



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO OBRÁBĚNÍ TVAROVÉ SOUČÁSTI

DESIGN OF CLAMPING DEVICE FOR MACHINING OF MANIFOLD PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Foltýn

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav konstruování
Student:	Jan Foltýn
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Petr Svoboda, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

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:

Konstrukce přípravku pro obrábění tvarové součásti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Díky rozvoji technologií a vysoké poptávce narůstá výroba komponentů vyráběných z polotovarů na CNC obráběcích strojích. Realizace každé operace obrábění vyžaduje určité konstrukční a technologické uspořádání obrobku. Konstrukce frézovacího přípravku pro CNC obráběcí stroj umožní progresivní výrobu.

Typ práce: vývojová – konstrukční

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je návrh konstrukce systému upínání tvarové součásti na frézce s ohledem na minimální náklady a prostoje při sériové výrobě pro automobilový průmysl.

Dílčí cíle bakalářské práce:

analyzovat problém a provést bibliografickou rešerši existujících řešení upínání pro sériovou výrobu, vypracovat koncepční návrhy možných řešení, rozpracovat vybraný návrh do podoby výkresové dokumentace.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, digitální data.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2019.pdf

Seznam doporučené literatury:

BAKKER, O.J., T.N. PAPASTATHIS, A.A. POPOV a S.M. RATCHEV. Active fixturing: literature review and future research directions. International Journal of Production Research. 2013, 51(11), 3171-3190. DOI: 10.1080/00207543.2012.695893. ISSN 0020-7543.

ŘASA, J. Strojírenská technologie 4: Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže. Praha: Scientia, 2003. ISBN 978-80-7183-284-3.

HOFFMAN, E.G. Jig and fixture design. 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2004. ISBN 978-1401811075.

CAMPBELL, P.D. Basic fixture design. New York, N.Y.: Industrial Press, 1994. ISBN 978-0-83-1-3052-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou upínacích přípravků. Cílem bylo navrhnout efektivní upínací řešení pro obrábění součástí na frézce. Upínací řešení bylo navrženo a posléze ověřeno sérií výpočtů. Hlavní cíl i dílčí cíle se podařilo splnit. Výstupem je návrh upínacího přípravku, který zvládne upnout zadanou součást. Následně bylo na základě výpočtů rozhodnuto o použití čtyř těchto přípravků na jednom stole obráběcího centra. Při výpočtu vhodné varianty rozvržení upínačů byl proveden odhad časové náročnosti úkonů, které provádí obsluha stroje. Práce nabízí přehled používaných materiálů a stojů v automobilovém průmyslu. Dále pak řeší upínačů a upínacích systémů. Dotýká se též problému optimalizace výroby a poptávce po možnostech, jak zrychlit výrobní proces.

KLÍČOVÁ SLOVA

upínací přípravek, návrh přípravku, automobilový průmysl, hliníkové součásti automobilu, obráběcí centrum, optimalizace výroby

ABSTRACT

This thesis deals with clamping fixtures. It aims to design an effective clamping solution for machining parts on a milling machine. The clamping solution was designed and then verified by a series of calculations. The main goal and partial objectives were fulfilled. The output is the design of fixture, which can clamp given part. Subsequently, based on the calculations it was decided to use four of these fixtures on one machining table. When calculating the appropriate variation of the fixture layout, an estimate of the time required for the operations performed by the machine operator was made. The thesis offers an overview of the materials used in the automotive industry. Furthermore, the study of clamps and clamping systems. It also touches the problem of optimizing manufacturing process and demand for ways to speed up the manufacturing process.

KEYWORDS

clamping fixture, design of fixture, automotive industry, aluminium parts of automobile, milling centre, optimization of manufacturing process

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FOLTÝN, Jan. *Konstrukce přípravku pro obrábění tvarové součásti* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116301>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Petr Svoboda.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Svobodovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a ochotu při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu. V neposlední řadě pak Bc. Jaroslavu Kantorkovi za poskytnutí podkladů pro výpočet výrobní kapacity.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením pana doc. Ing. Petra Svobody, Ph.D. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	13
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ	14
2.1	Slitiny hliníku v automobilovém průmyslu	14
2.2	Stroje na obrábění hliníkových součástí	17
2.2.1	HYDROMAT HB 45-12	17
2.2.2	CHIRON 12/15/18 Series	18
2.2.3	Matsuura MAM72-63V	19
2.2.4	HAAS VF-5/50	20
2.2.5	HYUNDAI WIA FD Series	21
2.2.6	QUASER Pallet MV154APC	21
2.3	Analýza upínacích systémů	23
2.3.1	Komerční upínací prvky	23
2.4	Teorie upínacích přípravků	26
2.4.1	Význam přípravků ve výrobě	26
2.4.2	Komerčně dostupné modulární prvky přípravků	27
2.4.3	Požadavky na přípravky	28
2.4.4	Počítačem generované přípravky	28
2.4.5	Komerční upínací přípravky	29
2.4.6	Analýza patentových řešení	31
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	42
3.1	Analýza problému	42
3.2	Cíl práce	43
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	44
4.1	Koncept 1	44
4.2	Koncept 1.1	45
4.3	Koncept 1.2	45
4.4	Koncept 2	46
4.5	Koncept 3	47
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	48
5.1	Definice materiálu a vstupních součástí	49
5.2	Výkyvné čelisti	51

5.3	Základna	52
5.4	Středové těleso	53
5.5	Výpočet řezných sil a určení upínací síly	54
5.6	Sestavení	57
5.7	Optimalizace výrobního procesu	58
5.8	Zjednodušený výpočet výrobní kapacity	65
5.9	Efektivní rozvržení	66
6	DISKUZE	67
7	ZÁVĚR	68
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	75
9.1	Symboly a veličiny	75
9.2	Zkratky	77
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	78
11	SEZNAM TABULEK	81
12	SEZNAM PŘÍLOH	82
12.1	Výkresy	82
12.2	Tabulky	82
12.3	Katalogy	82

1 ÚVOD

Práce je zaměřena na problematiku upínání tvarově složitých součástí při frézování. Každá součást vyráběná třískovým obráběním se musí nějakým způsobem upnout, tak, aby se při odebrání materiálu nemohla hnout. Upínací možnosti a systémy budou v této práci podrobně rozebrány.

Přípravky umožňují samotné upnutí součásti stejně jako zefektivnění výroby součásti. Odstraňují nepřesnosti snížením počtu potřebných přeupnutí. Zvyšují výrobní rychlost součástí. Umožňují dosahovat vysokých přesností vyráběných součástí. Vhodně zvolený přípravek též umožňuje snížit nároky a tím i náklady na obsluhu. V této práci byla snaha navrhnout přípravek s ohledem na výše zmíněné požadavky. Přípravek úzce souvisí s technologií výroby a je tedy potřeba na ni při návrhu dbát.

Hliníkové součásti automobilů jsou vyráběny v obrovském množství a každá zbytečná sekunda prostoje se nepříznivě projeví na ceně výrobku. Optimální řešení, které bude splňovat výrobní nároky a zároveň co nejkratší výrobní proces, bude tím požadovaným výstupem této práce. V ideálním případě by mělo zefektivnit výrobu do té míry, že by se kompletně eliminovaly časy, kdy je řezný proces zastaven.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Cílem práce je navrhnout upínací přípravek, který zajistí efektivní obrábění zadané součásti. Součást je spojovacím prvkem kompresoru s potrubím v klimatizačním okruhu automobilu. K zajištění její funkce bude tedy potřeba lehký materiál schopný odolávat chladicímu médiu, provoznímu tlaku a který je zároveň dobře svařitelný. Další podstatnou vlastností bude obrobiteľnosť, pretože součást bude vyráběna frézováním na obráběcím centru. Strojní časy budou podmíněny dispozicemi obráběcího centra. Výběr obráběcího centra bude podmíněn co nejrychlejšími časy výměny nástrojů, rychloposuvy a celkovou efektivní konstrukcí, jako např. dva obráběcí stoly, možnost přidat čtvrtou obráběcí osu nebo zařízení na výměnu palet.

2.1 Slitiny hliníku v automobilovém průmyslu

Slitiny hliníku mají své zastoupení v automobilovém průmyslu zejména kvůli neustálému hledání lehčích materiálů. Počet hliníkových výrobků a součástí v automobilovém průmyslu neustále roste. Růst je způsoben širokým spektrem možných polotovarů a výrobků. Toto spektrum umožňuje navrhovat optimální a zároveň i cenově efektivní řešení. Použití slitin hliníku při výrobě je možno rozdělit na dvě skupiny [1]. První skupinou jsou součásti interiéru vozidla (např. součásti sedadel, palubní desky, ramena pedálů, vnitřní rámy dveří, výztužné sloupky, navíječe pásů, ...). Do druhé skupiny náleží součásti exteriéru vozidla (kryt motoru, držák chladiče, sací potrubí, písty, chladiče, blok motoru, olejová vana, ...). Podle technologie výroby se slitiny hliníku dále rozdělují na tvářené a lité [1]. Součást se nachází v okruhu klimatizace automobilu.

Polotovarem vyráběné součásti je profil tažený za studena. Ten se bude následně třískově obrábět na frézce. Při montáži součásti dojde k jejímu svaření se zbytkem potrubního systému, ve kterém bude proudit chladivo. Potrubí je možno natočit do požadovaného směru díky gumové hadici. Tyto provozní podmínky vyžadují od materiálu obrobiteľnosť, svařitelnost a korozivzdornost. Následující výčet slitin se zaměřuje na slitiny ke tvářením (v pořadí čtvrté písmeno v názvu slitiny W) [1].



obr. 2-1 Obrázek potrubního celku klimatizace [2].

EN AW-2024

Slitina Al-Cu-Mg. Jedná se o slitinu s vysokou pevností ($210 \leq R_m \leq 530$ MPa), ale s nízkou odolností proti korozi [3]. Výrobky pracující při teplotě nad 100 °C musí být vytvrzovány za tepla. Maximální provozní teplota činí 150 °C. Je nevhodná ke svařování [4]. Obrobitelnost řeznými nástroji je po vytvrzení dobrá. Používá se na středně a silně namáhané součásti, u nichž se požaduje zvýšená životnost při proměnném namáhání nebo pod vlivem krátkodobě zvýšené teploty, pro letadla (kostry, přepážky, žebra, nosníky), kolejová vozidla, automobily a jiné dopravní prostředky [5].

EN AW-3103

Slitina Al-Mn. Je to slitina s průměrnou pevností ($130 \leq R_m \leq 220$ MPa), avšak s dobrou odolností proti korozi i bez povrchové úpravy [6]. Nelze ji tepelným zpracováním podstatně zpevnit (vytvrdit) [3]. Materiál je pevnější než čistý hliník při zachování vysoké tvárnosti. Maximální provozní teplota činí 190 °C. Je velmi dobře svařitelný všemi způsoby. Používá se ve stavu měkkém nebo tvářeném za studena na málo namáhané výrobky připravené tažením, ohýbáním nebo svařením. Typicky se používá na výrobu svařených nádrží, potrubí, výměníků tepla, chladičů pro automobily a traktory, výplně kola. Z drátů se vyrábějí nýty [5].

EN AW-5754

Slitina Al-Mg [3]. Středně pevný materiál ($180 \leq R_m \leq 250$ MPa), který je odolný vůči korozi a má velmi dobrou chemickou odolnost [6]. Je velmi dobře svařitelný všemi způsoby. V měkkém stavu je obrobitelnost nevyhovující, ale v tvrdším stavu již dobrá. Používá se na středně namáhané konstrukce, svařované součásti, které mají odolávat korozi a mořské vodě. Nádoby ze žíhaného a deformačně zpevněného materiálu mohou být vystaveny tlaku až 1,6 MPa při teplotách od -196 až do 150 °C. Nejčastěji se používá na výrobu potrubí, nádob na tekutiny, výměníků tepla, součástí automobilů, plavidel, zemědělských strojů, nádrží čističek, ochranných krytů [5].

EN AW-6060

Slitina Al-Mg-Si. Středně pevný materiál ($180 \leq R_m \leq 350$ MPa), který je odolný vůči korozi a má dobrou chemickou odolnost [3]. Je velmi dobře svařitelný a ve vytvrzeném stavu dobře obrobitelný. Vhodný pro součásti dlouhodobě pracující při teplotách od -70 do 150 °C. Tato slitina je jedna z nejběžnějších na českém trhu [7]. Používá se na výrobu letadel, potrubí, stožárů, mostových jeřábů, rámu dveří, chladičů [6].

EN AW-6061

Slitina Al-Mg-Si. Materiál s vysokou pevností ($R_m \geq 290$ MPa), který je odolný vůči korozi a má dobrou chemickou odolnost [3]. Je dobře svařitelný a ve vytvrzeném stavu dobře obrobitelný. Oproti EN AW-6060 má vyšší mez pevnosti. V zahraničí je tento materiál považován za běžnou hliníkovou slitinu [7]. Používá se na výrobu součástí vagónů, kontejnerů, leteckých součástí, rámu kol [6].

EN AW-7075

Slitina Al-Zn-Mg. Je to jedna z nejpevnějších slitin hliníku ($200 \leq R_m \leq 580$ MPa) [3]. Snadno podléhá korozi a je obtížně svařitelná. Vhodná pro středně namáhané konstrukce. Používá se na výrobu dopravních prostředků vzdušných a kolejových, tlakových nádob, mostů v přesné mechanice, radiotechnice, raketové technice [6].

Výše uvedený výčet hliníkových slitin má za cíl zmapovat jak konvenční slitiny používané při výrobě automobilů, tak i slitiny s požadovanými vlastnostmi. Tyto vlastnosti jsou shrnuty v tabulce 2-1, která se nachází v příloze.

