

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Bakalářská práce

Vývoj zařízení pro vibrační zpevnování dílů

Autor práce: Jan Nestával

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Pitrmuc

Praha 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Nestával	Jméno:	Jan	Osobní číslo:	457284
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní				
Zadávací katedra/ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie				
Studijní program:	Výroba a ekonomika ve strojírenství				
Studijní obor:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství				

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vývoj zařízení pro vibrační zpevňování dílů

Název bakalářské práce anglicky:

Development of vibrational tumbling device for fatigue strenghtening of components

Pokyny pro vypracování:

1. Technologie zpevňování lopatkových kol
2. Popis parametrů procesu zpevňování
3. Návrh koncepčního řešení zařízení - tvorba CAD modelu
4. Výběr a zástavba normalizovaných, sériově dostupných strojních součástí
5. Studie proveditelnosti a cenový odhad realizace navržených řešení

Seznam doporučené literatury:

Katalogy výrobců standardizovaných strojních komponent

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 09.04.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 31.07.2018

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Zdeněk Pitrmuc podpis vedoucí(ho) práce	Ing. Libor Beránek, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)
---	--	--

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Jan Nestával

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Pitrmucovi za přivedení mě k tomuto tématu. Dále bych mu rád poděkoval za jeho cenné rady, nápady a připomínky během psaní bakalářské práce.

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na technologie zpevňování, které se nejčastěji používají v praxi. Především se zabývá metodami zpevňování lopatkových kol. Mezi nejrozšířenější metody nepochybně patří shot peening a laser peening. V teoretické části jsou detailněji rozebrány jednotlivé parametry, které hrají roli během procesu zpevňování. Předmětem praktické části je nejprve popis stávajícího zařízení, které je používáno pro zpevňování lopatkových kol ve firmě průmyslového partnera pomocí metody vibračního kuličkování. Cílem je poté navržení nového modelu zařízení pro vibrační kuličkování s několika inovacemi. V rámci návrhu je vytvořen CAD model navrženého stroje, dále jsou blíže specifikovány jednotlivé inovace a na závěr i ekonomické zhodnocení návrhu.

Klíčová slova

Technologie zpevňování, shot peening, vibrační kuličkování, lopatková kola

Abstract

This bachelor thesis is focused on technologies of strengthening, that are mostly used in practice. It mainly describes strengthening methods of blades. The most widespread methods are definitely shot peening and laser peening. Closer look is taken on parameters, which affect the process of strengthening. The experimental part describes current device, which is using the technology of vibrating ball burnishing. The purpose is conceptual design of the device with several innovations. The design includes creating a CAD model, specifying the usage of those innovations and economic assessment of that design.

Key words

Technologies of strengthening, shot peening, vibrating ball burnishing, blades

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Technologie zpevňování	11
2.1	Účel zpevňování.....	11
2.2	Běžné metody.....	11
2.2.1	Válečkování	11
2.2.2	Hlazení.....	16
2.3	Metody pro zpevňování lopatkových kol	17
2.3.1	Shot peening	19
2.3.2	Vibrační kuličkování	21
2.3.3	Laser peening	21
3	Parametry zpevňování	23
3.1	Popis parametrů	23
3.2	Vliv parametrů	24
4	Návrh nového modelu zařízení pro vibrační zpevňování	25
4.1	Popis stávajícího zařízení	25
4.2	Inovace pro návrh nového modelu	26
4.2.1	Snímač frekvence kmitání	26
4.2.2	Závaží na vyrovnání	27
4.2.3	Frekvenční měnič	27
4.2.4	Vyklopení a rotace přípravku	28
4.3	CAD model	28
5	Zvolení optimálních strojních součástí	32
5.1	Faktory hrající roli při procesu zpevňování	32
5.2	Volba součástí použitých pro navrhované zařízení	35

5.2.1	Snímač výchylky kmitání	35
5.2.2	Asynchronní motor	36
5.2.3	Frekvenční měnič	37
5.2.4	Dělička	38
6	Funkčnost návrhu a jeho realizace	39
6.1	Proveditelnost sestavení navrhovaného řešení	39
6.2	Reálnost dostání požadovaným výsledkům	39
7	Stanovení cenového rozsahu realizace.....	40
7.1	Vyčíslení ceny jednotlivých komponent	40
7.2	Celkový cenový rozsah.....	41
8	Závěr	42
9	Zdroje	44
10	Seznam obrázků	47
11	Seznam tabulek	48

Použité symboly

Symbol	Jednotka	Veličina
A	[%]	Tažnost
ASM	[-]	Asynchronní motor
d	[mm]	Průměr
E_k	[J]	Kinetická energie
E_p	[J]	Polohová energie
E_x	[J]	Energie pružiny
f	[Hz]	Frekvence
F_G	[N]	Gravitační síla
F_x	[N]	Síla pružiny
g	$[m/s^2]$	Gravitační zrychlení
h	[m]	Výška
k	$[N/m]$	Tuhost
HRC	[-]	Tvrdost dle Rockwella
m	[kg]	Hmotnost
P	[W]	Výkon
Ra	[μ m]	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
t	[s]	Čas
T	[s]	Perioda

v	$[m/s]$	Rychlost
V	$[m^3]$	Objem
W	[J]	Práce
x	[m]	Změna délky pružiny
ZN	[MPa]	Zbytkové napětí
ρ	$[kg/m^3]$	Hustota

1 Úvod

Zpevňování povrchu je především aplikováno u součástek, které jsou náchylné k cyklickým zatížením nebo vyžadují zvýšení korozivzdornosti. Zpevňování je také aplikováno u součástí, které byly tepelně deformovány nebo obráběny za účelem korekce takto vzniklých deformací. Zpevňovacích technologií je mnoho, ve firmě průmyslového partnera mimo jiné používají pro zpevňování lopatkových kol technologii vibračního kuličkování.

Mezi běžné metody zpevňovacích technologií patří metody jako hlazení či válečkování. Dalšími metodami, které jsou vhodné pro zpevňování lopatkových kol, jsou laser peening a shot peening. Pod shot peening můžeme zařadit i vibrační kuličkování, kterou se konkrétně zabývám v praktické části své práce. Důležitou roli při procesu zpevňování hrají především parametry procesu. Těmito parametry jsou například průměr dopadajících kuliček, tvrdost kuliček, úhel dopadu kuliček a jejich dopadová rychlost, která se odvíjí od frekvence kmitání stroje a amplitudy kmitu. Výsledkem procesu je zpevněná vrstva na povrchu materiálu s odlišnými vlastnostmi od zbytku materiálu. Tato vrstva, pokud je správně zpevněna, má pozitivní vliv na opotřebení, soudržnost a životnost součástky.

Hlavním cílem bakalářské práce je popis parametrů, které hrají roli při procesu deformačního zpevňování. Dále návrh nového, inovovaného zařízení pro vibrační kuličkování, popis inovací, vytvoření CAD modelu a následného zhodnocení realizace návrhu spolu s ekonomickým zhodnocením.

2 Technologie zpevnování

2.1 Účel zpevnování

Zpevnování povrchu je proces, který se využívá k indukování zbytkového tlakového napětí na povrchu součástí, které jsou náchylné k cyklickým zatížením nebo vyžadují zvýšení korozivzdornosti. Zpevnování je také aplikováno u součástí, které byly tepelně deformovány nebo obráběny za účelem korekce takto vzniklých deformací, čímž dojde k natahování a stlačování povrchu součásti pro dosažení dokonalé rovinnosti. [1]

2.2 Běžné metody

2.2.1 Válečkování

Válečkování se zařazuje mezi nejpoužívanější dokončovací technologie bez úběru materiálu. Pod válečkování můžeme zařadit též statické kuličkování. Kuličkování rozlišujeme na statické a dynamické. Statické kuličkování můžeme zařadit pod válečkování s tím rozdílem, že jako tvářecí nástroj není použit váleček ale kuličky. Statické kuličkování bývá většinou řazeno k technologii válečkování, protože se s ním téměř ve všech bodech shoduje a rozdíly jsou minimální. Druhým typem kuličkování je kuličkování dynamické, které se řadí mezi metody otryskávací. Válečkování se realizuje rotujícími tvářecími prvky, které jsou k obráběnému povrchu přitlačovány konstantní silou nebo dynamickými rázy. Podle toho rozlišujeme válečkování na statické a dynamické. U statického válečkování dochází v místě styku k vytvoření valivého tření. Pro dynamické válečkování je charakteristický proces, při kterém dochází k deformování povrchu silovými impulzy tvářecích prvků. Tyto prvky jsou zakončeny rotujícím trnem či kroužkem s váčkovými plochami. Při statickém válečkování je docíleno lepší drsnosti povrchu ve srovnání s povrchem po dynamickém kuličkování. Naopak použitím dynamického kuličkování získáme povrch s větší jakostí. Za nevýhodu dynamického kuličkování můžeme také považovat fakt, že optimální technologické podmínky (jako například posuv) lze zjišťovat pouze experimentálně. Princip válečkování spočívá ve tváření za studena pomocí přitlaku tvářecích tělísek na povrch

obráběné součásti. Působením tlaku dochází k zarovnání nerovného povrchu, kdy dochází ke snížení výběžků nerovností a jsou z nich vyplněny prohlubně nerovného povrchu. Tlak lze plynule regulovat a upravovat podle podmínek při tváření za studena. Snížení povrchových nerovností patří mezi primární cíle prakticky všech dokončovacích operací. V průběhu procesu dochází k odstranění povrchových vad a nerovností působením tlaku, a to s vysokou přesností (přesnost na jednotky nm). [2] [3]

Většina beztržiskových dokončovacích technologií včetně válečkování má především za úkol snížení drsnosti povrchu, dále pak zpevnění tvářeného povrchu a také kalibrace jeho rozměrů a tvarové přesnosti. Statickým válečkováním je možné dosáhnout drsnosti dosahující hodnoty $R_a = 0,05 - 0,4 \mu\text{m}$. Dynamickým válečkováním lze, co se týče drsnosti, dosáhnout horších hodnot. Hodnoty drsnosti R_a se v tomto případě pohybují v rozsahu $0,2 - 0,8 \mu\text{m}$. [2]

Parametry, které mají vliv na hodnotu drsnosti:

