UV laky transparentní a černé. Současné UV laky splňují náročné požadavky na přilnavost, tvrdost, ošetrzdornost apod. Rozšířila se i nabídka barevných odstínů. UV laky se zpravidla skládají z pojiv, reaktivních ředidel, aditiv a fotoiniciátorů, právě ty vyvolají fotochemickou reakci v laku. Pigmentované UV laky obsahují navíc pigmenty a plniva. UV laky se rozšířily nejdříve v dřevařském a grafickém průmyslu a postupem času nabývají stále většího uplatnění v dalších průmyslových odvětvích především na kovové a plastové díly (ABS, PS, PP). Nárůst výroby, zahrnující lakování UV laky, je v řádech desítek procent za rok. [11], [8]

3.1 Oblasti použití

- tiskoviny - pohlednice, titulní strany časopisů
- dřevozpracující průmysl - podlahové krytiny, nábytek
- automobilový průmysl - díly do interiéru i exteriéru
- obaly - plechovky, kosmetické výrobky
- spotřební elektronika - televizory, hudební přehrávače, počítače
- domácí spotřebiče - pračky, ledničky
- dekorativní předměty - květináče, sochy
- plastové výrobky [11]

3.2 Klasifikace UV laků

Z hlediska obsahu těkavých organických látek jsou vyráběny UV laky níže uvedených druhů:

- UV laky na bázi organických rozpouštědel
- UV laky na vodní bázi
- UV laky bez obsahu rozpouštědel

Rozpouštědlové laky jsou roztoky filmotvorných látek v příslušných rozpouštědlech a ředidlech. Filmotvornou látku rozpouštědlových laků představují nejčastěji různé syntetické pryskyřice, přírodní pryskyřice a vysychavé rostlinné oleje. Obsah sušiny u těchto laků se pohybuje v rozmezí 10 až 60 %. Rozpouštědla jsou neaktivní složkou laků, která se během procesu vytvrzování vypaří. Jejich úlohou je převést filmotvorné látky do roztoku a tím umožnit jejich homogenizaci. Rozpouštědla také slouží k upravení tekutosti laku tak, aby se dal zpracovat příslušnými aplikačními technologiemi. Často se využívá lakový benzín, benzen, toulén, aceton aj. Ředidla se u rozpouštědlových laků využívají především z finančních důvodů, jelikož jsou podstatně levnější než rozpouštědla. Samotná sice nedokážou rozpouštět filmotvorné složky, ale ve spojitosti s rozpouštědly slouží na úpravu tekutosti laku před samotným zpracováním. [9],[11]

Bezrozpouštědlové laky neobsahují žádná rozpouštědla ani ředidla. Skládají se pouze z filmotvorných látek, které se vytvrzují bez jakýchkoliv výparů během procesu vytvrzování. Filmotvorné látky bezrozpouštědlových laků tvoří především syntetické pryskyřice na bázi epoxidů, polyesterů, polyuretanů a silikonů, s různými modifikujícími látkami. Některé obsahují monomery, které se označují jako reaktivní rozpouštědla. Ty plní funkci rozpouštědel pro pevné nebo málo tekuté syntetické pryskyřice, avšak na rozdíl od neaktivních rozpouštědel jsou schopné reagovat s ostatními složkami laku a zabudovat se do struktury lakového filmu. Největší předností těchto laků je skutečnost, že během vytvrzování neuvolňují žádné emise. Jsou používány především pro lakování kovů tam, kde je požadována vysoká ochrana proti korozi a odolnost vůči různým médiím (např. v automobilovém průmyslu, na ocelové trubky). Bezrozpouštědlové laky a UV laky na vodní bázi se stále více používají také pro lakování plastů. Laky na vodní bázi vykazují výrazně nižší korozní odolnost a nacházejí použití především u dekorativních předmětů. Korozní odolnost i další vlastnosti samozřejmě závisí na celém systému povrchové úpravy včetně použité předúpravy. [9],[11]

3.3 Předúprava povrchu

Ocelový podklad je potřeba řádně očistit od okují a rzi tryskáním a mořením. Následně se povrch musí odmastit. Oceli se odmašťují alkalickým odmaštěním, za pomoci organických rozpouštědel nebo elektrolytickým odmaštěním. Pro zvýšení korozní odolnosti se dále používá předúprava fosfátováním či chromátováním. U ocelí se dosahuje špičkové korozní odolnosti při předúpravě zinečnatým fosfátem. [10]

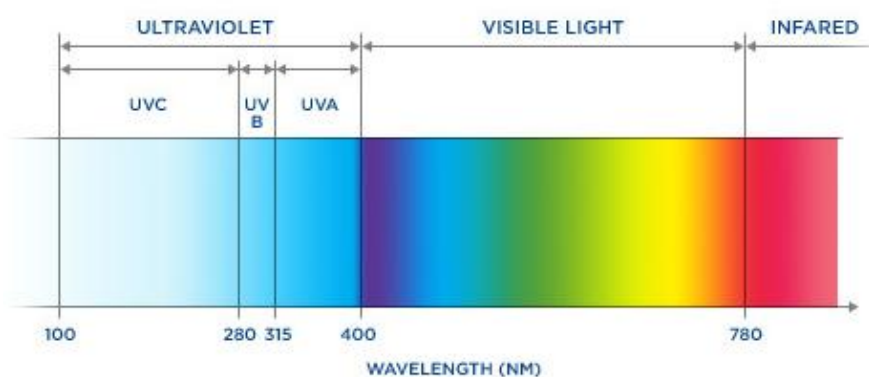
U **plastů** se používá jako předúprava odmašťování organickými rozpouštědly, čištění suchým ledem, ofuk neionizovaným vzduchem a ožehnutí plamenem. Při aplikaci na polymery je ožeh nutnou předúpravou pro přilnutí laku. V současné době je snaha o náhradu ožehu plamenem za předúpravu plazmatem, který hoří při nižší teplotě a nezpůsobuje deformaci materiálu. [11]

3.4 Vytvrzení UV zářením

Proces vytvrzování, má velmi významný vliv na vlastnosti budoucího povlaku. Ovlivňuje především mechanické vlastnosti, protikorozní a protichemickou odolnost a vzhled budoucího povrchu. Doba vytvrzování laků pomocí UV záření se pohybuje řádově v sekundách. Po vytvrzení je možné s nalakovanými díly okamžitě manipulovat, balit je a stohovat. Rychlost schnutí závisí na výkonu, délce a počtu zářičů a na vzdálenosti zářiče od nalakovaného povrchu. U trojrozměrných dílů se optimálně používají 3 zářiče, aby během daného času došlo k vytvrzení všech rovin, zářiče se mohou doplnit reflektory a zrcadly, aby se energie záření maximálně využila. Stejných výsledků, u konstrukčně složitých dílů, lze docílit zářičem neseném na robotickém rameni. [8]

UV záření zahrnuje oblast vlnových délek mezi 200 nm až 380 nm, rozlišují se tři pásma UV spektra viz. obr. 7:

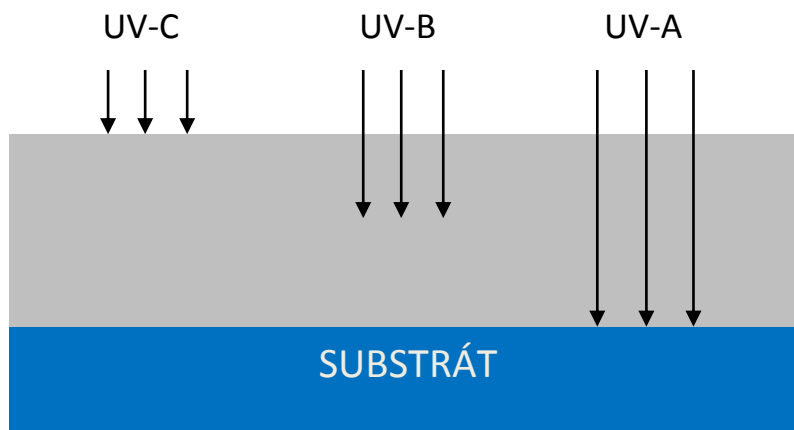
- Dlouhovlnné UV záření UV-A: 315 - 380 nm
- Středněvlnné UV záření UV-B: 280 - 315 nm
- Krátkovlnné UV záření UV-C: 200 - 280 nm [18]



Obr. 7 Vzájemná poloha UV, viditelného a infračerveného záření ve spektru [18]

Delší vlnové délky pronikají hlouběji do laku ve srovnání s kratšími vlnovými délkami. K hloubkovému vytvrzování se tedy používá UV-A záření. Krátkovlnné UV-C záření se uplatňuje hlavně na povrchu filmu, kde napomáhá k jeho rychlému vytvrzení. K

tomu, aby bylo možné UV lak účinně vytvrdit, je nutné spojit oba efekty. UV-B záření slouží k přívodu energie na podporu a udržení reakce. [8]



Obr. 8 Pronikání různých spekter UV záření k substrátu

Pro vytvrzování čirých UV laků je nutné volit rozdílné podmínky, než pro černé (případně jinak pigmentované) laky. Čiré laky lze při stejné tloušťce vrstvy vytvrdit až při 5x vyšších rychlostech pohybu dílů či robota než u černých laků. Příčinou je právě nezbytnost proniknutí UV-A záření až na substrát.