2.2 Stroje na obrábění hliníkových součástí

Na trhu se nachází nepřehledné množství frézovacích center. Z tohoto spektra bude vybráno několik zástupců horizontálních frézek či strojů používaných k výrobě tvarových hliníkových součástí. Hlavní důraz při výběru stroje bude kladen na efektivitu výroby, tedy co nejnižší strojní časy na výrobu součástí. Aby se docílilo co nejnižšího času stráveného upínáním nových součástí, bude spektrum dále omezeno na stroje, které podporují montáž dvou stolů/palet. Tyto systémy umožňují obsluhu upínat součásti na jedné paletě, zatímco na druhé paletě probíhá obrábění.

2.2.1 HYDROMAT HB 45-12



obr. 2-2 Obrázek transferového stroje HB 45-12 [9].

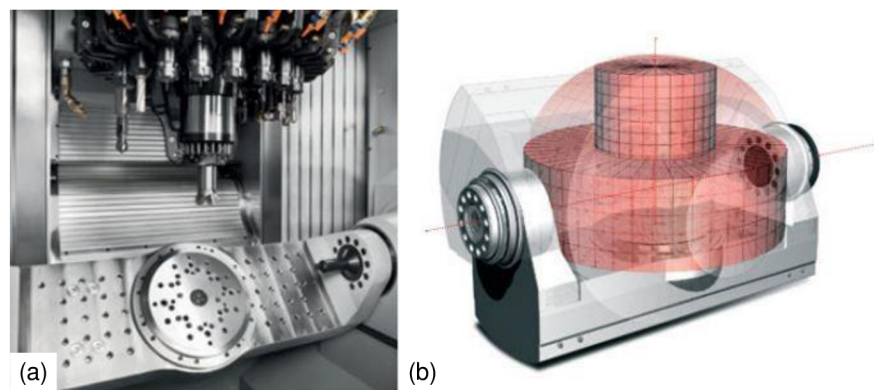
Jedná se o transferové centrum. Základem tohoto stroje je litinový prstenec, ke kterému je po obvodu pevně připevněn 12 horizontálních nástrojových vřeten. Dalších 6 nástrojových vřeten je ve vertikální poloze. Ve středu prstence se nachází 12 upínacích vřeten v otočné hlavě. Nástrojová vřetena vykonávají hlavní rotační pohyb a vedlejším pohybem je přísuv. Otočná hlava je dělicí zařízení, jejíž krok v tomto případě činí pootočení o 30°. Otočení je vykonáno s přesností 0,0002“ [9]. Současně je upnuto a obráběno 12 obrobků. Co krok dělicího zařízení, to jedna obráběcí operace. Na stroji je možno vrtat (v ose i kolmo na osu obrobku), soustružit, frézovat, řezat závity atd. Vedle nástrojových vřeten se na prstenci nachází i výměnná jednotka, která vyjme součást, otočí ji o 180° a založí zpět do upínače. Tato operace probíhá za neustálého výplachu upínače chladicí emulzí [10]. Polotovary jsou z dopravníku zakládány automatickým podavačem. Transferová centra mají využití v automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, výrobě součástí klimatizací, nástrojů, fitinků, potrubních spojek [10]. Tyto stroje snižují strojní časy, vedlejší časy, nároky na obsluhu. Tím dochází ke zvýšení produktivity. Výrobce uvádí, že výše zmíněný typ stroje je schopen každých 3,5 sekundy vyrobit jednu tvarově podobnou součást.

2.2.2 CHIRON 12/15/18 Series



obr. 2-3 Obrázek obráběcího centra CHIRON FZ12 s možnými kombinacemi stolů a vřeten [11].

Následující modely vertikálních obráběcích center od společnosti CHIRON jsou k dostání v různých kombinacích. Mohou být osazeny jedním fixním vřetenem, nebo dvěma vřeteny, stejně jako s otočným vřetenem pro pětiosé obrábění [11]. Centra jsou vybavena výměnným zařízením, ke kterému je pevně osazena buď dvojice stolů, nebo dvojice kolébkových stolů. V rámci kolébkového stolu je i rotační platforma, která přidává další možnou osu obrábění. Tyto stoly mají rozsah rotace $\pm 120^\circ$ [12]. Každý stroj řady FZ může být vybaven hydraulikou či pneumatikou pro upínací zařízení. Řada 12 zaručuje rychlou a precizní výrobu při zachování kompaktních rozměrů centra, zatímco řada 18 nabízí vyšší výkon posuvů [13]. Přehled vlastností jednotlivých modelů se nachází v tabulce 2-2 v příloze.



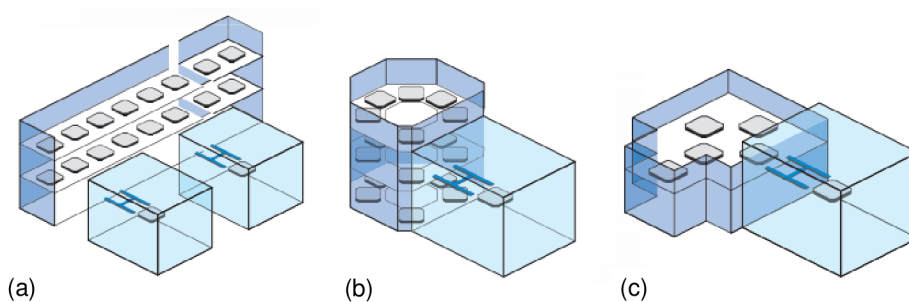
obr. 2-4 Obrázek pracovního prostoru; (a) pracovní prostor centra FZ15 FX s kolébkovým stolem [12]; (b) rozsah upínacího prostoru kolébkového stolu stroje FZ12 FX [11].

2.2.3 Matsuura MAM72-63V



obr. 2-5 Obráběcí centrum Matsuura MAM72-63V [14].

Jedná se o pětiosé vertikální obráběcí centrum. Nabízí nejvyšší výkon z řady MAM72. Je vybaveno jedním vřetenem a pevným kolébkovým stolem [14]. Součástí kolébkového stolu je rotační základna, která zároveň slouží jako upínač palet. Paleta je do obráběcího prostoru dopravena výkyvnými rameny ze zásobníku palet. Systém výkyvných ramen je patentem společnosti Matsuura, který se vyznačuje nízkou poruchovostí a značným zkrácením času výměny palet [15]. Použití palet umožňuje vytvoření efektivní automatizované linky, kdy palety mohou být z dopravníku zakládány pomocí robotu. Toto řešení však vyžaduje osazení svěraku či upínacího přípravku na každou z palet v oběhu [15]. Specifikace centra se nachází v tabulce 2-3 v příloze.



obr. 2-6 Druhy paletových zásobníků obráběcích center Matsuura; (a) lineární paletový systém - 17 a více palet; (b) paletový systém do věže - 18 palet, (c) jednopatrový paletový systém - 6 palet [15].

2.2.4 HAAS VF-5/50



obr. 2-7 Pětiosé obráběcí centrum HAAS VF-5/50 [16].

Je to tříosá frézka s jedním vřetenem a jedním rovinným stolem. Společnost HAAS nabízí možnost rozšíření počtu obráběcích os použitím kolébkových stůlů [16]. Ty se montují přímo na základní stůl do T-drážek. Tento model by mohl být rozšířen o kolébkový stůl TR160 nebo TR210, kde číslo znamená průměr upínací platformy. Obráběcí centrum má pouze zdroj hydrauliky [16]. Stroje HAAS jsou kompatibilní s měničem palet od společnosti MIDACO [17]. Ten nabízí zvýšení efektivity výroby. Měníč je venkovní modul připojený k bočním dveřím frézky. Modul obsahuje dvě palety, které po lineárním vedení zajiždějí do obráběcího prostoru frézky [18]. Na paletě, která je vně frézky, může obsluha provádět výměnu obrobků, zatímco na paletě uvnitř frézky probíhá obrábění. Bezpečnost práce je zajištěna zakrytáváním prostoru, ve kterém se nacházejí palety [19]. Vlastnosti frézky při použití měniče palet jsou popsány v tabulce 2-4 v příloze.



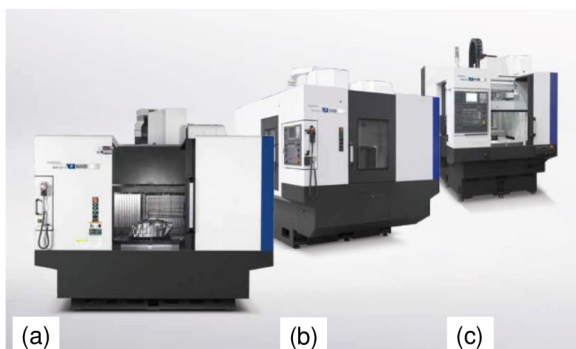
(a)



(b)

obr. 2-8 Příslušenství k obráběcímu centru HAAS VF-5/50; (a) kolébkový stůl TR210 [20]; (b) měnič palet AS5025SDCECI [18].

2.2.5 HYUNDAI WIA FD Series



obr. 2-9 Stroje série FD; (a) F600D; (b) F500D; (c) F410D [21].

Série FD od společnosti Hyundai WIA nabízí tříosé frézky vybavené dvěma stoly. V této kategorii je na výběr ze tří strojů. V každé variantě se jedná o vertikální frézky s jedním vřetenem. Zaručují vysokou přesnost výroby při zachování vysoké rychlosti [22]. V základu jsou frézky vybaveny vzduchovou jednotkou. Je však možnost stroje dovybavit hydraulickou upínací jednotkou. Při potřebě obrábět ve čtyřech osách lze také osadit NC rotační stůl. Nejnižší model F410D nabízí vysoký výkon vřetene a rychlé výměny stolu a nástrojů. Oproti modelům F500D a F600D však nedisponuje tak velkými stoly [21]. Přehled frézek se nachází v tabulce 2-5 v příloze.

2.2.6 QUASER Pallet MV154APC



obr. 2-10 Obráběcí centrum QUSER MV154APC [23].

Jedná se o vysokorychlostní obráběcí centrum. Je osazeno jedním vertikálním vřetenem a v základu 2 paletami. Je k dostání ve více variantách. Economic je základní variantou. Performance nabízí nejvyšší řezný výkon [23]. Super high speed vyniká v rychlostech posuvu, vřetena a výměny nástrojů. Palety jsou uchyceny k otočnému mechanismu hydraulickým upínačem. Bez použití dalších rozšíření je možno obrábět pouze ve třech osách. Tento stroj je vybaven pouze hydraulickým zdrojem [24]. Tabulka vlastností center je v tabulce 2-6 v příloze.

tab. 2-7 Souhrnná tabulka důležitých vlastností popsaných strojů.

Stroj	Čtyřosé obrábění v základu	Výměna obrobků za provozu	Zdroj hydrauliky	Zdroj pneumatiky
HYDROMAT HB 45-12	×	✓	✓	✓
CHIRON	✓	✓	✓	✓
Matsuura MAM72-63V	✓	✓	✓	×
HAAS VF-5/50	×	✓	✓	×
HYUNDAI WIA FD	×	✓	✓	✓
QUASER Pallet MV154APC	×	✓	✓	×

2.3 Analýza upínacích systémů

Upínač či upínací systém je zařízení, které vytváří sílu potřebnou k překonání řezné síly [25]. Upínací síla musí držet obrobek ve fixní poloze a nesmí při jejím působení docházet k poškozování povrchu součásti. Je požadováno rychlé upínání a otevírání z důvodu minimalizace strojních časů [25].

Upínací síla by měla působit přímo proti podpěrným a ustavovacím plochám. Její vyvození může být zajištěno manuálně (šrouby, páky, atd.) nebo vyvozením hydraulického či pneumatického tlaku. Manuální upínače však mají nevýhody jako nestálá a špatně odhadnutelná upínací síla, dlouhý čas potřebný k upnutí součásti a rostoucí únava operátora [25]. Naopak použití hydraulického nebo pneumatického upínače většinu těchto nedostatků eliminuje. Je to však dražší řešení, které vyžaduje více prostoru a častější údržbu.

2.3.1 Komerční upínací prvky

Hydraulický upínač ROEMHELD



obr. 2-11 Upínač od společnosti ROEMHELD [26].

Tyto hydraulické upínače nacházejí uplatnění tam, kde upnutí součásti za horní plochu není možné, či je nežádoucí [27]. Tvar upínací páky může být podle potřeby upraven broušením. Upnutí je způsobeno rotací páky v čepu. Výrobce udává, že horizontální složka síly je průměrně 94% a vertikální zhruba 34% celkové upínací síly [27]. Ovládací píst je jednočinný. O vrácení pístu do neupnuté polohy se stará pružina.

tab. 2-8 Tabulka parametrů upínače ROEMHELD [27].

Katalogové číslo	Zdvih	Přidrzná síla	Rozměry (x, y, z)		
	mm		mm	mm	mm
1371010	8	8,5	68	50	32
1373010	10	20	90	60	40
1374010	10	40	96	80	50

Pneumatický upínač s posuvnou tyčí KIPP



obr. 2-12 Upínač od společnosti Kipp [28].

Upínač od společnosti HEINRICH KIPP WERK. Je tvořen pákovým mechanismem a posuvnou tyčí z oceli. Vedení tyče je z tvárné litiny [28]. Pneumatický válec je dvojčinný. Není vybaven tlumením dobehů do koncové polohy.

tab. 2-9 Tabulka parametrů upínače Kipp [28].