- velikost tlaku mezi nástrojem a povrchem součásti
- rychlost válečkování
- mechanické vlastnosti válečkovaného materiálu
- pracovní posuv válečkovacího nástroje
- tvar mikronerovností a struktura povrchu před válečkováním
- jakost a geometrický tvar válečkovacího nástroje [9]

Zpevnění povrchu je primární důsledek válečkování, který spočívá v intenzivním zpevnění povrchové vrstvy, vlivem kterého dochází ke změnám mechanických vlastností v rozsahu několika milimetrů od povrchu. Míra navýšení tvrdosti se pohybuje v rozmezí 20 až 100%. Ostatní změny mechanických vlastností se kvůli malé hloubce ovlivněné vrstvy prakticky nedají změřit. Další využití nachází válečkování jako způsob kalibrace součástky. Kalibrace se v tomto případě používá za účelem dosažení

požadovaných úchylek tvarů, polohy a rozměrů. Válečkováním se kalibrují zejména vnitřní a vnější válcové plochy. [2] [3]

Statického válečkování nalézá využití zejména v kusové výrobě, případně v sériové výrobě pro dokončování rozměrnějších výrobků. Válečkovat se mohou součásti zhotovené z tvárných materiálů s mezí pevnosti $R_m < 1\,250$ MPa, minimální tažností $A = 8\%$ a drsností povrchu $R_a < 3,2$ μm . Pro kuličkování jsou tyto hodnoty obdobné. Mez pevnosti $R_m < 1\,000$ MPa a tažnost minimálně 12%. Při dynamickém válečkování není použitý nástroj v nepřetržitém kontaktu s povrchem součásti, protože vykonává oproti statickému válečkování navíc kmitavý pohyb. Dokončovaný povrch je tak plasticky deformován silovými impulzy tvářecích prvků. Přítlačná síla může být vyvolána buďto mechanicky, odstředivou silou, pneumaticky nebo magneticky. Zmíněné způsoby lze samozřejmě kombinovat pro zvýšení efektivity operace. [2] [3] [4]

Nastavení optimální pracovních podmínek hraje u válečkování klíčovou roli. Pokud se pracovní parametry zvolí špatně, může to vést k nedostatečným výsledkům obráběcího procesu. Volbou špatných hodnot parametrů můžeme zapříčinit celkové snížení efektivity procesu, nedostatečné zpevnění povrchu, nedokonalé vyhlazení nerovností, či k poškození součásti. Mezi parametry, jejichž hodnotu můžeme při obrábění ovlivnit, řadíme přítlačnou sílu, posuv, rychlost, posuv, dobu zpevňování. Z vnějších podmínek volíme adekvátní chlazení a mazání nástroje. [2]

Tabulka 1. Pracovní podmínky válečkování [2]

Válečkový průměr [mm]	Vnější válečkování		Vnitřní válečkování	
	Otáčky [min^{-1}]	Posuv na otáčku [mm]	Otáčky [min^{-1}]	Posuv na otáčku [mm]
5	1 500	0,12	1 000	0,15
12	1 000	0,32	700	0,3
40	600	1,3	400	1
65	300	1,5	250	1,8
95	250	1,8	200	2,7
165	200	3,4	-	-

Přítlačná síla má vliv na hloubku plastické deformace, zpevnění a drsnost povrchu. Velikost této síly závisí na materiálu zpevňované součásti. Její velikost se pohybuje v rozmezí 500 – 5000 N. Pokud zvolíme přítlačnou sílu příliš malou, míra zpevnění nebude dostatečná nebo dokonce žádná. Pokud zvolíme přítlačnou sílu moc velkou, vystavujeme součást riziku narušení povrchu. U většiny nástrojů pro válečkování lze její velikost měnit podle momentálních požadavků vycházejících z podmínek. Síla se odvíjí především od použitého materiálu součásti a poloměru nástroje pro válečkování. Obecně platí, že čím větší průměr použijeme, tím větší bude přítlačná síla. Rychlost válečkování je rovna obvodové rychlosti nástroje, jakou se tvářecí tělísko odvaluje po povrchu válečkované součásti. Je dobré mít na paměti, že s rostoucí rychlostí stoupá také teplota povrchu. Rychlost při válečkování dosahuje hodnot 20 - 100 m/min . Teplota při válečkování se pohybuje mezi 25 - 100°C. Od velikosti pracovního posuvu nástroje se odvíjí především produktivita válečkování a výsledná jakost povrchu zpevňované součásti. Čím vyšší je hodnota posuvu, tím vyšší je produktivita operace. Pokud je ale dosaženo příliš vysokých hodnot, tak dosáhneme povrchu s velkou drsností, vlnitostí, případně může dojít i k narušení povrchové vrstvy. Velikost posuvu se u rotačních tvarů odvíjí od průměru válečkované součásti. Posuv válečkovacího nástroje by neměl být stejný jako posuv předešlé obráběcí operace. Hodnoty posuvu se běžně volí v rozmezí 0,2 – 1 mm. [1] [3]

Chlazení a mazání nástroje má svůj vliv na obráběcí proces. Hlavním úkolem chlazení a mazání je snížení tvářecích sil a zvýšení trvanlivosti (životnosti) válečků. Emulze mají také navíc vliv na zlepšení drsnosti povrchu. Aplikují se chladicí a olejové emulze, vhodný je také vřetenový olej. Pojem převálečkování vyjadřuje počet válečkování stejného povrchu. Převálečkování není ekonomicky příliš výhodné v poměru míry zpevnění za jednotku času, proto se využívá pouze u součástí, které vyžadují zvětšení hloubky zpevněné vrstvy. Zajímavostí může být, že povrchu s nejnižší hodnotou drsnosti dosáhneme při druhém cyklu převálečkování. [1] [3] [4]

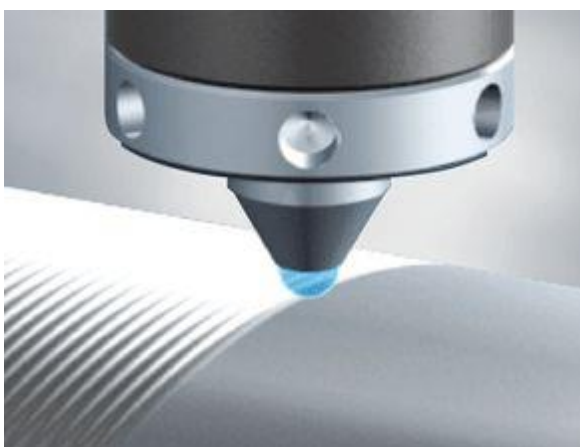
Nástroj určený pro válečkování se skládá z tvářecích válečků a držáku s upínací stopkou. Válečky se zhotovují ze slinutých karbidů nebo nástrojové či rychlořezné oceli. Tyto nástroje mají běžnou tvrdost 40 HRC, ale mohou být tepelně zpracovány na tvrdost až 60 HRC za účelem zvýšení jejich tvrdosti. Diamantové nástroje dosahují tvrdosti okolo 60 HRC. Jejich činný povrch je vysoce jakostní, drsnost jejich povrchu je minimální, například hodnota R_a se pohybuje okolo $0,025 \mu\text{m}$. Pokud jsou jako tvářecí prvky použity kuličky, jsou v nástroji uchyceny pomocí držáků. Jejich pozice na nástroji je zvolena tak, aby se plynule odvalovaly po povrchu dokončované součásti. Vzhledem k menší stykové ploše kuličky s obráběným povrchem je přitlačná síla menší. Nevýhodou této metody je kopírování nerovností povrchu po přechozích obráběcích operacích. Nejpoužívanější jsou nástroje pro válečkování vnějších a vnitřních rotačních ploch. Tyto nástroje se využívají jak u obrobků s válcovitou plochou, tak mohou být použity i u obrobků s kuželovitým tvarem. Každý nástroj je určen pro válečkování jednoho rozměru, díky tomu nalézají nejčastější využití v sériové výrobě. [3] [5]



Obr. 1 Nástroj pro válečkování [5]

2.2.2 Hlazení

Tato beztržisková dokončovací operace vychází z podstaty válečkování. Hlavním rozdílem mezi hlazením od válečkování je, že při hlazení nedochází k odvalování nástroje po dokončovaném povrchu, ale ke kluznému tření mezi nástrojem a dokončovaným povrchem. Kvůli tomuto faktu je hlazení posuzováno jako samostatná technologie. Hlazení je především využíváno pro beztržiskové dokončování povrchu součástí z tepelně zpracovaných ocelí. Jako nástroj se používá diamant s kuželovou špičkou se stanoveným poloměrem zaoblení. Nástroj je poté stálou silou přitlačován k povrchu součásti, čímž dochází k vytvoření potřebné plastické deformace. [1]



Obr. 2 Nástroj pro hlazení [6]

Cílem hlazení je podobně jako u válečkování především zpevnění povrchu součástí a snížení jeho nerovností. Důležitou předností hlazení oproti válečkování je, že touto technologií je možné opracovávat podstatně tvrdší materiály. To je možné díky použití nástroje z diamantu. Zprvu se využívaly pro hlazení pouze přírodní diamanty, nicméně od přelomu tisíciletí jsou nahrazovány diamanty umělými. Pro technologii hlazení se využívají pouze diamanty monokrystalické. Použití diamantových substancí s kovovým pojivem se totiž neosvědčilo, zejména kvůli negativním projevům na kvalitě dokončeného povrchu i na pokleslé životnosti nástroje. Další výhodou této technologie spočívá v dodání vysokého lesku součásti. V tomto směru dosahuje hlazení kvalitních výsledků a může dokonce konkurovat i leštění. [2] [3]

