



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## PROBLEMATIKA TRYSKÁNÍ POVRCHŮ

THE ISSUE OF SHOT PEENING

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kryštof Lánc

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2017

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Kryštof Lánc**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

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:

## Problematika tryskání povrchů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o seznámení se s technologií tryskání povrchu dílců a vytvoření školicího podkladu pro novou obsluhu používaného stroje.

### Cíle bakalářské práce:

V práci budou uvedeny základní principy technologie tryskání povrchů dílců a popis užívaných zařízení. Dále bude práce obsahovat metodiku tvorby školicích podkladů zaměřenou na obsluhu vybraného tryskacího zařízení pro nové zaměstnance, ukázkou takto vytvořeného dokumentu, vše doplněné komentáři a vlastními závěry.

### Seznam doporučené literatury:

ECKERSLEY, John S. and Jack CHAMPAIGNE. Shot Peening: Theory and Application. Paris: IITT International, 1991. ISBN: 978-290766918.

WAGNER, Lothar. Shot peening. Cambridge: Wiley-VCH, c2003. ISBN 35-273-0537-8.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-720-4283-1.

SELUCKÁ, Alena (ed.). Povrchové úpravy železných kovů. V Brně: Technické muzeum - Metodické centrum konzervace, c2012. ISBN 978-80-86413-94-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne 2. 11. 2016

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

LÁNC Kryštof: Problematika tryskání povrchů.

---

Práce je primárně zaměřena na teoretické zpracování technologie tryskání, která patří mezi dokončovací operace využívající plastickou deformaci. Obsahem studie je základní princip, rozdělení a popis tryskacích zařízení, rozdělení abraziva, princip optimalizace řízeného kuličkování a s tím související zkoušky. Dokument obsahuje také metodiku tvorby školícího materiálu pro operátory tryskacího zařízení.

Klíčová slova: tryskání, mechanické úpravy povrchu, kuličkování, dokončovací operace, plastická deformace

## **ABSTRACT**

LÁNC Kryštof: The issue of shot peening

---

The thesis is primarily focused on theoretical processing shot peening technology, which belongs among the finishing operations using plastic deformation. The thesis is primary focused on describing basic principle of shot peening, sorting shot peening machines and abrasives, the principle of optimization of controlled shot peening and the related tests. The document also contains a methodology of creating educational material for operators of shot peening machine.

Keywords: shot blasting, mechanical surface treatment, shot peening, finishing, plastic deformation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

LÁNC, Kryštof. *Problematika tryskání*. Brno, 2017. 36s, 1 příloha, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky, rady týkající se zpracování bakalářské práce a za trpělivost při jejím vedení. Také děkuji firmě Mubea za vstřícnost a ochotu při spolupráci na přípravě školících materiálů a za předání zkušeností v problematice tryskání.

## **OBSAH**

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Mechanické úpravy povrchu</b> .....	<b>10</b>
<b>2 TRYSKÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Zbytkové vnitřní pnutí</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 Nekonvenční metody tryskání</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 Tryskací média</b> .....	<b>16</b>
<b>2.4 Struktura povrchu</b> .....	<b>18</b>
<b>2.5 Tryskací zařízení</b> .....	<b>20</b>
2.5.1 Pneumatické zařízení .....	<b>21</b>
2.5.2 Zařízení s metacími koly .....	<b>22</b>
<b>2.6 Optimalizace řízeného tryskání</b> .....	<b>27</b>
2.6.1 Vnitřní pnutí .....	<b>27</b>
2.6.2 Pokrytí .....	<b>29</b>
<b>3 METODIKA TVORBY ŠKOLICÍCH PODKLADŮ</b> .....	<b>33</b>
<b>4 ZÁVĚRY</b> .....	<b>36</b>

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

## ÚVOD

V průmyslové praxi se často vyskytují součásti, které jsou vystaveny vysokému provoznímu zatížení. Může se jednat o dynamické namáhání nebo také kontaktní tření. Z tohoto důvodu je nutné volit vhodné materiály s vlastnostmi vyhovující tomuto typu zatížení a také vhodné technologické zpracování. Pro zvýšení mechanických vlastností se s velkou výhodou využívá mechanických úprav povrchu, při nichž nedochází k úběru materiálu.

Technologie mechanických úprav povrchu patří mezi dokončovací beztržiskové operace. Jejimi hlavními zástupci jsou válečkování, hlazení a tryskání. Tyto metody se řadí mezi tzv. dokončovací operace prováděné za studena. Každý z těchto způsobů úpravy povrchů nalézá uplatnění pro jiné typy součástí. Výsledkem aplikace některého z výše uvedených je zejména zvýšení životnosti, odolnosti proti opotřebení a úprava povrchu. Mechanické dokončovací technologie jsou dnes již nedílnou součástí nejen strojírenské výroby.



Obr. 1 Součásti, na nichž je při výrobě použita technologie tryskání [9], [11], [15]

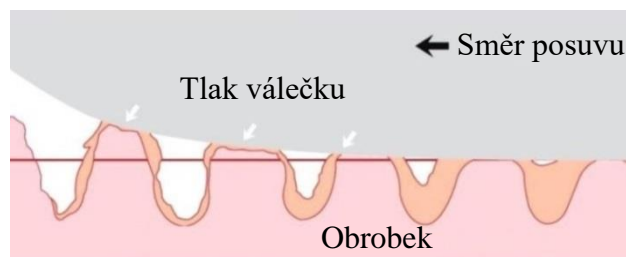
# 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Tato bakalářská práce vznikla ve spolupráci s firmou Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o., která se zabývá výrobou stabilizátorů do automobilů. Jednou z částí procesu výroby je mechanická úprava povrchu, konkrétně řízené tryskání. Tato technologie je do výrobního procesu zařazena kvůli zpevnění povrchové vrstvy, indukování vnitřního pnutí a vytvoření vhodné struktury pro následné nanášení ochranného povlaku. Tento text slouží primárně k doplnění vytvořených školících materiálů o teoretické informace pro obsluhu tryskacích zařízení právě pro zmiňovanou firmu. Text obsahuje seznámení s principy tryskání, rozdělení a charakteristiku tryskacích prostředků. Zahrnuje též dělení a princip činnosti tryskacích zařízení a zkoušky týkající se kvality procesu. Součástí dokumentu je také seznámení s metodikou tvorby školícího materiálu, seznámení s obsahem a ukázkami vytvořeného dokumentu.

## 1.1 Mechanické úpravy povrchu [9, 10, 38, 46, 47]

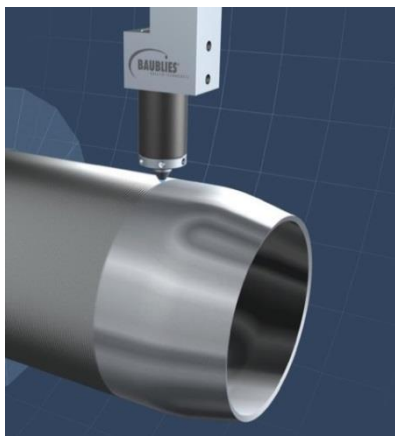
Ke zvýšení hodnot mechanických vlastností je možné použít hned několik dokončovacích technologií, které se vyznačují rozdílnými přednostmi a různým použitím. Mezi tyto technologie patří válečkování, hlazení a tryskání.

• Válečkování – válečkováním se dokončují vnější i vnitřní válcové plochy, v některých případech rovinné plochy. Tvářecím nástrojem jsou tělíska, která mají tvar válečku, soudečku, nebo kuličky. Princip válečkování spočívá v plastické deformaci povrchové vrstvy, přičemž je nástroj přitlačován na povrch součásti, viz obr. 2. Vrcholky obrobku jsou následně zatlačovány do drobných děr na povrchu. Tímto procesem se sníží drsnost povrchu na 0,8 až 0,1 mikrometrů. Válečkováním se zvýší tvrdost povrchové vrstvy, mez únavy, korozní odolnost, geometrická a rozměrová přesnost, a dochází ke změně vnitřního pnutí z tahového na tlakové. Tento způsob dokončování povrchu může být již konečnou úpravou prováděných po obráběcích operacích. Válečkování je vhodná technologie mechanické úpravy pro součásti jednoduchých tvarů. Výhodou této metody je možnost použití obráběcích strojů a dobrá jakost povrchu.



Obr. 2 Podstata válečkování [47]

• Hlazení – tato metoda je další z možností beztrýskových operací pomocí diamantového nástroje, viz obr. 3. Cíl, aplikace a podstata této operace je podobná jako u válečkování s tím

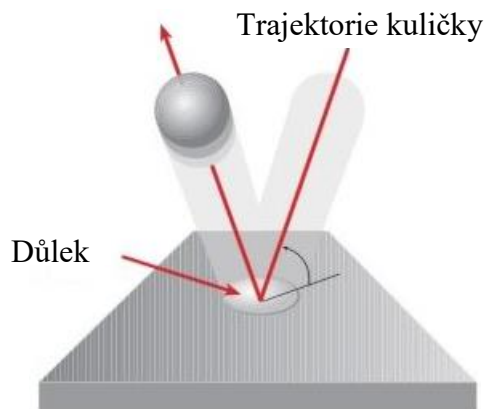


Obr. 3 Průběh hlazení [12]

rozdílem, že při kontaktu nástroje s povrchem nedochází k odvalování nástroje po součásti, ale ke smykovému tření. Vzhledem ke vzniku smykového tření je nutné chladit místo styku kvůli odvodu tepla. Vyhlazovací nástroj je diamantový kužel s definovanou geometrií. Kužel se přitlačuje konstantní silou do obrobku, čímž dochází k vyhlazování povrchu. Výsledek hlazení je stejný jako u válečkování s rozdíly v rozsahu dosažených hodnot drsnosti povrchu 0,4 až 0,1 mikrometrů. Hlazení lze aplikovat i na velmi tvrdé materiály. Stejně jako válečkování ani tato technologie nevyžaduje speciální zařízení a lze s výhodou využít obráběcích strojů. Problém této metody nastává při aplikaci na tvarově složité nebo rozměrné součásti, metoda je v tomto případě časově nevýhodná.

- Tryskání – během tryskání jsou na povrch metány aktivní částice, tzv. abrazivo, které může být např. ve formě ocelových kuliček, sekaného drátu, drcené strusky, drcených skořápek, písku atd. Dopadající materiál působí na povrch jako drobná kladívka, která díky vysoké kinetické energii vytvoří důlky, viz obr. 4. Postupným dopadáním abraziva na povrch dojde k souvislému zpevnění povrchové vrstvy a k vytvoření tlakového pnutí. Zpevnění je způsobeno nahuštěním dislokačních rovin v povrchové vrstvě. I přes tvarování povrchové vrstvy se tímto procesem nijak výrazně nenarušuje tvar a rozměry součásti.

Tryskání se využívá pro čištění povrchu od rzi, okují nebo otřepů. Další uplatnění nachází při přípravě povrchu před lakováním, natíráním nebo jinými způsoby nanášení ochranné vrstvy. V neposlední řadě se tryskání využívá k vytvoření tlakového vnitřního pnutí a zlepšení mechanických vlastností. Pokud je hlavním cílem získání vnitřního tlakového pnutí, abrazivo musí mít sférický tvar. Otryskaný povrch je velmi náchylný na korozi, proto by se tryskání mělo použít až jako konečná operace, a po otryskání by měl být povrch vhodným způsobem ošetřen např. nátěrem. Z uvedených technologií je tryskání nejvhodnější pro aplikace na stabilizátory, a to především díky jednoduché aplikaci na tvarově složité součásti a předúpravě povrchu pro následné povlakování.



Obr. 4 Dopad kuličky [2]

## 2 TRYSKÁNÍ

Technologie tryskání má různý charakter vzhledem k použitému abrazivu. Při použití ostrohranného abraziva převládá čistící účinek. Toto abrazivo se využívá k čištění a vytvoření vhodného povrchového reliéfu pro nanesení ochranného povlaku. U sférického tryskacího média je výsledkem zpevnění povrchové vrstvy, generování tlakového vnitřního pnutí částečně i čištění. Vnesením zbytkového pnutí se zvyšuje odolnost součásti vůči únavovému porušení. Některé tvary tryskacího prostředku kombinují vlastnosti obou typů. Příkladem takového abraziva je sekaný drát.

### 2.1 Zbytkové vnitřní pnutí [2, 9, 22, 47]

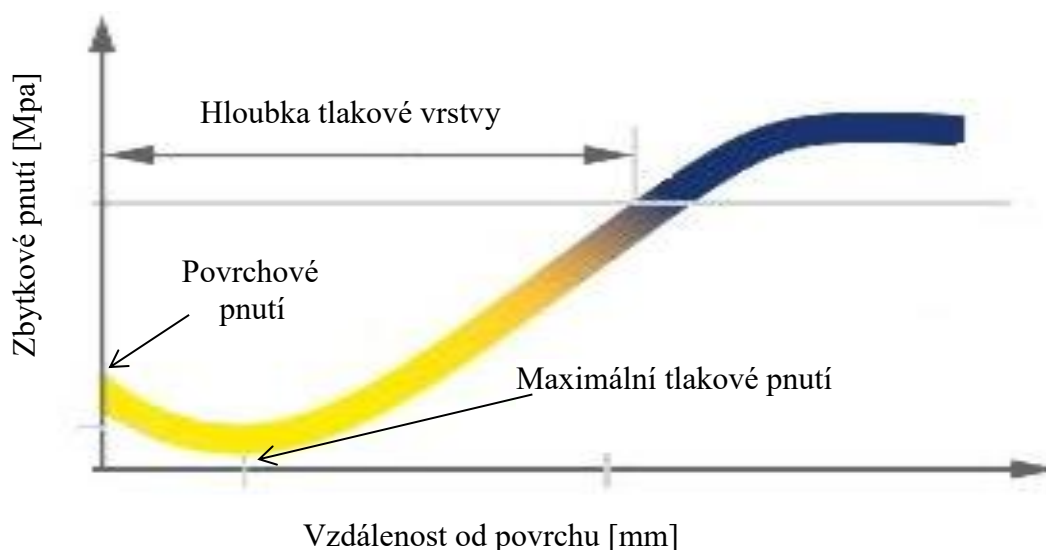
Je to pnutí, které se nachází v součástech bez vnějšího zatížení. Vnitřní pnutí může nabývat tahového nebo tlakového charakteru. Při dopadu částice na povrch se část kinetické energie přemění na mechanickou práci, která způsobí nehomogenní elasticko-plastickou deformaci. Největší část kinetické energie se přemění v teplo a zbytek kinetické energie zůstane zachován v abrazivu, aby se odrazil od tryskaného povrchu. Při vytváření důlku je materiál nejprve pružně zatlačen, tím vzniká uvnitř materiálu tahové pnutí, které se tvoří po celou dobu tváření důlku. Následně některé z vláken pod povrchem překročí mez kluzu a vznikne trvalý důlek. Po odrazu částice se pružná složka deformace vrátí zpět, ale na větším povrchu než počátečním. Tím vzniká v okolí důlku tlakové pnutí, které je žádoucím produktem tryskání, viz obr. 5.



Obr. 5 Tlakové pnutí [2]

Tlakové vnitřní pnutí v materiálu brání vzniku a šíření únavových mikrotrhlin, čímž dochází ke zvýšení únavové životnosti. Při existenci povrchové trhliny má tlakové pnutí tendenci uzavírat hranice trhliny k sobě, a tím zamezit dalšímu šíření.