Katalogové číslo	Zdvih	Přidrzná síla	Rozměry (x, y, z)		
	mm		N	mm	mm
K0093.0600	25	6000	325	59	53
K0093.1200	32	12000	435	76	75
K0093.2500	50	25000	577	96	96

Hydraulická pohyblivá čelist Kurt



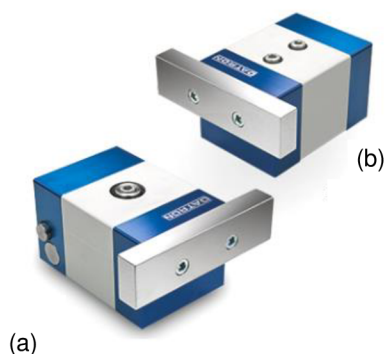
obr. 2-13 Hydraulická pohyblivá čelist od společnosti Kurt [29].

K dostání je hydraulický či manuální model. Montáž se provádí do T-drážek. Systém Kurt Anglock zabraňuje čelisti ve zvedání v průběhu upínání [29]. Na každý newton upínací síly je půl newtonu vyvinuto na zabránění zvedání čelisti [29].

tab. 2-10 Tabulka parametrů pohyblivé čelisti Kurt [29].

Katalogové číslo	Zdvih	Přidrzná síla	Rozměry (x, y, z)		
	mm		N	Mm	mm
MLH35	7,9	889 - 11120	101,6	88,9	50,8

Upínací element DATRON s krátkým zdvihem



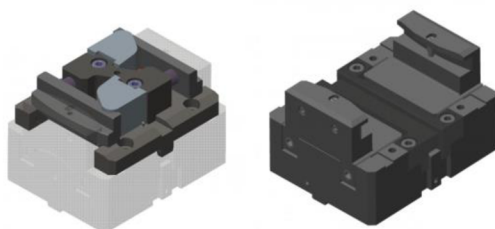
obr. 2-14 Upínače od společnosti DATRON; (a) KSE-PH, (b) KSE-AS [30].

Jedná se o kompaktní a rychlá upínací zařízení. Jsou upnuta do T-drážek. Vyrábí se ve dvou provedeních. Varianta KSE-PH je ovládána buď hydraulicky nebo pneumaticky [31]. Může se volně pohybovat v T-drážce. Upínání je řízeno bočními tlačítky. Jedno pro zafixování upínače vůči stolu a druhé pro upnutí obrobku. Model KSE-AS je k dostání pouze v pneumatické fixní modifikaci. Řízení je spojeno s ovládacím panelem stroje [31].

tab. 2-11 Tabulka parametrů upínačů DATRON [31].

Katalogové číslo	Zdvih	Přidrzná síla N	Rozměry (x, y, z)		
	mm		mm	mm	mm
KSE-PH	4	100 - 600	130	110	65
KSE-AS	4	100 - 600	125	110	65

Hydraulický modulární svěrák DHMS



obr. 2-15 Modulární svěrák DHMS [32].

Tento svěrák nabízí možnost rychlé přestavby na jiný typ výrobku výměnou nadstavby. Možno upínat více kusů (až 4). Je osazen výklopnými čelistmi [32]. Rozměry jsou konfigurovány dle potřeb zákazníka. Opakovatelnost upnutí daná výrobcem činí 0,02 mm. Svěrák vyvozuje upínací sílu 12 kN [32].

2.4 Teorie upínacích přípravků

Upínačem či upínacím přípravkem se rozumí zařízení, které slouží k ustavení, upnutí a podpoře součásti během výrobní operace [33]. Přípravky jsou nezbytnou součástí produktivního výrobního procesu, jelikož jsou využívány jak v automatizované výrobě, tak v inspekci a operacích se sestavami [25].

Upínače musí zajistit správné ustavení výrobku v požadované orientaci s ohledem na řezný nástroj, měřicí zařízení nebo další součásti při svařování. Upínací přípravky se používají všude tam, kde klasické strojní svěráky nemohou být použity, nebo jsou navrženy pro určitou operaci na specifické součásti [25].

Obecně se přípravky skládají z ustavovacích, upínacích, podpůrných elementů a těla přípravku. Ustavovací prvek je většinou nepohyblivá součást, která vymezuje a zajišťuje pozici obrobku v přípravku odebíráním jeho stupňů volnosti [25]. Pro tvarové součásti a součásti s vyššími povrchovými nároky mohou být ustavovací prvky nastavitelné. Upínací element generuje upínací sílu, která působí proti všem působícím externím silám. Podpory mohou být fixní nebo nastavitelné a používají se na plochách, na kterých je predikována deformace způsobená upínací nebo řeznou silou. Tělo přípravku je hlavním prvkem, který spojuje předešlé prvky do jednoho tuhého celku [25].

2.4.1 Význam přípravků ve výrobě

Neustálý důraz na dosahování produktivity při co nejmenší ceně za kus klade na upínací přípravky požadavek zvýšení efektivity a rychlosti při upínání nových součástí a odebírání hotových kusů. Hlavní snaha je docílit co nejvyšší rychlosti výrobního cyklu [25]. Použití přípravku snižuje potřebnou kvalifikaci obsluhy, a tedy i náklady na operátora. Dochází ke zlepšení výrobní přesnosti díky přesnému ustavení v přípravku. Se zvyšující se přesností výroby se snižuje počet potřebných kontrol rozměrů součástí. Dále hraje roli flexibilita přípravku jako takového. Jednouúčelové přípravky se vyznačují vyšší tuhostí, ale vyšší cenou a nevyužitelností při změně vyráběných součástí. Naopak flexibilní přípravky nabízí určitou míru nastavitelnosti [34]. Tyto přípravky jsou sestaveny z komerčně dostupných prvků, které lze vzájemně zaměnit, nebo přenastavit tak, aby odpovídaly novému výrobnímu požadavku.

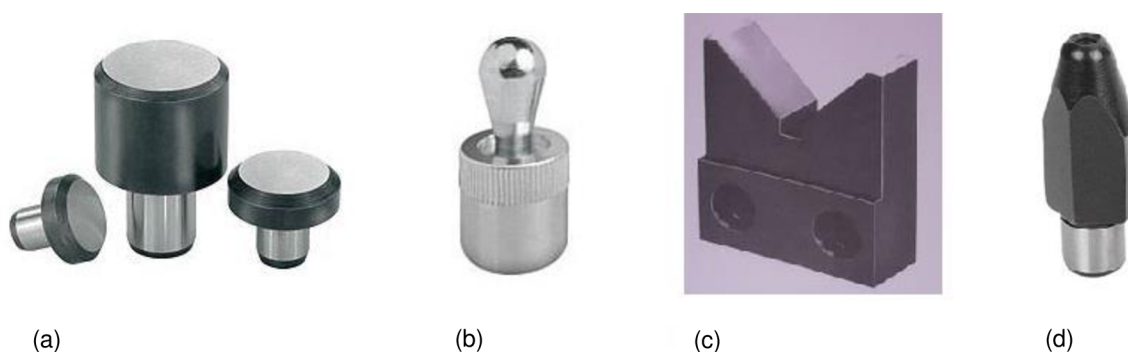
2.4.2 Komerčně dostupné modulární prvky přípravků

Pevné opěrné prvky jednoznačně ustavují obrobek v přípravku. Díky nim je dosaženo požadované polohy vzhledem k nástroji. Obvykle jsou vyrobeny z oceli [35]. Mezi požadované vlastnosti patří opakovaná přesnost polohy, odolnost proti opotřebení a snadné čištění od třísek. Čím větší vzdálenost opěrných prvků mezi sebou, tím se docílí lepší stability obrobku [35]. Dosedací plocha obrobku na opěrný prvek by měla být co nejmenší. To ovšem znamená zvýšené namáhání. Proto se dosedací plochy opěrek tepelně zušlechťují nebo cementují a kalí [36]. Opěrné čepy tvoří stabilní a přesnou dosedací plochu a lze je také použít jako doraz. Dosedací plocha je broušena [37].

Pružné boční opěrky napomáhají správnému ustavení součásti. Vyvozuji sílu, která tlačí součást do protilehlých opěrek. Nacházejí uplatnění ve stísněných prostorech [38]. Montáž může být provedena buď do díry nebo v excentru. Excentr umožňuje nastavitelnost přítlaku [35].

Prizmatické opěrky slouží k ustavování obrobků s válcovou plochou [36]. Opěrné plochy mají úhel rozevření od 60 do 120°. Nejčastěji se používá 90°. Opěrka se zpravidla jistí dvěma kolíky a připevňuje dvěma šrouby [35].

Středící čepy se používají pro ustavování za vnitřní válcovou plochu. Je to jeden z nejefektivnějších způsobů, jak přesně ustavit součást [35]. Často je v kombinaci s válcovým čepem. V této konfiguraci válcový čep ustavuje součást a středící čep zabraňuje rotaci součásti kolem válcového čepu [36]. Zároveň se zrychlí vkládání a vykládání součástí. Středící čepy jsou vyrobeny z cementované oceli a dosedací plocha je broušena [39].



obr. 2-16 Modulární prvky; (a) opěrné čepy [40]; (b) pružná boční opěrka [38]; (c) prizmatická opěrka [35]; (d) středící čep [39].

2.4.3 Požadavky na přípravky

Zajištění správného ustavení

Jedná se o souhrn konstrukčních prvků, které zaručí, že součást bude do přípravku osazena pouze ve správné pozici. Častým a jednoduchým řešením jsou vhodně umístěné kolíky. Pokud je řešení zajišťující správné ustavení složité, dochází ke komplikaci výroby [35].

Odvod třísek

Při výměně součástí obsluhou jsou dosedací plochy přípravku vyfoukány proudem stlačeného vzduchu. Vznikající třísky během řezného procesu jsou odplavovány proudem chladicí kapaliny. Směs chladicí kapaliny a třísek se po vyjmutí ze stroje vloží do briketovacího lisu, kde je za vysokého tlaku odstraněna většina chladicí kapaliny (zbytková kapalina tvoří méně než 2 % z celkového objemu [41]) a třísky jsou stlačeny do formy briket.

Obsluha

S přípravkem vážícím více než 11 kg by mělo být manipulováno za pomoci zvedacího zařízení [35]. V tomto případě musí být přípravek vybaven zvedacími oky. Lehčí přípravky se osazují madly, aby se zamezilo úrazům vzniklým špatným úchopem či škodám vzniklým pádem přípravku. Nejjednodušším řešením jsou vyfrézovaná madla z každé strany základové desky přípravku [35].

2.4.4 Počítačem generované přípravky

Hlavní myšlenkou CAFD (computer-aided fixture design) je automatizovat proces návrhu přípravku, kdy upínací, opěrné a ustavovací prvky jsou generovány na základě CAD modelu pro různé tvary součástí. Metoda podle týmu pod vedením A. Neea generuje seznam upínacích návrhů, které zahrnují ustavovací a opěrné prvky přípravku [33]. Vstupem je 3D model požadované součásti. Plocha na součásti, která má největší průřez, je vybrána jako primární ustavovací plocha. Sekundární ustavovací plochou je zvolena ta plocha, která je kolmá na primární ustavovací plochu. R. DeVor s kolektivem provedl analýzu řezných sil při vrtání a též pro ostatní řezné procesy [33]. Na jejich základě je možno zjistit upínací náležitosti. Generování rozvržení z modulárních upínacích prvků je též možno. Systém TAMIL (towards a manufacturing integration link) byl vyvinut právě jako generátor modulárních přípravků, jehož vstupem je opět CAD model. Výše zmíněné metody mají za cíl integrovat CAD a CAM postupy. Dalším vývojem bude začlenění i následujících článků výroby (např. procesní inženýry, nákupčí apod.) do nastíněného modelu. Tuto možnost nabízí virtuální realita, lépe řečeno virtuální prototyp, který umožní vybraný přípravek studovat a modifikovat před jeho fyzickou výrobou [33].

2.4.5 Komerční upínací přípravky

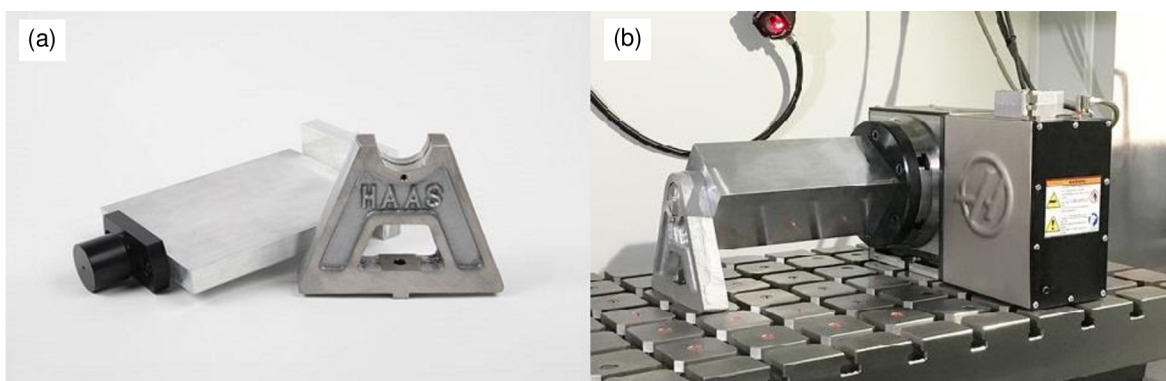
PAWS workholding



obr. 2-17 Přípravek PAWS workholding s hydraulickou deskou [42].

Tento přípravek byl navržen ke zvýšení produktivity při frézování. Sestává ze dvou pevných čelistí a 16 pohyblivých čelistí. Upínání probíhá buď manuálně, nebo hydraulicky při použití hydraulické základní desky. Pevné i pohyblivé čelisti je možno obráběním přizpůsobit požadovanému tvaru [42].