3.4.1 Zářiče

Zářiče se skládají z křemenné trubky, která je naplněna vzácným plynem a na jejímž konci jsou zatavené kovové elektrody. Po přiložení vysokého zápalného napětí vznikne oblouk, lampa se zahřeje na 800 až 900 °C a vzácný plyn se vypaří, tím dochází k vysílání UV záření.

V závislosti na druhu laku se pro vytvrzení používají různé druhy zářičů s různými úrovněmi emisí záření UV-A, UV-B, UV-C. Výkon zářičů se pohybuje většinou od 120 do 240 W.cm⁻¹ délky lampy. Rušivým vlivem při UV vytvrzování je tvorba ozónu, který vzniká působením UV záření na vzdušný kyslík. Těmto rušivým reakcím lze zabránit použitím atmosféry se sníženým obsahem kyslíku (použití inertního plynu - např. dusíku) a částečně zvýšením obsahu fotoiniciátorů v laku.

Rtuťové zářiče mají zvlášť vysokou emisi záření UV-C a používají se převážně pro vytvrzení slabších vrstev transparentních UV laků. Zářiče dotované železem mají vyšší emisi delších vlnových délek UV-A a UV-B záření a používají se pro vytvrzování pigmentovaných UV laků. Zářiče dotované galiem a indiem mají zvlášť vysokou emisi dlouhých vlnových délek a jsou vhodné pro vytvrzení silných vrstev a pro pigmentované laky. Zářiče dotované olovem mají vysokou emisi UV-A záření a jsou vhodné pro bíle pigmentované laky a silné vrstvy transparentních laků. [11], [8]

4 Návrh technologie na úpravu plastů a optimalizace robotického vytvrzení

Praktická část této práce se zabývá aplikací UV laků na plastové květináče, u kterých se požaduje ochrana proti UV záření, přirozeně vyzařovaném sluncem, a zkoumá nejefektivnější parametry pro vytvrzení v závislosti na výsledné přilnavosti a tvrdosti laku. Veškeré lakovací a vytvrzovací práce byly provedeny ve firmě GALATEK a.s. v Ledči nad Sázavou, která disponuje výzkumným a vývojovým pracovištěm. Součástí pracoviště jsou progresivní technologie předúpravy povrchu, jako je ožeh, plazma nebo ionizace. Dále je pracoviště vybaveno dvěma roboty pro nanášení nátěrových hmot a vytvrzování UV lampami. Pro nanášení všech druhů nátěrových hmot, včetně možnosti nanášení UV laků pracoviště disponuje řadou aplikačních zařízení. Veškeré zkoušky nátěrového filmu byly provedeny na Ústavu strojírenské technologie na Českém vysokém učení technickém v Praze.

4.1 Vzorky

Vzorky byly nastříhány přímo z plastových květináčů vyrobených z polypropylenu (dále jen PP) a kombinace polypropylenu s polystyrenem (dále jen PS/PP). Rozměry vzorků činily 100 x 150 mm o tloušťce cca 3,5 mm. Z každého materiálu bylo připraveno 6 kusů vzorků plus 2 náhradní (celkem 16 vzorků). Některé vzorky byly lehce prohnuté, což nevyhovuje normě ISO 1514 o přípravě vzorků pro zkoušení nátěrových hmot, ta pro zkoušení nátěrových hmot na plastovém základním materiálu požaduje vzorky zcela rovné. Dalšími zkoušenými vzorky byly 2 celé květináče z PP a PS/PP, u kterých se zkoušela automatizace vytvrzení na robotu. [24]



Obr. 9 Plastové vzorky pro volbu parametrů vytvrzení



Obr. 10 Plastový květináč pro automatizaci vytvrzení na robotu

4.2 Laky

Syntetické komerční UV laky UD-10 a UD-70 od firmy Lankwitzer, spol s.r.o. jsou určeny pro průmysl umělých hmot, především jsou určeny na materiály PP, PS/PP, ABS a PC. Kompatibilita s ostatními plasty je předmětem zkoumání. Jsou bezbarvé, 100% ekologické (neobsahují těkavé organické látky) a recyklovatelné.

4.2.1 Lak UD-70

Tab. 1 Technické parametry laku UD-70 [Lankwitzer, spol s.r.o.]

Všeobecné údaje	
Obchodní název přípravku	UV-VERSPIEGELUNGSLACK
Obchodní kód přípravku	UD 70-0000/2
Barevný odstín	bezbarvý
Technické údaje	
Hustota	cca. 1,08 g.ml ⁻¹
Obsah netěkavých složek	100 %
Obsah organických rozpouštědel	0 %
Objem pevných částic	cca. 927,0 ml.kg ⁻¹
Skladovatelnost	6 měsíců při +5 až +30 °C v orig. obalu
Údaje o zpracování	
Možnosti zpracování	Tepelné vstříkování
Příprava materiálu	Řádně zamíchat
Podklad	ABS, PC, PP, PS/PP Plochy určené k nanášení musí být suché a čisté (bez špíny, prachu, oleje a mastnoty).
Doporučená tloušťka vrstvy	15 - 25 μm
Stříkácké parametry	
Tryska	0,3 – 0,5 mm
Tlak	3,0 – 6,0 bar
Teplota laku	85 °C
Vytvrzovací parametry	
Typ zářiče	HG-Strahler
Výkon zářiče	200 W.cm ⁻¹
Vzdálenost UV zářiče	6-8 cm

4.2.2 Lak UD-10

Tab. 2 Technické parametry laku UD-10 [Lankwitzer, spol s.r.o.]

Všeobecné údaje	
Obchodní název přípravku	UV-LACK
Obchodní kód přípravku	UD 10-0000/3
Barevný odstín	bezbarvý
Technické údaje	
Hustota	cca. 1,08 g.ml ⁻¹
Obsah netěkavých složek	100 %
Obsah organických rozpouštědel	0 %
Objem pevných částic	cca. 919,6 ml.kg ⁻¹
Skladovatelnost	6 měsíců při +5 až +30 °C v orig. obalu

Údaje o zpracování	
Možnosti zpracování	Tepelné vstřikování
Příprava materiálu	Řádně zamíchat
Podklad	ABS, PC, PP, PS/PP pro ostatní materiály se doporučuje provést zkouška lakování
Doporučená tloušťka vrstvy	20 - 30 μm
Stříkáací parametry	
Tryska Tlak Teplota laku	0,5 mm 3,5 – 4,5 bar 60 °C
Vytvrzovací parametry	
Typ zářiče Výkon zářiče Vzdálenost UV zářiče	HG-Strahler 200 W.cm ⁻¹ 6-10 cm

U obou UV laků byly dodrženy podmínky skladování, zpracování a nanášení.

4.3 Předúprava povrchu

Na základě předchozích zkoušek, zkoumajících přilnavost UV laků na polymery PP a PS/PP v závislosti na předúpravě povrchu, provedených ve firmě GALATEK a.s., byly pro nejlepší přilnavost a kvalitu povrchu zvoleny následující předúpravy.

4.3.1 Mytí a odmaštění

Pro bezchybnou přilnavost laku je potřeba dokonale čistého povrchu bez prachu a nečistot, proto byly vzorky umyty v saponátu a opláchnuty teplou vodou. Následně proběhlo odmaštění izopropylalkoholem. Izopropylalkohol rozpouští širokou škálu nepolárních sloučenin. Je relativně netoxický a rychle se odpařuje, proto se široce používá jako rozpouštědlo a jako čisticí prostředek (pro rozpouštění lipofilních kontaminantů, například oleje). Těsně před ošetřením plazmatem byly vzorky ofouknuty vzduchem.