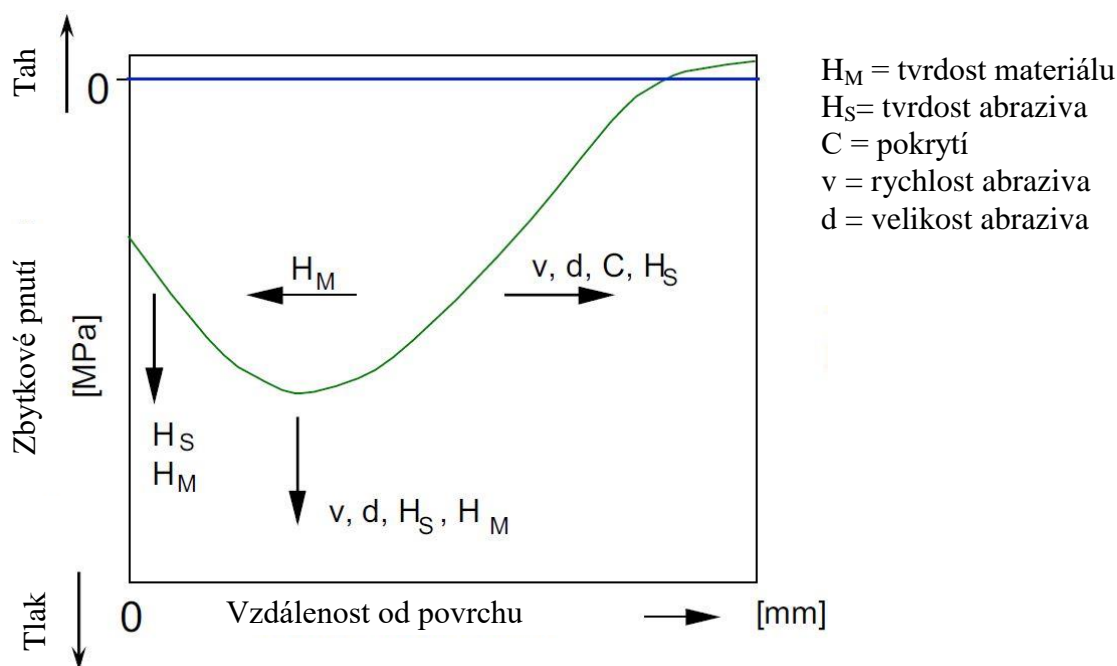
Velikost a průběh vnitřního pnutí úzce souvisí s únavovou životností. Obr. 6. znázorňuje závislost mezi zbytkovým pnutím a vzdáleností od povrchu součásti.



Obr. 6 Graf závislosti vnitřního pnutí na hloubce pod povrchem [22]

Nejvyšší hodnota tlakového pnutí se nachází těsně pod povrchem (v řádech setin milimetrů). S rostoucí vzdáleností od povrchu součásti klesá hodnota vnitřního pnutí, až dosáhne nulové hodnoty. Hloubka od povrchu až do místa nulové hodnoty tlakového pnutí se nazývá hloubka tlakové vrstvy (v řádech desetin milimetrů). Platí zde, že odolnost proti únavovému poškození roste s vyšší hodnotou všech tří významných bodů (povrchové pnutí, maximální pnutí a hloubka povrchové vrstvy) v průběhu vnitřního pnutí. S rostoucí hloubkou napětí již přechází do tahového charakteru. Tento jev je následkem vyrovnání pnutí vůči tlakovému, materiál se „brání“ změně vnitřního pnutí. Součet vnitřních pnutí po celém průřezu součásti musí být roven nule.

Velikost a hloubka vnitřního pnutí je závislá na mnoha parametrech. Těmi jsou tvrdost tryskacího prostředku, tvrdost tryskané součásti, velikost tryskacího zrna, rychlost abraziva, tryskací čas a úhel dopadu abraziva. Volba těchto parametrů má přímý vliv na kvalitu tryskání, povrch a vlastnosti výrobku. Obr. 7 zobrazuje vliv některých parametrů na průběh zbytkového pnutí. Šipky naznačují posun křivky při zvýšení hodnoty některého z parametrů. Vhodnou volbou těchto hodnot lze dosáhnout požadovaného vnitřního pnutí a pokrytí za co nejnižší čas. Tento proces se nazývá optimalizace a podrobněji bude rozebrán v kapitole 2.6.



Obr. 7 Vliv tryskacích parametrů na průběh vnitřního pnutí [9]

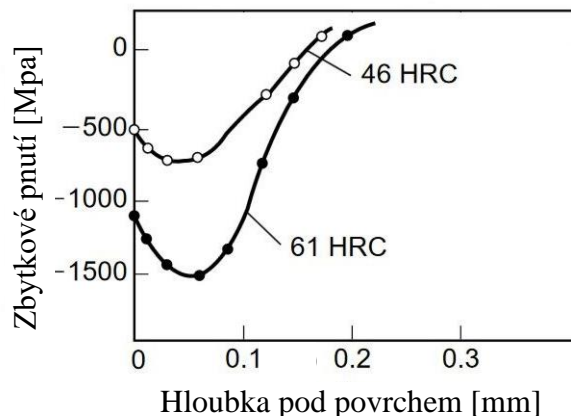
- Rychlost abraziva – jedním z primárních parametrů pro vytvoření vnitřního pnutí je rychlost, která je udělena abrazivu. S vyšší rychlostí částice získá vyšší kinetickou energii, to znamená, že může vytvořit větší deformace v tryskané součásti, a tím dosáhnout větší hloubky zbytkového pnutí, a také vyšší hodnoty maximálního tlakového pnutí. Rychlost tryskacího prostředku se reguluje pomocí otáček metacího kola. V případě použití pneumatického zařízení se regulace provádí změnou tlaku.

- Intenzita tryskání – veličina hodnotící míru zbytkových napětí vnesených do materiálu. Tato veličina přímo souvisí s rychlostí, velikostí a druhem abraziva. Intenzita je veličina jednodušeji měřitelná než rychlost, proto je v praxi často používána jako jedna z hodnot pro optimalizaci tryskání, následně také při kontrole a seřizování stroje.

- Úhel dopadu abraziva – tento úhel je definován jako úhel mezi povrchem tryskané součásti a trajektorií abraziva. Úhel dopadu ovlivňuje velikost a hloubku zbytkového pnutí, dále má také vliv na pokrytí a strukturu povrchu. Pokud je dopad tryskacího zrna kolmý

na tryskaný povrch, většina kinetické energie se přemění na deformační energii a teplo. Při kolmém dopadu dochází k největšímu zpevnění povrchové vrstvy. S ostrým úhlem dopadu se kinetická energie rozkládá do menší hloubky a na delší plochu ve formě deformace. Při ostrém úhlu tryskání dochází k abrazivnímu čištění povrchu. Při velmi ostrém úhlu dopadu dochází doslova k vytrhávání tryskaného materiálu.

- Tvrdost abraziva – pro vytvoření vnitřního pnutí musí být tvrdost abraziva stejně tak velká nebo větší než tvrdost tryskaného materiálu. S rostoucí tvrdostí abraziva roste také maximální dosažené tlakové pnutí. Tuto závislost zobrazuje obr. 8. V grafu je zobrazena závislost vnitřního pnutí na hloubce pod povrchem pro dva tryskací materiály o tvrdosti 46 a 61 HRC. V grafu je jasně viditelné, že použitím tvrdšího tryskacího materiálu roste maximální pnutí a lehce také hloubka tlakové vrstvy.



Obr. 8 Vliv tvrdosti abraziva [6]

- Tvrdost tryskaného dílu – s vyšší tvrdostí tryskaného materiálu se zmenšuje hloubka tlakové vrstvy, současně ale roste maximální dosažené vnitřní pnutí. U materiálů s vysokou pevností je těžší vytvořit vnitřní tlakové pnutí. Je to především způsobené pevnou krystalovou mřížkou, která dokáže odolávat vyššímu stupni zátěže. Vzniklé tlakové pnutí dosahuje vyšších maximálních hodnot, ale menších hloubek než méně pevné materiály.

- Tryskací čas – tryskací čas je parametr, který je závislý na všech ostatních hodnotách, a je třeba striktně dodržet jeho nastavení. Při navržení správného tryskacího času lze docílit správného pokrytí a požadované míry vnitřního pnutí. Při nedodržení délky tryskacího času se součást označuje jako nedotryskaná, respektive přetryskaná. Obě tyto možnosti se projeví na nižším pnutí nebo nedostatečném pokrytí celé součásti.

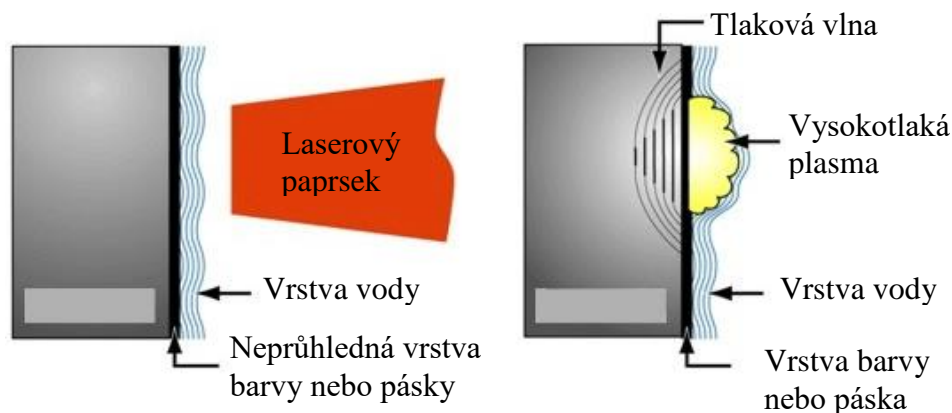
## 2.2 Nekonvenční metody tryskání [6, 9, 21, 23, 24, 29, 46]

Konvenční tryskání nemusí vždy vyhovovat potřebám některých součástí. Ať se jedná o nevhodný charakter této metody nebo dosažené hodnoty pnutí touto metodou, které nevyhovují požadavkům. Proto je nutné přistoupit k jiným principům generování zbytkového pnutí.

- Duální tryskání – jedná se o provedení tryskání úplně stejným způsobem jako u konvenčního postupu s tím rozdílem, že po prvním otryskání je součást otryskána znovu. Sekundární tryskání je provedeno abrazivem menších rozměrů a menší intenzitou než u primárního tryskání. Jeho hlavním cílem je zarovnat výstupky vzniklé po prvním otryskání, a tím docílit nižší drsnosti. Po duálním otryskání dojde k navýšení tlakového pnutí především na povrchu, kde nejčastěji vznikají únavové trhliny.

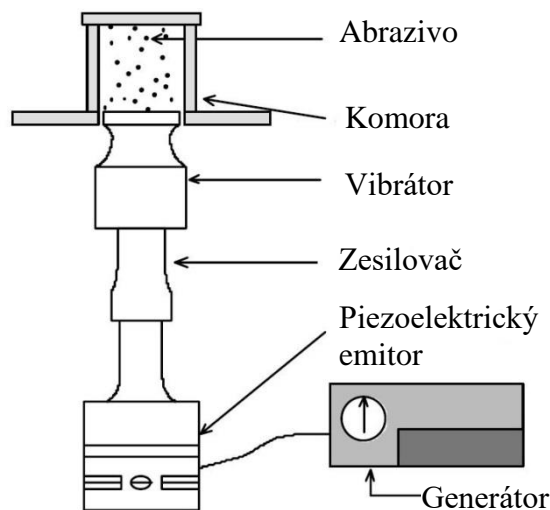
- Laserové tryskání – laserové tryskání využívá rázových vln k vytvoření zbytkového tlakového pnutí. Tryskaný povrch musí být pokryt neprůhlednou barvou nebo páskou. Nejprve se na tryskaném povrchu vytvoří vodní vrstva. Laserový paprsek je vystřelen na povrch tryskané součásti přes vrstvu kapaliny. Puls laseru je při dopadu na neprůhlednou vrstvu absorbován a povrch se prudce zahřeje. Následně se neprůhledná vrstva vypařuje a formuje na vysokoteplotní plasmový plyn. Plasma je zachycena mezi povrchem součásti a vrstvou vody, která brání úniku plynu. Poté tlak plynu přesáhne extrémní hodnotu a uvolní se energie z plynového oblaku ve formě rázové vlny, která prochází materiálem a generuje vnitřní pnutí. Princip této metody je schematicky naznačen na obr. 9. Hloubka tlakové vrstvy

dosahuje až čtyřnásobné vzdálenosti oproti konvenčnímu tryskání. Tento způsob tryskání je časově náročnější než konvenční.



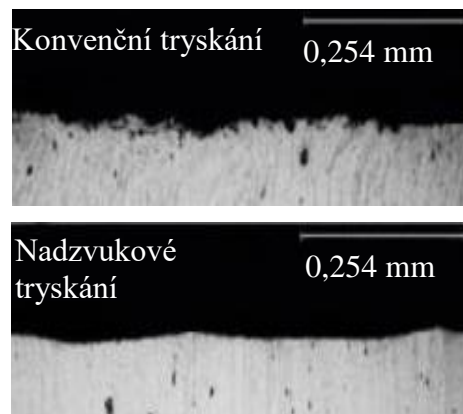
Obr. 9 Princip laserové tryskání [21]

- Nadzvukové tryskání – tryskání probíhá v uzavřené komoře malých rozměrů. Princip nadzvukového tryskání je naznačen na obr. 10. Piezoelektrický emitor vytváří vlny o frekvenci 20 kHz, které jsou zesíleny pomocí zesilovače. Tryskací prostředek je umístěn v komoře na vibrátoru, který převádí vlny na vibrace. Abrazivo je urychlováno vibracemi vibrátoru. Tryskací prostředek se neustále nahodile odráží vysokou rychlostí na tryskaný díl. Pro nadzvukové tryskání se využívá pouze sférické abrazivo. Kvalita povrchu, zpevnění a velikost vnitřního pnutí je vyšší než u konvenčního tryskání, viz obr. 11., kde jsou zobrazeny rentgenové snímky otryskaného povrchu konvenčním a nadzvukovým tryskáním. Povrch ošetřený touto technologií se vyznačuje menší drsností. Nadzvukové tryskání nachází uplatnění především u malých a tvarově složitých součástí jako jsou menší pružiny nebo ozubení.

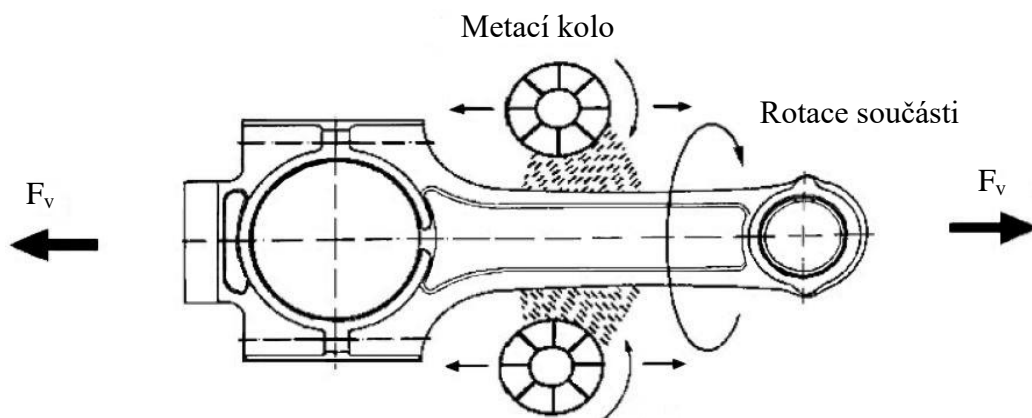


Obr. 10 Nadzvukové tryskání [9]

- Tryskání s předepnutím – využívá se pro součásti, u kterých se vyžaduje vysoká mez únavy a zpevnění. U takto namáhaných součástí je nutné docílit vysokých hodnot zpevnění a tlakového pnutí. Toho lze docílit použitím tvrdšího abraziva nebo tzv. předepnutím. Pomocí předepnutí lze docílit tlakového pnutí až 1200 MPa. Princip této metody spočívá ve vyvolání napětí v součásti před tryskáním. Natažení součásti se musí pohybovat v oblasti elastické deformace. Poté je povrch otryskán. Natažení součásti umožní snadnější deformaci povrchové vrstvy, a tím dosažení většího maximálního pnutí v součásti. Po otryskání dojde k odlehčení, a tím ještě k dalšímu nahuštění dislokací v povrchové vrstvě.