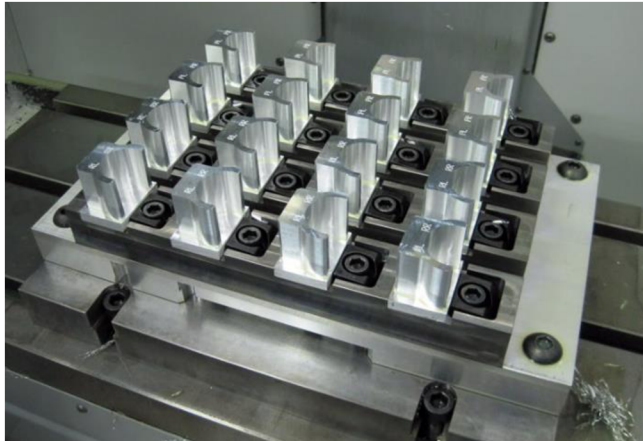
Rotační přípravky HAAS



obr. 2-18 Rotační přípravky HAAS; (a) rychlovýměnná deska; (b) blokový systém upnutý na rotační stůl [43].

Společnost HAAS nabízí přípravky, které jsou uzpůsobeny k práci na rotačním stole. Rychlovýměnná deska nabízí dvě pracovní plochy, na kterých mohou být osazeny buď větší počet upínačů pro malé součásti, nebo svěrák. Další možností je blokový systém, který umožňuje upnout větší součásti nebo více menších součástí na čtyři upínací plochy [43]. Základová deska je v obou případech z jedné strany upnuta na rotační stůl a z druhé strany podepřena rámem ve tvaru A [43].

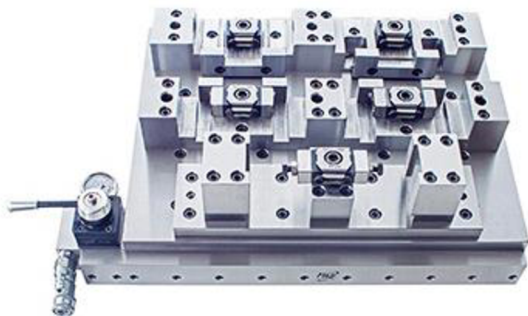
MITEE-BITE Pitbull



obr. 2-19 Přípravek MITEE-BITE [44].

Přípravky od společnosti MITEE-BITE jsou tvořeny manuálními upínkami Pitbull. Ty nabízejí nízký profil při zachování vysokých upínacích sil. Fungují na principu utahování šroubu. Čelisti upínky jsou standartně vyrobeny s hladkou nebo ostrou dosedací plochou [44]. Existuje i varianta s upravitelným tvarem čelistí. Díky svým kompaktním rozměrům se na základovou desku přípravku dá osadit velké množství těchto upínek a zefektivnit tak výrobu [44].

Hydraulický přípravek MIWE

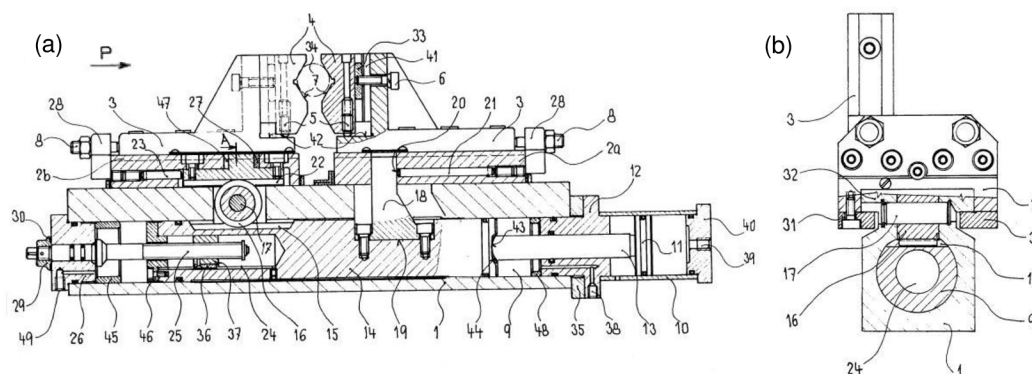


obr. 2-20 Přípravek MIWE [45].

Přípravky společnosti MIWE nabízí snížení upínacích časů, čímž zvyšuje produktivitu. Základem je hydraulická deska, která se dodává v provedení pro lehké nebo těžké obrábění. Hydraulické prvky přípravku se dají libovolně rozložit podle upínané součásti. Omezením této flexibility je pouze kompatibilita hydraulického zařízení se zabudovanou hydraulikou [45].

2.4.6 Analýza patentových řešení

Dostředný hydraulický upínač (PV 1990-6647)



obr. 2-21 Obrázek dostředného hydraulického upínače; (a) řez hydraulickým upínačem; (b) pohled P [46].

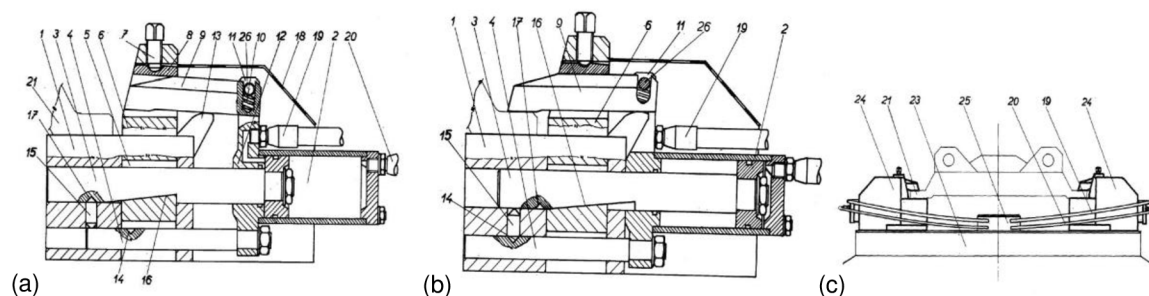
Upínač tyčového materiálu kruhového, šestihenného a čtyřhenného průřezu s přestavitelnými čelistmi [46].

Upnutí součásti (34) je realizováno přívodem tlakové kapaliny (38) do prostoru (9) pod hlavní ovládací píst (14). Zároveň je přivedena kapalina (39) pod pomocný píst (11). Odstavením nebo uvedením do funkce pomocného pístu je možno regulovat upínací sílu [46]. Pohyb hlavního pístu (14) spolu s pohybem unašeče (18) způsobí pohyb pravých saní (2a) dle náčrtku doleva. Současně se začnou pohybovat levé saně (2b) doprava díky vloženému ozubenému kolu (16) a ozubeným hřebenům (15, 22). Přestavitelné držáky (3) se pohybují spolu se saněmi (2a, 2b). Držáky (3) nesou upínací čelisti (4), které upnou součást (34).

Uvolnění součásti je provedeno přívodem tlakové kapaliny (49) nad hlavní ovládací píst, který je odsunut. Spolu s pístem se pohybuje unašeč, který odsune pravou čelist. Díky ozubeným hřebenům a ozubenému kolu se začne odsouvat i levá čelist.

Délka rozevření čelistí se nastavuje otáčením omezovacího šroubu (25). Délkové nastavení umožňuje upínat krátké součásti [46]. Seřízení v horizontální rovině se provádí v upnutém stavu nastavením přestavitelných držáků prostřednictvím opěrných šroubů (8). Horizontální osa upnuté součásti musí být souhlasná s horizontální osou obráběcího stroje. Seřízení ve vertikální ose se provede výškovým přestavováním upínacích čelistí pomocí stavěcích šroubů (5). Vertikální osa součásti musí být opět souhlasná s vertikální osou obráběcího stroje [46]. Upínač nabízí přesné upnutí při vysoké flexibilitě tvarů upínacích čelistí.

Hydraulická upínací jednotka (PV 1967-7885)



obr. 2-22 Obrázek hydraulické upínací jednotky; (a) řez upínací jednotkou v poloze uvolněno; (b) řez upínací jednotkou v poloze upnuto; (c) příklad sestavení [47].

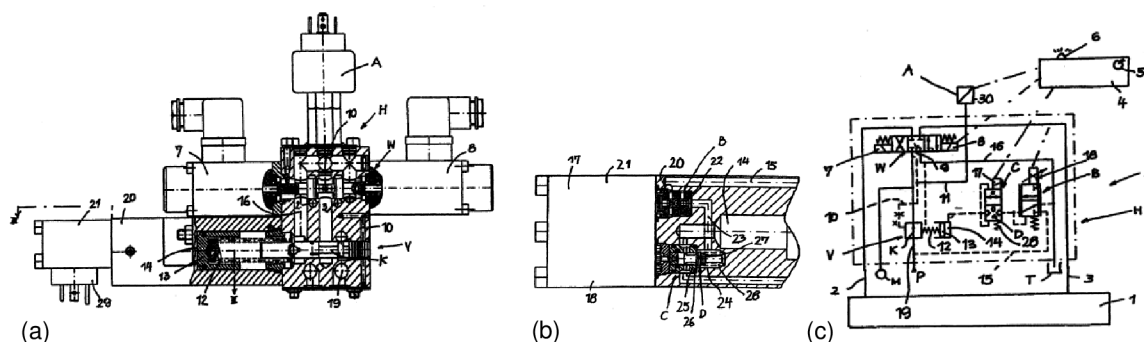
Upínání obroku (21) probíhá v poloze, kdy je upínací patka (9) zasunuta a zpevněna [47]. V tomto případě je pístnice (3) maximálně vsunuta do tělesa (1) jednotky. Hydraulický válec (2) s upínací patkou a zamykací tyčí (4) jsou naopak maximálně odsunuté od tělesa jednotky. Zamykací tyč je v poloze, kdy zamykací čípek (15) není zasunut do výhlubně (14). Klínové plochy (16) pístnice a třmenu (6) jsou též vzájemně uvolněny.

Při upínání je vpuštěna tlaková kapalina vysokotlakou hadicí (19) do hydraulického válce (2). Válec se odsune do polohy, kdy se opře víkem válce (12) o těleso jednotky. Zároveň je posunuta upínací patka po opěrném palci (13) do polohy vysunutě z třmenu (6) proti obrobku. Zamykací tyč se zasune do své dutiny v tělese a osa výhlubně se přesune do osy zamykacího čípku. Dojde k uvolnění čípku, čímž se uvolní i pohyb pístnice. Její pohyb je převeden klínovými plochami na třmen, který je vtažen hlouběji do tělesa jednotky. Upínací patka, která je opřena o opěrný palec a o patku obroku, je zpevněna tlakem opěrného šroubu (7) vtahováním třmenu. Vysunutí zamykacího čípku způsobí uzamčení zamykací tyče a tím i hydraulického válce v poloze odpovídající vysunutí upínací patky [47].

Uvolnění upínací patky se provede vpuštěním tlakové kapaliny do hydraulického válce vysokotlakou hadicí (20). Pístnice se zasune do polohy, kdy dojde k uvolnění klínových ploch a výhlubeň (17) je posunuta do osy zamykacího čípku. Zamykací tyč je uvolněna a dojde k odsunutí hydraulického válce do své zadní polohy. Zároveň dojde k odsunutí víka spolu s upínací patkou mimo patku obroku.

Opěrným šroubem lze nastavovat výšku pracovní polohy upínací patky. Upínací jednotka přesouvá a zpevňuje upínací patku jedním společným hydraulickým válcem. Umožňuje snadnou výměnu upínacích patek různých tvarů a hydraulických válců různých velikostí [47]. Pro automatizaci výroby lze na otočný stůl (23) umístit více upínacích jednotek (24) dle potřeb výroby.

Elektrohydraulický upínací přípravek (CZ/EP 1371853)

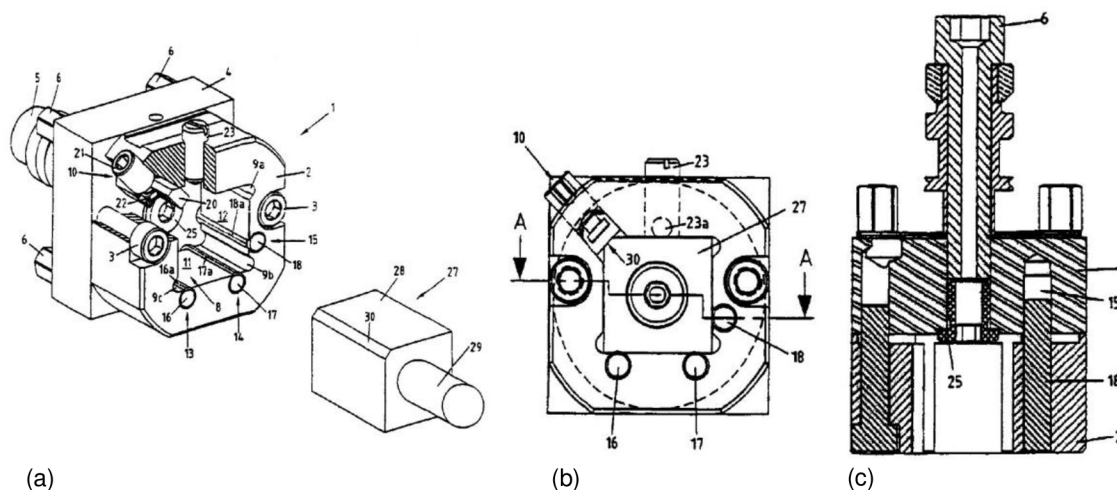


obr. 2-23 Obrázek elektrohydraulického upínacího přípravku; (a) částečný řez upínacím přípravkem; (b) částečný řez v rovině III; (c) blokové schéma zapojení [48].