Pracovní parametry hrají taktéž významnou roli a podílejí se velkou vahou na výsledcích obrábění. Hlazení diamantem nachází využití hlavně u rotačních ploch. Hlavní pohyb u hlazení vykonává hlazená součást. Rychlost hlazení je stejně jako u válečkování rovna obvodové rychlosti. Velikost této rychlosti se volí v rozsahu $40 - 150 \text{ m/min}$ a pracovní posuv se pohybuje v rozmezí $0,02 - 0,1 \text{ mm/ot}$. Největší efektivnosti dosahuje hlazení při obrábění tepelně zpracovaných ocelí s tvrdostí $50 - 55 \text{ HRC}$. Hlazením lze dosáhnout drsnosti povrchu až $Ra = 0,2 \text{ }\mu\text{m}$. Přídavky na opracování hlazením jsou minimální, pohybují se řádově v setinách milimetru. Chlazení a mazání nástroje hraje taktéž významnou roli při procesu hlazení. Hlazení totiž vyvolává, na rozdíl od válečkování, smykové tření mezi nástrojem a povrchem hlazené součásti, které razantně zvyšuje teplotu hlazení. Diamant je dobrý vodič tepla, tudíž dochází k odvedení tepla z povrchu zpracovávaného materiálu do lůžka, kde je uložen diamantový nástroj, kde dochází k hromadění vyvolávaného tepla. Tyto vysoké teploty mohou diamant nenávratně poškodit, proto je nezbytné nástroj chladit a mazat, čímž se výrazně zvyšuje jeho životnost. K tomuto účelu se používají běžné oleje, emulze a syntetické chladicí kapaliny. [2] [7] [8]

Tvářecí částí nástroje je diamantový kužel, který je upnut na nástroj pomocí držáku. Přitlačovací síla, která zajišťuje plynulý dotyk diamantu po součásti, je zajištěna pomocí předepjaté pružiny. Nástroje pro hlazení rozdělujeme podle způsobu jejich použití. Nejčastějšími typy jsou nástroje určené pro vnější a vnitřní válcové plochy, dále pak pro kuželové a čelní plochy. [2]

2.3 Metody pro zpevňování lopatkových kol

Otryskávání neboli dynamické kuličkování se řadí mezi dokončovací technologie. Podstatou této dokončovací technologie je plastická deformace za studena vyvolaná v povrchové vrstvě obráběné součásti, která je způsobena dopadáním malých sférických částic proti povrchu upravovaného předmětu. Tyto částice vytvoří při dopadu v povrchu malý důlek. Překrývající se důlky vytvoří souvislou zpevňovanou vrstvu. Pod povrchem tak vznikají příznivá zbytková tlaková napětí v důsledku snahy materiálu vrátit se do původního stavu. Princip této metody je znázorněn na Obr. 3. [2] [3] [9]



Obr. 3 Princip vzniku ZN [9]

Tato zbytková napětí jsou v případě otryskávání velmi vysoká. Tudíž dochází u takto dokončené součásti k předcházení vzniku trhlin a zamezení jejich šíření, což vede k maximálnímu zvýšení její únavové životnosti. Otryskávání navíc eliminuje vliv koncentrátorů napětí, jako jsou různé vruby, zaoblení apod. Velkou výhodou této technologie je její možnost povrchového zpevnění tvarově složitějších součástí. [1] [10]

Volba pracovních parametrů procesu se odvíjí od mnoha podmínek, kterými je celý proces udáván. Mezi tyto podmínky můžeme zařadit například znalost geometrie dané součástky, předchozích výrobních metod aplikovaných na součástku, mechanických vlastností, citlivosti základního materiálu na napětí nebo provozních podmínkách. K nejvýznamnějším parametrům ovlivňujících konečný výsledek patří především rychlost dopadu částic, která může být v případě otryskávání až 150 m/s. Přesná rychlost se odvíjí od typu použitého zařízení. Úhel, pod kterým tyto částice dopadají, také významně ovlivňuje efektivitu procesu. Vhodný úhel dopadu se pohybuje v rozmezí 50 - 80°. Mezi další faktory můžeme zahrnout vlastnosti dopadajících částic jako například jejich počet, hmotnost, tvar, rozměr a materiál, který udává jejich tvrdost. Zrna pro otryskávání mohou být vyrobena z organických či minerálních materiálů. Například pro kuličkování se často používají litinové a ocelové kuličky (ocelový granulát). Dalším faktorem hrajícím významnou roli je pak doba tryskání. Otryskávání se používá u součástí, které vyžadují zvýšení únavové pevnosti součásti a zpevnění povrchové vrstvy. Obecně platí, že čím víc bude součást namáhána a zvýšená tak tendence šíření trhlin, tím větší bude kladen důraz na zvýšení odolnosti proti jejich šíření, která je docílena zvýšením hloubky zpevněné vrstvy. Otryskáváním se také

odstraňují z povrchu nežádoucí povlaky, důsledky koroze, oleje, tuky a jiné nečistoty. Jako u jiných dokončovacích technologií, tak i zde je jedním z cílů také snížení povrchových nerovností. Otryskávání ovšem v tomto směru dosahuje oproti jiným dokončovacím operacím horších výsledků. [2] [3]

2.3.1 Shot peening

Cílem shot peeningu, neboli řízeného kuličkování, je vytvoření rovnoměrně zpevněné vrstvy na povrchu součásti. Shot peening je hojně využíván například v leteckém a kosmickém průmyslu, vzhledem k jeho účinnosti a možnosti zpevnění i tvarově složitějších součástí. Řízené kuličkování spočívá ve vyvolání plastické deformace v povrchové vrstvě součásti za studena. Celá metoda spočívá v tryskání kuliček o předem zvolených vlastnostech proti povrchu zpevňovaného materiálu, které na povrchu způsobují plastickou deformaci. Narážející kuličky přenášejí svojí kinetickou energii do povrchu, čímž způsobují vytvoření důlku v povrchové vrstvě. Proud kuliček pak zapříčiní vznik rovnoměrně zpevněné povrchové vrstvy. Při samotnému zpevnění dochází jako reakce na plastickou deformaci k vytvoření zbytkového (tlakového) napětí pod povrchem, které má příznivý vliv na zlepšení vlastností součásti. Zbytková tlaková napětí prodlužují životnost únavy materiálu, potlačují vznikající trhliny (mají tendenci je „zavírat“), zvyšují korozivzdornost a odolnosti proti opotřebení. [3] [11] [12]

Shot peening se řadí mezi dokončovací operace, proto by po něm neměla následovat žádná další operace, která by narušovala průběh již vytvořeného zpevnění povrchové vrstvy. Jak vypadá shot peening v praxi je znázorněno na Obr. 4. Mezi nejvýznamnější parametry, které hrají roli při řízeném kuličkování, patří rychlost dopadu kuliček ovlivněná tlakem, kterým jsou hnány ven z injektoru, nebo rychlostí otáčení metacích kol. Další důležité parametry se týkají především vlastností kuliček. Mezi tyto vlastnosti patří především průměr kuličky, její hmotnost a tvrdost, která se odvíjí od materiálu, ze kterého jsou kuličky vyrobeny. [13]



Obr. 4 Shot peening v praxi [13]

Pro shot peening se používají tryskací stroje, které mohou být většinou využity jak pro abrazivní, tak pro zpevňovací otryskávací operace. Tyto stroje dělíme na dva různé typy podle způsobu vystřelování částic. Jednak se může jednat o zařízení, která tryskají částice za pomoci stlačeného vzduchu. Tato zařízení pak rozdělujeme podle použití na injektorová a tlaková. Předností těchto zařízení je tryskání částic i o větších rozměrech a možnost otryskávání i tvarově složitějších součástek. Princip injektorového systému je založen na nasávání kuliček do tryskací pistole, z níž jsou kuličky vystřelovány působením proudu vzduchu. Kuličky po dopadu na povrch tělesa spadnou na podlahu, odkud jsou znovu nasávány do tryskací pistole. Tlaková zařízení naopak jsou naopak založena na tlakové nádobě, do které je nasypáno potřebné množství kuliček. Nádoba je následně utěsněna a natlakována. Kuličky jsou následně vyhnány do hadice, kde jsou smíchány se vzduchem, tento poměr se dá v hadici regulovat dle potřeby. Po vytryskání obsahu nádoby jsou kuličky z podlahy tryskacího prostoru opět shromážděny a nádoba znovu naplněna a natlakována. Při použití tlakového systému je dosaženo až třikrát vyšší intenzity otryskávání. Zařízení založená na metání kuliček jsou oproti zařízením se stlačeným vzduchem zcela mechanizována, tudíž je více eliminován lidský faktor a lze hovořit o otryskávání s konstantnějšími výkony, které dosahují

lepších výsledků. Princip spočívá ve využití odstředivé síly. Metací kolo rotuje vysokou rychlostí, přičemž jsou do něj přiváděny kuličky a následně díky vysoké odstředivé síle metány na zpevňovanou součást. Rychlost metaných kuliček je ovlivněna především rychlostí rotace metacího kola a tvarem jednotlivých lopatek. [10] [14]

Pomocí otryskávání lze vytvořit povrch s horší drsností oproti ostatním metodám. Lze dosáhnout drsnosti až $R_a = 0,8\mu\text{m}$. Výhodou je naopak možnost opracování tvarově složitějších součástí a vyšší míra zpevnění maximálním zvýšením odolnosti vůči únavovým projevům se současnou eliminací vrubových účinků, což vede ke zvýšení spolehlivosti a životnosti součásti. [2]

2.3.2 Vibrační kuličkování

Vibrační kuličkování funguje na podobném principu jako řízené kuličkování. Součástka, u které je požadované zpevnění povrchu, je vložena a upevněna do přípravku spolu s kuličkami o zvoleném průměru a tvrdosti, která se odvíjí od materiálu, ze kterého jsou kuličky tvořeny (typicky ocelový granulát). Přípravek je poté připevněn na rám zařízení určeného pro vibrační kuličkování. Rám spolu s upevněným přípravkem je následně rozkmitán pomocí asynchronního motoru o zvolené frekvenci. V přípravku dochází k pohybu kuliček a narážení o stěny přípravku a o vloženou součást, při čemž dochází k vyvolání plastické deformace za studena. Výhodou vibračního kuličkování je plná mechanizace procesu a možnost zpevnění tvarově složitějších součástí. [15]