Obr. 11 Rentgenový snímek povrch po otryskání [24]

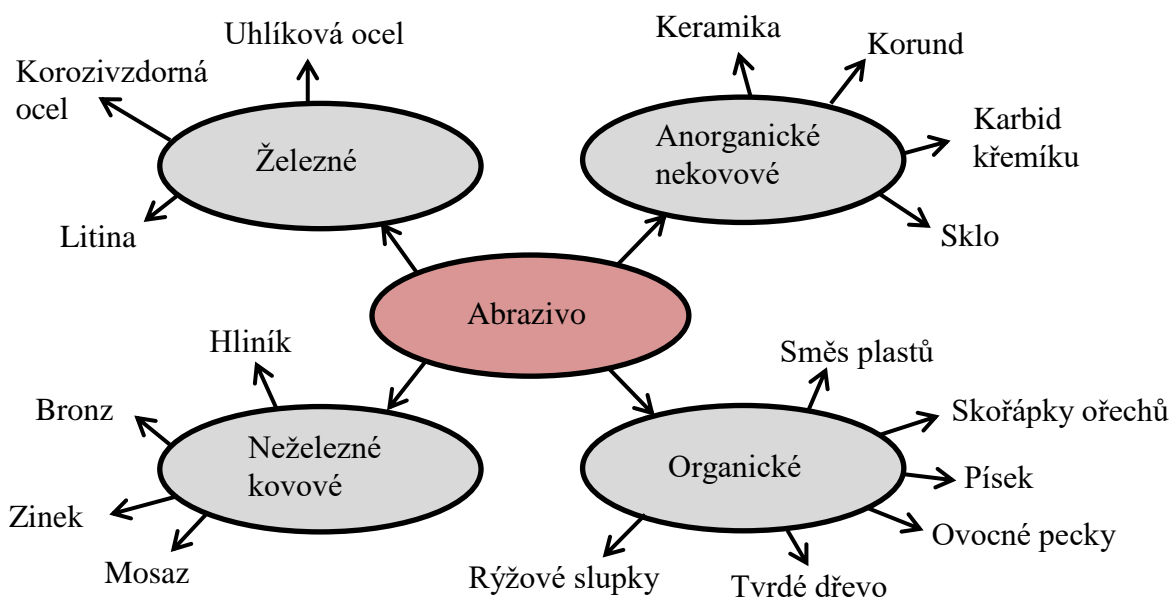


Obr. 12 Tryskání s předeptnutím [9]

### 2.3 Tryskací média [25, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 46, 47]

Na trhu je možné dohledat velké množství různých typů a provedení tryskacích médií. Volba abraziva závisí na použitém typu zařízení, vlastnostech tryskaného materiálu a hlavním účelu tryskání. Tryskací média se rozdělují podle materiálu a tvaru. Přehled užívaných materiálů je uveden na obr. 13. Obecně platí, že ostrohranná média se využívají pro čištění povrchů, zatímco sférické najdou své uplatnění při zpevňování povrchové vrstvy.

Tvar tryskacího prostředku se během tryskání vtiskne do materiálu, a tím tvoří charakteristický vzhled povrchu. Houževnaté materiály mají tendenci se během tryskání zakulacovat, jejich životnost se touto vlastností prodlužuje. Zatímco křehké materiály se štípou nebo lámou na menší kusy, (tím po krátkém čase jejich velikost již nevyhovuje požadavkům), jejich abrazivní účinek zůstává zachován. Po otryskání vzniká tzv. sekundární znečištění, které je tvořeno zbytky tryskacích prostředků. Ve většině případů toto znečištění negativně ovlivňuje přilnutí nanášených povlaků a lepidel. V případě použití železných materiálů mohou být zbytkové nečistoty iniciátory tzv. bleskové koroze. Jedná se o tenkou vrstvu oxidů železa, která se musí před dalšími procesy odstranit. Sekundární znečištění je žádoucí v případě použití abraziva vyrobeného z neželezných kovů. Během tryskání dochází k zachytávání abraziva na tryskaný povrch, tím je docíleno dočasné ochrany proti korozi.



Obr. 13 Přehled používaného abraziva [7]

- Ocel – patří mezi nejúčinnější a nejpoužívanější tryskací materiály. Jedná se o tepelně zpracovanou (nejčastěji žíhanou) vysokouhlíkovou ocel. Nejčastěji je možné se s ní setkat ve formě ocelové drtě, granulátu nebo sekaného drátu. Sekaný drát se vyrábí ve třech různých jakostech zakulacení. Tento typ abraziva je velmi odolný a vyznačuje se dlouhou životností a prašností. S využitím tohoto typu materiálu se lze setkat při zpevňování i čištění ocelových materiálů.

- Korozivzdorná ocel – jedná se o slitinu oceli obsahující chrom nebo chrom a nikl. Předností tohoto materiálu je jeho životnost a nižší prašnost než u uhlíkové oceli. Tento typ materiálu je možné nalézt pod názvem chronital nebo grittal, které se vzájemně liší ve svém chemickém složení. Využití nachází především v aplikaci na neželezné kovy.

- Litina – tento typ materiálu se vyrábí ve formě granulátu nebo drtě. Litina je velmi tvrdá. Díky této vlastnosti nedochází k zaoblování hran, a tak zůstává zachována její abrazivní účinnost. Používá se především pro čištění ocelových materiálů.

- Balotina (skleněné kuličky) – své uplatnění najde v dokončovacích operacích a při předúpravě povrchu. Výhodou balotiny je její chemická stálost a inertní chování vůči tryskanému povrchu. Balotina je velmi křehká a rychle ztrácí svůj tvar, tím je její spotřeba mnohonásobně vyšší než u ostatních typů abraziva. Využití nachází při tryskání barevných kovů, hliníku a nerezových ploch.

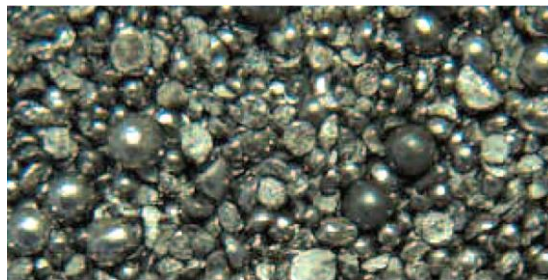
- Korund ( $Al_2O_3$ ) – se nejčastěji využívá ve dvou různých modifikacích. Jedná se o bílý a hnědý korund. Hnědý korund obsahuje okolo 95%  $Al_2O_3$  (oxid hlinitý) a druhou hlavní složkou je  $TiO_2$  (oxid titaničitý). Bílý korund se vyrábí roztavením  $Al_2O_3$ , je čistější a nezanechává na povrchu tryskané součásti železné prachové částice. V obou případech se jedná o velmi tvrdé materiály, které se využívají pro čištění nerezových ocelí, barevných kovů a litin.

- Zirblast (keramika) – využívá se v případě, kdy je nutné zachovat dokonalou strukturu povrchu a zamezit deformacím. Tento materiál se doporučuje používat pro zpevňování povrchů. Podobně jako sklo, je i keramika dost křehká, a je hned druhá ve spotřebě abraziva. Keramika je vhodná pro tryskání barevných kovů, hliníku a jeho slitin.

- Plast – ve většině případů se jedná o směs různých typů plastů a různé tvrdosti. Plastové abrazivo je velmi šetrné k tryskanému povrchu. Využívá se především pro odstraňování organických povlaků, u kterých nesmí dojít k porušení povrchu pod povlakem.

- Písek – nachází uplatnění při jemném čištění pro většinu typů materiálu, někdy také pro čištění fasád, kamenných mostů apod. Tryskání, při němž je jako tryskací médium použit písek, se nazývá pískování.

Výrobci abraziv nabízí i další materiály. Jsou to například olivín, dolomit, granát (speedblast), drcené pecky, drcená struska, jedlá soda nebo ecostrip. Při kabinovém tryskání, kde je tryskací prostředek neustále v oběhu, je nutné kontrolovat kvalitu a velikost abraziva, protože velikost zrna během tryskání není konstantní. Kulaté abrazivo se rozbíjí na menší kusy, které se v průběhu tryskání mohou opět zakulatit. Ostrohanná média se lámou na menší nebo se jejich hrany zaoblují. U stavu abraziva se vizuálně kontroluje, zda odebrané vzorky vyhovují předepsanému tvaru pro danou aplikaci. Nízká kvalita sférického abraziva je zobrazena na obr. 14. K odstranění prachu a drobných částecek slouží síta a separátor nečistot v zařízení. Pro zjištění procentuálního rozložení velikosti tryskacího prostředku v oběhu tryskacího zařízení se používá síťová analýza.

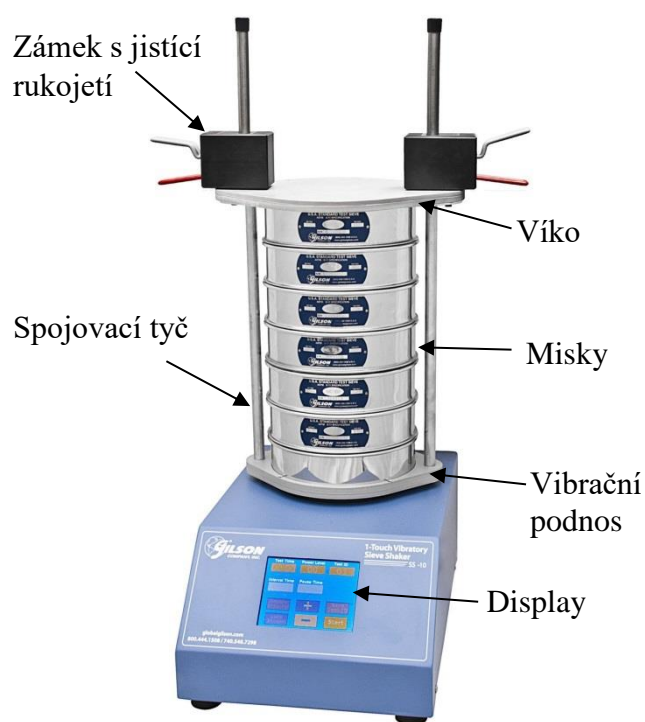


Obr. 14 Poškozené sférické abrazivo [46]

Pomocí síťové analýzy lze zjistit přibližné aktuální rozdělení velikosti abraziva, a tím také opotřebení. Z pohledu drsnosti a struktury povrchu je výhodné, aby velikost zrn byla různá. Větší průměr abraziva způsobuje větší důlek v povrchu a tím i větší výčnělek po okraji důlku. Větší rozptyl ve velikosti tryskacího prostředku má za následek srážení těchto výčnělků na nižší hodnoty, a tím snížení drsnosti povrchu. Je ovšem potřeba stanovit přípustné množství odchylky od referenční velikosti. Velikost tryskacího prostředku má vliv také na intenzitu tryskání a rychlost pokrytí, proto je nutné udržovat kvalitu abraziva v přípustné odchylce.

Střásací zařízení (obr. 15) se skládá z několika misek, na jejichž dně se nachází síto o různé prosévací velikosti. Vrchní miska má nejhrubší síto, postupně se hrubost síta v miskách zmenšuje, a tím v jednotlivých miskách zůstává pouze abrazivo určité velikosti. Misky jsou naskládány do sebe a upevněny na vibrační desce. Z vrchu se nejvýše položená miska zajistí pomocí víka, které je spojeno s vibrační deskou pomocí vodících tyčí. Deska je zajištěna pomocí zámků. Střásací zařízení je vybavené vibračním motorem, který způsobuje vibrace a postupné střešení menších částeczek do níže položených misek.

Postup vykonání této zkoušky spočívá v nasypání určitého množství tryskacího prostředku do horní misky, ustanovení misek a jejich uzamčení. Nesprávné uzamčení může vést k vypadnutí misek a následnému úrazu. Poté je potřeba nastavit čas střešení. Po uplynutí nastaveného času se zváží množství v jednotlivých miskách a vypočtou se procentuální hodnoty pro jednotlivé velikosti. V případě, že výsledek neodpovídá požadovaným hodnotám to znamená, že podíl abraziva nacházející se v malých rozměrech je vyšší než stanovují technologická kritéria. Je proto třeba doplnit nový tryskací prostředek. Další možný výsledek je, že většina tryskacího prostředku se nachází v dolních miskách. V tomto případě se provede seřízení parametrů separátoru. Rozdělení se stanovuje jako kompromis mezi ekonomickým hlediskem a kvalitou. Jinak řečeno je třeba experimentálně vytvořit rozdělení, při kterém bude dosaženo stále kvalitního výrobku při nízké četnosti doplňování tryskacího prostředku.



Obr. 15 Střásací zařízení [18]

## 2.4 Struktura povrchu [37, 46]

Jednou z výhod a současně nevýhod tryskání je změna struktury a drsnosti povrchu. Drsnost vnější vrstvy se pohybuje v rozmezí 0,8 až 1,6 mikrometrů. Výsledné hodnoty závisí na předchozích operacích. Pokud má materiál před otryskáním drsnost Ra 6,3 mikrometrů, pak lze po otryskání docílit nižší drsnosti. V případě, kdy materiál vstupuje s nižší drsností např. Ra 0,1 mikrometrů, se tryskáním tato hodnota zvýší. S vyšším rozptylem zrnitosti je možné dosahovat menší drsnosti a povrchový reliéf je méně výrazný.

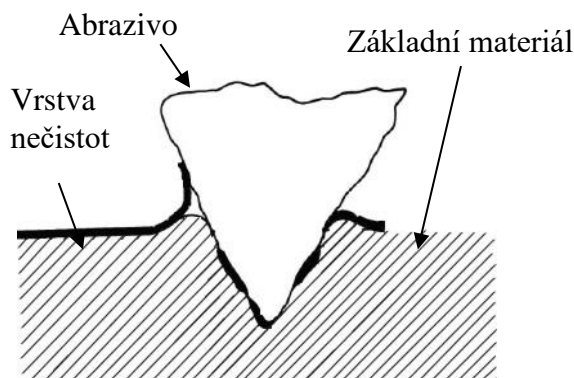
Geometrii povrchu tvoří dopad abraziva na tryskaný povrch. Tryskací prostředek je vrhán na povrch součásti a jednotlivá zrnka se vtlačují do povrchu. Důlky se vzájemně překrývají,

a tím tvoří charakteristický reliéf. Povrch vzniklý po otryskání je definovaný jako neorientovaný, izotropní. To znamená, že v kolmých směrech se drsnost a mezera mezi vzniklými vrcholy výrazně neliší. Struktura povrchové vrstvy je ovlivněna druhem a tvarem použitého abraziva, úhlem dopadu a materiálem tryskaného materiálu.

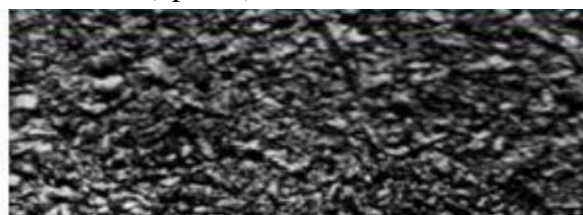
Trysaný povrch je nutné připravit a před započítím procesu vizuálně zkontrolovat, zda povrch není pokrytý olejem nebo jiným typem mastnoty. Tyto nečistoty je nutné odstranit, z důvodu možného přenesení mastnoty na tryskací médium. Takto znehodnocené

abrazivo se nesmí opětovně používat z důvodu zpětného nanesení nečistoty na již očištěný povrch.

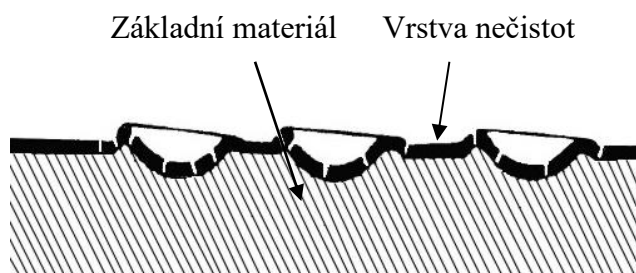
Tvar použitého abraziva má přímý vliv na výslednou strukturu povrchu. V případě použití ostrohranného abraziva dochází k proseknutí povrchových nečistot až do základního materiálu, viz obr. 16. Může dojít až k vytrhávání drobných částeczek základního materiálu. Při použití tohoto typu abraziva převládá čistící účinek. Povrch je velmi drsný a vzniklý důlek je ostrohranný viz obr. 17 (vpravo).