Jedná se o zařízení, které spolehlivě nastavuje tlak, který se přenáší na upínací prvek [48]. Pomocí nastavovacího prvku (5) se nastaví požadovaný upínací tlak dle druhu obráběcího stroje či obrobku. Proporcionální magnet (18) dostává proud o určité hodnotě, například při nastavení ventilu (W) pro ovládání cest do ovládací polohy. Současně dojde k přepnutí pojistného ventilu (C) do průchozí polohy. V ovládací komoře (14) se nastaví tlak, který způsobí pohyb nastavovacího pístu (13) a předpětí nastavovací pružiny (12). Pružina působí na regulační píst (K) proti skutečnému upínacímu tlaku v řídicím vedení (10). Regulační píst plně otevře ventil (V) upínacího tlaku a dojde k nastavení požadovaného upínacího tlaku v hlavním okruhu (19) [48]. Analogový snímač tlaku (A) hlásí skutečný upínací tlak řídicí jednotce (4), která může provést vyrovnání mezi skutečným upínacím tlakem a požadovaným upínacím tlakem.

Souhlasí-li tyto tlaky, dojde k přepnutí pojistného ventilu do uzavírací polohy a proporcionální magnet proporcionálního regulačního ventilu (B) se přestane budit. Dojde k odlehčení nastavovacího okruhu (15) při zachování nastaveného tlaku v ovládací komoře. Pokud nastane odchylka skutečného upínacího tlaku od požadovaného upínacího tlaku, dojde k otevření ovládacího ventilu a změně tlaku proporcionálním regulačním ventilem [48].

Upínací zařízení pro upínání obrobků (CZ/EP 1767301)

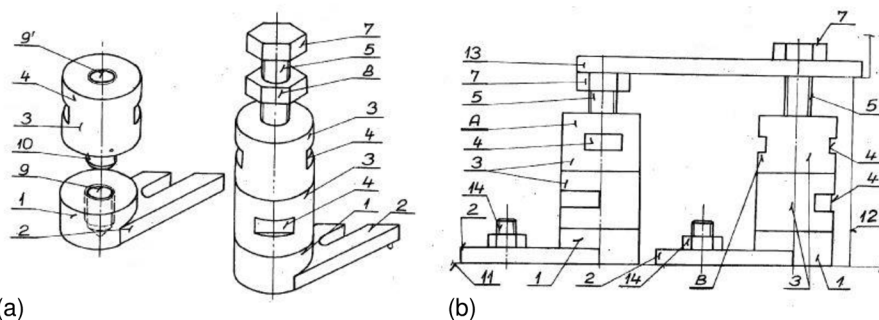


obr. 2-24 Obrázek upínacího zařízení pro upínání obrobků; (a) částečný řez upínacím zařízením; (b) pohled zepředu; (c) řez A-A z obrázku b [49].

Upínací zařízení (1) je vytvořeno pro polohově přesné upnutí obrobku [49]. Sestává z upínacího tělesa (2), které je pomocí šroubů (3) fixováno k základnímu tělesu (4). Základní těleso je opatřeno upínacím čepem (5), který umožňuje upnutí ve sklíčidle. Podpěrné nohy (6) spolu s centrovacími elementy umožňují přesné ustavení zařízení vůči sklíčidlu [49]. Upínací komora (8), v tomto případě čtvercového průřezu, slouží pro uložení obrobku (27). Tři vrcholy upínací komory jsou opatřeny vybráními (9a, 9b, 9c), která zajišťují správné dosednutí obrobku. Tvar obrobku musí korespondovat s tvarem upínací komory. Dále musí být obrobek opatřen přitlačnou fazetkou (30), na kterou bude působit upínací mechanismus (10). V stěně (11) jsou vyrobeny dva otvory (13, 14), přičemž ve stěně (12) je zapuštěn další otvor (15). Otvory jsou spojeny s upínací komorou a slouží k zavedení dorazových kolíků (16, 17, 18). Kolíky jsou z tvrdšího materiálu než upínací těleso [49] a jsou do něj zalisovány.

Upínací mechanismus, nacházející v místě 4. vrcholu, je opatřen upínacími čelistmi (20) a k jeho fixaci dochází pomocí imbusového šroubu (21). Při jeho dotahování je obrobek dotlačován ke třem referenčním plochám tvořenými dorazovými kolíky [49]. Na dnu upínací komory se nachází šroub (25), který slouží jako doraz ve směru Z. Výškové nastavení tohoto dorazu je provedeno zbroušením hlavy šroubu [49]. Tlačný šroub (23) s kuličkou slouží jako volné fixování obrobku uloženého v upínací komoře. Tvar upínací komory nabízí tvarovou flexibilitu.

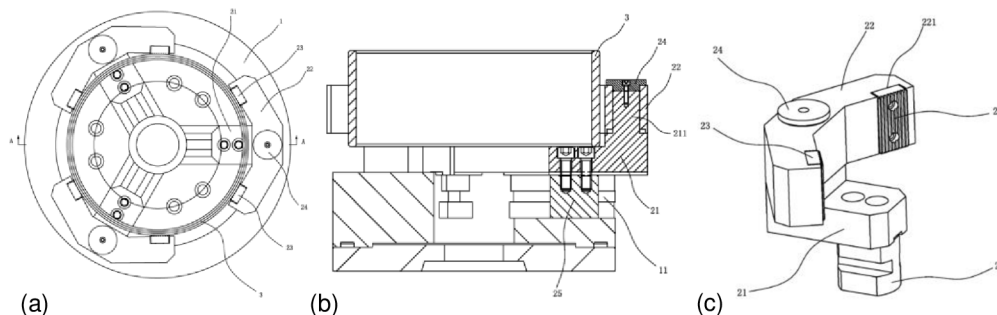
Stavebnicové zařízení k upínání obrobku (PV 1962-7302)



obr. 2-25 Obrázek stavebnicového zařízení; (a) sestavení stavebnicových těles; (b) příklad sestavení [50].

Stavebnicové zařízení odstraňuje hromadění různě dlouhých opěr a šroubů potřebných k upnutí obrobků. Stavebnicová tělesa (3) jsou opatřena na jednom čele závitovým otvorem (9') a na druhém čele středícím čepem (10) se shodným závitem jaký je v otvoru. Tělesa mají tvar válce s vybráním (4) na plášti pro čelist klíče. Základní těleso (1) je opatřeno příchytkou (2) a na čele válcové plochy středícím závitem (6). Příchytka je možno zaměnit za vhodnější druh uchycení podle stolu obráběcího stroje [50]. Při dosažení požadované výšky je vložen do středícího závitu stavitelný šroub (5) s hlavou (7). Příkladem použití může být situace, kdy zařízení A slouží jako opěrka tím, že hlava šroubu je doregulována na žádanou výšku upínače (13). Zařízení B potom slouží jako upínací šroub [50]. Upínka ve tvaru U je přitlačována k obrobku (12) hlavou šroubu. Podle požadavků výroby jsou zhotovena základní tělesa, stavebnicová tělesa a stavitelné šrouby v různých délkách [50].

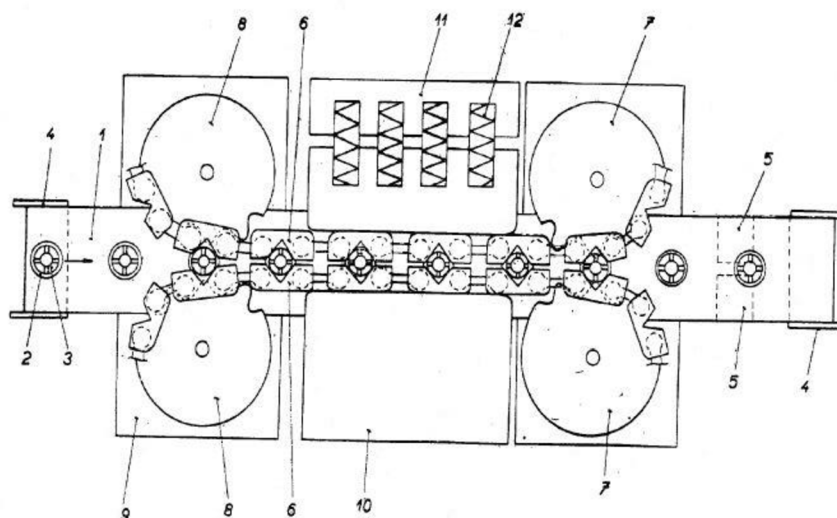
Samočinný polohovací upínací přípravek (201720834740.4)



obr. 2-26 Obrázek samočinného polohovacího přípravku; (a) půdorys přípravku; (b) řez A-A; (c) upínací mechanismus [51].

Upínací přípravek slouží k upínání vnějšího kroužku (3) ložiska [51]. Skládá se z kotoučového těla (1) a tří upínacích mechanismů. Minimální počet upínacích mechanismů jsou dva [51]. Mechanismus sestává z posuvného sedla (21) a výkyvného ramene (22). Součástí sedla je čep (211), na který je nasunuto rameno. Proti vysazení je rameno zajištěno víčkem (24), které je dotaženo šroubem. Na obou koncích výkyvného ramene se nacházejí drážky (221) pro osazení upínacích čelistí (23). Ze spodní strany posuvného sedla je drážkou a dvěma šrouby zajištěn posuvný blok (25), který má po stranách vybrání, zapadající do vedení (11) v tělese přípravku [51]. Patent se zabývá návrhem a rozložením upínacích mechanismů, nikoli jejich upínací funkcí.

Zařízení pro samočinné upínání malých součástí určených k opracování (PV 1963-776)



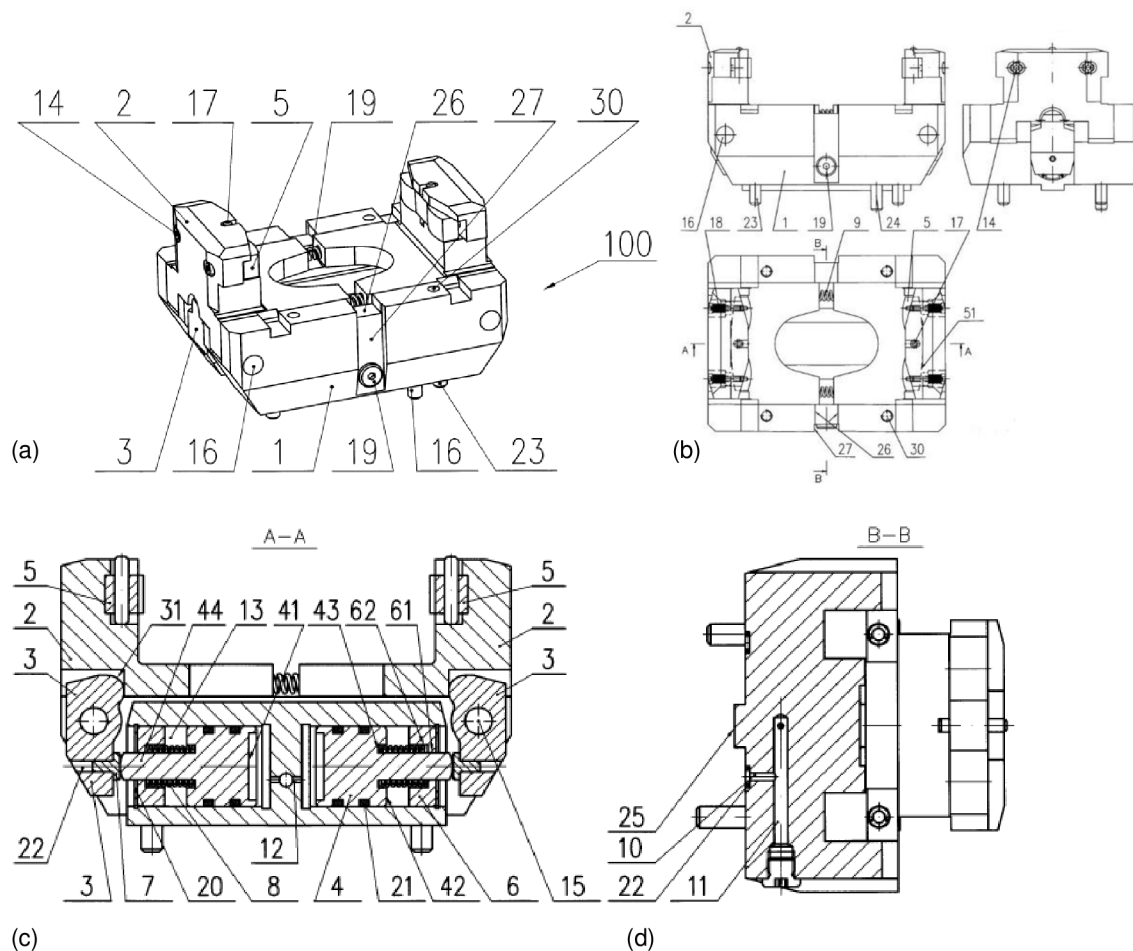
obr. 2-27 Obrázek samočinného zařízení [52].

Zařízení sestává z unášecího ocelového pásu (1), na kterém jsou upevněny upínací kleštiny (3) pomocí patentních přichytek (2) [52]. Unášecí pás obepíná dvě vodící kladky (4) a dvě napínací kladky (5). Dva článkovité nekonečné řetězy (6) jsou poháněny dvěma unášecími řetězovými koly (7) a vedeny dvěma řetězovými ozubenými koly (8). Vodící kola jsou opatřena napínacím třmenem (9). Řetězy procházejí mezi dvěma svěřacími čelistmi, z nichž jedna je pevná (10) a druhá pohyblivá (11), opatřená tlačnými pružinami (12).

Zařízení je poháněno obráběcím strojem např. frézku, kdy je pohyb přenášen pomocí šnekového převodu na ozubená řetězová kola [52]. V místě souběhu obou řetězů jsou upínací kleštiny sevřeny články obou řetězů a unášeny spolu s ocelovým pásem ve směru pohybu řetězů. Pohybem ocelového pásu jsou upnuté součásti dopraveny pod obráběcí nástroj [52]. V místě souběhu jsou zároveň řetězy s kleštinami sevřeny tlakem odpružené čelisti a obrobena. Jakmile součást opustí prostor čelistí, jsou kleštiny rozevřeny a součást svou vlastní vahou vypadne z kleštiny. Celé zařízení je zakrytované dvoudílným krytem s mezerou pro pohyb upínacích kleštin [52].