2.3.3 Laser peening

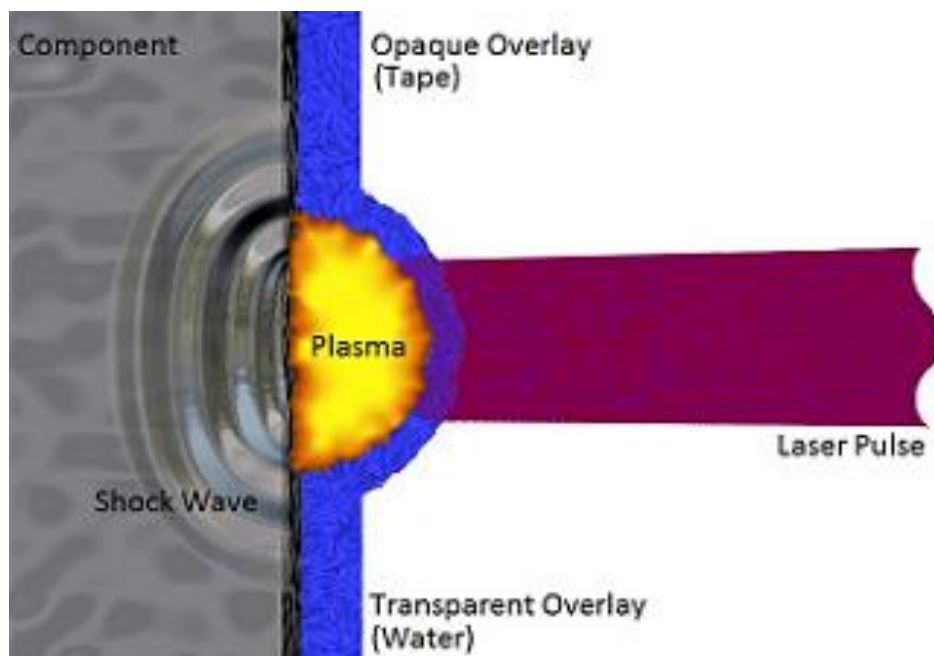
Laser peening je metoda zpevňování, která dosahuje požadovaného zpevnění pomocí rázových vln vyvolaných laserem. Na povrch součásti je nanesena žáruvzdorná vrstva, která absorbuje energii laserového paprsku. Pak je potřeba na povrchu součásti vytvořit izolační vrstvu např. voda nebo sklo. Poté jsou na povrch vystřelovány elektrické pulzy Nd:YAG laseru. Krátkodobý laserový puls s vysokou energií vytváří na povrchu rychle se šířící plazmový výbuch. Nárůst tlaku způsobí silnou rázovou vlnu, která se šíří směrem do materiálu (v řádech GPa). Díky ochranné vrstvě nedojde k nežádoucímu poškození povrchu (nedochází k tepelnému ovlivnění). Přilehlý materiál

pružně reaguje na tuto deformaci, výsledný povrch je ponechán ve stavu stlačitelného zbytkového napětí. Mezi výhodou laser peeningu tedy lze rozhodně zařadit zvýšení pevnosti, odolnosti vůči opotřebení, korozivzdornosti a prodloužení životnosti součástky. Dalšími výhodami oproti otryskávání jsou snížení nutné pracovní síly, kontrolovanější zpevnění součásti a zkrácení ztrátových časů. Princip metody je znázorněn na Obr. 5. [14] [15]

Při této metodě se využívá laseru Nd:YAG s následujícími vlastnostmi:

Tabulka 2. Vlastnosti laseru Nd:YAG [14]

Parametr	Hodnota	Jednotka
Průměr	1 – 6	[mm]
Výkon	0,5 – 10	[GW/cm ²]
Vlnová délka	1 064	[nm]
Energie pulsu	1 – 50	[J]
Délka pulsu	8 – 40	[ns]



Obr. 5 Princip metody laser peeningu [15]

3 Parametry zpevňování

Volba pracovních parametrů pro vibrační kuličkování se odvíjí od vyhodnocení několika podmínek. Musí být brány v potaz použité předešlé operace aplikované na dané součásti, zohlednění mechanických vlastností materiálu součásti a jeho vlastností. Mezi pracovní parametry při vibračním kuličkování řadíme především rychlost, se kterou dopadají kuličky na povrch součásti, ta se odvíjí od frekvence a amplitudy, s jakou rám s přípravkem kmitá. Dalším důležitým faktorem je úhel, pod kterým dopadají kuličky na povrch zpevňovaného materiálu (ideálně $50^\circ - 80^\circ$), proto je vhodné vyosení přípravku během procesu zpevňování. Vlastnosti použitých kuliček ovlivňují účinnost, míru a hloubku zpevnění povrchu. Mezi tyto vlastnosti patří průměr použitých kuliček, jejich tvrdost a hmotnost odvíjející se od zvoleného materiálu pro kuličky. [2] [3]

3.1 Popis parametrů

- Frekvence – frekvence s jakou kmitá asynchronní motor s rámem a přípravkem je nastavená pomocí frekvenčního měniče a lze ji případně regulovat
- Amplituda kmitání – odvíjí se od výkonu asynchronního motoru, tuhosti a počtu pružin, na kterých je celý rám zavěšen
- Rychlost kmitání – dána frekvencí a amplitudou kmitání
- Úhel dopadu – ovlivňuje míru zpevnění materiálu a jeho rovnoměrnost po celém povrchu součásti
- Průměr kuliček – udává spolu s hustotou materiálu kuličky její hmotnost a tudíž i energii, s kterou kulička narazí do povrchu součásti. Průměr ovlivňuje i hloubku zpevnění materiálu, čím menší průměr kuličky, tím kulička vytvoří hlubší důlek při dopadu
- Tvrdost kuliček – s vyšší tvrdostí kuliček roste i míra zpevnění součásti

3.2 Vliv parametrů

Vycházíme-li z rovnice pro kinetickou energii:

$$E_K = 1/2 \cdot m \cdot v^2 = 1/2 \cdot V \cdot \rho \cdot v^2 = 1/2 \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (1.1)$$

Kde:

E_K = kinetická energie kuliček m = hmotnost kuličky

V = objem kuličky d = průměr kuličky

v = rychlost kuličky při dopadu na součást

Z rovnice vyplývá, že pokud zvýšíme všechny tři proměnné (průměr, hustotu i rychlost) na dvojnásobek, nejvíce ovlivní kinetickou energii kuličky její průměr, neboť se zvýší hodnota kinetické energie 8x, zatímco pro rychlost jen 4x a u hustoty pouze 2x. Na Obr. 6 můžeme vidět kuličky z ocelového granulátu, které se používají pro deformační zpevňování.



Obr. 6 Kuličky z ocelového granulátu [16]

4 Návrh nového modelu zařízení pro vibrační zpevňování

4.1 Popis stávajícího zařízení

Stávající stroj pro vibrační kuličkování (viz Obr. 7) se skládá ze samotného zařízení, výstupního ovladače asynchronního motoru bez možnosti regulace frekvence kmitání a tiskárny pro zaznamenání výstupních hodnot. Zařízení je umístěno v ochranné a nosné konstrukci, na kterou jsou zavěšeny čtyři duální pružiny, na kterých visí samotný rám. Rám je opatřen upevněním pro dva přípravky, závažím pro vyvážení rámu a připevněným asynchronním motorem. Rám (viz Obr. 8) je veden čtyřmi tyčemi umístěnými v rozích rámu, dále je možné rám po ukončení procesu ručně pomocí páky nadzvednout a odlehčit tak pružiny, na kterých je rám zavěšen. Celé zařízení je vibračně odhlučeno pomocí podložky.



Obr. 7 Stávající zařízení



Obr. 8 Uložení rámu

4.2 Inovace pro návrh nového modelu

4.2.1 Snímač frekvence kmitání

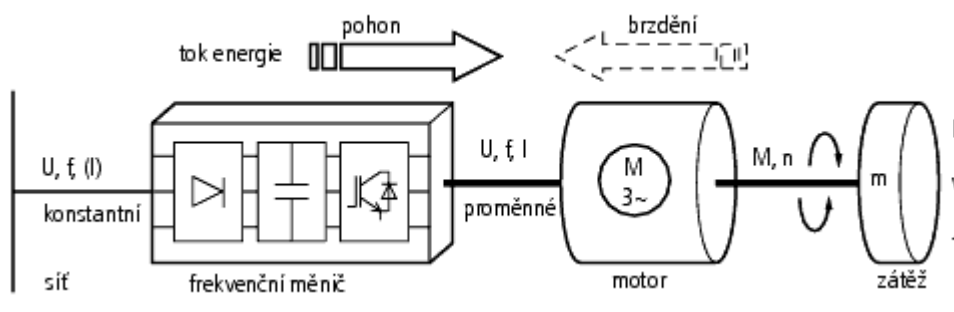
Nové zařízení bude opatřeno snímačem frekvence kmitání umístěným pod rámem stroje a bude sloužit jako zpětná vazba pro obsluhu, zdali reálná frekvence kmitání odpovídá zadané frekvenci na frekvenčním měniči. Pro tyto účely bude použit kompaktní laserový snímač polohy, který funguje na laserovém triangulačním principu. Laserová triangulace spočívá v měření vzdálenosti pomocí výpočtu úhlu. Snímač tedy promítá laserový bod na měřený objekt. Odražené světlo pak dopadá na přijímací snímač pod úhlem v závislosti na vzdálenosti na měřeném objektu. Z polohy světelného bodu na přijímacím snímači a vzdálenosti od vysílače k přijímacímu snímači se vypočítá vzdálenost laserového snímače k měřenému objektu. Výsledkem takového měření je křivka udávající celkový snímaný „povrch“. Z takto nasnímaného povrchu lze nejen vyčíst frekvenci kmitání, ale také zjistit případnou výchylku kmitajícího rámu a zefektivnit proces či zamezit možnosti vzniku závady na zařízení. [17] [18]

4.2.2 Závaží na vyrovnání

Stávající zařízení je vyrovnáváno závažím přilepeným lepícím páskou uprostřed rámu, pro nové zařízení bude použito závaží v podobě cihliček, které budou k rámu připevněny pomocí závitů. Tato závaží budou moci být připevněna uprostřed a na okrajích rámu pro případ, kdyby se na každé straně rámu vibračně zpevňovala součást s jinou hmotností.