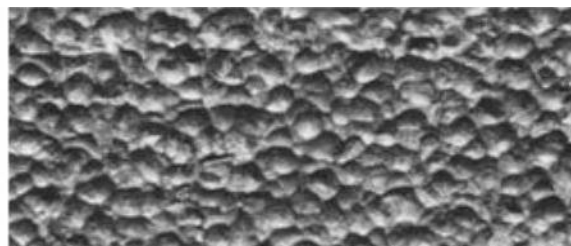
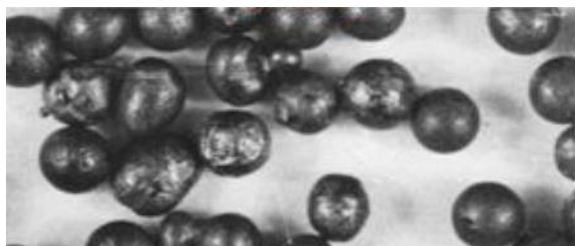
Obr. 16 Vryp ostrohranného abraziva [37]



Obr. 17 Litinová drtina (vlevo) výsledný povrch (vpravo) [37]



Obr. 18 Vtisk sférického abraziva [37]

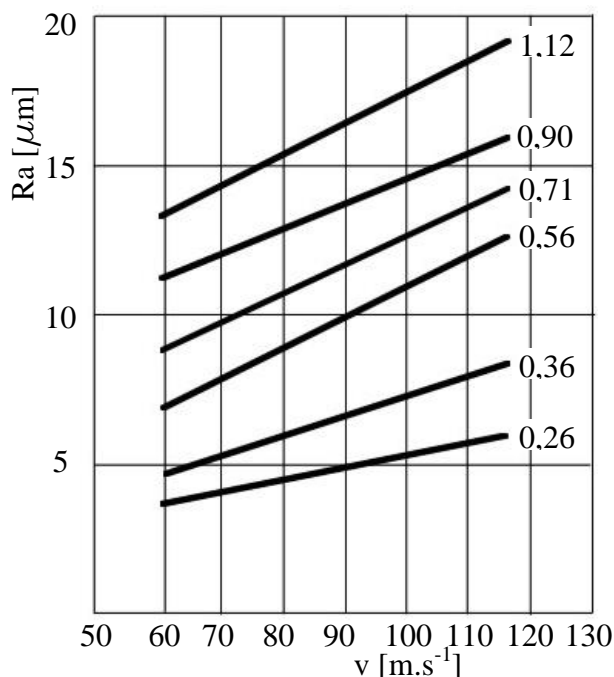


Obr. 19 Ocelový granulát (vlevo) výsledný povrch (vpravo) [37]

Tvar a hloubka jednotlivých vtisků je ovlivněna rychlostí a úhlem dopadu tryskacího média. S vyšší rychlostí je hloubka vtisku větší a následně je dosažena vyšší drsnost povrchu. Tuto závislost zobrazuje obr. 20., kde jsou zobrazeny různé výsledky naměřených drsností v závislosti na rychlosti pro různé velikosti abraziva. S rostoucím úhlem dopadu převládá

zpevňovací charakter tryskání. Při úhlu tryskání  $90^\circ$  je dosaženo nejvyšších hodnot vnitřního pnutí. Takto vzniklá struktura, ale není zcela vhodná pro nanášení povrchových vrstev, proto se volí úhel menší, a to okolo  $75^\circ$ . Při tomto úhlu dopadu se na povrchu tvoří jak zpevnění, tak čištění, a tím je dosažen členitý povrch s velkým množstvím míst na uchycení povlakového materiálu a dobré kvality očištění

Po dokončení operace je nutné odstranit přichycené nečistoty. Tím se rozumí prach nebo zbytky tryskacího prostředku. Dále je třeba odstranit mastnotu nebo olej, který může způsobit lokální nepřilnutí povlakového prostředku. V případě, že materiál není možné do určité doby připravit na aplikaci nátěru, musí být povrch ošetřen protikorozním olejem, který je před nanášením ochranné vrstvy odstraněn. Čas, do kterého musí být součást zpracována materiálu, je stanoven podle klimatických podmínek ve výrobní hale. Tato doba by neměla překročit 48 hodin. Výjimku tvoří součásti otryskané abrazivem na bázi zinku, který se během procesu otírá o povrch a tvoří dočasnou protikorozní ochranu na povrchu součásti.



Obr. 20 Závislost drsnosti a rychlost [37]

Pro nanášení ochranné vrstvy je struktura a tvar vrypů důležitým parametrem. Prioritním hlediskem při povlakování je objem, který se musí vyplnit po výšku nejvyššího vrcholku. Tato veličina se nazývá povrchový objem a má vliv především na spotřebu ochranného povlaku. Tento objem je definovaný jako objem na jednotku plochy, který je limitován plochou protínající nejvyšší vrcholek a plochou protínající nejhlubší rýhu. Po nanesení tohoto objemu povlaku dojde k zakrytí a zarovnání výstupků vzniklých po tryskání. Při porovnání této hodnoty za použití různých tryskacích prostředků nejmenších hodnot povrchového objemu dosahuje abrazivo sférického tvaru. Tato informace je důležitá z ekonomického hlediska kvůli spotřebě povlakového materiálu. Toho lze využít při přípravě povrchu, kde je jediným požadavkem estetika. Pro povlaky funkční je vhodné, aby povrchový objem byl co možná největší. Při vnikání cizích částecek do povlakované vrstvy bude největší vrstva povlaku od základního materiálu. Tohoto stavu je možné docílit použitím tvrdého a ostrohranného abraziva např. korundu nebo ocelové drtě.

## 2.5 Tryskací zařízení [25, 46]

Volba tryskacího zařízení je ovlivněna zadávacími parametry. Jako první je třeba zhodnotit počet vyráběných kusů, jejich velikost a materiál, podle kterého se také volí typ a tvrdost abraziva. Rozměry a složitost tryskané součásti jsou stěžejní informace pro výběr tryskacího zařízení. Je také nutné znát hlavní cíl tryskání u dané součásti, zda je hlavním cílem povrch očištění, připravit na následující operace nebo vnést do povrchu tlakové zbytkové pnutí a zpevnění. Všechny tyto aspekty by měly hrát roli ve výběru tryskacího stroje.

Na základě způsobu urychlování abraziva se tryskací zařízení dělí na dva typy. Do první skupiny se řadí zařízení pracující na principu stlačeného vzduchu. Do druhé poté patří stroje, které urychlují abrazivo pomocí odstředivých sil tzv. metacími koly.

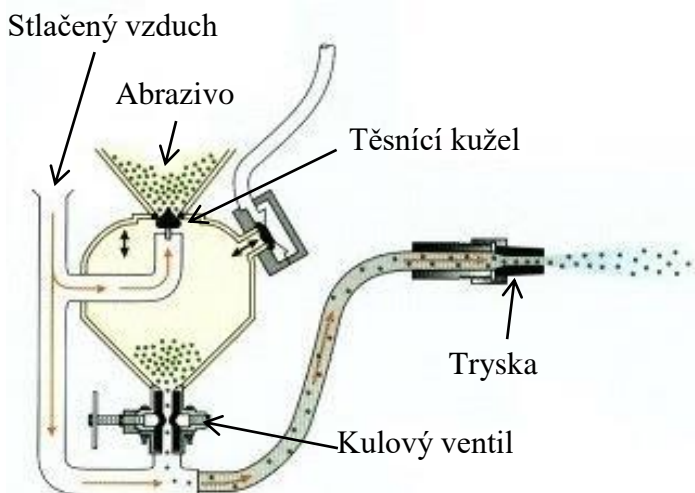
### 2.5.1 Pneumatické zařízení [6, 20, 30, 31, 46]

Pneumatická zařízení se vyznačují vysokou variabilitou jak v oblasti použití tryskacího média, tak v mobilitě a rozměrech. Jejich největší výhodou je možnost tryskat těžko dostupná místa a složitě tvarované součásti s možností se zaměřit na konkrétní plochu. Ztráty kinetické energie způsobené odporem vzduchu během letu abraziva na povrch je možné minimalizovat zmenšením vzdálenosti od povrchu. U pneumatických zařízení je možné dosáhnout vysoké intenzity tryskání na malé ploše. Stopa tryskání je závislá na průměru trysky, proto tryskání rozměrných dílů může být časově i ekonomicky náročné. Tato zařízení se využívají pro jemnější úpravy povrchů, vytvoření vnitřního pnutí, čištění povrchů nebo rekonstrukce historických dílů, soch apod. Pneumatická zařízení se dále rozdělují na tlaková a injektorová. Oba tyto způsoby je možné využít u mobilních i kabinových zařízení. Automatizace pneumatického zařízení je částečně možná použitím robotického ramena, rotační desky nebo pojezdových tratí.

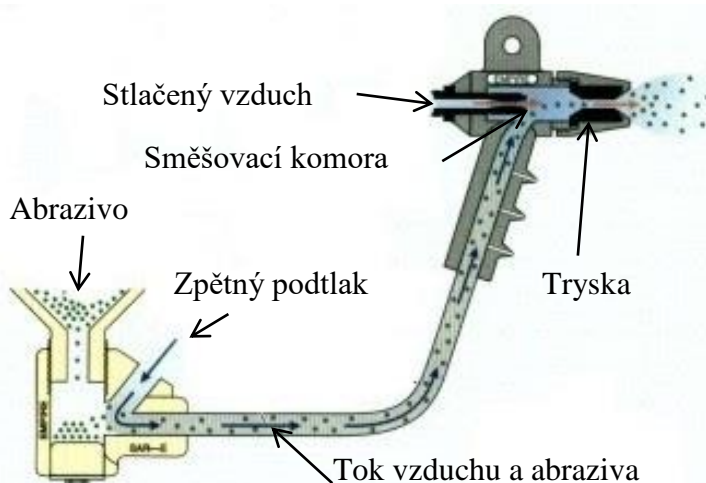
- Injektorový tryskač – je vhodný především pro lehčí typy abraziva jako jsou balotina nebo písek. Schéma injektorového tryskače je zobrazeno na obr. 21. Tento způsob přívodu abraziva se využívá pro povrchové čištění, pískování skla a tryskání měkkých materiálů jako je například dřevo.

Do směšovací komory, nacházející se v tryskací pistoli je přiveden stlačený vzduch, který je urychlován skrze vnitřní vzduchovou trysku. Následně je vystřelen spolu s abrazivem pod vysokou rychlostí ven z výstupní trysky. Abrazivo je dopravováno do směšovací komory podtlakem. Rychlost tryskání je možné regulovat průměrem trysky a tlakem vzduchu.

- Tlakový tryskač – dosahuje až třikrát větší intenzity než injektorový, proto se využívá především k čištění kovů, odstraňování barev, okují, rzi a zpevňování povrchové vrstvy.



Obr. 22 Tlakové zařízení [30]



Obr. 21 Injektorové zařízení [30]

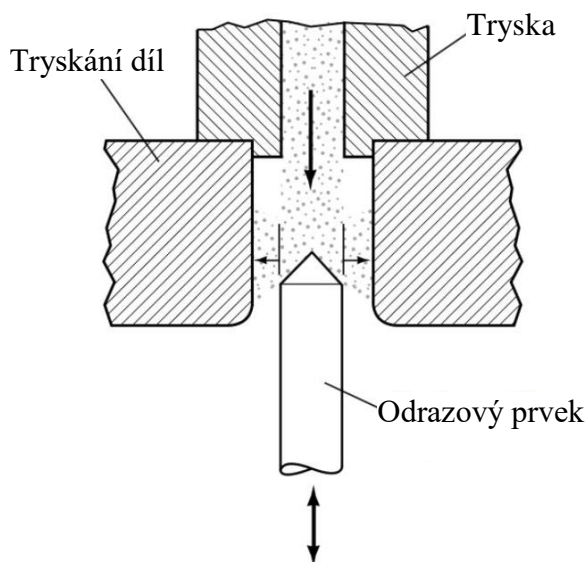
Umožňuje použití lehkého i těžkého tryskacího média jako je například ocel nebo litina.

V tomto způsobu uspořádání (obr. 22) je zavedena tlaková nádoba. V nádobě se nachází tryskací médium, které je doplňováno, pouze tehdy, když z trysky vychází pouze vzduch. Pro doplnění abraziva je nutné přerušit proces. Při tryskání se pomocí tlaku uzavře těsnící kužel, který zabraňuje dalšímu přísunu abraziva do tlakové nádoby. Tímto aktem dojde také k natlakování nádoby. Abrazivo propadá skrz

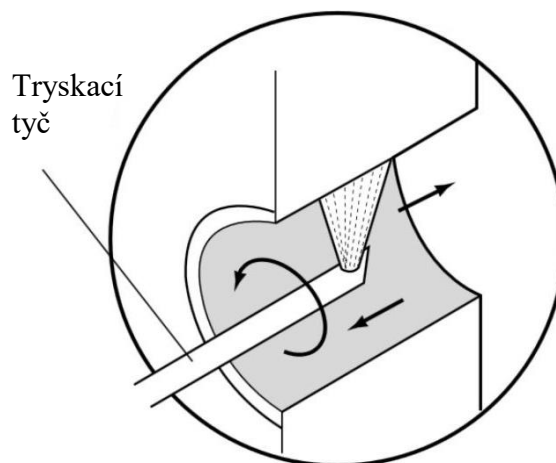
regulační kulový ventil a následně je smícháno se stlačeným vzduchem. Stlačený vzduch urychluje posun abraziva k výstupní trysce.

Výhodou těchto zařízení je možnost použití různých nástavců. Pomocí těchto nástavců je možné tryskat těžce dostupná místa, jako jsou hluboké otvory, které jsou pro běžné tryskání nedostupné. Jedna z možností zakončení tryskací hadice je umístění odrazového prvku, viz obr. 23. Na hadici je navlečena tryska. Z druhé strany otvoru je přiveden odrazový prvek, který má na jednom konci vytvořený kužel a během procesu tryskání se postupně posouvá. Při průchodu abraziva se stlačeným vzduchem naráží abrazivo na odrazový prvek, a tím dochází k otryskání vnitřního povrchu. Při tomto způsobu vnitřního tryskání se otáčí tryskaná součást. Tento způsob zakončení lze použít pouze pro průchozí díry.

Druhou možností, jak zakončit tryskací hadici, je pomocí tryskací tyče viz obr. 24. Tento způsob se využívá pro dlouhé průchozí i neprůchozí díry. Tryskací tyč má na konci zkosený odrazový prvek. Abrazivo se odráží od zkoseného povrchu na povrch součásti. Během tryskání se tyč posouvá po délce otvoru a současně se otáčí.