4.3.2 Předúprava chemickým plazmatem

Pro zvýšení přilnavosti povrchu a snížení povrchového napětí byla použita předúprava chemickým plazmatem. Pole chemického plazmatu se vytváří ze vzduchu nabitého elektřinou. Využívá se jedna nebo více elektrod, které nabíjí a ionizují okolní molekuly vzduchu a přídavného plynu. Dochází k ostřelování ionty, které zvyšují přilnavé vlastnosti materiálu v závislosti na molekulách plynu využitých během procesu. Při předchozích testech bylo ozkoušeno dotování čistým argonem, směsí argonu s

dusíkem a argonu s kyslíkem. Obě směsi dosahovali výsledků s nejlepší přilnavostí. Z důvodu vyšší ceny kyslíku byl pro zkoušené vzorky zvolen chemický plazmat s přídavkem směsi argonu s dusíkem. Předúprava byla provedena na zařízení s pásovým dopravníkem a regulátorem plynu přiváděného do plazmy.[25]



Obr. 11 Experimentální zařízení pro plazmatickou předúpravu

4.4 Lakování

Lakování vzorků bylo naplánováno na lakovacím robotu z důvodu ozkoušení samotné robotické aplikace. Robot se však nenacházel v použitelném stavu (chyběla lakovací hlavice), proto bylo lakování provedeno ručně vzduchovou pistolí VISECO-VARIO °C Paint v ručním lakovacím boxu, který je určen především pro testování procesu lakování, přípravu vzorků, případně malosériové dodávky.

Pistole byla vybavena horní nádržkou s technologií ohřevu laku a ohřevu hnacího média. Použitá tryska měla průměr 0,5 mm a lak byl ohřátý na 65 °C. Při použití vzduchu jako hnacího média měl lak vzorek pomerančové kůry a značně se odlupoval, proto byl jako hnací médium zvolen ionizovaný dusík zahřátý na 65°C pod tlakem 4,5 bar, který zlepšuje kvalitu lakování díky lepší přilnavosti a zároveň zvyšuje produktivitu lakování. Lakování proběhlo do dvaceti sekund po ošetření plazmatem.



Obr. 12 Lakovací kabina



Obr. 13 Zařízení pro tvorbu dusíku ze vzduchu NITROTHERM SPRAY



Obr. 14 Lakovací pistole VISECO-VARIO °C Paint



Obr. 15 Lakovací robot bez koncového efektoru

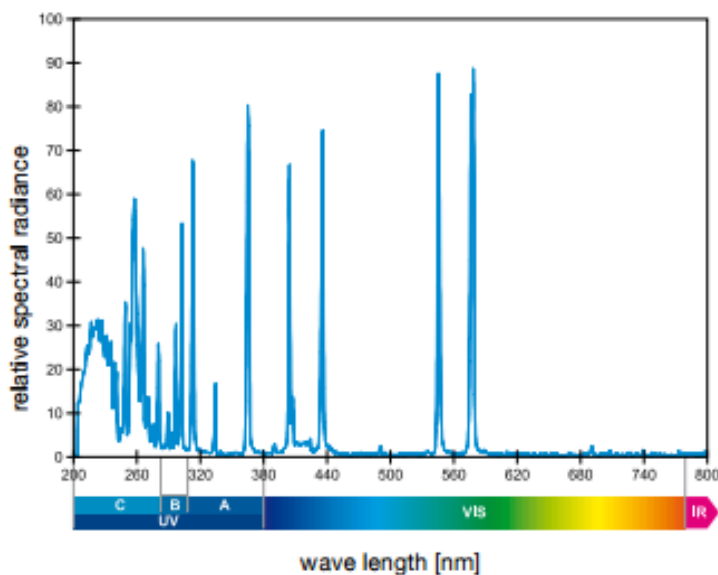
4.5 Vytvrzení

Vytvrzení vzorků bylo uskutečněno ve vytvrzovací komoře na UV lampě dotované rtuť nesené robotem IRB 2600 od firmy ABB Group. Varianta vytvrzení robotem byla zvolena z důvodu složitosti tvaru lakovaných květináčů.

4.5.1 UV zařízení

Tab. 3 Technické parametry UV zařízení [IST METZ GmbH]

Všeobecné údaje	
Výrobce	IST METZ GmbH
Druh zařízení	UV-polymerizační dotované rtuť
Typ	M-20-1-MBS-3-URS-ELC
Rozsah UV záření	180 nm – 450 nm
Hladina vyzařování	Kategorie 1 podle prEN 12198-1
Lampa	
Typ lampy	I-200-U-3-40
Výkon lampy	200 W.cm ⁻¹
Teplota lampy	800 °C
Provedení lampy	s UCS-i
Mechanické vybavení	
Reflektor	IST 2 a URS chlazený vzduchem
Závěrný systém	otočný reflektor chlazený vzduchem
Odsávání O ₃	přes střechu
Elektrické vybavení	
Síťové napětí	400 V, 50 Hz
Odběr proudu	10 A



Obr. 16 Spektrum vyzařování UV lampy dotované rtuť [IST METZ GmbH]

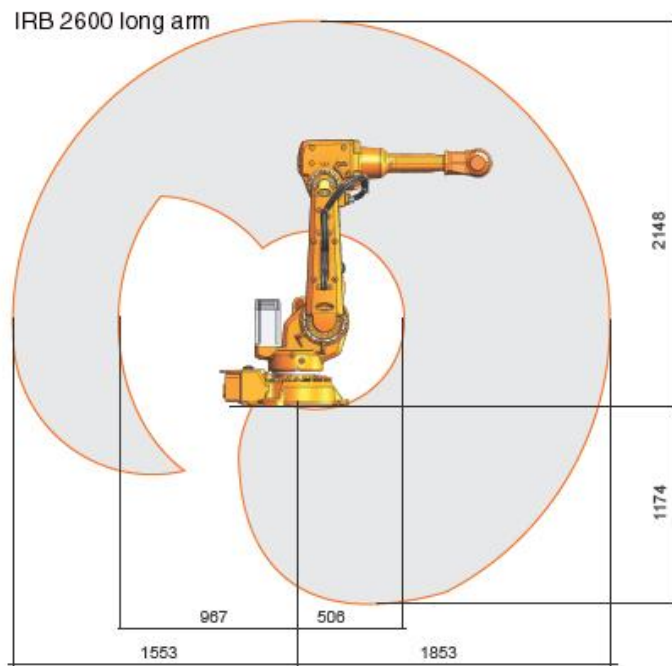


Obr. 17 UV lampa nesená robotem IRB 2600

4.5.2 Průmyslový robot IRB 2600

Tab. 4 Technické parametry robotu IRB 2600 [20]

Všeobecné údaje	
Výrobce	ABB
Verze robota	IRB 2600-12/1.85
Opláštění	IP67
Umístění	Na zem, zeď, nakloněnou rovinu, podstavec, konzolu
Řídicí systém	IRC5
Parametry	
Dosah	1,85 m
Nosnost	12 kg
Počet stupňů volnosti	6
Maximální rychlost	až 1000 mm.s ⁻¹
Rozměry základny	676 x 511 mm
Výška	1582 mm
Hmotnost	284 kg
Přesnost	
Pozice	0,04 mm
Opakování cesty	0,16 mm



Obr. 18 Pracovní prostor robotu IRB 2600 [20]



Obr. 19 Průmyslový robot IRB 2600 před vytvrzením laku na květináči

4.5.3 Parametry vytvrzení

Doporučený výkon zářiče pro vytvrzení UV laků UD-10 a UD-70 je $200 \text{ W}\cdot\text{cm}^{-1}$, tato hodnota se však může měnit v závislosti na základním materiálu, použití ochranné atmosféry, předúpravě povrchu a jiných faktorech. U první poloviny vzorků byl tento doporučený výkon zářiče zachován a měnila se pouze rychlost pohybu robotu. Nejnižší

rychlost, při které je vytvrzení zaručeno, je 2 m.min^{-1} , poté byla tendence pohyb zrychlovat na 3 a 4 m.min^{-1} .

Druhá sada vzorků byla vytvrzována při 80% výkonu zářiče, tedy 160 W.cm^{-1} . V závislosti na sníženém výkonu byl zpomalen i pohyb robotu na 1 m.min^{-1} a po ověření vytvrzení se rychlost zvyšovala na 2 a 3 m.min^{-1} .