Zařízení umožňuje rychlou výměnu kleštin podle potřeb vyráběné součásti. Odstraňuje zdlouhavou a jednotvárnou ruční práci a může být plně automatizováno při použití zásobníku a zakladače součástí [52].

Hydraulická upínací jednotka pro upínání tvarově rozdílných součástí (PV 2005-628)



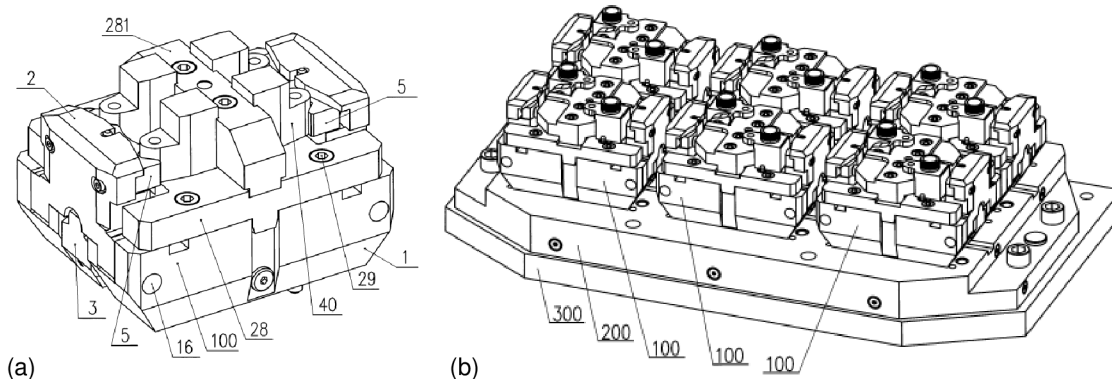
obr. 2-28 Obrázek upínací jednotky; (a) 3D pohled na upínací jednotku; (b) upínací jednotka v základních pohledech; (c) řez A-A z obrázku b; (d) řez B-B z obrázku b [53].

Upínací jednotka nabízí efektivnější řešení pro výrobu tvarově rozdílných součástí než např. stavebnicové přípravky či přípravky konstruované pro určitý typ obrobku [53]. Dále umožňuje upnutí více součástí najednou.

Hydraulická kapalina vstupuje do tělesa (1) upínací jednotky zespodu přes kanály (10, 11, 12). Protiběžné písty (4) se začnou pohybovat ve válcích (13) horizontálně od sebe. Tlačná část (44) pístu přenáší vzniklou sílu přes opěrku (7) na páku (3). Páka je otočně uložena na kolíku (15) uloženém z každé strany v otvorech (16) tělesa. Pohybem páky se síla přenesse přes rádiusový kontakt (31) na upínky (2), které se začnou pohybovat směrem k sobě. Pohyb upínek je na sobě nezávislý [53].

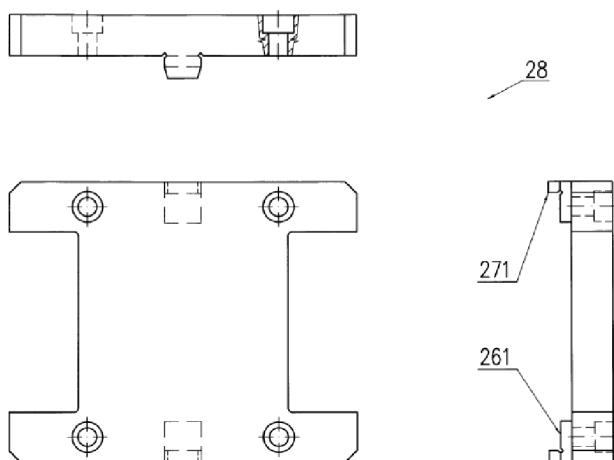
Obě upínky jsou vybaveny výkyvnou čelistí (5), která umožňuje upnutí jednoho i více obrobků (40) najednou. Čelist je pojištěna volně uloženým kolíkem (17) proti příčnému pohybu a proti podélnému vytažení dvěma šrouby (14) s pružinami (18). Výkyv čelisti je způsoben poodvalem rádiusu (51) čelisti po ploše upínky. Čelisti je možno měnit dle potřeb vyráběné součásti [53].

Uvolnění upínek nevyžaduje vyšší tlaky. Z tohoto důvodu je uvolnění realizováno pružinami (8, 9). Při uvolňování jsou čelisti odtlačeny směrem od sebe v horizontálním směru. Současně začne odtlačovat pružina (8), která je zajištěná o víčko (6) a kroužek (20), protiběžné písty. Ty se začnou pohybovat směrem k sobě a vytlačí hydraulickou kapalinu přes přívodní kanály ze systému [53].



obr. 2-29 Sestavení a příklad rozvržení; (a) obrázek upínací jednotky se založenými obrobky; (b) příklad rozvržení šesti jednotek na stole obráběcího stroje [53].

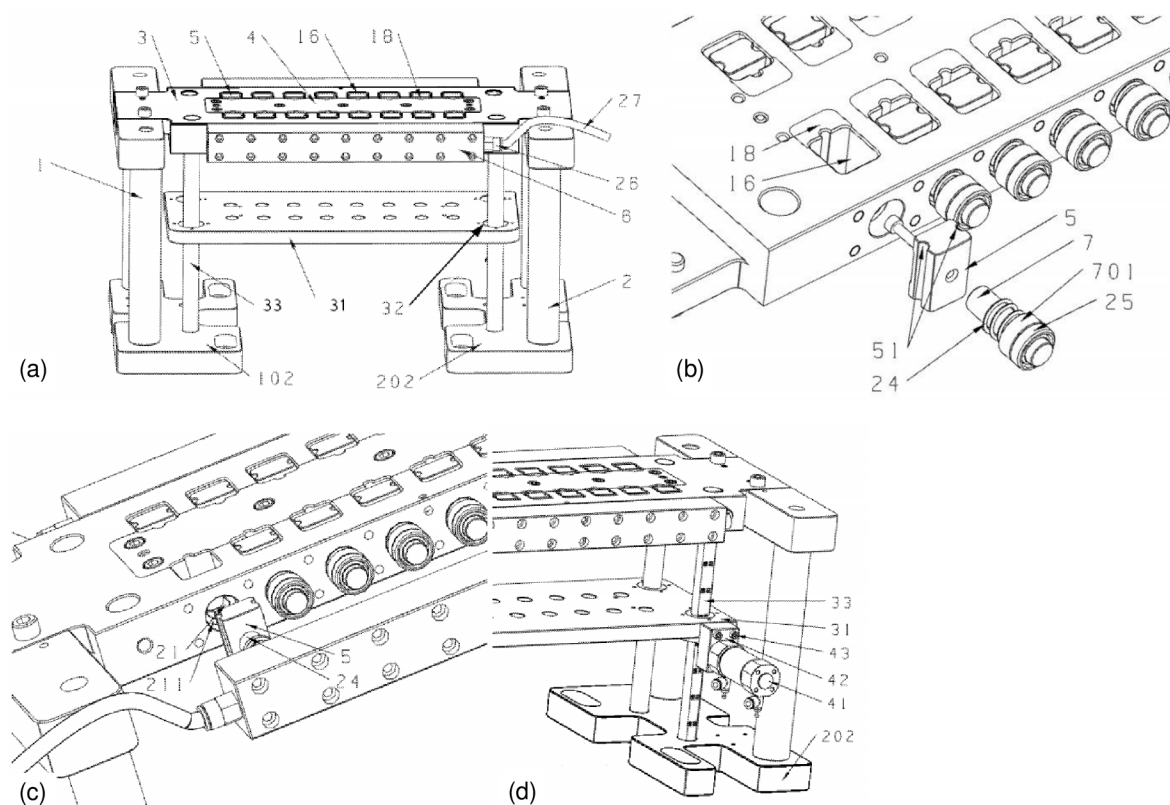
Spojení upínací jednotky (100) s hydraulickou základnou (200) je realizováno čtyřmi šrouby (23), perem (25) vytvořeným v těle jednotky a kolíkem (24). Upínací jednotka je na hydraulickou základnu napojena kanálem (10). Hydraulická deska se nachází na desce (300) CNC stroje.



obr. 2-30 Obrázek základních pohledů nástavby [53].

Místo pevných čelistí se v pracovní oblasti nachází křížové drážky (26, 27), do kterých se zasouvá nástavba (28). Zasunutím je nástavba ustavena ve vodorovném i svislém směru pomocí prvků (261, 271). Nástavba je k tělu upínací jednotky připojena čtyřmi šrouby (29) v závitech (30). Nástavba je zhotovena dle tvaru a požadavků vyráběné součásti. Použití drážek a prvků (261, 271) k zajištění umožňuje eliminovat pojištění kolíkem. To nabízí úsporu při montáži a demontáži nástavby [53]. Na nástavbu je upevněn pomocný upínací prvek (281), který umožňuje ustavit jednu i více obráběných součástí.

Upínací přípravek (WO2018CN77836)

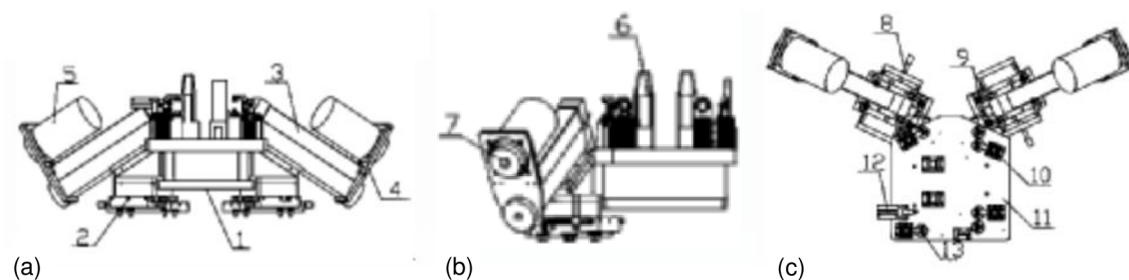


obr. 2-31 Obrázek upínacího přípravku; (a) 3D pohled na upínací přípravek; (b) (c) (d) detailní pohledy na upínací přípravek [54].

Tento přípravek slouží k upínání tenkého vibračního motoru mobilních telefonů [54]. Těleso přípravku sestává z podpor (1, 2), pevné desky (3) a ustavovacího pásu (4). Ke stolu obráběcího stroje je upevněn pomocí podkladových desek (102, 202). V pevné desce jsou vyrobeny otvory (16), ve kterých se nacházejí upínací čelisti (5). Upnutí součásti zajišťuje upínací mechanismus (6), který zatlačí součást proti ustavovacím plochám (18) v ustavovacím páse. Hydraulickým potrubím je přivedena tlaková kapalina nad píst (7), který působí přes průchozí otvor v pevné desce na čelist [54]. Píst je s čelistí spojen šroubem. Počtu čelistí odpovídá počet otvorů pro píst v hydraulickém mechanismu. Těsnění (25) zajišťuje těsnost tlakového mechanismu a tím i stabilitu přtlaku [54].

Pohyblivá deska (31) je osazena dírami (32). V dírách se pohybují alespoň dvě vodící tyče (33). Na jedné z čelních ploch pohyblivé desky, která nesousedí s vodícími tyčemi, je pevně namontován spojovací blok (42). Z druhé strany je k spojovacímu bloku připevněn aretační válec (41). V aretačním válci se nachází píst, který prochází spojovacím blokem a dosedá na vodící tyč. Funkcí pohyblivé desky je podírat a výškově nastavovat upínanou součást [54]. Toto řešení umožňuje automatizovat zakládání součástí, redukovat námahu obsluhy a zlepšit výrobní efektivitu. Upínací čelist může být nahrazena čelistí jiného tvaru a materiálu, vhodnou pro upnutí požadované součásti [54].

Kombinovaný úhlový výrobní mechanismus (201720947761.7)



obr. 2-32 Obrázek kombinovaného výrobního mechanismu; (a) pohled zepředu; (b) pohled zleva; (c) pohled shora [55].

Přípravek umožňuje vrtání pod úhlem ve více rovinách [55]. Mechanismus je tvořen obráběcím stolem (11), podpůrnou základnou (1) a precizním posuvným stolem (2). Součástí posuvného stolu je vřetení (3), které je s motorem (5) spojeno pomocí propojovací desky (4). Poloha posuvného stolu je nastavena seřizovacím šroubem (8). Detekční mechanismus (12) se nachází na ploše obráběcího stolu spolu s pomocnými upínači (10), kdy každý z upínačů má svůj vlastní hydraulický válec (13). Na stole jsou dále osazeny dosedací podpory (6). Po manuálním založení součásti na podpory dojde k detekci obrobku pomocí detekčního mechanismu [55]. Následně je obrobek upnut pomocnými upínači ze čtyř stran. Jakmile je součást upnuta, dojde ke spuštění vrtáku (9) přes obrobek do vrtacího otvoru v precizním posuvném stole. Přípravek zefektivňuje výrobu eliminací chyb vzniklých přeupínáním [55].

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Zvolená tvarová součást má být vyrobena na frézovacím obráběcím centru. Efektivita obrábění se bude odvíjet v první řadě od počtu přeupnutí této součásti. Vrtání soustředných děr ve stěně součásti značně ztěžuje upínací možnosti. Docílení nejnižšího potřebného počtu upnutí, tedy dvou, lze dosáhnout vhodnou volbou stroje, který je vybaven čtvrtou obráběcí osou.