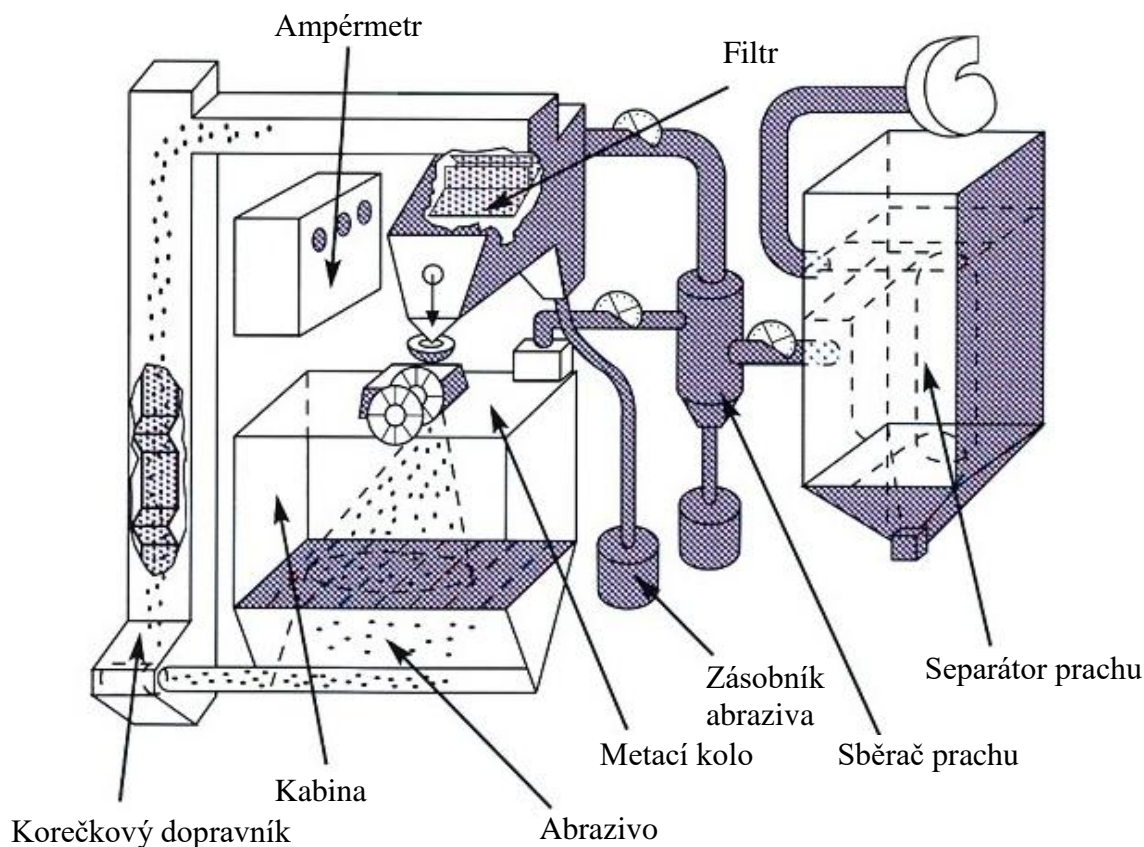
Obr. 23 Tryskání děr (odrazový prvek) [6]



Obr. 24 Tryskání děr (tryskací tyč) [6]

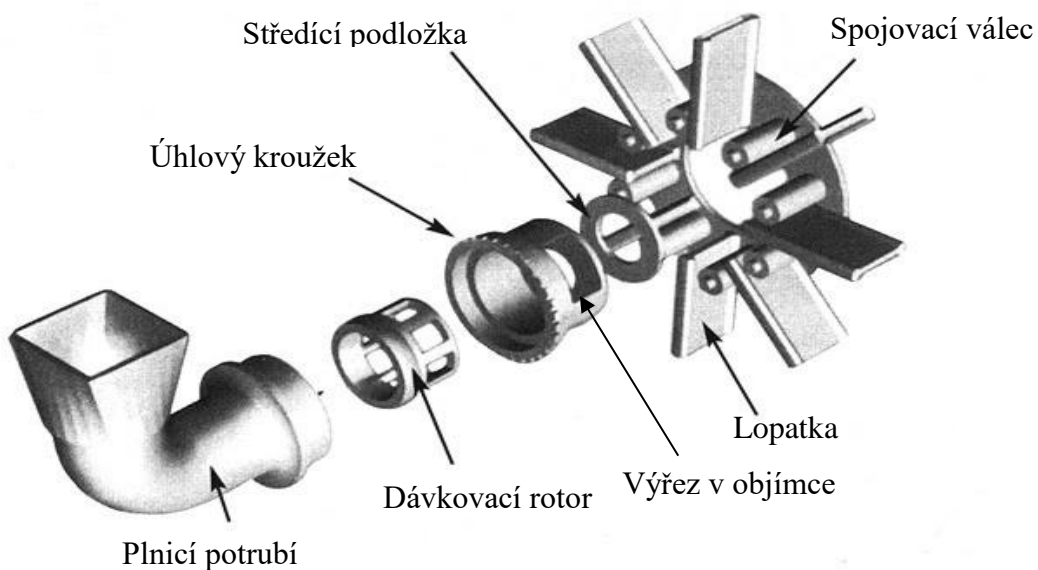
### 2.5.2 Zařízení s metacími koly [25, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53]

Tryskací zařízení s metacími koly nachází využití při tryskání rozměrných součástí s jednoduchou geometrií v sériové výrobě. Při tryskání geometricky složitých součástí je třeba brát v úvahu konstrukci zařízení a počet metacích kol, aby bylo možné docílit optimálního pokrytí celé součásti. Systém metacích kol může být automatizován, proto je také hospodárnější a efektivnější než pneumatický způsob tryskání. Škála materiálů použitelných pro tento způsob tryskání je zúžena především na kovová abraziva. Schéma takového zařízení je na obr. 25.



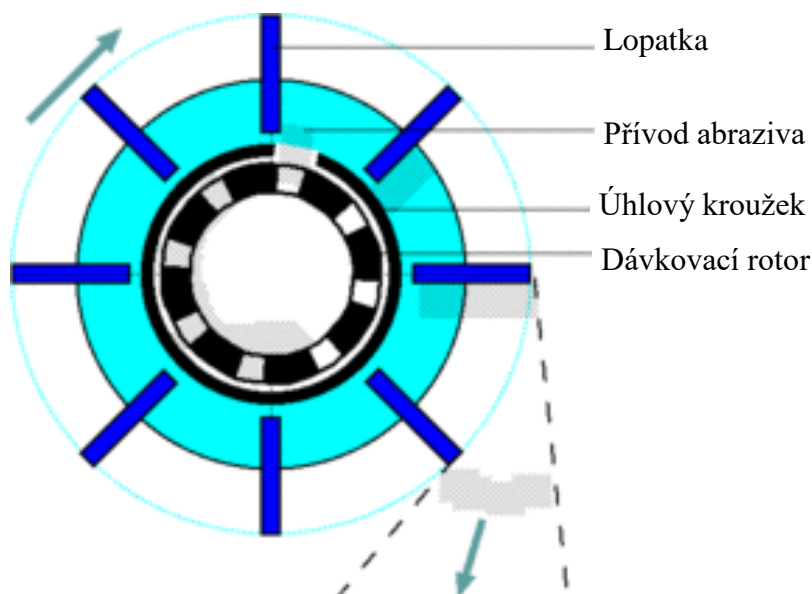
Obr. 25 Schéma kabinového tryskače [50]

U tohoto typu tryskacího zařízení je abrazivo urychlováno pomocí odstředivé síly. Hlavní části metacího kola (obr. 26) jsou plnicí potrubí, dávkovací rotor, kontrolní klec (úhlová), středící podložka, lopatkový rotor a spojovací válec.



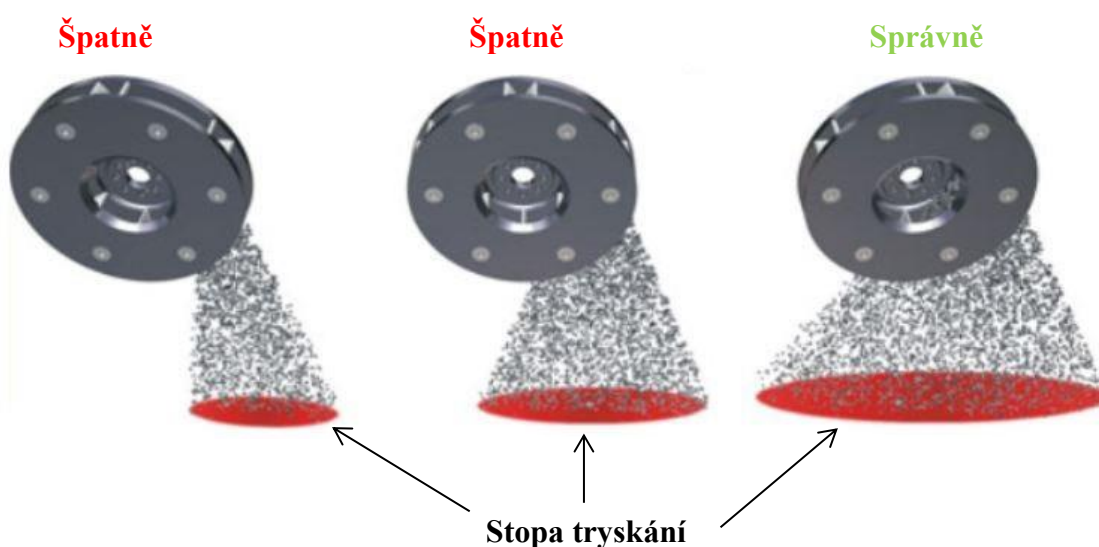
Obr. 26 Popis metacího kola [53]

Princip činnosti metacího kola je schematicky naznačen na obr. 27. Abrazivo je průběžně přiváděno do dávkovacího rotoru, ve kterém se nachází výřezy pro dopravovaný materiál. Dávkovací rotor se otáčí současně s rotorem, ve kterém jsou umístěny lopatky. Za pomoci odstředivé síly je abrazivo dopraveno v drážkách rotoru až k úhlovému kroužku s výřezem, kde tryskací materiál vstupuje do mezilopátkového prostoru. Tryskací médium je dále urychlováno až ke konci lopatky, kde tečně opouští lopatky a následně dopadá na tryskaný díl.



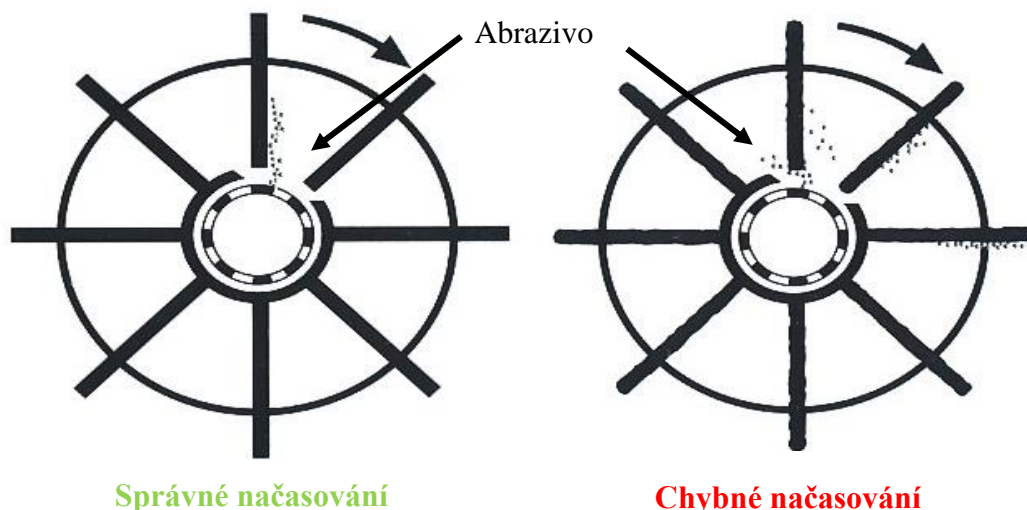
Obr. 27 Princip činnosti metacího kola [17]

Úhel natočení výřezu objímky určuje, kdy se tryskací prostředek dostane mezi lopatky. Obecně platí, že čím dříve se abrazivo dostane k lopatkám, tím dříve materiál opouští mezilopátkový prostor. Správný úhel natočení má za následek velkou stopu tryskání, viz obr. 28.



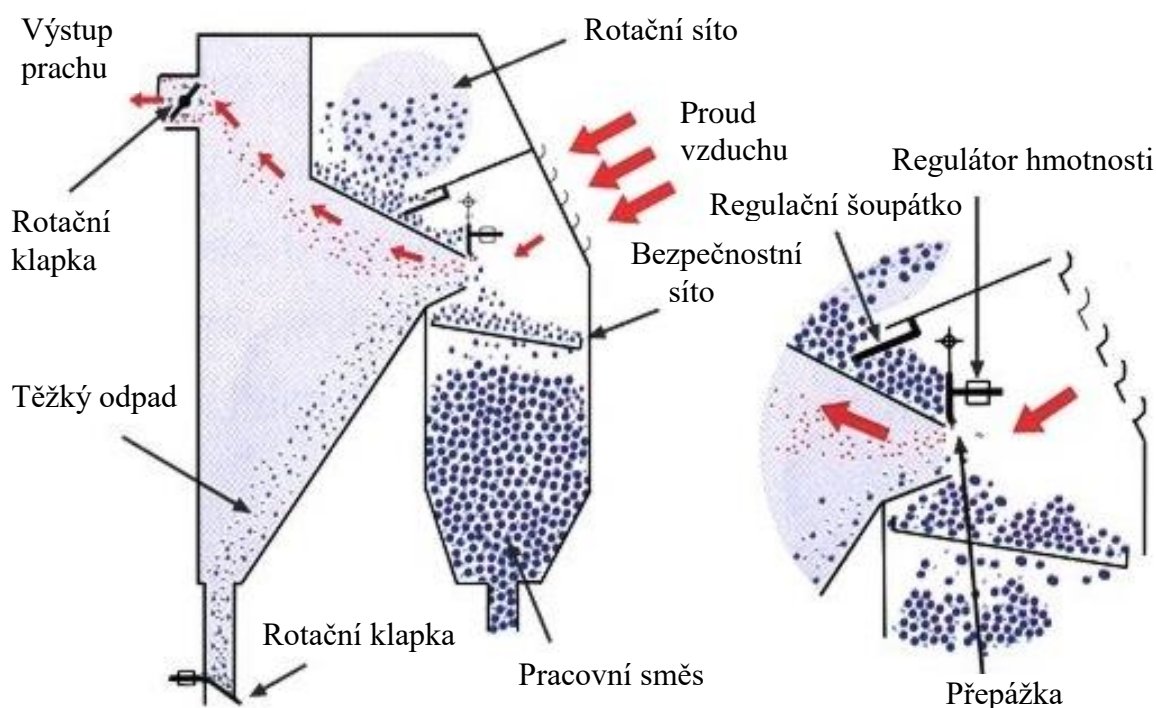
Obr. 28 Zobrazení stopy tryskání v závislosti na úhlu pootočení objímky [19]

Dále je důležité vzájemně seřídit úhel otevření s otáčkami lopatkového rotoru. Pro každou mezeru mezi lopatkami je právě jedna drážka v dávkovacím rotoru. Je také podstatné, aby se všechno abrazivo ze zásobníku dostalo do prostoru mezi dvě lopatky, viz obr. 29 vlevo. V opačném případě se část abraziva dostane mezi jiný pár lopatek, dojde k nežádoucímu opotřebení spodní části lopatky, úhlového kroužku a nežádoucími vibracím, viz obr. 29 vpravo.



Obr. 29 Otevření úhlového kroužku [48]

Tryskací prostředek je přiváděn do dávkovacího rotoru metacího kola za pomoci korečkového dopravníku. Aby abrazivo mohlo být neustále v oběhu, je nutné odstraňovat nečistoty, prach a regulovat velikost tryskacího prostředku. Tuto funkci zastávají filtrační a separační části zařízení. Může se jednat o vibrační drátěná síta, která mohou být umístěna ve spodní části zařízení a mají za úkol zachytit nejhrubější nečistoty. Pro jemnou filtraci je umístěn jemnější drátěný filtr v horní části zařízení před vstupem do dávkovacího rotoru. Prach a drobné úlomky jsou odstraňovány tzv. vzduchovým separátorem. Takovým je kupříkladu kompenzačně gravitační vzduchový separátor (obr. 30).