4.6 Tloušťka nátěru

Tloušťka nátěrů má vliv na výsledky zkoušek mechanické, chemické a povětrnostní odolnosti. Je to základní zkoušená vlastnost nátěru, která se nedá nikdy zanedbat. Tloušťka nátěrů se udává v mikrometrech. Zkoušky měření tloušťky nátěrů se dělí do dvou skupin:

metody nedestruktivní

- magnetická metoda
- magneticko-indukční metoda
- metoda vířivých proudů
- ultrazvuková metoda

Výhodou těchto metod je neporušení nátěru, ale přesnost měření je ovlivňována druhem podkladu i fyzikálně-mechanickými vlastnostmi nátěrů.

metody destruktivní

- metoda vpichová
- metoda mokré stopy

Výhodou těchto metod je rychlé a poměrně přesné stanovení nenáročné na přístrojové vybavení. Nevýhodou je porušení nátěrového filmu. [19]

4.6.1 Měření tloušťky magneticko-indukční metodou ISO 2808:2007

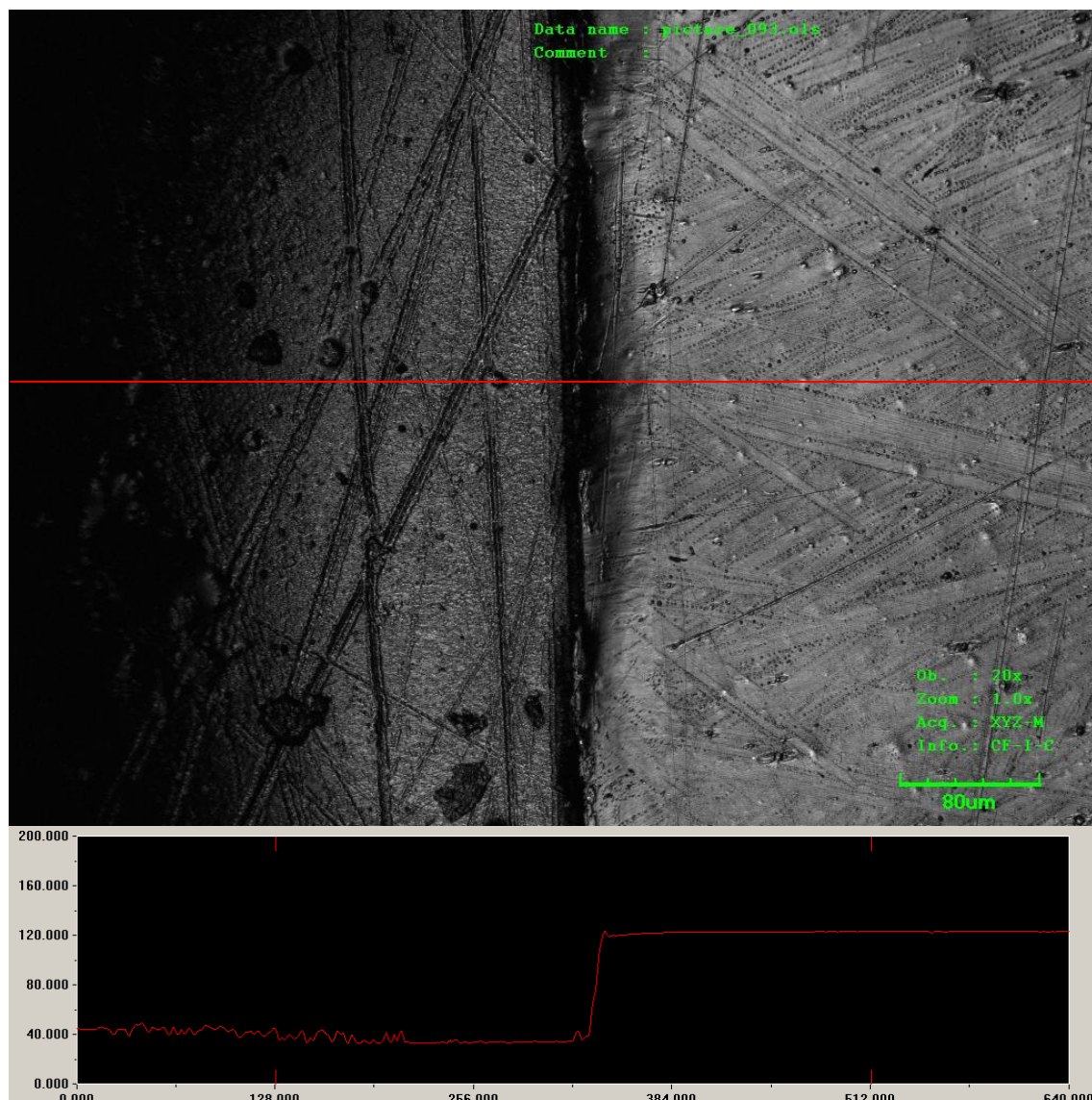
Jedná se o nejpřesnější nedestruktivní zkoušku tloušťky nátěru. Slouží k měření nemagnetických vrstev (laky, nátěry, fólie, zinek, měď, apod.) na feromagnetickém materiálu například oceli. Přístroje bývají označeny písmenem F nebo nápisem Ferro. Tloušťkoměry mívají duální sondu pro magneticko-indukční měření či měření s vířivými proudy a musí se nastavit na požadovaný druh měření manuálně. Princip snímání tloušťky je založen na měření vzdálenosti sondy od feromagnetického podkladu, metodou měření intenzity magnetického pole. [21], [19]

Při měření vrstvy na nemagnetickém povrchu touto metodou, je nutné na plastový díl přilepit destičku z magnetického materiálu o známé tloušťce a kompletně přelakovat,

měření je poté podrobena právě destička. Získaná hodnota je pak na základě znalosti tloušťky destičky vztažena k platu. Podobnou, avšak méně přesnou, metodou je nalepení destičky z nemagnetického materiálu o známé tloušťce, kterou je možné po přelakování vyříznout a připevnit na magnetický podklad. Po měření se odečte tloušťka destičky a výsledkem je samotná tloušťka nátěru. [21]

4.6.2 Vlastní měření

Pro měření tloušťky laku byla zvolena výše zmíněná magneticko-indukční metoda s nemagnetickými štítky o tloušťce 80 μm . Ty museli být po lakování vyříznuty a přeměřeny na magnetickém podkladu. Bylo provedeno ověření tloušťky dvou štítků na laserovém konfokálním mikroskopu LEXT 3000 a pomocí dvou tloušťkoměrů.



Obr. 20 Výsledky měření štítku z laserového konfokálního mikroskopu

Tab. 5 Měření tloušťky štítu tloušťkoměry

Měření tloušťky štítu tloušťkoměry			
Tloušťkoměr	Štítek	Počet měření	Průměrná tloušťka [μm]
Positector 6000	1.	10	$78,4 \pm 0,8$
	2.	10	78 ± 0
Elcometer 456 Basic	1.	10	$76,2 \pm 1,44$
	2.	10	$77,97 \pm 1,86$
Výsledná tloušťka štítu	$77,64 \pm 1,49 \mu\text{m}$		

Tloušťkoměry byla změřena tloušťka $77,64 \pm 1,49 \mu\text{m}$ a mikroskopem byla naměřena průměrná hodnota ze tří štítků $80,5 \mu\text{m}$. Z důvodu vysoké přesnosti měření na laserovém konfokálním mikroskopu dále počítám s tloušťkou štítu $80,5 \mu\text{m}$.



Obr. 21 Tloušťkoměr Positector 6000



Obr. 22 Měření tloušťky laku

Měření tloušťky laku bylo provedeno na přesnějším z obou tloušťkoměrů, tedy na zařízení Positector 6000. Štítky byly odříznuty pomocí skalpelu a přilepeny na čistý a odmaštěný kovový podklad. V tabulkách jsou uvedeny průměrné tloušťky laku z deseti měření se směrodatnou odchylkou.