4.2.3 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič umožní regulaci otáček asynchronního motoru a tudíž i případné zvýšení/snížení rychlosti kmitání soustavy. Ke změně otáček motoru dochází současnou změnou frekvence a napětí. Frekvenční měniče se obecně používají v případech, kdy je třeba dosáhnout jiných otáček, než jsou přednastavené ve standartních řadách, nebo pokud je třeba regulovat rychlost otáčení. Dále se uplatňují v řešeních s ohledem na úsporu energie. Běžně se měniče používají k řízení třífázových elektromotorů. Princip spočívá ve vstupním konstantním střídavém napětí vstupujícím z napájecí sítě, které může být jak jednofázové, tak třífázové. Schéma principu nastiňuje Obr. 9. Toto napětí je ve vnitřních obvodech usměrněno a na výstupu převedeno na třífázové střídavé napětí o zvolené frekvenci, tedy vytváří pro trojfázový motor novou trojfázovou síť s proměnlivým napětím a frekvencí. [19] [20]



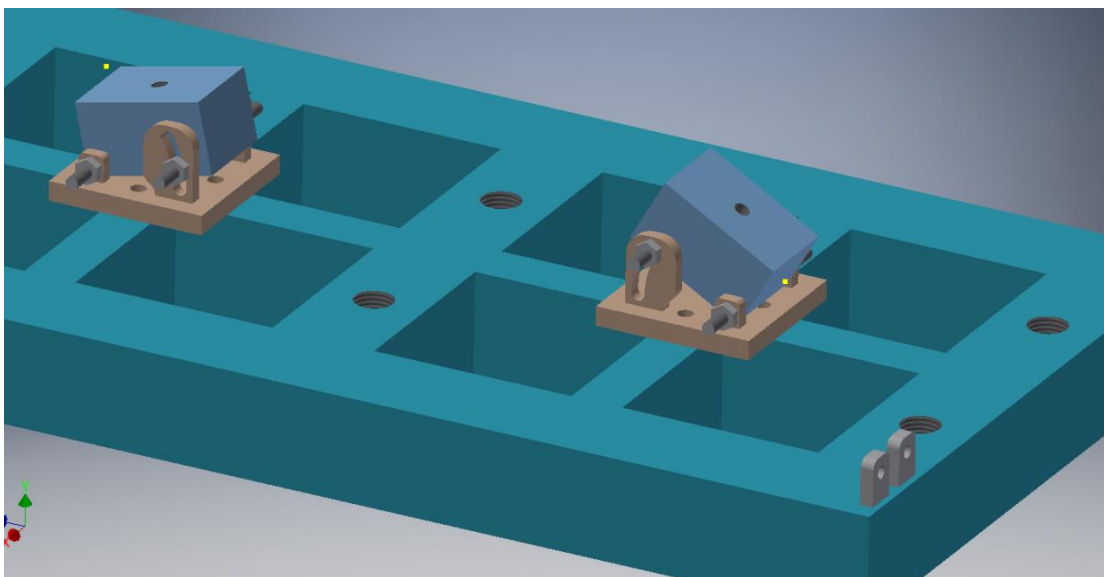
Obr. 9 Princip frekvenčního měniče [20]

4.2.4 Vyklopení a rotace přípravku

Nový stroj bude mít možnost naklopení a rotace přípravku se zpevňovanou součástí pro dosažení co nejrovnoměrnějšího a nejlepšího zpevnění součásti. Toho bude dosaženo pomocí zvednutí mechanismu na jedné straně a uchycení pomocí zástrčky. Dále bude vyklopený přípravek rotovat za pomoci použití děličky, se kterou bude přípravek vyklopený.

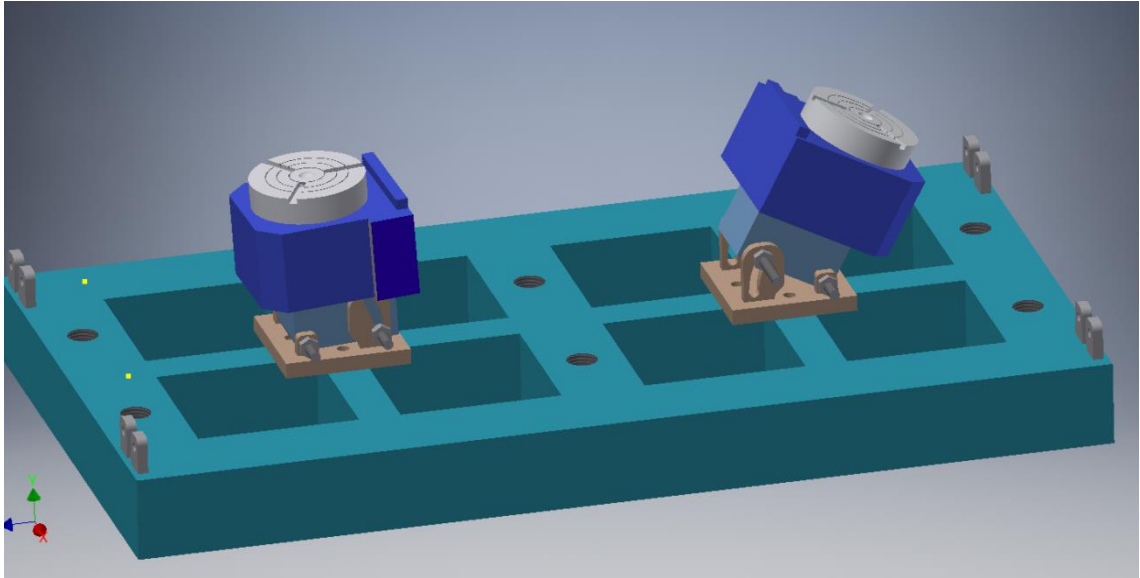
4.3 CAD model

Jedním z hlavních cílů mé bakalářské práce je vytvoření modelu navrhovaného zařízení – jak by měl stroj být přibližně koncipován a jak by měl fungovat. Samotný stroj se skládá z vnější a vnitřní části. Vnější část slouží jako kostra zařízení, chrání stroj proti vnějším vlivům a tvoří oporu stroje. Základním kamenem vnitřní části je nosný rám, na který jsou přivařené vodící tyče. Na rám je také připevněna destička umožňující vyklopení při procesu zpevňování. Samotný rám s destičkou umožňující naklopení můžeme vidět na Obr. 10.

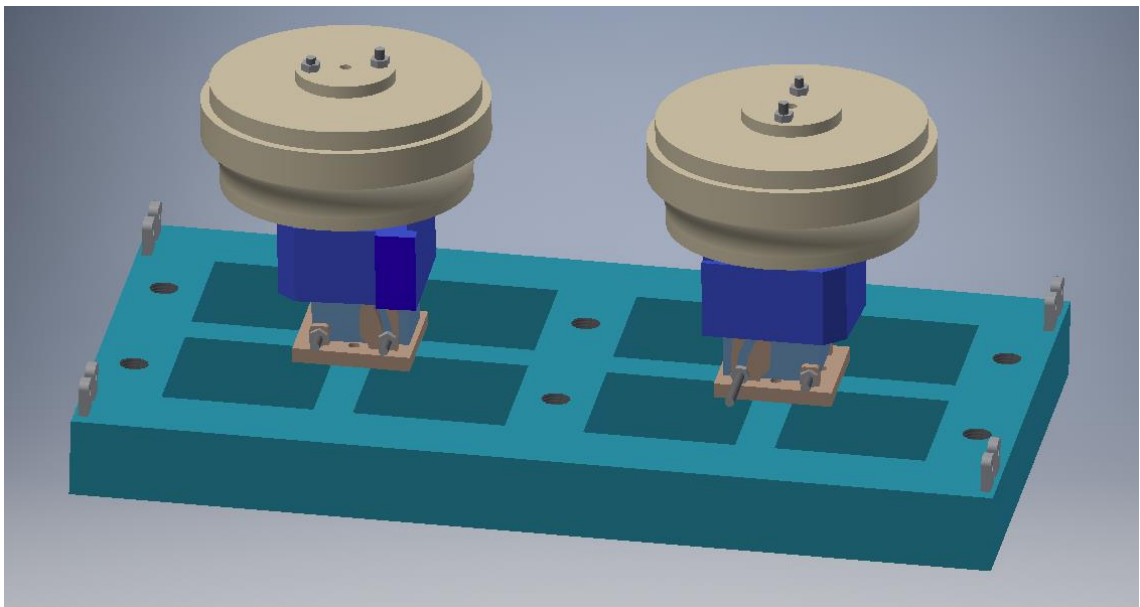


Obr. 10 Rám s upevněnými destičkami

Na těleso nastavující úhel naklopení je pomocí závitů připevněná dělička. Dělička umožňuje relativně snadné upnutí přípravku a jeho následnou rotaci kolem své osy během procesu zpevňování. Na Obr. 11 a Obr. 12 jsou zobrazeny jednotlivé stupně skládání mechanismu.