Obr. 30 Kompenzačně gravitační separátor [52]

Princip činnosti separátoru spočívá v oddělení lehkých částic ze směsi tvořené abrazivními částicemi a nečistotami proudem vzduchu. Směs prochází skrz rotační síto do separátoru. Abrazivo se zastaví na regulačním šoupátku, kterým se reguluje rychlost průchodu abraziva. Následně je směs zabrzděna o přepážku, která se reguluje množstvím propadající směsi podle hmotnosti. Drobné částičky propadají průběžně pod přepážkou. Tyto lehké nečistoty, jako je prach, rozbitý povlak, kousky otryskaného materiálu nebo velmi opotřebované abrazivo, jsou urychlovány proudem stlačeného vzduchu mimo zásobník se směsí, která je určena pro opětovné použití. Prach a hrubé nečistoty jsou od sebe separovány do různých zásobníků. Tento proces probíhá současně s tryskáním. Po ukončení procesu před otevřením kabiny je z prostoru kabiny odsát zbytkový prach, aby nedošlo ke zbytečnému znečištění ovzduší v místě zařízení. Vyhovující tryskací prostředek dopadne na bezpečnostní síto, kde se zachytávají poslední velké nečistoty. Zásobník s abrazivem musí být stále plný, aby zůstala zachována správná činnost zařízení.

Pro různé tvary a rozměry součástí je vhodný jiný typ tryskacího zařízení s metacími koly. Jednotlivé konstrukce se liší především rozměry, ale i způsoby podávání materiálu a stupněm automatizace.

- Bubnové zařízení – jeho součástí je nekonečný kovový nebo pryžový pás. Ten je neustále v pohybu, a tím posouvá, převaluje a otáčí tryskané součásti. Tento typ zařízení je vhodný pro menší až střední součásti. Svoji aplikaci nachází především v sériové výrobě. Bubnové tryskače se vyrábějí jako jednoduché nebo průběžné s dopravníky, které umožňují kontinuální vložení a vyjmutí obrobků.

- Průběžné (traťové) zařízení – součásti jsou postupně posouvány po válečkovém dopravníku. Metací kola jsou umístěna ve spodní i horní části. Tento druh tryskače je vhodný pro tryskání velkých součástí jednoduchých tvarů, například plechy, jednoduché svařované konstrukce, válcované profily apod. Tyto konstrukce nachází uplatnění jak v malosériové tak v sériové výrobě.

- Závěsné zařízení – je vybaveno pojezdovou dráhou, na které je umístěn hák pro uchycení závěsu. Během tryskání se závěs posouvá a otáčí, tím je docíleno rovnoměrné otryskání po celém obrobku. Konstrukční provedení závěsů jsou vytvořeny, tak aby vyhovovala požadavkům na pevné uchycení a minimální distanční vzdálenost mezi jednotlivými součástmi. Je možné tryskat i složitější tvary středně velkých součástí. Nevýhodou této konstrukce je stín, který tvoří závěs nebo součásti vzájemně vůči sobě a také nutnost obsluhy pro naskládání dílů na závěs. Tryskaný díl lze také pověsit na řetěz, který je druhým koncem přichycen k háku. Tento způsob uchycení se aplikuje u rozměrných dílů. Aplikace těchto tryskačů je opět především v sériové výrobě.

- Stolové zařízení – jedná se o malé zařízení s otočným stolem, je vhodné zejména pro malé tenkostěnné dílce. Vzdálenost mezi součástmi je možné jednoduše měnit, díky tomu lze zamezit vzniku stínu. Metací kolo je umístěno v horní části zařízení. Obrobek se otáčí souběžně s rotační deskou. V případě konstrukce s jedním metacím kolem jsou součásti otryskány pouze z jedné strany. Tento konstrukční nedostatek se může odstranit použitím dvou metacích kol.

## 2.6 Optimalizace řízeného tryskání [4, 6, 46]

Optimalizace je proces úpravy parametrů, které mají vliv na výsledný produkt tak, aby měl výrobek požadované vlastnosti a výrobní náklady byly co možná nejnižší. Problémový ekonomický aspekt výroby tvoří tryskací čas a množství abraziva. Tyto parametry jsou dále závislé na úhlu dopadu, rychlosti tryskacího prostředku, intenzitě a velikosti abraziva. Postup optimalizace není jednotný pro všechny typy zařízení, druhy materiálů a tvarů výrobků. Do procesu optimalizace vstupují také zkušenosti technologa, který tento proces provádí. Hlavními parametry pro zhodnocení kvality otryskání je vnitřní pnutí a pokrytí povrchu.

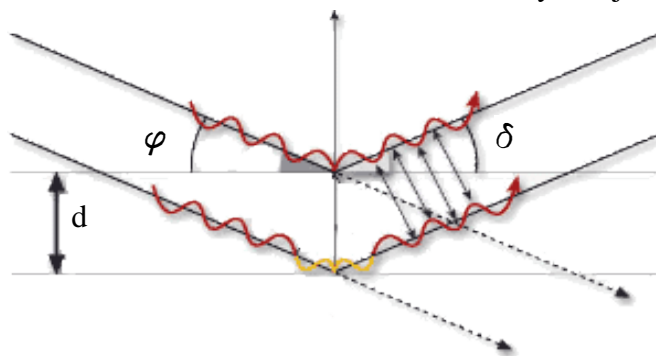
### 2.6.1 Vnitřní pnutí [5, 8, 9, 46]

Vnitřní pnutí je primárním cílem tryskání. Tvorba vnitřního pnutí je dána dle množství kinetické energie, která se přemění na elasticko-plastickou deformaci. Hodnota deformace je omezená možnostmi stroje, typem použitého abraziva a tryskaného materiálu. Kinetickou energii je možné regulovat rychlostí udělenou abrazivu. Tryskací prostředek je urychlován tlakem (v případě použití pneumatického zařízení) nebo odstředivou silou (v případě metacích kol). Regulaci lze provést upravením velikosti tlaku nebo změnou otáček metacího kola. Je třeba zdůraznit, že s vyšší rychlostí dochází k rychlejšímu opotřebení metacího kola nebo trysky. Kinetická energie je dále závislá na druhu materiálu, přesněji na jeho měrné hmotnosti. S vyšší měrnou hmotností abraziva je možné docílit vyšší kinetické energie. Tryskací prostředek musí být stejně tak tvrdý, nebo tvrdší, než je tryskaný materiál. Tato podmínka je nutná pro vytvoření vnitřního pnutí. Pokud je tryskací médium měkkší, nemůže se vtisknout do povrchu a vytvořit tak požadované pnutí. V reálném případě je většina parametrů neměnných a při optimalizaci je škála hodnot zúžená pouze na několik, které lze upravovat. Některé parametry jako materiál tryskaného dílu nebo čistota povrchu jsou dány požadavkem zákazníka. Dalším omezením je rychlost tryskacího média, ta je limitována možnostmi zařízení. S vyšší rychlostí abraziva dochází k jeho rychlejšímu opotřebení, a potom je nutné častěji doplňovat tryskací prostředek.

Vliv jednotlivých parametrů na průběh vnitřního pnutí zobrazuje obr. 7. Zbytkové pnutí není jednoduše měřitelná veličina. Způsoby měření se dělí na přímé a nepřímé. Mezi přímé měření patří rentgenová nebo elektronová difrakce, kterou lze získat veškeré informace o průběhu a velikosti zbytkového pnutí. Mezi nepřímé metody patří Almenův test, který se využívá především pro měření intenzity, avšak princip zkoušky je založen na množství vytvořeného vnitřního pnutí.

Průběh napětí lze zjistit také pomocí počítačové simulace, kterou je možné po zadání vstupních parametrů predikovat průběh vnitřního pnutí. Simulace je provedena porovnáním vstupních dat s daty z databáze, ve které jsou uloženy a vyhodnoceny měření různých materiálů při různém zpracování, typu tryskání, typu použitého abraziva atd. Průběh vnitřního pnutí je pouze teoretický a může se od skutečného lišit, nicméně lze simulaci využít jako orientační bod při nastavování prvotních parametrů. Příkladem takového softwaru je PEENSTRESS od firmy Metal Improvement Company.

Rentgenová difrakce je nedestruktivní způsob, jak zjistit průběh vnitřního pnutí pro jednoduché tvary součástí v malých hloubkách (cca setiny milimetru). Princip této metody spočívá v ozáření zkoušeného povrchu rentgenovými paprsky a následném měření meziatomové vzdálenosti



Obr. 31 Rentgenová difrakce [15]

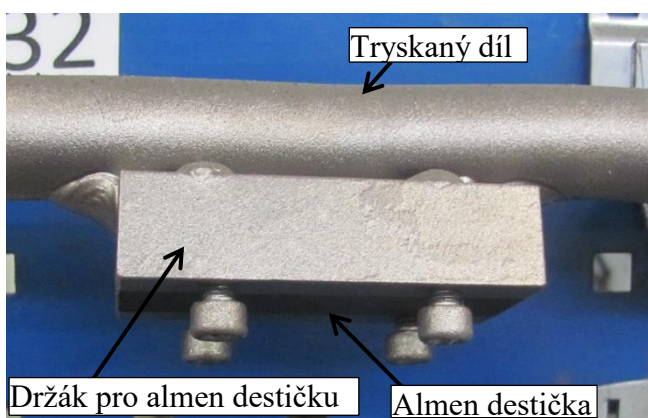
a porovnáním mřížkových deformací (obr. 31). Paprsky jsou postupně vysílány na jedno místo na povrchu pod různým úhlem  $\varphi$ . Detektory snímají odražené paprsky. Po zaznamenání rentgenového paprsku je změřen úhel  $\delta$  a přepočítá se pomocí Bergsova vztahu na vzdálenost mezi jednotlivými atomovými vrstvami. Jednotlivá vnitřní pnutí se přepočítávají pomocí vzdálenosti meziatomových vrstev a absorpčního koeficientu. Zbytkové pnutí je určeno jako aritmetický průměr po celém povrchu součásti.

Almen test primárně slouží k měření intenzity. Intenzita je souvislá s vytvořeným vnitřním pnutím a slouží k hodnocení míry zbytkových napětí vnesených do materiálu. Touto zkouškou lze získat pouze orientační informace o vnitřním pnutí. V porovnání s rentgenovou difrakcí je Almen test levnější a lépe aplikovatelný ve výrobě. Almen test se provádí na destičkách vyrobených z pružinové oceli SAE1070 o tvrdosti 44-50 HRC. Jsou dostupné ve třech provedeních. Označují se písmeny N, A a C. Jednotlivá označení se liší v tloušťce ocelového plátku, viz tab. 1. S rostoucí měrnou hmotností abraziva je nutné použít tlustší Almen destičku.

Tab. 1 Označení destiček [46].

OZNAČENÍ	TLOUŠŤKA
N	0,79mm
A	1,29mm
C	2,39 mm

Destičky se upevňují na tryskaný díl pomocí speciálních držáků (obr. 32) do míst nejvýše náchylných na únavové poškození. Destička je otryskána současně s dílem. Pod nárazy abraziva se v destičce vytvoří tlakové pnutí, které prohne destičku. Výška oblouku je funkcí



Obr. 32 Upevnění Almen destičky

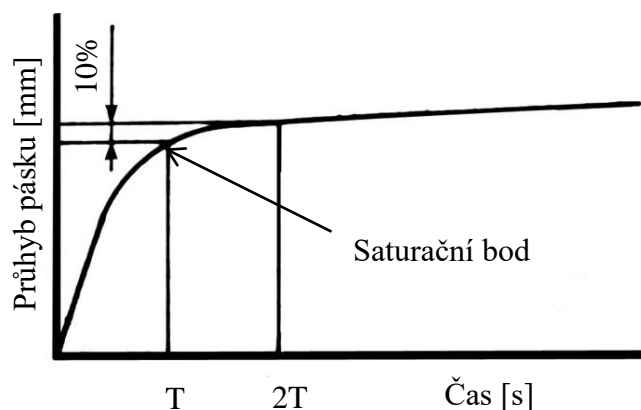
energie předané tryskacím médiem a tím také vnitřního pnutí. Po dokončení procesu se destička upne do držáku a změní se prohnutí pomocí úchylkoměru (obr. 33). Změřené prohnutí slouží buďto k ověření nastavených parametrů podle experimentálně zjištěných hodnot, nebo lze provedením série těchto testů zjistit bod saturace.

Princip spočívá v opakovaném provádění tryskání při stejném nastavení zařízení, ale vždy za dvojnásobný čas. Po dokončení procesu se provede měření prohnutí destičky a

hodnota se zaznamená pro daný tryskací čas. K nasycení dojde, když se po následném zvýšení času již destička neprohne o více než 10%. Dalším prodloužením času se již dosahuje pouze nepatrného zvýšení průhybu destičky. Obr. 34 znázorňuje závislost času na průhybu destičky.



Obr. 33 Zařízení pro měření oblouku [13]



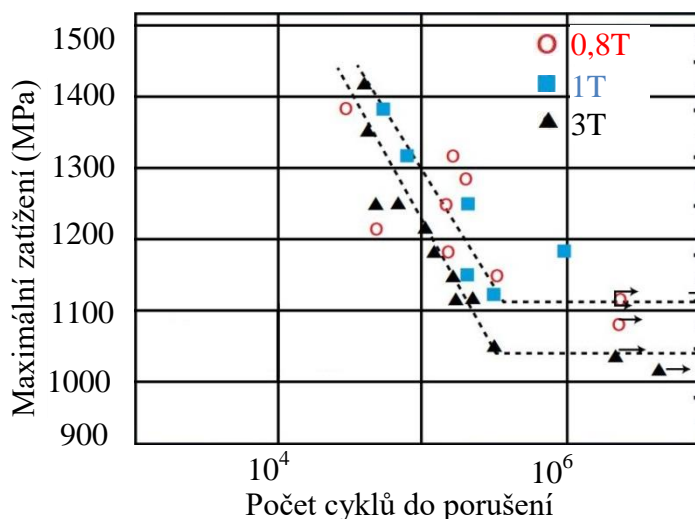
Obr. 34 Saturační křivka [46]

Čas s označením T je bod nasycení nebo také bod saturace pro dané nastavení parametrů zařízení. Pro zajištění dostatečného vnitřního pnutí je vždy vyžadováno, aby se dosáhlo saturace. Každá kulička odevzdává tryskanému materiálu svoji maximální kinetickou energii, která je ve většině případů menší než energie, kterou je dílec schopný pojmout a přeměnit na zbytkové napětí. Důsledkem je, že čas potřebný pro dosažení nasycení a 100% pokrytí se u většiny typů materiálu od sebe liší. To znamená, že pro docílení bodu saturace je nutné, aby kulička zasáhla dané místo i vícekrát, zatímco pro 100% pokrytí stačí, když částice abraziva na tento bod dopadne pouze jednou.

## 2.6.2 Pokrytí [1, 3, 9, 37, 46]

Jedná se poměr plochy otryskané k celkové ploše dílce. Ve většině případů se po otryskání vyžaduje 100% pokrytí povrchu. Povrch by neměl být přetryskaný ani nedotryskaný. V neotryskaných místech může docházet k únavovým nebo korozním trhlinám kvůli absenci zbytkového tlakového pnutí. U povrchu přetryskaného může docházet k únavovému poškozování povrchových vrstev a následnému odlupování. Tento jev následně vede ke snížení vnitřního pnutí v blízkosti povrchu. Parametry ovlivňující pokrytí jsou úhel tryskání, tvrdost, tvar, velikost a rychlost abraziva.

Pokrytí má vliv na hloubku tlakové vrstvy vnitřního pnutí, viz obr. 7. Čas 2T znamená, že povrch byl otryskán dvojnásobným časem, než jaký je potřebný pro 100% pokrytí. S přetryskáním se snižuje únavová životnost součásti, viz obr. 35. V grafu jsou zaznamenány výsledky měření únavové životnosti čtyřbodovým ohybem na třech vzorcích o třech různých tryskacích časech 0,8T, 1T a 3T. Rozdíl v životnosti součástí otryskaných na 0,8T a 1T je minimální, i přesto se u většiny součástí vyžaduje minimálně 98% pokrytí z důvodu



Obr. 35 Životnost součásti vzhledem k pokrytí [1]

přípravy povrchu pro následné nanášení ochranného povlaku a vyloučení rizika nižšího pokrytí než 80%. Dosáhnout 100% pokrytí po celém povrchu součásti je časově náročné, proto se kvůli úspoře času vyžaduje plné pokrytí pouze v nejvíce namáhaných místech. Zbytek součásti se může otryskat na hodnotu nižší.