Tab. 6 Tloušťka laku UD-70 na PP

PP, lak UD-70			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]
2	15,7± 2,9	1	17,8 ± 3,4
3	18,3 ± 3	2	29,6 ± 2
4	23,9 ± 2,2	3	28,5 ± 2,5

Tab. 7 Tloušťka laku UD-70 na PS/PP

PS/PP, lak UD-70			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]
2	15,5± 2	1	23,9 ± 3,3
3	17,5 ± 1	2	23,5 ± 1,1
4	20,6 ± 0,9	3	20,8 ± 2,1

Tab. 8 Tloušťka laku UD-10 na PP

PP, lak UD-10			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]
2	28,8 ± 3,3	1	25,4 ± 1,4
3	29,3 ± 2,8	2	22,2 ± 1,4
4	30,2 ± 2,6	3	26 ± 1,1

Tab. 9 Tloušťka laku UD-10 na PS/PP

PS/PP, lak UD-10			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tloušťka [μm]
2	29,7 ± 3,4	1	30 ± 2
3	28,1 ± 3	2	27,6 ± 1
4	22 ± 1,2	3	25 ± 0,4

Veškeré tloušťky odpovídají doporučeným hodnotám pro konkrétní laky. Rozdílné tloušťky laku jsou způsobeny ručním lakováním po menších sériích. V případě použití robotické aplikace a pásového dopravníku lze očekávat konstantní tloušťku.

4.7 Přílnavost nátěru

Přílnavost nátěrů je souhrnem sil, kterými je nátěr zakotvený k povrchu natřeného podkladu. Je velice těžké stanovit absolutní přílnavost, a proto se přílnavost nátěrů hodnotí relativně, např. pomocí stupňů přílnavosti. Při těchto zkouškách se většinou

zjišťuje přilnavost podle odporu, který klade nátěr při odstraňování (např. odtrhávání) z podkladu.

Přilnavost je závislá nejen na druhu a kvalitě nátěrové hmoty, ale také na podkladu. Výsledek je proto ovlivněný četnými faktory, např. tloušťkou nátěru, počtem vrstev, úpravou podkladu pod nátěrem, apod.[19]

4.7.1 Mřížková zkouška ISO 2409:2013

Podstatou metody je zhotovení řezu ve tvaru mřížky do nátěru a vizuální hodnocení stavu nátěru podle stupnice. Zkušební metoda tak určuje odolnost nátěru vůči oddělení od podkladu, kdy nátěr je proříznut mřížkou k podkladu. Ačkoliv vlastnost změřená touto empirickou metodou závisí mimo jiné na přilnavosti nátěru k podkladovému kovu, nelze tento postup považovat za měření přilnavosti.

Zkušebními pomůckami jsou tloušťkoměr, jednoduchý řezný nástroj s úhlem ostří od 20° do 30° vhodný pro všechny druhy podkladů (měkké i tvrdé), řezný nástroj se šesti ostřími vzdálenými od sebe 1 nebo 2 mm. Nástroj s více ostřími není vhodný pro tvrdé podklady a pro nátěry nad 120 μm a povlaky nanesené na měkkých podkladech. Dále je to vodící šablona, obrázková příloha, vlasový štětec, samolepící páska (průhledná, šířky 25 mm, s přilnavostí 10 ± 1 N na 25 mm) a lupa 2-3x zvětšující.

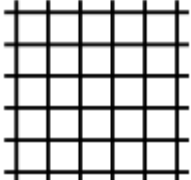
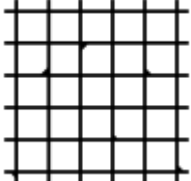
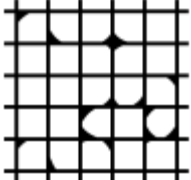
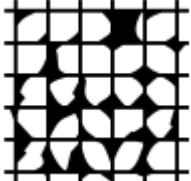

Zkouška se provádí za konstantních podmínek 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Pokud není stanoveno jinak, připraví se podklad v souladu s ISO 1514 a nanese se na něj nátěr metodou stanovenou pro daný výrobek nebo zkoušený nátěrový systém. Podklad musí být rovný, tloušťku nejméně 0,25 mm, jestliže je z relativně měkkého materiálu, musí mít tloušťku nejméně 10 mm. Nátěr se nechá zasychat po stanovenou dobu za stanovených podmínek. Tloušťka suchého nátěru se změří v μm podle ISO 2808. Počet řezů v každém směru mřížky je 6 a jsou na sebe vzájemně kolmé. Vzdálenost mezi nimi je konstantní. Určuje se podle následující tabulky. [22], [24]

Tab. 10 Volba šířky mřížky [22]

Tloušťka nátěru[μm]	Tvrdost podkladu	Rozestupy mezi řezy [mm]
0 - 60	Tvrdý podklad	1
0 - 60	Měkký podklad	2
61 – 120	Měkký i tvrdý podklad	2
121 - 250	Měkký i tvrdý podklad	3

Mřížka se vyhotoví na 3 různých místech. Měkkým štětcem se několikrát lehce přejeđe podél obou úhlopříček mřížky a při zkouškách na tvrdých podkladech se dodatečně použije lepicí páska. Pod lupou se vizuálně stanoví klasifikace nátěru podle následující tabulky.

Tab. 11 Klasifikace přilnavosti nátěru [22]

Vzhled	Popis	Klasifikace
	Řezy zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	0
	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5%	1
	Nátěr nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen z více než 5% a méně než 15 % celkové plochy	2
	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně, nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 % a menší než 35 %	3
	Na nátěru velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 % ale méně než 65 %	4
	Změny, které jsou větší než u stupně 4	5

Metoda je vhodná jak pro použití v laboratoři, tak v provozních podmínkách. Je možno ji použít pro výrok vyhovuje / nevyhovuje i pro hodnocení pomocí šestistupňové klasifikační stupnice, u vícevrstvého nátěrového systému je možné pomocí vhodného přípravku odlišit počet vrstev. Metoda není vhodná pro nátěry nad 250 μm , přesto je lze měřit jednoduchým řezným nástrojem. Není vhodná také pro nátěry s texturou. Je-li použita na nátěry s nerovným povrchem, dává výsledky s příliš velkým rozptylem. [22], [19]

4.7.2 Vlastní měření

Přilnavost nátěru byla měřena dle výše uvedené mřížkové metody. Velikost rozestupů vrypů mřížky byla zvolena 2 mm z důvodu tloušťky laku 20-30 μm a měkkého základního materiálu. Vrypy byly vyhotoveny jednoduchým rezným nástrojem za pomoci šablony a očištěny jemným štětcem.

Tab. 12 Přilnavost laku UD-70 na PP

PP, lak UD-70			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W/cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace
2	1	1	1
3	1	2	1
4	1	3	2

Tab. 13 Přilnavost laku UD-70 na PS/PP

PS/PP, lak UD-70			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace
2	1	1	2
3	1	2	2
4	1	3	2

Tab. 14 Přilnavost laku UD-10 na PP

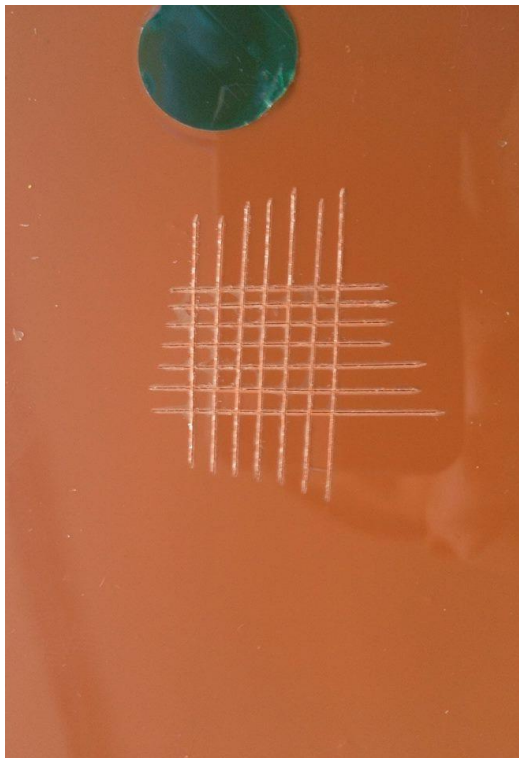
PP, lak UD-10			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace
2	5	1	1
3	5	2	1
4	4	3	2

Tab. 15 Přilnavost laku UD-10 na PS/PP

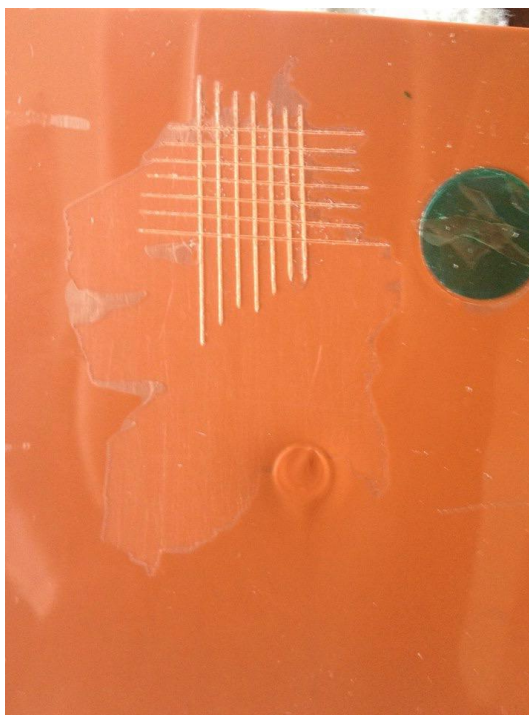
PS/PP, lak UD-10			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Klasifikace
2	5	1	1
3	4	2	1
4	4	3	2