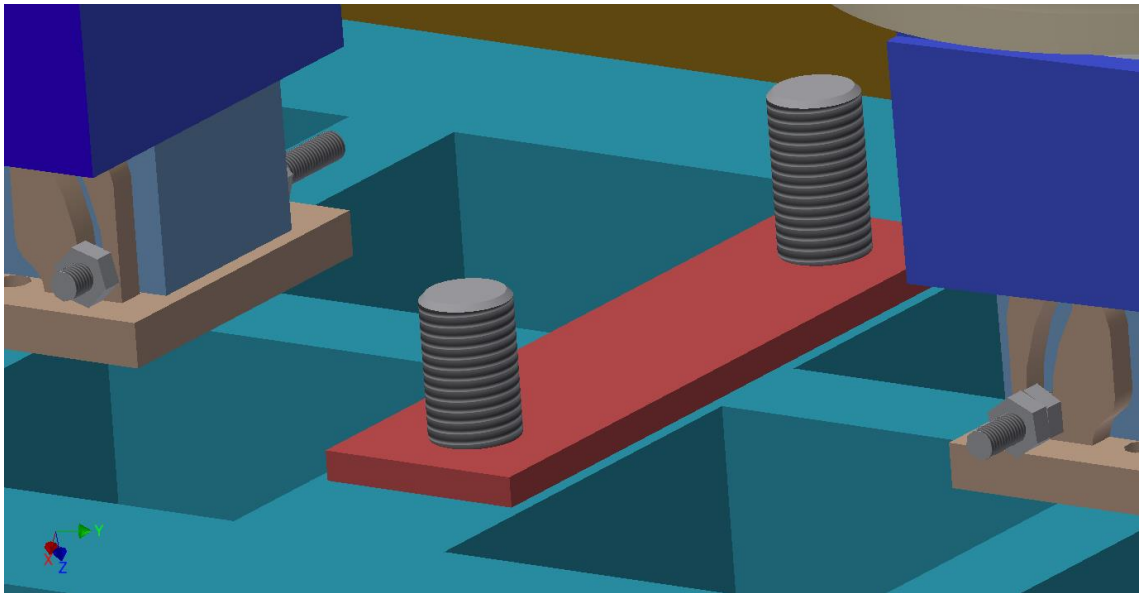


Obr. 11 Soustava s děličkou připravená k upnutí



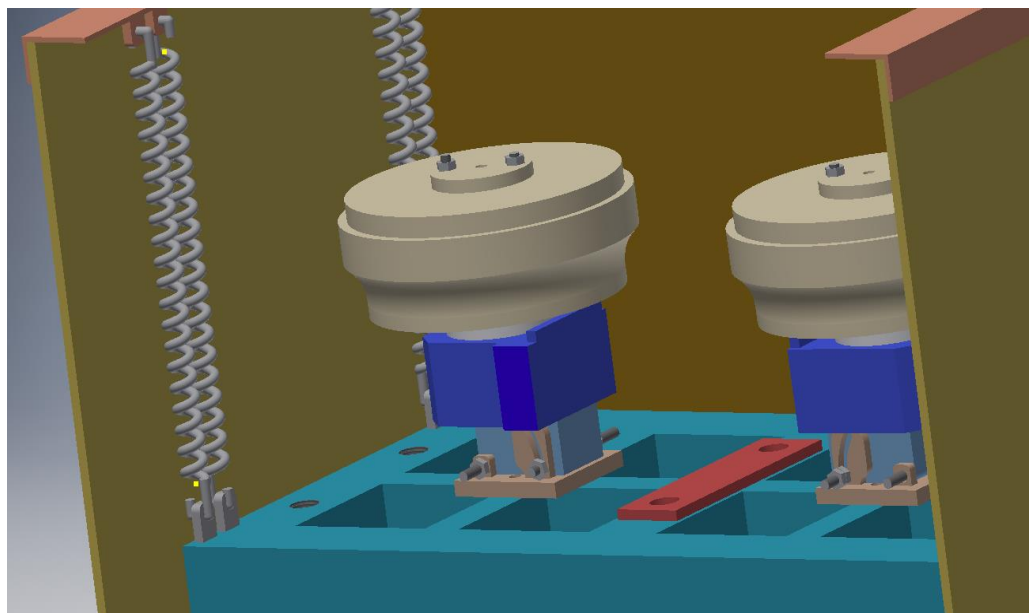
Obr. 12 Kompletní soustava

Pro co největší minimalizaci nerovnoměrného zatížení jednotlivých pružin při zpevňování dvou lopatkových kol o odlišných hmotnostech je navržena možnost přidání závaží na třech různých místech – uprostřed a na okrajích rámu. Závaží jsou realizována prostřednictvím cihliček. Jejich uložení na rámu je znázorněno na Obr. 13.

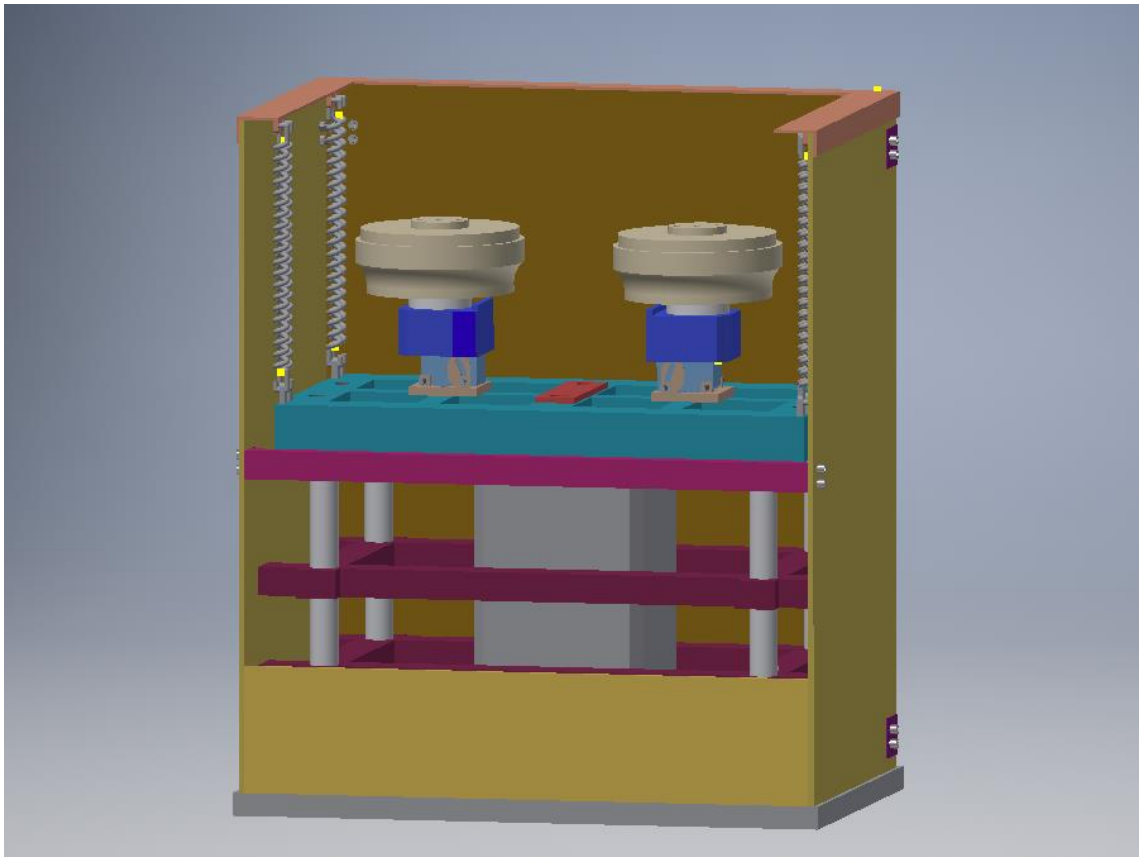


Obr. 13 Uložení závaží na rámu

Celá vnitřní soustava je zavěšena pružinami k vnější kostře stroje. Pružiny jsou umístěny na každém z rohů rámu. Důvodem zdvojení je mimo jiné minimalizace škod při případném poškození jedné z pružin. Asynchronní motor uložený v ochranném obalu a připevněný ze spodní strany rámu umožňuje pohyb soustavy. Na Obr. 15 lze vidět kompletní model navrhovaného zařízení. Detail uložení soustavy znázorňuje Obr. 14.



Obr. 14 Detail uložení soustavy



Obr. 15 CAD model návrhu stroje

5 Zvolení optimálních strojních součástí

5.1 Faktory hrající roli při procesu zpevnování

Pro výpočet potřebného výkonu motoru kmitající soustavy použijeme vzorec:

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.1)$$

Čas t , za který musí být vyvinuta požadovaná energie, vyplývá z rychlosti kmitání soustavy, lze jej tedy odvodit z frekvence kmitání. Frekvence kmitání se na aktuálním stroji pohybuje okolo 27 Hz. Pro výpočet počítám s vyššími nároky – 30 Hz. Přesnou velikost potřebné energie W by bylo možné určit pouze experimentálně, proto pro návrh stanovím maximální možnou hodnotu a použiji ji při výběru adekvátního asynchronního motoru.

$$F_G = m \cdot g \quad (1.2)$$

$$F_x = k \cdot x \quad (1.3)$$

$$F_G = F_x$$

$$m_c \cdot g = k \cdot x$$

$$x = 11,6 \text{ mm}$$

Při uvolnění soustavy před spuštěním procesu dojde k vyrovnání působících sil, síly F_G a síly F_x . Síla F_G reprezentuje gravitační sílu soustavy. Vypočteme ji pomocí gravitačního zrychlení g a hmotnosti soustavy m_c , která se skládá z rámu se čtyřmi tyčemi, mechanismu za účelem dosažení excentricity, děličky a přípravku, který obsahuje zpevnované kolo a potřebný objem kuliček. Na druhé straně působí síla vyvinutá pružinou F_x , jejíž velikost se odvíjí od změny délky x a tuhosti k . Soustava je na kostru zařízení zavěšena z každého rohu rámu duálními pružinami. Každá pružina má tuhost $12\,000 \text{ N/m}$. Z tohoto vztahu následně získáme základní změnu délky pružiny, která je při porovnání sil jedinou neznámou.

$$m_C = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 \quad (1.4)$$

$$m_C = 41 + 9,5 + 1,4 + 22 + 28 = 101,9 \text{ kg}$$

Celkovou hmotnost soustavy m_C získáme jako součet jednotlivých komponent, kterými je tvořena. První komponentou je rám m_1 . Rám je z oceli a je dutý. Přibližná hmotnost m_1 je 41 kg. Hmotnost m_2 udává hmotnost tyčí, které jsou přivařené k rámu. Tyče jsou taktéž tvořené z oceli a jsou duté. Hmotnost m_2 je 9,5 kg. Třetí součástí jsou samotné kuličky, jeden přípravek obsahuje 100ml kuliček, kuličky jsou z ocelového granulátu, hmotnost m_3 kuliček v obou přípravcích je 1,4 kg. Poslední komponentou je mechanismus společně s přípravkem a zpevňovanou součástí. Hmotnost dosavadně nejtěžšího používaného přípravku společně se zpevňovanou součástí je 12 kg. Hmotnost zvolené děličky, na kterou bude přípravek upnut a díky které bude během procesu rotovat, je 7,5 kg. Hmotnost zbylé části mechanismu by neměla překročit 2,5 kg, celkem je hmotnost m_4 tedy 22 kg. Poslední důležitou součástí soustavy je asynchronní motor, podle předběžných propočtů bude zapotřebí motor s hmotností m_5 28 kg.

$$E_p = m_C \cdot g \cdot h \quad (1.4)$$

$$E_x = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2 \quad (1.5)$$

$$E_x = \frac{1}{2} \cdot 86000 \cdot 0,011^2 = 5,2 \text{ J}$$

Největší zátěž bude vyvinuta na asynchronní motor v moment, kdy kmitající soustava dosáhne dolní amplitudy. V tomto bodě bude polohová energie soustavy E_p nulová, výška h v rámci kmitání se bude rovnat nule, zároveň bude dosaženo maximální energie pružiny E_x . Energii pružiny spočítáme pomocí celkové tuhosti pružin k a změně délky Δx . Změna délky pružiny je dána součtem amplitud kmitání. Amplituda kmitání je 5,5 mm.