Regulací úhlu dopadu abraziva je možné docílit rychlejšího pokrytí i požadovaného vnitřního pnutí. Obecně lze říci, že s ostřejším úhlem je pokrytí povrchu rychlejší, ale průběh vnitřního pnutí stagnuje, neboť převládá čistící charakter tryskání a některé části mohou být až vytrhávány z povrchu. Úhel dopadu 75° se uvažuje jako optimální. Při tomto nastavení se dosahuje vysokých hodnot vnitřního pnutí a rychlého pokrytí povrchu. Při nastavení úhlu tryskání je nutné mít na paměti, že při použití některých konstrukcí tryskacího zařízení vzniká tzv. stín, který tvoří buď tryskané součásti vůči sobě, nebo části upínacího prostředku uvnitř tryskače. Řešením tohoto problému je buďto změna geometrie upínacího zařízení, tryskání menšího počtu kusů v jedné šarži, úprava nastavení úhlu metacích kol a v posledním případě použití tryskacího zařízení s jinou konstrukcí.

Zvýšením průtoku abraziva se docílí rychlejšího pokrytí, neboť za stejný čas dopadne na povrch větší množství částic. Abrazivo je často limitující parametr kvůli typu tryskacího zařízení nebo typu tryskaného dílu. Přehled a použití jednotlivých typů tryskacích prostředků

je popsán v kapitole 2.3. Obecně lze říct, že větší a tvrdší abrazivní částice tvoří větší důlky do materiálu a pokrývají povrch rychleji. Drsnost takto vytvořeného povrchu je větší.

Vztah mezi pokrytím a tryskacím časem je definován pomocí Avramiho rovnice. Tato rovnice je jedna z běžně používaných rovnic pro stanovení tryskacího času v závislosti na pokrytí.

$$C_1 = 100[1 - e^{-A.t}] \quad (2.1)$$

kde:  $C_1$  – pokrytí [%]

$t$  – jednotka času potřebná pro vrhnutí daného množství abraziva

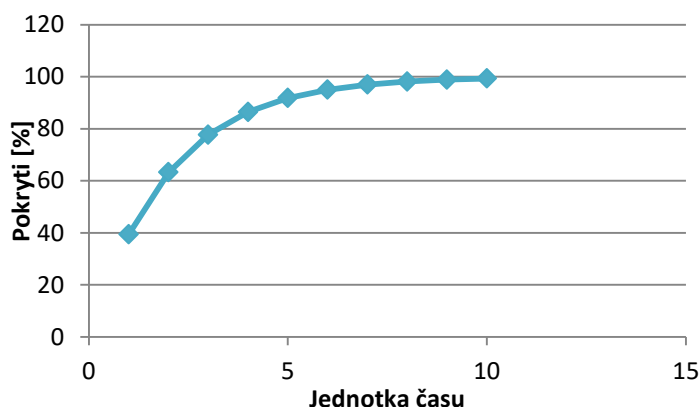
$A$  – poměr celkové plochy vtisků k cílené oblasti plochy za jednotku času

Například  $500 \text{ mm}^2$  je plocha vtisků, které vytvoří abrazivo při jedné jednotce času ( $t=1$ ). Jednotka času je definovaná jako potřebný čas pro vystřelení daného množství abraziva na pokrytí tohoto povrchu, tedy  $500 \text{ mm}^2$ . Potřebné pokrytí součásti je například  $1000 \text{ mm}^2$ , potom poměr  $A$  se rovná 0,5. Ve většině případů se poměr  $A$  neměří. Místo této hodnoty se zjišťuje pokrytí za jednotku času a poměr  $A$  se dopočítá z upravené Avramiho rovnice do logaritmického tvaru.

$$A = -\ln[(100 - C_1)/100] \quad (2.2)$$

Kde:  $C_1$  – pokrytí za jednotku času ( $t=1$ ) [%]

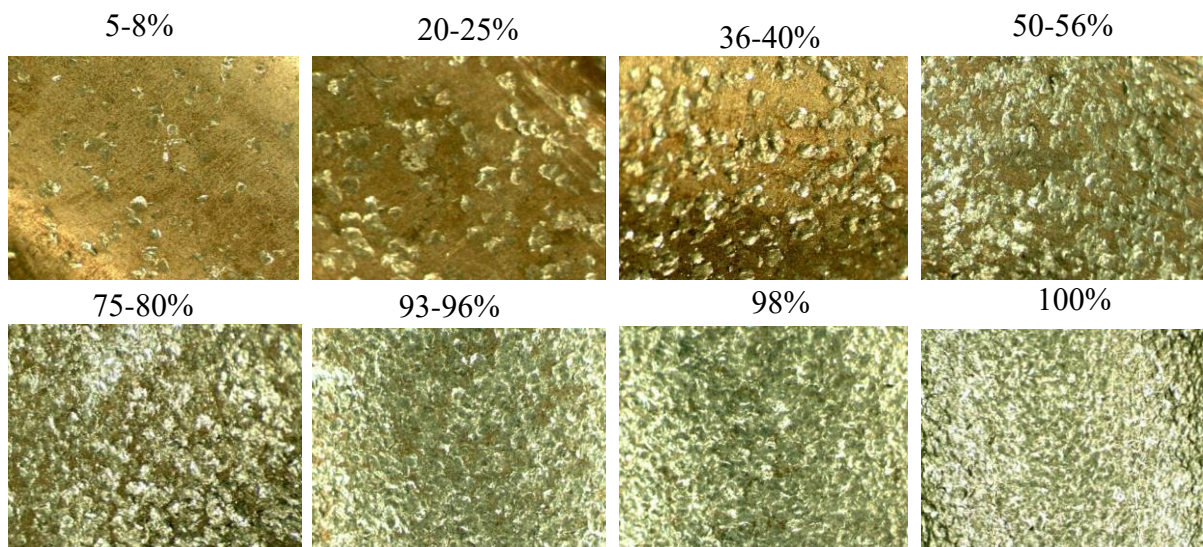
Díky této rovnici lze dopočítat poměr ploch vtisků a jednotky plochy tryskaného materiálu za jednotku času potřebné pro zvolené pokrytí. Poté lze nastavit množství abraziva, které je nutné pro dané pokrytí za daný tryskací čas popřípadě jiný čas, který je nutný pro dané pokrytí při daném množství abraziva. Obr. 36 zobrazuje závislost času na pokrytí pro stanovenou hodnotu poměru  $A = 0,5$ . Hodnota pokrytí s časem prudce roste, ale s blížící



Obr. 36 Závislost pokrytí na čase [3]

se hodnotou 100% je nárůst pozvolnější. Tento jev lze vysvětlit tak, že postupným dopadem částic ubývá míst, kde tryskaný materiál nebyl zasažen a pravděpodobnost zásahu neotryskaného místa je menší. Pro kontrolu množství, které projde přes lopatkové kolo, se užívá ampérmetr. Je to jediný možný způsob určení této hodnoty. Přesněji měří zatížení elektromotoru. Zatížení je dáno zátěží přiváděného abraziva na metací kolo. S větším množstvím je hodnota na ampérmetru větší. Ve většině případů se využívá maximální možný výkon a odchylka od této hodnoty značí poruchy metacího kola.

Kontrolu pokrytí lze provádět třemi různými metodami. Nejjednodušší z nich je vizuální kontrola, která spočívá v porovnání otryskaného povrchu s vytvořenými snímky. Fotografie jsou vytvořeny pro různé procento pokrytí povrchu. Pro srovnání je povrch sledován mikroskopem nebo lupou s desetinásobným zvětšením a snímky jsou vytvořeny ve stejném zvětšení a pro stejný materiál, aby bylo hodnocení co nejjednodušší. Tento způsob měření



Obr. 37 Etalon snímků [55]

je vhodný pro kontrolu měkkých materiálů, na kterých lze jednoduše vidět vtisky abraziva. Příklad vytvořeného etalonu je na obr. 37. Nevýhoda této metody spočívá v subjektivním hodnocení povrchu. Kontrolovaná oblast je malá a je zaměřena pouze na jedno konkrétní místo, proto se pro kontrolu kompletního pokrytí nejedná o nejjednodušší metodu.

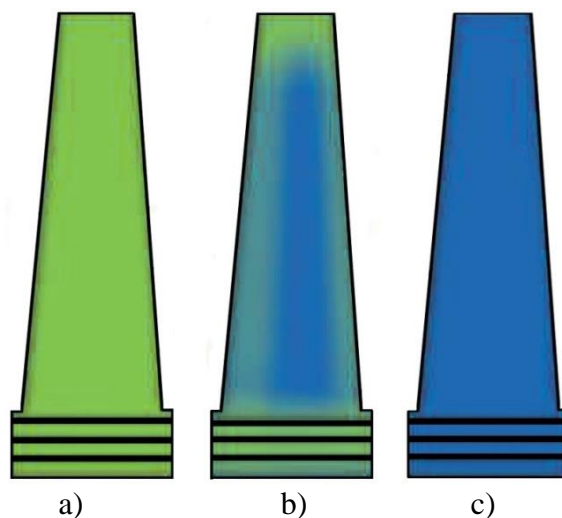
Další způsob kontroly pokrytí je tzv. test barvou. Součást je namočena do barvy a následně otryskána. Tento způsob kontroly lze aplikovat i pro vnitřní tryskání. Po otryskání se sledují místa, kde zůstala barva zachycena na součásti. Příprava (vlevo) a výsledek (vpravo) této zkoušky je na obr. 38. Výhodou této kontroly je její jednoduchá aplikace s okamžitě viditelným výsledkem. Problém této metody spočívá v její nepřesnosti, neboť během tryskání může barva praskat a následně se odlupovat i v okolí dopadu abraziva a tím dochází ke zkreslení výsledku.



Obr. 38 Test barvou před a po otryskání [54]

Nejpřesnější z uvedených metod je kapalinová zkouška, kterou lze získat informace o pokrytí ve všech místech součásti včetně těžce dostupných míst, jako jsou vruby či ostré ohyby. Tento způsob kontroly je vhodný pro všechny typy materiálů bez ohledu na rozměry součásti. Princip zkoušky spočívá v nanesení fluorescentní kapaliny, která je vytvořena

speciálně pro tento účel, na neotryskaný povrch součásti. Fluorescentní kapalinu lze pozorovat pouze pod UV světlem. Během tryskání je z povrchu odstraněna kapalina tím, že přilne na částičky abraziva. Otryskaná součást se osvítlí UV světlem a místa, kde zůstala kapalina, jasně svítí, zatímco místa, kde byla kapalina odstraněna abrazivem, se projeví méně jasným světlem. Simulace výsledků takto provedené zkoušky lze vidět na obr. 39, kde je zobrazena lopatka turbíny s třemi různými stupni pokrytí.



Obr. 39 Simulace výsledků kapalinové zkoušky lopatky turbíny a) neotryskána b) částečně otryskána c) 100% pokrytí [46]

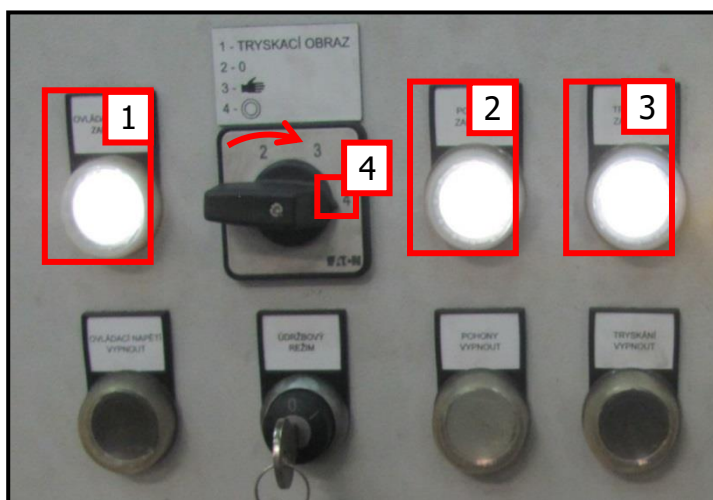
### 3 METODIKA TVORBY ŠKOLICÍCH PODKLADŮ

Školící podklady mají primární účel zaškolit nového operátora na pracovišti. Jejich význam spočívá v možnosti poskytnout novému zaměstnanci psané podklady, které v danou chvíli slouží jako doplnění při verbálním zaškolení. Autorovi předkládané bakalářské práce byla umožněna krátká stáž na pracovišti Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o. Během tohoto času byl autor důkladně seznámen s pracovním procesem tryskání povrchu stabilizátorů. To mu umožnilo pochopit princip dané metody, vytvořit si představu o výrobním procesu, prováděných zkouškách a problémech, které se vážou s touto technologií. Výsledkem této spolupráce bylo vytvoření kompletního školícího podkladu, který umožňuje snadnější zaškolení nových zaměstnanců. Dokument byl vytvořen pro 5 různých tryskačů, přičemž základní principy práce, bezpečnosti a dokumentů, se kterými operátoři pracují, jsou stejné. Jednotlivá zařízení se liší jen v používaném softwaru a konstrukci. Plný text školícího podkladu obsahuje data a informace, které si daný podnik nepřeje zveřejnit. Proto v rámci předkládané bakalářské práce bude níže uveden jen obsah takového dokumentu zaměřeného pouze na problematiku tryskání vnějšími závěsnými kabinovými tryskači a popis a na to, co která kapitola obsahuje. Plná verze bude podniku předána jako příloha 1 této bakalářské práce.

#### Obsah

<b>1. Základní informace</b>	<b>3</b>
1.1. Úvod do tryskání .....	3
1.2. Popis operace tryskání.....	4
<b>2. Základní povinnosti a znalosti operátora</b>	<b>5</b>
2.1. Bezpečnost práce .....	5
2.2. Dokumenty dostupné na pracovišti.....	7
2.3. Přehled na pracovišti .....	12
2.4. Ovládací prvky typ 1.....	13
2.5. Ovládací prvky typ 2.....	17
2.6. Ovládací prvky typ 3.....	22
2.7. Typ 4 a typ 5 .....	25
2.8. Základní údržba .....	29
2.9. Doplnění broků .....	29
<b>3. Požadavky na kvalitu</b>	<b>31</b>
3.1. Vlastní kontrola .....	34
3.2. Kontroly od QS.....	34
3.3. n.i.O díl (vadný díl).....	34
3.4. Oznámení poruchy .....	35
<b>4. Požadavky na výkonnost</b>	<b>37</b>
4.1. Hlášení hotové výroby do systému .....	37
<b>5. Teoretická část</b>	<b>37</b>





Obr. 41 Zapnutí automatického režimu

- 1) Zapnutí napětí (rozsvítí se).
- 2) Zapneme pohony (rozsvítí se).
- 3) Zapneme tryskání (rozsvítí se).
- 4) Otočný přepínač otočíme do pozice 4.

V kapitole 2.8. jsou bodově vypsány jednotlivé úkony údržby zařízení, které v tomto případě spočívají především v kontrolách a pořádku na pracovišti. Výjimku tvoří doplňování tryskacího prostředku. Tento postup se liší pro jednotlivá zařízení, proto je postup popsán pro každé zařízení zvlášť. Popis postupu je podobný jako při nastavování parametrů. Sdělení, která jsou obzvlášť důležitá, jsou v dokumentu zvýrazněna.



Obr. 42 Poškozený závěs (chybějící čep)

Kapitola 3. Je zaměřena na kontrolu kvality, kterou operátor provádí. Zde jsou uvedeny postupy a pokyny, které musí operátor dodržovat, aby výsledný produkt dosahoval požadované kvality. Jedná se o kontrolu pokrytí a technický stav vybavení, se kterým zaměstnanec manipuluje (např.: tryskací závěs, do kterého se ustanovují stabilizátory). Příkladem poškození může být poškozený nebo úplně chybějící čep pro ustanovení, viz obr. 42. Součástí této kapitoly je také návod na zadávání poruch do firemního softwaru.