Z tabulky výsledků je patrné, že lak UD-10 při vyšších intenzitách záření dosahuje podstatně nižší přilnavosti na obou materiálech. Vzorek z PP na obr. 23, vytvrzovaný při 160 W.cm⁻¹ rychlostí 2 m.min⁻¹, dosáhl přilnavosti laku klasifikace č. 1. Přilnavost laku u

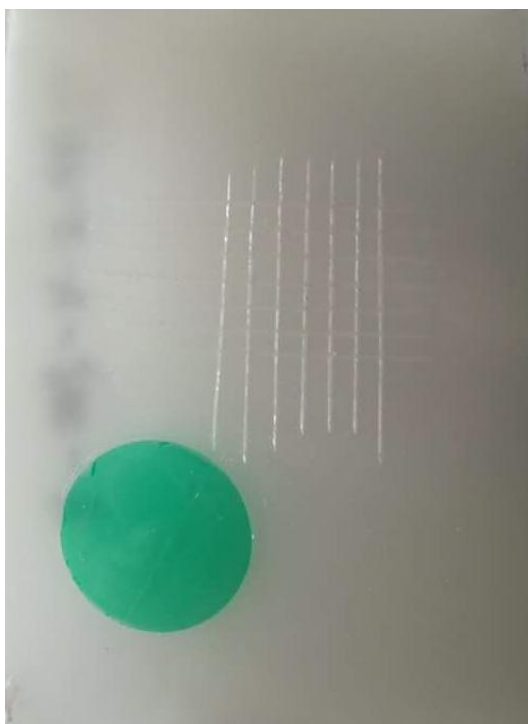
vzorku na obr. 24 při stejných předúpravách, rychlosti robotu, ovšem vyšší intenzitě záření (200 W.cm^{-1}), byla klasifikována č. 5. Totožných výsledků u laku UD-10 bylo docíleno i na vzorcích z PS/PP (viz obr. 25 a 26).



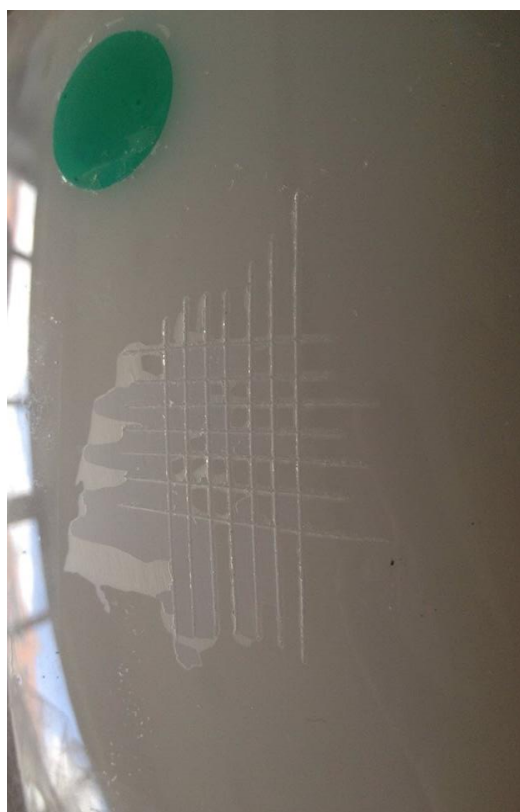
Obr. 23 Lak UD-10 na PP – přilnavost klasifikace č. 1



Obr. 24 Lak UD-10 na PP - přilnavost klasifikace č. 5



Obr. 25 Lak UD-10 na PS/PP - přilnavost klasifikace č. 1



Obr. 26 Lak UD-10 na PS/PP - přilnavost klasifikace č. 5

Lak UD-70 dosahoval konstantních výsledků (přilnavost klasifikace č. 1 či 2) při obou intenzitách a všech rychlostech. Z těchto důvodů lze doporučit laky vytvrzovat při intenzitě 160 W.cm^{-1} rychlostí 2 m.min^{-1} .

4.8 Tvrdost nátěru

Tvrdost nátěru je obrazem podmínek zasychání, dodržení pracovních podmínek a směrnic pro nátěrový systém. Teplota a relativní vlhkost při zasychání i při měření má značný vliv na výsledek měření tvrdosti nátěru, stejně jako tloušťka a stáří nátěru. Zkouškou tvrdosti je možné kontrolovat dodržení předepsaných podmínek pro zpracování nátěrové hmoty, případně jakost použitých surovin.

Tvrdost nátěrů se podobně jako u jiných tuhých materiálů měří různými smluvními metodami. Principem většiny měření tvrdosti je měření odporu při vtlačování (vpichu, vnikání) tvrdého tělesa (hrotu, koule, kužele, jehlanu) do zkoušeného materiálu. [19]

4.8.1 Zkouška tvrdosti tužkami ISO 15184:2012

Jedná se o nejjednodušší zkoušku tvrdosti nátěru. Tato zkouška se provádí především při hodnocení kvality vyrobených nátěrových hmot, ale i před jejich aplikací. Je většinou součástí katalogových údajů k jednotlivým druhům nátěrových hmot. Její podstatou je zjištění, která tužka ze sady tužek různé tvrdosti poruší nátěrový film.

Zkušebními pomůckami jsou sada tužek Koh-i-noor Hardtmuth uvedených v tab. 16, brusný papír zrnitosti 250 a kovový vozík o hmotnosti 800 g s otvorem pod úhlem 45° pro zkoušenou tužku a libelou pro vyvážení. [23]

Tab. 16 Stupně tvrdosti tužek [23]

Stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Tvrdost	3B	2B	B	HB	F	H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H



Obr. 27 Kovový vozík pro měření tvrdosti tužkami



Obr. 28 Sada tužek Koh-i-noor Hardtmuth pro měření tvrdosti

Zkouška se provádí za konstantních podmínek 23 ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 ± 5 %. Tužky se ořežou a kolmo proti brusnému papíru se zbrousí tuha do 90° . Na tuze nesmí být otřepy ani zbytky po broušení, tužka se musí důkladně očistit. Nejměkčí tužka je vložena do vozíku a připevněna šroubem ve vodorovné poloze, k tomu slouží libela na horní části vozíku. Vozík musí být perfektně vyvážený, jen tak lze zajistit, že na hrot tužky působí zatížení 750 ± 10 g. Vzorek je připraven v souladu s ISO 1514 a položen na rovný, tvrdý podklad. Na vzorek je umístěn vozík, s nímž je pohybováno směrem vpřed rychlostí od $0,5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ do $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ do vzdálenosti 7 mm. Tento proces, včetně úpravy tuhy, je u jednoho vzorku opakován 5x s následnou vizuální kontrolou vrypu. V případě, že nedošlo k deformaci nátěru, je zkouška zopakována s o jeden stupeň tvrdší tužkou. Nátěr má takovou tvrdost, jaká je tvrdost tužky, která se jako první pětkrát zaryje do nátěrové hmoty. [23], [24]

4.8.2 Vlastní měření

Měření tvrdosti laku bylo zrealizováno dle výše uvedené normy, avšak zkouška byla v rozporu s normou ISO 1514, kvůli mírnému prohnutí vzorků. Toto prohnutí způsobilo problémy při měření a některé výsledky mohou být o jeden či dva stupně tvrdosti zkresleny.