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (1.6)$$

$$v = \frac{s}{\frac{T}{2}} \quad (1.7)$$

$$E_{kk} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot m_3 \cdot v^2 = 0,61 J$$

Dalším faktorem, který musí být brán v potaz, je energie kuliček pohybujících se napříč přípravkem. V amplitudě kmitání musí stěna přípravku nejen zastavit dopadající kuličky, ale také jim dodat dostatečnou energii pro pohyb opačným směrem. Pro výpočet energie použijí již zjištěnou hmotnost m_3 kuliček. Rychlost v kuliček odpovídá rychlosti kmitání celé soustavy. Soustava urazí dráhu s , která udává vzdálenost mezi amplitudami kmitání, tedy 11 mm. Čas, za který tuto vzdálenost zdolá je půl periody kmitání.

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.8)$$

$$t = \frac{T}{4} = \frac{1}{120} s \quad (1.9)$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E_x + E_{kk}}{t} = 697,2 W = 0,697 kW$$

K výpočtu příkonu soustavy je třeba zjistit čas, za který musí být vyvinuta potřebná energie. Nejprve získám periodu kmitání T z frekvence kmitání soustavy. Energii musí být motor schopný vyvinout za půlku „kyvu“, výsledný čas t je čtvrtina periody. Výkon P nebere v potaz účinnost asynchronního motoru ani rezervu pro případné větší zatížení zařízení v budoucím provozu. Rezervu volím 30% z požadovaného výkonu. Celkový výkon, na základě kterého bude vybrán odpovídající asynchronní motor, je ale vyšší. Obecně se doporučuje zvolit ASM s výkonem o 30-40% vyšším. Takovýto ASM je zatížen při provozu přibližně na 75% své kapacity. Důvodem je pak průběh účinnosti ASM a jeho vývoj při různém zatížení. Při zatížení 75% je účinnost stejná nebo dokonce i vyšší, než při zatížení 100%. Toto opatření také zvyšuje samotnou životnost asynchronního motoru. Pro návrh nového zařízení použijí ASM s minimálním výkonem 1,2 kW. [1]

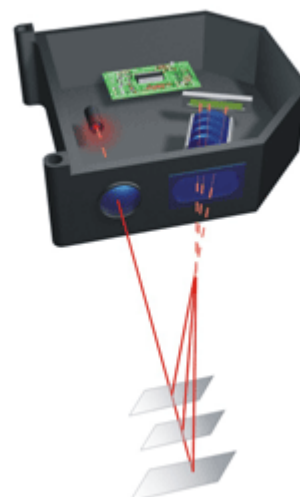
5.2 Volba součástí použitých pro navrhované zařízení

5.2.1 Snímač výchylky kmitání

Pro navrhované zařízení jsem se rozhodl použít kompaktní laserový snímač polohy ILD1320 (viz Obr. 15), který umožní svými vlastnostmi poskytnout navrhovanému zařízení jak zpětnou vazbu vzhledem k frekvenci kmitání stroje, tak zároveň přinese i podrobnější informace o průběhu procesu. Vybraný akcelerometr fungujícím na principu laserové triangulace (Obr. 14) a s měřícím rozsahem až 100 mm může být umístěn po rámem tak, aby mohl snímat kmitající rám pohybující se v ose snímání. Vzhledem k faktu, že se jedná o laserový snímač se vzorkovací frekvencí 2 kHz, nebude problém zaznamenat podrobnější informace o pohybu soustavy s frekvencí v řádu desítek Hz. Výsledkem snímání bude křivka, která by měla nabývat tvaru sinusoidy. Z této křivky pak lze nejen zjistit, jestli stroj kmitá s odpovídající frekvencí, ale například i jakého zrychlení soustava dosahuje. [17] [18]

Parametry:

- Vzorkovací frekvence 2 kHz
- Linearita od 12 μm
- Nastavitelný analogový výstup
- Vstup pro spouštěcí signál
- Měřící rozsahy 10/25/50/100 mm
- Rozhraní RS422



Obr. 16 Princip triangulace [18]



Obr. 17 Kompaktní laserový snímač polohy ILD1320 [17]

5.2.2 Asynchronní motor

Pro pohon zařízení jsem se rozhodl zvolit vysokofrekvenční vibrační motor ITV-VR/1210-S08 od firmy ItalVibras (Obr. 16). Motor splňuje jak výkonnostní podmínky, tak i rozměrové vlastnosti. Výhodou oproti motorům podobného typu je především jeho hmotnost. [21]

Parametry:

- Odstředivá síla 15,4 kN
- Otáčky za minutu 0 – 6 000 rpm
- Hmotnost 23 kg
- Maximální příkon 1 200 W
- Maximální rozměry 289x216,5x180 mm



Obr. 18 Elektromotor ITV-VR/1210-S08 [22]

5.2.3 Frekvenční měnič

Pro regulaci frekvence kmitání bude ke stroji přiřazen frekvenční měnič. Použijí třífázový frekvenční měnič Micromaster 420 s konfigurací 6SE6420-2UD21-5AA1 (viz Obr. 17) odpovídající parametry vybranému asynchronnímu motoru. [23]

Parametry:

- Výkon 1,5 kW
- Vstupní napětí 3AC 380-480 V
- Jmenovitý vstupní proud 3,9 A
- Jmenovitý výstupní proud 4 A
- Krytí IP20
- Výstupní kmitočet 0-650 Hz
- Digitální vstup 3x
- Analogový vstup 1x



Obr. 19 Frekvenční měnič značky Siemens [23]

5.2.4 Dělička

Rotaci nakloněného přípravku zajistí otočný stůl HV-4 od firmy Vertex. Stůl je zobrazen na Obr. 18. Maximální hmotnost součásti upnuté na děličce je při upnutí v horizontální pozici 35 kg a ve vertikální poloze 18 kg. Hmotnost aktuálně nejtěžšího přípravku i s obsahem je 12,7 kg, což ponechává dostatečnou rezervu do budoucna pro případné hmotnostně náročnější součásti. Od otáčecího stolu bude odejmut manuální pohon pro otáčení a přimontován krokový motor, který zajistí dostatečnou rotaci přípravku. Na Obr. 20 je zobrazen otočný stůl HV-4. [24]



Obr. 20 Otočný stůl HV-4 [24]

6 Funkčnost návrhu a jeho realizace

6.1 Proveditelnost sestavení navrhovaného řešení

Během tvorby CAD modelu jsem odhalil nedostatky a rozměrové chyby v rámci navržených součástí. Díky tomu by neměl nastat problém při samotném sestavování stroje jako takového. Největší riziko vidím v soudržnosti konstrukce, zdali bude dostatečně pevně držet pohromadě i při vystavení takovému zatížení. Hmotnost celé kmitající soustavy se pohybuje okolo 100 kg a kmitá s frekvencí až 30 Hz. Proto by bylo pro zvýšení bezpečnosti vhodné co nejvíce spojit jednotlivé části konstrukce a upevnit celou konstrukci pevně k zemi. Dalším problémem by mohl být komplikovaný mechanismus za účelem zvýšení účinnosti zpevňování. Nezbytné je pro proces, aby jednotlivé části mechanismu (destička zapříčiňující naklopení, dělička, přípravek) hladce navazovaly jedna na druhou a nedocházelo tak k postupnému rozkmitání mechanismu v jiných směrech, než je směr kmitání, což by způsobilo rozpadnutí mechanismu. K tomu by mohl narávat i fakt, že celá soustava je dost vysoká, a tím pádem i její těžiště je vysoko.

6.2 Reálnost dostání požadovaným výsledkům

Dostání požadovaným výsledkům se odvíjí od docílení požadované rychlosti soustavy při kmitání. Tato rychlost vychází z frekvence a dráhy kmitání. Aby bylo dosaženo požadovaných hodnot těchto parametrů, musí mít stroj dostatečný výkon. Pokud má tedy stroj dostatečný výkon, mělo by být dosaženo předurčených výsledků. Sledování průběžných hodnot těchto parametrů během procesu zpevňování bude možné pomocí kompaktního laserového snímače polohy. Samotný asynchronní motor má vytvořenou rezervu 30%, kdyby nebyla míra zpevnění dostatečná nebo by bylo potřeba ji navýšit, existuje stále možnost pomocí frekvenčního měniče navýšit frekvenci a tudíž i zvýšit rychlost, se kterou dopadají kuličky na zpevňovanou součást. Optimální úhel pro co nejrovnoměrnější zpevnění bude muset být otestován experimentálně. Optimální úhel dopadu kuliček se udává mezi 50 – 80°, ideální úhel naklopení by se tedy měl pohybovat mezi 10 - 40°.

7 Stanovení cenového rozsahu realizace

Důležitou stránkou návrhu zařízení je také ekonomické zhodnocení projektu. Podstatné je především vyčíslení celkové částky pro pořízení stroje. Ekonomické hledisko projektů se stává ve většině firem prioritou číslo jedna a hraje zásadní roli při rozhodování.

7.1 Vyčíslení ceny jednotlivých komponent

První komponentou je kompaktní laserový snímač polohy ILD1320 od firmy MICRO-EPSILON. Cena tohoto snímače se pohybuje kolem 21 100 Kč za kus. Sám výrobce dále doporučuje v rámci příslušenství pořídit převodník RS422 na USB, který slouží hlavně k připojení snímače k počítači přes USB a jeho následné nastavení pomocí softwaru nebo webového rozhraní. K použití jsou různé funkce, například průměrování, mastering, či nastavení vzorkovací frekvence. Cena příslušenství je přibližně 3 600 Kč.

Pro rotaci přípravku jsem se rozhodl pořídit otočný stůl HV-4 od firmy Vertex. Vzhledem k tomu, že se jedná o manuálně poháněný přístroj, bude nutné odinstalovat otočnou kliku a namontovat na její místo krokový motor. Cena otočného stolu u českého prodejce AlfaTech je 6 600 Kč.