Na základě rešerše materiálů se jako nejvhodnější materiál dle tabulky 2-1 jeví slitina EN-AW 6061. Tato komerčně dostupná slitina nabízí dobré technologické vlastnosti při zachování vyšší tvrdosti a meze kluzu a pevnosti oproti ostatním slitinám. Její vlastnosti budou použity pro následné výpočty.

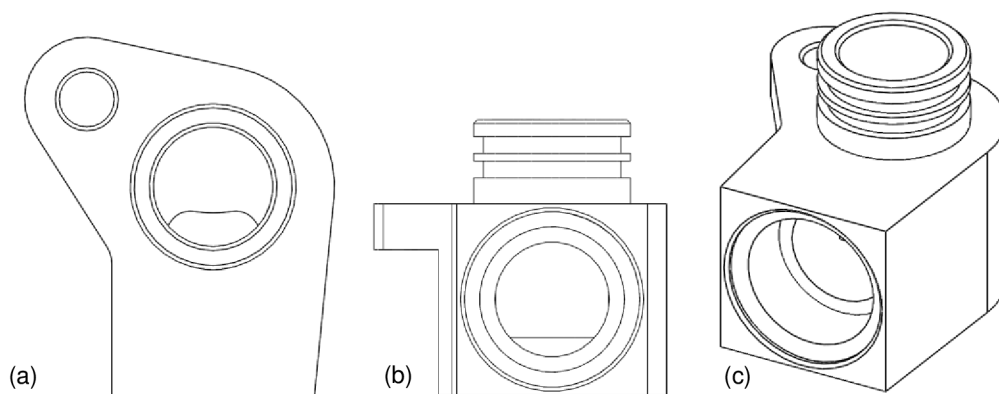
Stoje, které nabízí nejvíce možností dle tabulky 2-7 jsou obráběcí centra od společnosti Chiron. Jsou vybaveny jak hydraulikou, tak pneumatikou. Dvoustolová konstrukce umožní zefektivnit výrobu stejně jako použití kolébkového stolu. Omezujícím faktorem je skutečnost, že při jakékoliv operaci při vykývnutém kolébkovém stole se musí brát v potaz délka vrtacího nástroje. Použití nedostatečně dlouhého nástroje (vrtáku) by mělo za následek kolizi vřetene s hranou stolu. Dále je nezbytné použít upínací systém kompatibilní s přípojovacími prvky strojového stolu.

Na základě analýzy komerčních přípravků a patentových řešení se jako nejvhodnější jeví hydraulická upínací jednotka dle patentu PV 2005-628, která je navíc komerčně dostupná. Hydraulické písty zde pracují nezávisle na sobě, což při použití výkyvných čelistí umožňuje kompenzovat rozdílné rozměrové tolerance upínaných součástí. S použitím výkyvných čelistí se též pojí možnost upnout více součástí na jedno upnutí. Dále je možnost jednotku relativně rychle připravit na upínání nového tvaru součásti vyfrézováním nového středového tělesa. Při použití tohoto upínače bude třeba navrhnout výkyvné čelisti vhodné pro upnutí obráběné součásti.

3.2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout konstrukci upínacího systému, který umožňuje výrobu zadané součásti s minimálními prostoji a náklady.

Materiálem součásti pro automobilový průmysl bude hliníková slitina EN-AW 6061. Tvar součásti je zobrazen na obrázku 3-1.



obr. 3-1 Obrázek vybrané součásti; (a) pohled shora; (b) pohled ze předu; (c) 3D pohled

Součást bude vyrobena třískovým obráběním na vertikálním obráběcím centru Chiron FZ15 FX. Na stolovou platformu budou na montovány dva kolébkové stoly.



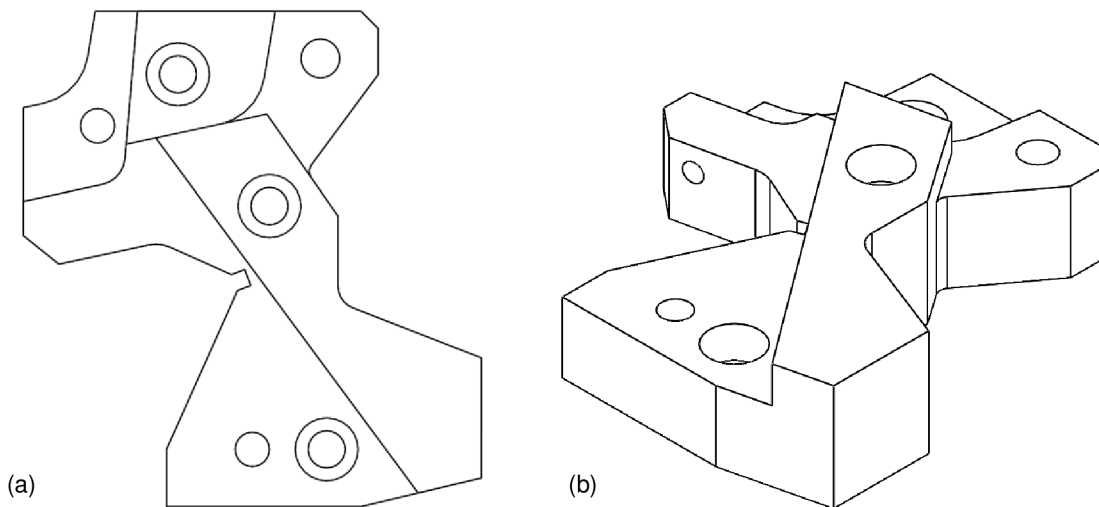
obr. 3-2 Obrázek obráběcího centra Chiron FZ15 FX [12].

Výroba by měla být schopná naplnit požadavky sériové výroby tím, že řešení bude schopno dodat 100 000 kusů součástí za rok.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Koncepty 4.1 a 4.2 pracují s použitím hydraulické upínací jednotky. Představují varianty středového tělesa s ohledem na co nejvyšší efektivitu výroby spolu s rozvržením upínacích jednotek na stole stroje. Dále je uveden koncept, ve kterém jsou pro vyvození upínací síly použity modulární upínky.

4.1 Koncept 1

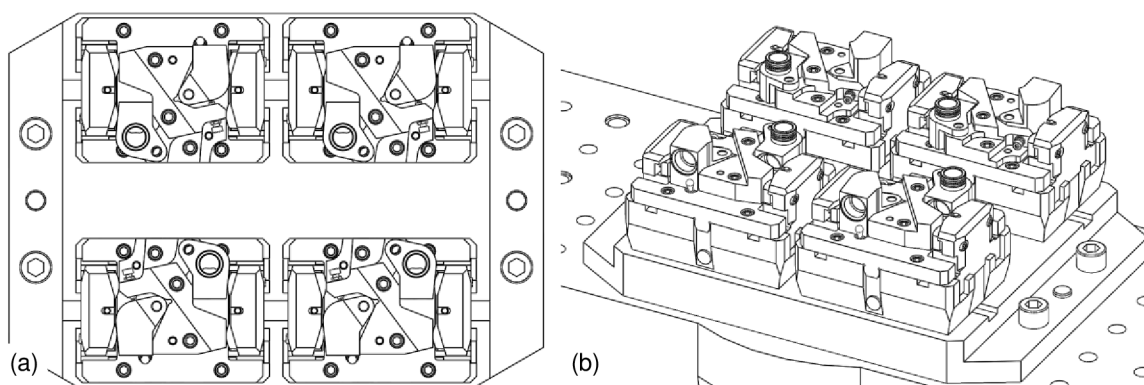


obr. 4-1 Obrázek konceptu 1; (a) pohled shora na středové těleso; (b) 3D pohled na středové těleso.

Tato varianta středového tělesa počítá s dvěma upínacími místy. Na dvě upnutí je vyrobena jedna součást kompletně a jedna součást z půlky.

Výhodou tohoto řešení je kompaktní velikost. Ta umožňuje použít upínací jednotku menších rozměrů, stejně jako kratší čelisti. Dále bude levnější výroba z důvodu menšího polotovaru.

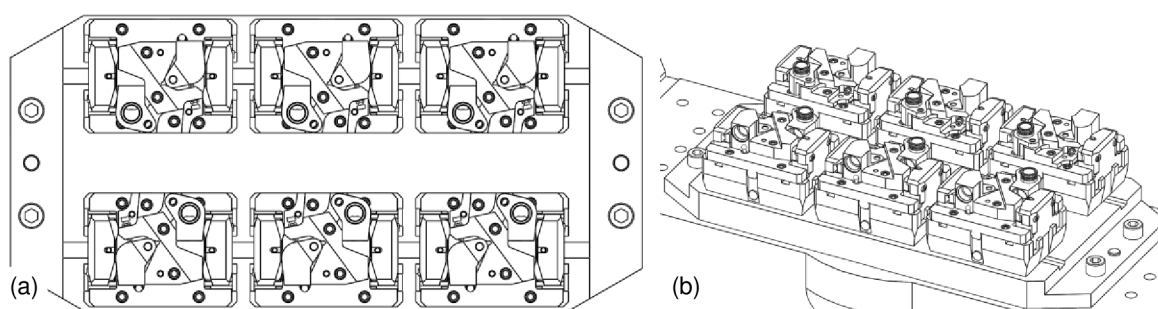
4.2 Koncept 1.1



obr. 4-2 Obrázek konceptu 1.1; (a) pohled shora na rozvržení upínacích jednotek; (b) 3D pohled na koncept čtyř upínacích jednotek.

Toto rozvržení předpokládá čtyři upínací jednotky na jednom stole. V jednom pracovním cyklu jsou vyrobeny čtyři součásti kompletně a čtyři z půlky. Upínací jednotky jsou natočeny tak, aby umožnily vrtání osazených děr při vykývnutém stole.

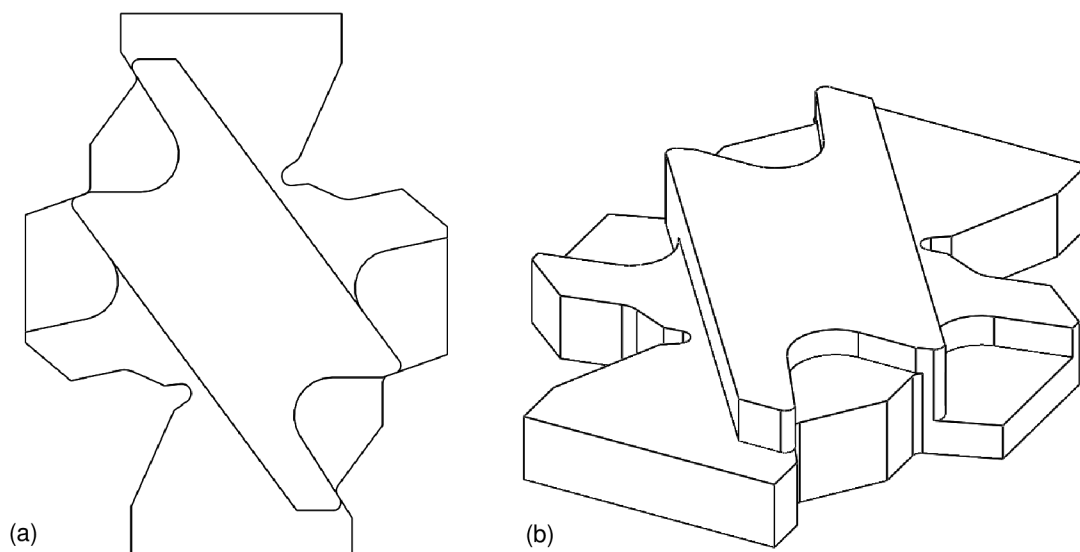
4.3 Koncept 1.2



obr. 4-3 Obrázek konceptu 1.2; (a) pohled shora na rozvržení upínacích jednotek; (b) 3D pohled na koncept šesti upínacích jednotek.

Obdobné rozvržení jako v konceptu 1.2 s tím rozdílem, že je použito šest upínacích jednotek na jednom stole. Toto rozvržení navýší počet vyrobených součástí na šest a počet součástí vyrobených z půlky také na šest. I zde je třeba dbát na správné natočení upínacích jednotek vůči hranám stolu.

4.4 Koncept 2



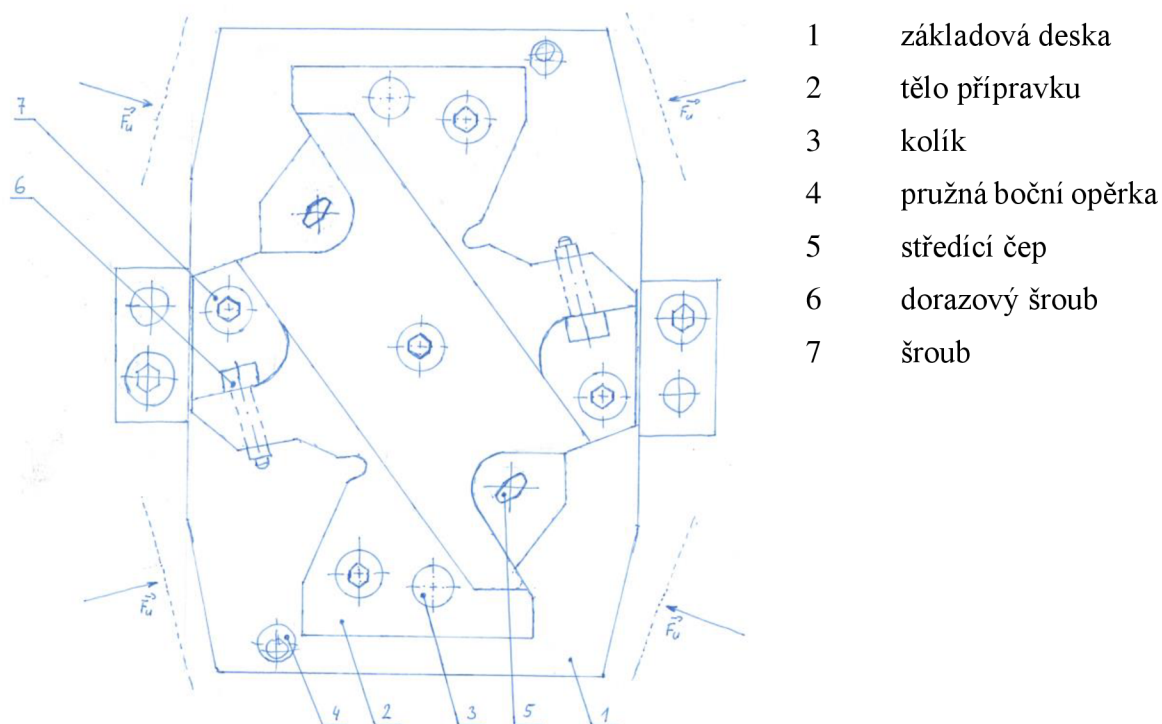
obr. 4-4 Obrázek konceptu 2; (a) pohled shora na středové těleso; (b) 3D pohled na středové těleso.