Tab. 17 Tvrdost laku UD-70 na PP

PP, lak UD-70			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost
2	5H	1	2H
3	5H	2	2H
4	4H	3	H

Tab. 18 Tvrdost laku UD-70 na PS/PP

PS/PP, lak UD-70			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost
2	5H	1	H
3	4H	2	H
4	4H	3	H

Tab. 19 Tvrdost laku UD-10 na PP

PP, lak UD-10			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost
2	F	1	2H
3	HB	2	2H
4	F	3	H

Tab. 20 Tvrdost laku UD-10 na PS/PP

PS/PP, lak UD-10			
Intenzita lampy 200 W.cm ⁻¹		Intenzita lampy 160 W.cm ⁻¹	
Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost	Rychlost robotu [m.min ⁻¹]	Tvrdost
2	H	1	H
3	F	2	2H
4	H	3	H

Lak UD-10 vytvrzený při vyšší intenzitě se na obou materiálech při penetraci tužkou odlupoval od podkladu, což velice ovlivnilo výsledky jeho tvrdosti. Tyto výsledky nelze považovat za věrohodné. U ostatních vzorků se i přes vysokou nepřesnost této metody podařilo naměřit tvrdost laku. Dle očekávání je tvrdost laku u vzorků vytvrzených intenzitou 160 W.cm⁻¹ nižší než při vytvrzení intenzitou 200 W.cm⁻¹, avšak rozdíl tvrdostí je, při přihlédnutí na úsporu energie, zanedbatelný.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Ekonomické aspekty rozvoje robotiky jsou určeny výraznou tendencí trvalého růstu ceny pracovní síly, nízké kvalifikovanosti pracovníků, zlevňováním automatizačních prostředků i při zvětšování jejich funkčních schopností. Velikost investice, kterou je možné vynaložit na zakoupení a instalaci průmyslového robotu, je závislá na:

- mzdových nákladech
- nutném podílu a náročnosti lidské práce
- nákladech na zakoupení robotu
- nákladech potřebných k adaptaci robotu na konkrétní práci
- úrokové míře
- provozních nákladech

Analytické úvahy i zkušenosti ukazují, že nahradí-li se dělník robotem za cenu přesahující dvojnásobek celkových nákladů na zaměstnávání dělníka během roku, pak je nutno tuto náhradu velmi pečlivě zvážit. Zatímco před dvaceti lety bylo nepředstavitelné, že by si koupil svařovacího robota někdo jiný než výrobce automobilů, dnes je svařovací robot považován za rozumný standard i ve firmách s malým počtem zaměstnanců. Lakovací roboty zatím nepřekročili tento milník, a však doba, kdy tomu tak bude, již přichází. [12]

Důvody investice do průmyslových robotů:

- Snížení provozních nákladů
- Zlepšení kvality výroby a její stálosti
- Vyšší množství produkce za jednotku času
- Zvýšení flexibility výroby
- Snížení zmetkovitosti
- Zvýšení bezpečnosti na pracovišti
- Úspora užitné plochy pracoviště
- Vysoká efektivita návratnosti investice
- Vylepšení pracovního prostředí pro pracovníky
- Snížení počtů pracovníků a nákladů na jejich vyhledávání

Použití UV laků vykazuje oproti konvenčním lakům několik ekonomických výhod, které hovoří v jejich prospěch:

- Nízká cena likvidace
- Vysoká hospodárnost
- Snadná recyklovatelnost přestříku laku
- Kratší prostoje ve výrobě
- Nižší energetické nároky
- Menší prostorové nároky na instalaci technologie

Následující tabulka obsahuje porovnání konvenčního lakování a lakování za použití UV laku zahrnující veškeré energetické i ekologické finanční faktory.

Tab. 21 Porovnání konvekčních laků a UV laků [GALATEK a.s.]

Materiálové náklady		
	Konvenční lakování	UV lakování
Cena laku [€/kg]	6,5	16,2
Obsah pevných částic (ve směsi) [%]	40	100
Hustota (lak ve směsi) [kg.l ⁻¹]	0,95	1,1
Hustota (při naředění) [kg.l ⁻¹]	0,89	
Tloušťka suché vrstvy[μm]	35	35
Povrch (díl) [m ²]	0,5	0,5
Počet kusů [ks/rok]	500 000	500 000
Přestřík [%]	50	3
Roční spotřeba laku [kg/rok]	46238,28	11 673,74
Přídavek na naředění [%]	10	0
Roční spotřeba ředidla [l/rok]	4623,83	0
Roční náklady na lak [€/rok]	311 183,63	189 114,61
Náklady na lak na 1 díl [€/ks]	0,62	0,38
Náklady na likvidaci laku		
Náklady na likvidaci laku /kg [€/kg]	0,95	0,95
Odpadní lak [kg/rok]	23 119,14	350,21
Roční náklady na likvidaci [€/rok]	21 963,18	332,71
Náklady na likvidaci na 1 díl [€/ks]	0,04	0,00
Emise VOC [kg/rok]	32 367	0

Doba schnutí		
Vytěkání [min]	10	0
Sušení [min]	20	0,07
Chlazení [min]	10	0
Doba schnutí na 1 díl [min]	40	0,07

Náklady na technologii a energii		
Roční provozní doba [h]	2000	2000
Cena elektrické energie [€/kWh]	0,11	0,11
Cena plynu [€/kWh]	0,03	0,03
Příkon stříkací kabina [kWh]	1,5	1,5
Vytěkání [kWh]	6	
Sušení (elektr.) [kWh]	6	20
Sušení (plyn) [kWh]	200	
Chlazení (elektr.) [kWh]	8	
Náklady na energii [€/rok]	16730	4730
Náklady na spotřební díly sušárny [€/rok]	1000	
Náklady na 1 sadu UV lamp [€]		2000
Životnost UV lamp [h]		2000
Spotřební díly [€/rok]	1000	2000
Roční náklady na technologické zařízení [€/rok]	17730	6730
Náklady na technologické zařízení na 1 díl [€/ks]	0,04	0,01

Celkové roční náklady na lakování [€/rok]	350 876,82	196 177,32
Celkové náklady na lakování 1 dílu [€/ks]	0,7	0,39

Při použití UV laku jsou celkové náklady na lakování jednoho dílu až o 45 % nižší než při použití konvenčních technologií.

6 Závěr

Zvýšení produkce a kvality, snížení zmetkovitosti, flexibilita použití a v neposlední řadě i zvýšení bezpečnosti a usnadnění práce zaměstnanců - to vše jsou důvody, proč se robotizované lakování bude v budoucnu dále rozšiřovat z velkých strojních závodů i do menších firem, nutný je však důkladný rozbor výše investice a její návratnosti. Další rozšiřování v oblasti strojírenství se předpokládá i u laků vytvrditelných ultrafialovým zářením, především z důvodů ekologických a ekonomických. Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že při použití UV laku jsou celkové náklady na lakování jednoho dílu až o 45 % nižší než při použití konvenčních technologií, i proto je dosavadní nárůst výroby, zahrnující lakování UV laky, v řádech desítek procent za rok. Použití na různé plasty je stále předmětem zkoumání, a proto je před konkrétní aplikací nezbytné provést zkoušku lakování různými UV laky a nalézt nejen optimální předúpravu, ale především podmínky vytvrzení. Konkrétní UV laky sice mají doporučené hodnoty intenzity záření pro vytvrzení, tato hodnota se však může měnit v závislosti na základním materiálu, použití ochranné atmosféry, předúpravě povrchu a jiných faktorech.

Z experimentu je zřejmé, že dva laky o podobném složení, na stejných plastových vzorcích, ošetřených stejnou předúpravou, ovšem vytvrzované při vyšších intenzitách, než je potřebné, vykazují horší výsledky přilnavosti. Lak UD-70 dosahoval na obou materiálech shodné přilnavosti klasifikace č. 1 či 2 při intenzitě 160 W.cm^{-1} i 200 W.cm^{-1} a všech rychlostech robotu. Lak UD-10 při vyšších intenzitách záření dosahoval podstatně nižší přilnavosti. Při vytvrzování laku na PP intenzitou 160 W.cm^{-1} nejvyšší rychlostí pohybu robotu 3 m.s^{-1} , bylo docíleno přilnavosti klasifikace č. 1. Naopak při intenzitě 200 W.cm^{-1} a pomalém pohybu robotu byla přilnavost nepřijatelná a byla hodnocena stupněm č. 5. Totožných výsledků bylo docíleno na vzorcích z PS/PP. Tvrdost laku u vzorků vytvrzených intenzitou 160 W.cm^{-1} se pohybovala okolo 2H a při vyšší intenzitě tvrdost činila 4H. Tento rozdíl je při přihlédnutí na úsporu elektrické energie zanedbatelný. Pro úplnost měření byla ověřena i tloušťka povlaku. Tloušťka se liší u jednotlivých sad vzorků ($20\text{-}30 \mu\text{m}$), což je způsobeno nedokonalým ručním lakováním, avšak veškeré tloušťky laku odpovídají doporučeným hodnotám uvedeným v technickém listu. Po přihlédnutí ke všem technologickým zkouškám lze doporučit laky UD-10 a UD-70 na PP a PS/PP vytvrzovat při intenzitě 160 W.cm^{-1} a rychlosti pohybu robotu 2 m.min^{-1} .