K regulaci frekvence kmitání soustavy jsem zvolil frekvenční měnič MM420 6SE6420-2UD21-5AA1 od výrobce Siemens. Jedná se o frekvenční měnič se třemi digitálními a jedním analogovým vstupem, což umožňuje při pořízení většího počtu strojů pro vibrační zpevnování ovládat více strojů pomocí jednoho frekvenčního měniče. Částka pro zakoupení jednoho měniče je 13 750 Kč.

Vysokofrekvenční vibrační motor ITV-VR/1210-S08 od firmy ItalVibras s maximálním příkonem až 1,2 kW bude pohánět celou soustavu a bude připevněn zespodu rámu. Na rozdíl od produktů od jiných výrobců, tento se vyznačuje nižší hmotností. Firma ItalVibras bohužel ve svých katalozích neuvádí ceny svých produktů a nepodařilo se mi zjistit cenu produktu. Produkty s obdobným výkonem se u jiných společností pohybují s cenou 300 – 550 USD, v přepočtu na české koruny přibližně 6 500 – 12 000 Kč.

7.2 Celkový cenový rozsah

Tabulka 3. Cenový rozsah navrhovaného zařízení

Komponenta	Cena [Kč]
Kompaktní laserový snímač polohy ILD1320 včetně příslušenství	24 700
Otočný stůl HV-4	6 600
Frekvenční měnič MM420 6SE6420-2UD21-5AA1	13 750
Vysokofrekvenční vibrační motor ITV-VR/1210-S08	6 500 – 12 000
Pružiny	6 000
Ostatní komponenty (rámy, tyče, kostra stroje,..)	35 000 – 50 000
Celková cena	92 550 – 113 050

8 Závěr

Cílem předložené bakalářské práce bylo zhodnocení vlivu jednotlivých parametrů, které ovlivňují proces deformačního zpevňování. Dalším cílem bylo navržení inovací pro návrh nového zařízení na vibrační kuličkování, vytvoření CAD modelu a následná volba a popis jednotlivých vybraných komponent.

V rámci teoretické části byly blíže specifikovány pracovní parametry deformačního zpevňování a následně popsán jejich dopad na proces samotný. Díky tomu bylo možné lépe pochopit, jak moc velký vliv mají dané součásti zařízení na výsledek procesu, a jaká jim má být tudíž přiřazena priorita. Největší vliv na proces má rychlost kuliček dopadajících na povrch materiálu a úhel, se kterým dopadají. Další důležité vlastnosti týkající se kuliček jsou průměr kuliček, jejich tvar či z jakého materiálu jsou tvořeny. Pro požadovaný výsledek je nejdůležitější nalezení optimální rovnováhy mezi volbou velikostí jednotlivých parametrů.

Návrh obsahuje několik inovací oproti stávajícímu zařízení. Pod rám je umístěn laserový snímač polohy, přípravek spolu se zpevňovanou součástí je možné naklopit a rotovat s ním. Další důležitou inovací je frekvenční měnič napojený na vysokofrekvenční vibrační motor. Tyto inovace mají za cíl především zefektivnění procesu, rozšíření možností pro deformační zpevňování a získání většího přehledu o konkrétních hodnotách veličin a průběhu procesu, což by mohlo vést k detailnějšímu pochopení procesu a dalším vylepšením zařízení. Pro ilustraci inovací byl vytvořen CAD model.

Vrcholem práce bylo zamyšlení nad vytvořeným návrhem. Vzhledem k vytvoření CAD modelu by mělo být sestavení zařízení proveditelné. Jediné riziko vidím v bytelnosti konstrukce, zdali je konstrukce schopná vydržet takové zatížení. Dle výpočtů a parametrů navržených strojních součástí by stroj měl bez problémů dostát požadovaných výsledků. Výkon nezbytný pro chod byl stanoven na 0,7 kW. K této hodnotě byla přidána rezerva 30% pro případ nárůstu požadavků v budoucnu. Při volbě motoru bylo nutné přihlídnout k faktu, že asynchronní motory dosahují nejvyšší

efektivity při 75% účinnosti. Celkový maximální příkon byl stanoven na 1,2 kW. Na závěr byl stanoven cenový rozsah, ve kterém by se měla pohybovat cena pořízení navrženého zařízení. Odhad zahrnuje jak cenu použitých komponent v rámci návrhu stroje, tak i náklady na pořízení vnější konstrukce zařízení. Cena stroje by se měla pohybovat v rozmezí 92 550 – 113 050 Kč.

9 Zdroje

- [1] MÁDL, Jan a kol. 2000. *Technologie obrábění*. 1. díl... Praha: ČVUT.
- [2] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I* [online]. Brno, 2005 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf. Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program. VUT.
- [3] LIPKA, Ondřej. *Dokončovací technologie využívající plastickou deformaci povrchu* [online]. Brno, 2013 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/26246/2013_BP_Lipka_Ondrej_1393_97.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. VUT.
- [4] HAVELKA, Tomáš. Obrábění válečkováním. *MM Spektrum* [online]. 2004, **2004**(4), 1 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim.html>
- [5] Válečkovací nástroje. *Sugino* [online]. Praha: Sugino Machine Limited, 2009 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.sugino.cz/index.php/cs/produkty/valeckovaci-nastroje>
- [6] Diamantové nástroje. *ALBA precision* [online]. Brno: ALBA precision [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://albaprecision.cz/cz/portal/produkty/baublies/diamantove-nastroje/>
- [7] Using the Elliott Diamond Burnishing Tool. *Bencere* [online]. ALBA precision [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://www.bencere.co.uk/products/diamondburnishing/usingtool.html>
- [8] Diamond burnishing tools. *MECH-INDIA* [online]. Mumbai: MECH-INDIA [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://www.mechindia.com/cat/pdfs/diamondbt.pdf>
- [9] Shot peening. *Curtiss-Wright* [online]. Curtiss-Wright [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://cwst.com/shot-peening/overview/>
- [10] Tryskací systémy. *Tryskání-pískování* [online]. Valašské Meziříčí: GDS Technology [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://tryskani-piskovani.gds.cz/tryskaci-systemy>

- [11] Shot peening. *Engineered Abrasives* [online]. Alsip: Engineered Abrasives [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.engineeredabrasives.com/what-is-shot-peening.html>
- [12] SHOT PEENING RESIDUAL STRESSES. *Stresstech* [online]. Stresstech [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.stresstech.com/en-fi/know-how/articles/stresstech-bulletin-14-shot-peening-residual-stresses/>
- [13] Shot peening. *OSK-Kiefer GmbH* [online]. OSK-Kiefer [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://osk-kiefer.de/en/technology-delivery-program/shot-peening>
- [14] VONDRÁK, Tomáš. *Integrita povrchu po dokončovacích zpevňovacích operáciách* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66315/F2-DP-2016-Vondrak-Tomas-Integrita%20povrchu%20po%20dokoncovacich%20zpevnovacich%20operacich_Vondrak.pdf?sequence=1. Diplomová práce. ČVUT.
- [15] HOW LASER PEENING WORKS. *LSP Technologies* [online]. Dublin: LSP Technologies [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.lsptechnologies.com/how-laser-peening-works.php>
- [16] Výběr abrazivního materiálu. *TRYTECH* [online]. Pelhřimov: TRYTECH, 2018 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.trytech.cz/vyber-zarizeni/vyber-abrazivniho-materialu/>
- [17] Laserová triangulace. *MICRO-EPSILON* [online]. Bechyně: MICRO-EPSILON [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/service/glossar/Laser-Triangulation.html>
- [18] Kompaktní laserový snímač polohy ILD1320. *MICRO-EPSILON* [online]. Bechyně: MICRO-EPSILON [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: https://www.micro-epsilon.cz/displacement-position-sensors/laser-sensor/optoNCDT_1320/
- [19] Frekvenční měniče - proč a jak. *Elektromotory* [online]. Mohelnice: D2Drives [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/podpora/poradna-neboli-jak-na-to/frekvencni-menice-proc-a-jak>
- [20] *Uspořádání a princip činnosti frekvenčních měničů* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://archiv.eatonelektrotechnika.cz/priruckazapojeni/drives079.html>

- [21] ITV-VR/ITVAF. *ItalVibras* [online]. ItalVibras [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: http://www.italvibras.it/wp_ita/wp-content/themes/constre-1/pdf/ENG/itv-vr/1.pdf
- [22] *ITV-VR* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://www.italvibras.it/products/high-frequency-electric-vibrators/itv-vr/?lang=en>
- [23] 6SE6420-2UD21-5AA1. *Elektromotory* [online]. D2Drives [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/goods/index/id/535>
- [24] VERTEX Mini Rotary Table, HV-4. *Vertex-TW* [online]. VERTEX MACHINERY WORKS [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: http://www.vertex-tw.com.tw/products/products_list.php?cid=18

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Nástroj pro válečkování [5]	15
Obr. 2 Nástroj pro hlazení [6]	16
Obr. 3 Princip vzniku ZN [9]	18
Obr. 4 Shot peening v praxi [13]	20
Obr. 5 Princip metody laser peeningu [15]	22
Obr. 6 Abrasivní kuličky z ocelového granulátu [16]	24
Obr. 7 Stávající zařízení	25
Obr. 8 Uložení rámu	26
Obr. 9 Princip frekvenčního měniče [20]	27
Obr. 10 Rám s upevněnými destičkami	28
Obr. 11 Soustava s děličkou připravená k upnutí	29
Obr. 12 Kompletní soustava	29
Obr. 13 Uložení závaží na rámu	30
Obr. 14 Detail uložení soustavy	30
Obr. 15 CAD model návrhu stroje	31
Obr. 16 Princip triangulace [18]	35
Obr. 17 Kompaktní laserový snímač polohy ILD1320 [17]	36
Obr. 18 Elektromotor ITV-VR/1210-S08 [22]	37
Obr. 19 Frekvenční měnič značky Siemens [23]	38
Obr. 20 Otočný stůl HV-4 [24]	38

11 Seznam tabulek

<u>Tabulka 1. Pracovní podmínky válečkování [2]</u>	13
<u>Tabulka 2. Vlastnosti laseru Nd:YAG [14]</u>	21
<u>Tabulka 3. Cenový rozsah navrhovaného zařízení</u>	40