Ve 4. kapitole je uveden návod hlášení hotové výroby do systému.

Poslední 5. kapitola obsahuje teoretické informace o technologii tryskání. Obsah této kapitoly je totožný s obsahem bakalářské práce, ovšem zkrácený. Tato kapitola je ve školicím dokumentu zahrnuta především pro operátory, kteří se chtějí dozvědět o této technologii nad rámec své pracovní povinnosti.

Vytvořené materiály usnadňují zaškolení operátorů. Částečně mohou doplnit či případně nahradit verbální zaškolení. Další výhodou je možnost umístění vytisknutého dokumentu na stanoviště, což pomůže začínajícímu zaměstnanci při prvních krocích v novém prostředí.

## 4 ZÁVĚRY

Předkládaná bakalářská práce rozebírá problematiku tryskání povrchu konvenční metodou. Je vysvětlen princip této technologie a její přednosti vůči jiným metodám mechanických úprav povrchu. Dále jsou představeny moderní metody tryskání, používaná tryskací média, rozdělení a popis tryskacích zařízení. V poslední části je čtenář stručně seznámen s procesem optimalizace a zkouškami, které se během tohoto postupu využívají. Uzavřením práce je popis školících podkladů vytvořených pro operátory tryskacích zařízení.

Konkrétně je první část věnována porovnání různých typů mechanických úprav povrchu. Jsou porovnány tři různé metody, přičemž jako nejvhodnější metoda pro výrobu stabilizátorů se jeví tryskání. Technologii tryskání lze zpevnit povrch, vytvořit tlakové vnitřní pnutí a připravit povrch na nanášení povlaků.

V druhé části jsou podrobněji rozebrány děje související s tryskáním, a to především tvorba tlakového pnutí, které je hlavním výsledkem otryskaného povrchu. Součástí s takto vytvořeným pnutím je mnohem více odolná proti únavovému poškození a zabraňuje vzniku a šíření mikrotrhlin. Konvenční způsob tryskání nemusí vždy stačit potřebám tryskaného dílu, proto jsou uvedeny jiné způsoby, kterými lze dosáhnout vyšších hodnot vnitřního pnutí nebo méně drsného povrchu.

Tryskání se provádí buď za účelem čištění, nebo vytvoření vnitřního pnutí. Charakter tryskání je dán tvarem abraziva. U ostrohranného převládá čistící účinek, zatímco u sférického se do popředí dostává tvorba vnitřního pnutí. S abrazivem souvisí také struktura výsledného povrchu, která je tvořena vtisky tryskacího prostředku do povrchu součásti.

V následující části jsou rozděleny tryskací zařízení na dvě základní skupiny a to na pneumatické a zařízení s metacími koly. Podrobně jsou rozebrány zařízení s metacími koly. Tento typ tryskačů se velmi dobře automatizuje a je vhodný pro sériovou výrobu. S tím souvisí také optimalizace. Tento proces spočívá v úpravě parametrů tak, aby byl vyráběný dílec stále kvalitní výrobek s co možná nejnižšími náklady. Hlavními sledovanými parametry jsou vnitřní pnutí a pokrytí. Tyto dva parametry jsou na sobě závislé. V této kapitole je popsán vliv jednotlivých parametrů na vnitřní pnutí a na pokrytí a s tím související zkoušky.

V poslední kapitole je nastíněn obsah školících materiálů s ukázkami z dokumentů. Podklady slouží jako podpůrný edukační materiál při zaškolení nových operátorů. Obsahuje postupy a informace, které jsou podstatné pro vykonávání pracovní činnosti. V závěru školícího podkladu je krátký úvod do technologie tryskání, který je vytvořen z textu této bakalářské práce.

Technologie tryskání nachází uplatnění v mnoha strojírenských aplikacích. Jedná se o stále se vyvíjející metodu úpravy povrchů. Přestože tryskání je dlouhodobě používaná technologie, stále není zcela probádána a dochází k dalšímu rozšiřování poznatků, k čemuž má přispět i tato práce.

Vytvořené školící podklady jsou výhodné, jak pro nově nastupujícího zaměstnance, tak pro firmu. Jednak zjednoduší zaškolení, mohou pomoci v nejistých prvních krocích operátora a částečně poskytnout zvědavým zaměstnancům hlubší vhled do dané technologie. Firma má díky těmto podkladům jistotu, že se k operátorům dostanou všechny informace o daném pracovišti, které by během ústního zaškolení mohly být opomenuty. Využitím školících materiálů se značně urychlí a zjednoduší adaptace nového pracovníka.

## Seznam použitých zdrojů

1. Are You Peening Too Much? *Shot Peener* [online]. 2014, **28**(3), 48 [cit. 2017-03-31]. ISSN 069-2010. Dostupné z: <http://www.theshotpeenermagazine.com/wp-content/uploads/3Summer2014Int.pdf>
2. BENEŠOVÁ, Dana. Řízené kuličkování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rizene-kulickovani.html>
3. Shot Peening Coverage Requirements. *Shot Peener* [online]. 2012, **26**(3), 44 [cit. 2017-03-31]. ISSN 1069-2010. Dostupné z: <http://www.theshotpeenermagazine.com/wp-content/uploads/3Summer2012.pdf>
4. CAMMETT, J. Shot Peening of Springs-a Case Study. *Shot Peener* [online]. 2008, **22**(1), 44 [cit. 2017-03-31]. ISSN 1069-2010. Dostupné z: <http://www.theshotpeenermagazine.com/wp-content/uploads/tsp22no1.pdf>
5. X-Ray diffraction Impacted by TEC's Contribution. *Shot Peener* [online]. 2012, **26**(3), 44 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.theshotpeenermagazine.com/wp-content/uploads/3Summer2012.pdf>
6. INOUE, Tatsuo, Maurice A. H. HOWES a George E. TOTTEN. *Handbook of Residual Stress and Deformation of Steel*. Materials Park, Ohio: ASM International, 2002. ISBN 9781615032273.
7. SCHULZE, Volker. *Modern Mechanical Surface Treatment*. 1. Weinheim: ILEY-VCH Verlag GmbH & Co., 2006. ISBN 9783527607815.
8. WERTHER, Samuel P. *Process Control : Problems, Techniques, and Applications: Problems, Techniques, and Applications*. New York: Nova Science Publishers, 2012. ISBN 9781624176883.
9. WAGNER, Lothar. *Shot peening*. 1. Cambridge: Wiley-VCH, c2003. ISBN 3527305378.
10. ADAM, Václav. *Zpevňování a zpřesňování povrchu: Dynamické válečkování součástí*. Praha: SNTL, 1966, 147 s.
11. [Ozubené kolo]. In: *Eshop.ameco.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://eshop.ameco.cz/produkty/Presne-celne-ozubene-kolesa-kalene-a-brusene-Modul-1>
12. [Hlazení]. In: *Albaprecision.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/baublies/diamantove-nastroje/diamantovy-nastroj-pro-vnejsi-obrabeni/>
13. [Měřicí zařízení]. In: *Electronics-inc.com* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.electronics-inc.com/products/almen-gages/2-almen-gage/>
14. [Ojnice]. In: *Summitracing.com* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.summitracing.com/int/parts/esp-5155f3d/overview/>
15. [Princip rentgenové difrakce]. In: *Terrachem.de* [online]. 2015 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.terrachem.de/en/x-ray-diffraction/>

16. [Průběh vnitřního pnutí]. In: *Wheelabratorgroup.com* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.wheelabratorgroup.com/en-gb/my-application/application-by-process/what-is-shot-peening>
17. [Schéma metacího kola]. In: *Wikimedia.org* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/thumb/7/73/Schleuderrad.gif/220px-Schleuderrad.gif>
18. [Střásací zařízení]. In: *Globalgilson.com* [online]. 2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.globalgilson.com/gilson-1-touch-vibratory-sieve-shaker>
19. [Úhel natočení]. In: *Drive.google.com* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://drive.google.com/file/d/0BylKfvgX-GD6bzdPQnZBaDNqbXc/view>
20. 1.Toušeňská s.r.o. *1tousenska* [online]. ©2016 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.1tousenska.cz/vyroba.php>
21. Curtiss-Wright. *Curtiss-Wright* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.cwst.co.uk/services/laser-peening/>
22. elabratorgroup. In: *Wheelabratorgroup.com* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.wheelabratorgroup.com/en-gb/my-application/application-by-process/what-is-shot-peening>
23. ETsonats: Introducing Stressonic® technology for Ultrasonic Shot Peening. *Youtube* [online]. ©2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=7Dyfje9divQ>
24. Europe technologies group. *Empowering-technologies* [online]. North America, ©2012 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.empowering-technologies.com/page-44-shot-peening-the-ultrasonic-way.html>
25. KOVO STANĚK S.R.O. *Kovostanek* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.kovostanek.cz/tryskaci-zarizeni/>
26. KRAMPE HAREX. *Krampeharex* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.krampeharex.com/en/abrasive-media/products/stainless-steel-abrasive-agent/>
27. KRAMPE HAREX. *Krampeharex* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.krampeharex.com/en/abrasive-media/products/ceramic-beads/>
28. KRAMPE HAREX. *Krampeharex* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://www.krampeharex.com/en/abrasive-media/products/glass-beads/>
29. Laser peening. *Curtiss - wright* [online]. Curtiss – wright corporation, ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://cwst.com/laser-peening/overview/>
30. PÍSKOVAČKA.CZ. *Piskovacka* [online]. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.piskovacka.cz/info-82-co-je-piskovani-cim-se-piskuje>
31. PÍSKOVÁNÍ GDS. *Gds* [online]. ©2009 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://tryskani-piskovani.gds.cz/tryskaci-systemy>

32. PKIT PRAHA s.r.o. *PKIT* [online]. ©2003-2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/tryskaci-materialy/2/>
33. PKIT PRAHA s.r.o. *PKIT* [online]. ©2003-2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/hnedy-korund-f12-f54/>
34. PKIT PRAHA s.r.o. *Pkit* [online]. ©2003-2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/ocelovy-granulat-1/>
35. PKIT PRAHA s.r.o. *Pkit* [online]. ©2003-2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/plastove-abrazivo/>
36. PKIT PRAHA s.r.o. *PKIT* [online]. ©2003-2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/bily-korund-f12-f46-1/>
37. PREDÚPRAVA POVRCHU. *Univerzita Pardubice* [online]. Pardubice [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/mater-vstrojar-vyroba.pdf>
38. VANĚK, T. *ELUC* [online]. Olomouc, ©2015 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1390>
39. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/cs/litinova-drt-1/>
40. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/stolove-tryskace/>
41. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/prubezne-tryskace/>
42. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/bubnove-tryskace/>
43. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/metaci-kola-saf/>
44. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/prubezne-tryskace/>
45. S.A.F. PRAHA. *S.A.F* [online]. ©2008 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.saf.cz/cs/sortiment/tryskaci-stroje-s-metacimi-koly/zavesne-tryskace/>
46. Shot peening applications. *Curtis-wright* [online]. Paramus: Metal Improvement Company, 2005 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: [http://464zwc173g4e34of4m82crnq.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/08/MIC\\_Green\\_Book\\_9th\\_Edition.pdf](http://464zwc173g4e34of4m82crnq.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/08/MIC_Green_Book_9th_Edition.pdf)
47. HUMÁR, A. Technologie I: Technologie obrábění - 3. část. *Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: Vutium, 2005 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvencni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf)

48. W. GRANOWSKI PTY LTD. *Granowski* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.granowski.com.au/Equipment/Impeller.aspx>
49. W. GRANOWSKI PTY LTD. *Granowski* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.granowski.com.au/Equipment/Setting-the-Wheel.aspx>
50. W. GRANOWSKI PTY LTD. *Granowski* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.granowski.com.au/Equipment/Typical-Wheel-Blast-Operation.aspx>
51. W. GRANOWSKI PTY LTD. *Granowski* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.granowski.com.au/Equipment/The-Ammeter.aspx>
52. W. GRANOWSKI PTY LTD. *Granowski* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.granowski.com.au/Equipment/Abrasive-Cleaning-and-Recycling.aspx>
53. W. GRANOWSKI PTY LTD. *Granowski* [online]. ©2017 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.granowski.com.au/Equipment/how-the-blast-wheel-works.aspx>
54. *Kontrolní fotografie*. [Prostějov]: Interní materiál Mubea Stabilizer Bar Systems.
55. *Porovnávací etalon snímků*. [Prostějov]: Interní materiál Mubea Stabilizer Bar Systems s.r.o.
56. *Výkaz práce*. [Prostějov]: Interní materiál Mubea Stabilizer Bar Systems.

## Seznam použitých zdrojů a zkratk

Označení	Legenda	Jednotka
A	poměr ploch	[-]
C1	pokrytí	[%]
t	jednotka času	[-]

## Seznam obrázků

Obr. 1 Součásti, na nichž je při výrobě použita technologie tryskání [9], [11], [15] .....	9
Obr. 2 Podstata válečkování [47].....	10
Obr. 3 Průběh hlazení [12].....	10
Obr. 4 Dopad kuličky [2].....	11
Obr. 5 Tlakové pnutí [2] .....	12
Obr. 6 Graf závislosti vnitřního pnutí na hloubce pod povrchem [22].....	12
Obr. 7 Vliv tryskacích parametrů na průběh vnitřního pnutí [9] .....	13
Obr. 8 Vliv tvrdosti abraziva [6].....	14
Obr. 9 Princip laserové tryskání [21].....	15
Obr. 10 Nadzvukové tryskání [9] .....	15
Obr. 11 Rentgenový snímek povrch po otryskání [24].....	15
Obr. 12 Tryskání s předepnutím [9].....	16
Obr. 13 Přehled používaného abraziva [7] .....	16
Obr. 14 Poškozené sférické abrazivo [46] .....	17
Obr. 15 Strásací zařízení [18] .....	18
Obr. 16 Vryp ostrohranného abraziva [37].....	19
Obr. 17 Litinová drtina (vlevo) výsledný povrch (vpravo) [37].....	19
Obr. 18 Vtisk sférického abraziva [37].....	19
Obr. 19 Ocelový granulát (vlevo) výsledný povrch (vpravo) [37].....	19
Obr. 20 Závislost drsnosti a rychlost [37].....	20
Obr. 21 Injektorové zařízení [30] .....	21
Obr. 22 Tlakové zařízení [30].....	21
Obr. 23 Tryskání děr (odrazový prvek) [6].....	22
Obr. 24 Tryskání děr (tryskací tyč) [6] .....	22
Obr. 25 Schéma kabinového tryskače [50].....	23
Obr. 26 Popis metacího kola [53] .....	23
Obr. 27 Princip činnosti metacího kola [17].....	24
Obr. 28 Zobrazení stopy tryskání v závislosti na úhlu pootočení objímky [19].....	24
Obr. 29 Otevření uhlového kroužku [48].....	25
Obr. 30 Kompenzačně gravitační separátor [52] .....	25
Obr. 31 Rentgenová difrakce [15] .....	27
Obr. 32 Upevnění Almen destičky .....	28
Obr. 33 Zařízení pro měření oblouku [13].....	28
Obr. 34 Saturační křivka [46] .....	28
Obr. 35 Životnost součásti vzhledem k pokrytí [1] .....	29
Obr. 36 Závislost pokrytí na čase [3].....	30
Obr. 37 Etalon snímků [55] .....	31
Obr. 38 Test barvou před a po otryskání [54].....	31
Obr. 39 Simulace výsledků kapalinové zkoušky lopatky turbíny a) neotryskána b) částečně otryskána c) 100% pokrytí [46] .....	32
Obr. 40 Výkaz práce [56] .....	34
Obr. 41 Zapnutí automatického režimu .....	35
Obr. 42 Poškozený závěs (chybějící čep) .....	35

## **Seznam tabulek**

Tab. 1 Označení destiček [46]. .....	28
--------------------------------------	----

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 Školící podklady pro vnější tryskací zařízení (pouze pro firmu Mubea)	
--	--