Seznam použité literatury:

- [1] PISKAČ, Luděk. *Průmyslové roboty*. 2. přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-7043-278-0.
- [2] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [3] MONKMAN, G. J.; HESSE, S.; STEINMANN, R.; SCHUNK, H. *Robot Grippers*. Weinheim : Wiley-VCH-Verl., 2007. 452 s. ISBN 978-3-527-40619-7
- [4] SKAŘUPA, Jiří. *Hlavice průmyslových robotů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 1993. ISBN 80-7078-210-2.
- [5] ABB Group. *Lakovací roboty* [online]. [cit. 2016-07-08]. Dostupné z: <http://www.roboti.cz/robotizace-v-prumyslu/lakovani>
- [6] *SPRAY PAINT SYSTEM INCLUDING PAINT BOOTH, PAINT ROBOT APPARATUS MOVABLE THEREIN*. Spojené státy americké. 4,630,567. Uděleno 23.12. 1986.
- [7] *Robotické aplikácie v priemysle* [online]. [cit. 2016-07-08]. Dostupné z: <http://www.avir.sk/download/rob10.pdf>
- [8] Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s. *TRANSFER: Výzkum a vývoj pro letecký průmysl* [online]. 22. Praha 9, 2014 [cit. 2016-07-08]. ISSN 1801 - 9315. Dostupné z: www.vzlu.cz/cs/transfer-22-2014-s902.pdf
- [9] LUKAVSKÝ, Ladislav, Václav FIALA a Stanislav BOUŠKA. *Nátěrové hmoty*. 3. upr. vyd. Praha: Merkur, 1993. ISBN 80-7032-301-9.
- [10] MÜLLER, Josef. *Povrchová úprava kovů*. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1950. Knižnice kovoprůmyslu.
- [11] SCHWALM, Reinhold. *UV coatings: basics, recent developments and new applications*. Amsterdam: Elsevier, 2007. ISBN 9780444529794.
- [12] CHVÁLA, Břetislav, Robert MATIČKA a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990.
- [13] SMLUVNÍ LAKOVNA SALUM. *Technologie nástřiku mokrého lakování*. [online]. 2011 [cit. 2016-08-01]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/28-salum-technologie-nastriku-aplikace-mokre-prumyslove-barvy-mokre-lakovani>

- [14] FANUC. *Průmyslový robot FANUC Paint Mate 200iA* [online]. [cit. 2016-08-01].
Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-paint/paint-mate-200ia>
- [15] FANUC. *Průmyslový robot FANUC P-50iB/15* [online]. [cit. 2016-08-01].
Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-paint/p-50ib-15>
- [16] FANUC. *Průmyslový robot FANUC P-350iA/45* [online]. [cit. 2016-08-01].
Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/str%C3%A1nka-filtru-robot%C5%AF/%C5%99ada-paint/lakovac%C3%AD-robot-p-350ia>
- [17] FANUC. *FANUC PAINTPRO: PAINTING SOFTWARE* [online]. [cit. 2016-08-01].
Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/viewing/fanuc-paintpro-painting-software>
- [18] *UV záření a jeho využití v chemické laboratoři* [online]. [cit. 2016-08-01].
Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2520>
- [19] *Hodnocení vlastností nátěrových hmot*. Univerzita Pardubice - Fakulta chemicko-technologická: Státní nakladatelství technické literatury, 2002.
- [20] *Data sheet IRB 2600*. In: *ABB Group* [online]. [cit. 2016-08-02]. Dostupné z: https://library.e.abb.com/public/b48a19048143781b482577bb00369543/ROBO142EN_B%20LR.pdf
- [21] ISO 2808:2007. *Paints and varnishes: Determination of film thickness*. 4. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2007.
- [22] ISO 2409:2013. *Paints and varnishes: Cross-cut test*. 4. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2013.
- [23] ISO 15184:2012. *Paints and varnishes: Determination of film hardness by pencil test*. 2. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2012.
- [24] ISO 1514:2016. *Paints and varnishes: Standard panels for testing*. 5. dopl. vyd. Geneva: ISO, 2016.
- [25] AUBRECHT, Vladimír. *Technické aplikace plazmatu: Plasma technology : současný stav, trendy vývoje a výuka : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Teoretická elektrotechnika*. Brno: VUTIUM, 2003. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-2517-2.

Seznam obrázků:

Obr. 1 Schéma průmyslového robotu [1].....	9
Obr. 2 Schéma efektoru [4].....	11
Obr. 3 Lakovací robot Paint Mate 200iA [14].....	14
Obr. 4 Lakovací robot P-50iB/15 [15].....	15
Obr. 5 Lakovací robot P-350iA/45 [16].....	16
Obr. 6 Řídicí systém PaintPro [17].....	16
Obr. 7 Vzájemná poloha UV, viditelného a infračerveného záření ve spektru [18].....	19
Obr. 8 Pronikání různých spekter UV záření k substrátu	20
Obr. 9 Plastové vzorky pro volbu parametrů vytvrzení.....	22
Obr. 10 Plastový květináč pro automatizaci vytvrzení na robotu.....	22
Obr. 11 Experimentální zařízení pro plazmatickou předúpravu.....	25
Obr. 12 Lakovací kabina.....	26
Obr. 13 Zařízení pro tvorbu dusíku ze vzduchu NITROTHERM SPRAY	26
Obr. 14 Lakovací pistole	26
Obr. 15 Lakovací robot bez koncového efektoru.....	26
Obr. 16 Spektrum vyzařování UV lampy dotované rtuť [IST METZ GmbH]	27
Obr. 17 UV lampa nesená robotem IRB 2600.....	28
Obr. 18 Pracovní prostor robotu IRB 2600 [20].....	29
Obr. 19 Průmyslový robot IRB 2600 před vytvrzením laku na květináči	29
Obr. 20 Výsledky měření štítku z laserového konfokálního mikroskopu	31
Obr. 21 Tloušťkoměr Positector 6000	32
Obr. 22 Měření tloušťky laku	32
Obr. 23 Lak UD-10 na PP – přilnavost klasifikace č. 1.....	37
Obr. 24 Lak UD-10 na PP - přilnavost klasifikace č. 5	37
Obr. 25 Lak UD-10 na PS/PP - přilnavost klasifikace č. 1.....	38
Obr. 26 Lak UD-10 na PS/PP - přilnavost klasifikace č. 5.....	38
Obr. 27 Kovový vozík pro měření tvrdosti tužkami.....	39
Obr. 28 Sada tužek Koh-i-noor Hardtmuth pro měření tvrdosti.....	40

Seznam tabulek:

Tab. 1 Technické parametry laku UD-70 [Lankwitzer, spol s.r.o.].....	23
Tab. 2 Technické parametry laku UD-10 [Lankwitzer, spol s.r.o.].....	23
Tab. 3 Technické parametry UV zařízení [IST METZ GmbH]	27
Tab. 4 Technické parametry robotu IRB 2600 [20].....	28
Tab. 5 Měření tloušťky štítu tloušťkoměry.....	32
Tab. 6 Tloušťka laku UD-70 na PP	33
Tab. 7 Tloušťka laku UD-70 na PS/PP.....	33
Tab. 8 Tloušťka laku UD-10 na PP	33
Tab. 9 Tloušťka laku UD-10 na PS/PP.....	33
Tab. 10 Volba šířky mřížky [22]	34
Tab. 11 Klasifikace přilnavosti nátěru [22]	35
Tab. 12 Přilnavost laku UD-70 na PP.....	36
Tab. 13 Přilnavost laku UD-70 na PS/PP	36
Tab. 14 Přilnavost laku UD-10 na PP.....	36
Tab. 15 Přilnavost laku UD-10 na PS/PP	36
Tab. 16 Stupně tvrdosti tužek [23].....	39
Tab. 17 Tvrdost laku UD-70 na PP.....	41
Tab. 18 Tvrdost laku UD-70 na PS/PP	41
Tab. 19 Tvrdost laku UD-10 na PP.....	41
Tab. 20 Tvrdost laku UD-10 na PS/PP	41
Tab. 21 Porovnání konvekčních laků a UV laků [GALATEK a.s]	43