Tato varianta vychází z konceptu 1 s tím rozdílem, že je vybavena čtyřmi upínacími místy. Na dvě upnutí jsou vyrobeny dvě součásti kompletně a dvě součásti z půlky. Důležité bude, aby středové těleso spolu s upínací jednotkou byly z obou stran co nejbližěji hraně kolébkového stolu. Čím větší bude vzdálenost stěny, ve které jsou vrtány tři soustředné díry, od hrany stolu, tím delší bude muset být vrták. V opačném případě by mohlo dojít ke kolizi vřetena s hranou kolébkového stolu.

Toto rozvržení je o 60 % více prostorově náročné než koncept 1. Tato skutečnost má za následek prodražení výroby středového tělesa. Dále bude muset být použita větší upínací jednotka a širší výkyvné čelisti.

Výhodou tohoto středového tělesa bude možnost vyrobit více kusů na dvě upnutí v jedné obráběcí etapě, čímž dojde k zefektivnění výroby.

4.5 Koncept 3



obr. 4-5 Náčrt konceptu 3.

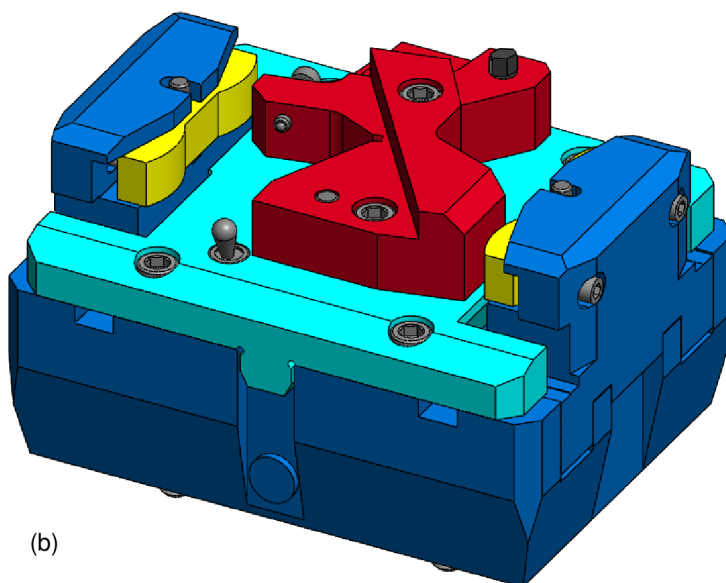
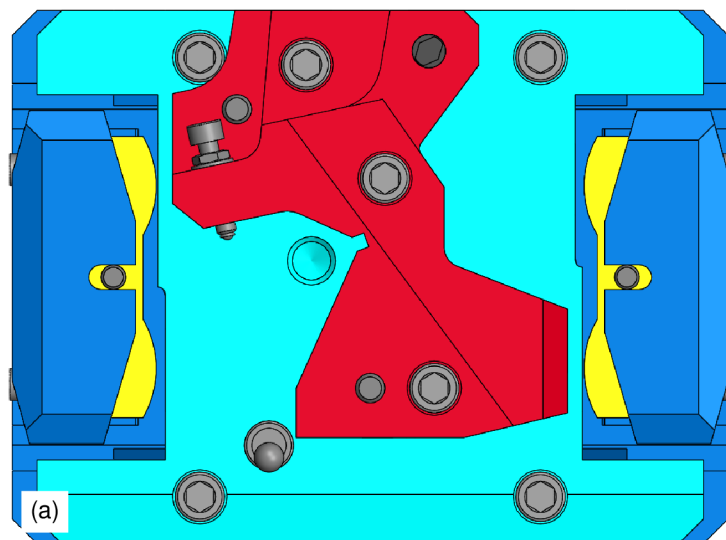
V tomto konceptu jsou pro vyvození upínací síly použity modulární upínky dle řešerše komerčních upínacích prvků (např. hydraulický upínač Roemheld). Na desku stolu jsou osazeny čtyři a jsou natočeny tak, aby upínací prvek dosedal kolmo na upínací plochu. Obrobky se zakládají do tvarově podobného přípravku jako v konceptu 2. Místo základny je však použita základová deska, která přímo dosedá na stůl stroje.

Výhodou tohoto řešení bude nižší pořizovací cena čtyř upínek, než je např. cena dvou hydraulických upínacích jednotek.

Nevýhodou budou prostorové nároky, které navíc zkomplikují výrobu. Pootočené upínky prodlouží dráhu, kterou bude muset vykonat vrták při vrtání osazených děr.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Pro následné konstrukční zpravování byl vybrán koncept 1 (4.1). Zahrnuje hydraulickou upínací jednotku s výkyvnými čelistmi, která bude osazena středovým tělesem. Vhodnost varianty 1.1 nebo 1.2 bude ověřena výpočtem strojních časů. Posloupnost popisu součástí je zvolena tak, jako by probíhala montáž a sestavování.



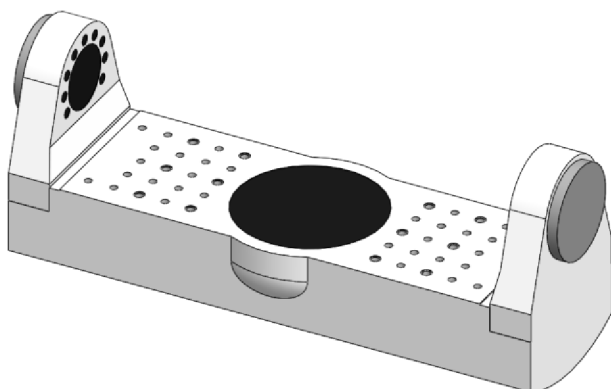
obr. 5-1 Obrázek finálního rozvržení; (a) pohled shora; (b) 3D pohled na přípravek.

5.1 Definice materiálu a vstupních součástí

Součásti uvedené v této podkapitole jsou vymodelovány tak, aby umožnily vizualizaci upínacího řešení v prostoru stroje. Připojovací rozměry odpovídají specifikaci součástí.

Stůl

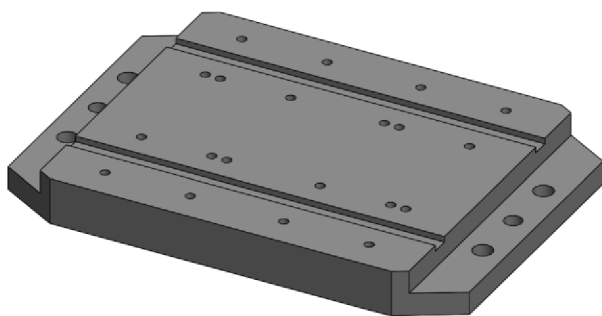
Dle předešlého zhodnocení bude součást vyrobena na obráběcím centru Chiron FZ15 FX. Otočné pozice budou osazeny dvěma kolébkovými stoly. Součástí stolu je i rotační platforma pro pětiosé obrábění. Tato platforma bude ze stolu demontována. K upnutí přípravku budou využity díry pro kolík o průměru 15 mm a závitové díry M16. Tyto otvory tvoří mřížku 50 mm x 50 mm.



obr. 5-2 Obrázek kolébkového stolu pro stroj FZ15 FX.

Hydraulický rozvaděč

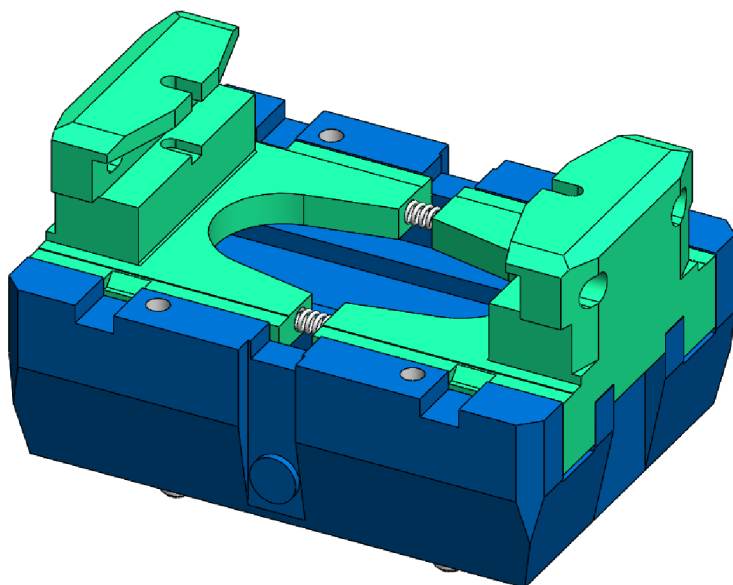
Na stůl bude přimontován hydraulický rozvaděč, který zajistí přívod hydraulického média do válců upínacích jednotek. Poloha bude vymezena dvojicí kolíků. Deska se upevní dotažením čtyř šroubů M16. Na horní ploše hydraulického rozvaděče jsou vyfrézovány dvě drážky, které slouží k zavedení pera na tělese upínací jednotky. V pozici je navíc upínací jednotka zajištěna kolíkem a čtyřmi šrouby. Velikost hydraulického rozvaděče bude zvolena na základě použitého rozvržení upínacích jednotek.



obr. 5-3 Obrázek hydraulického rozvaděče.

Upínací jednotka

Upínací jednotka je s hydraulickým rozvaděčem spojena pomocí čtyř šroubů M8. Poloha je určena zasunutím pera na tělese jednotky do drážky v hydraulickém rozvaděči. Dále je zajištěna kolíkem. Velikost upínací jednotky byla vybrána s ohledem na vyráběnou součást. Dle rešerše komerčně dostupných upínacích prvků je možno rozměry nakonfigurovat dle potřeb zákazníka. Vyvozuje upínací sílu až 12 kN. Vhodnost bude ověřena v kapitole 5.5.



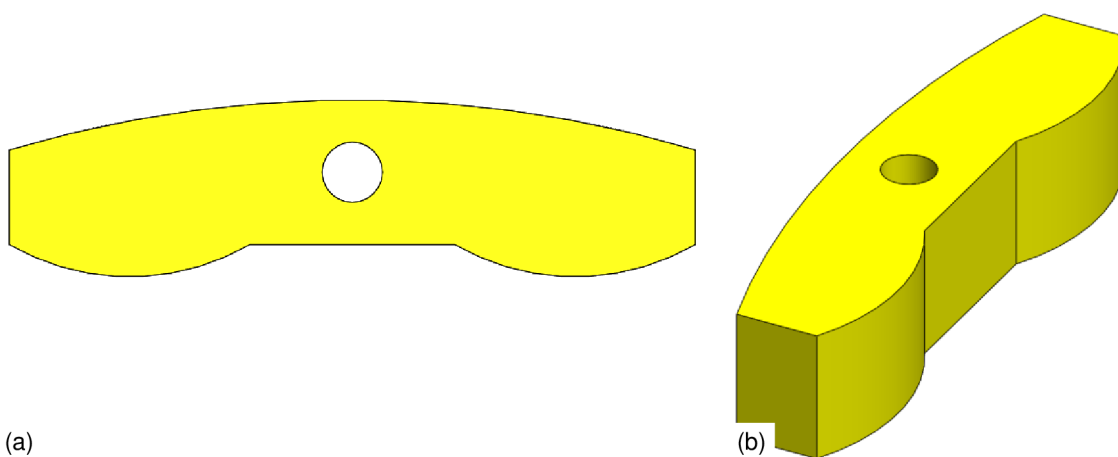
obr. 5-4 Obrázek těla upínací jednotky (tmavě modrá) a posuvných upínek (světle zelená).

Materiál

Na součásti čelist, základna a středové těleso bude z důvodu snížení výrobních nákladů použit stejný materiál. V úvahu je brána ocel 16MnCr5. Tato konstrukční ušlechtilá ocel se používá na výrobu ozubených kol v převodovkách. Je vhodná k cementování a kalení. Přípravek bude pracovat při proměnlivém namáhání. V pracovním procesu se budou střídát časy uvolnění čelistí s časy sevření čelistí. V jednu chvíli tedy bude zatížení nulové a poté maximální při sepnutí čelistí. Grafické znázornění změny napětí v čase se bude nejvíce blížit průběhu míjivého cyklu v tlaku. Podle výsledků studie dle článku [56] vydrží cementovaná a kalená konstrukční ocel 16MnCr5 $9,5 \cdot 10^5$ cyklů do únavového porušení při zatížení 200 MPa [56]. Tato skutečnost je pro pracovní podmínky přípravku dostačující. Na zmíněné součásti bude tedy použit materiál 16MnCr5, v českém označování ocelí též znám jako ČSN 14 220.

5.2 Výkyvné čelisti

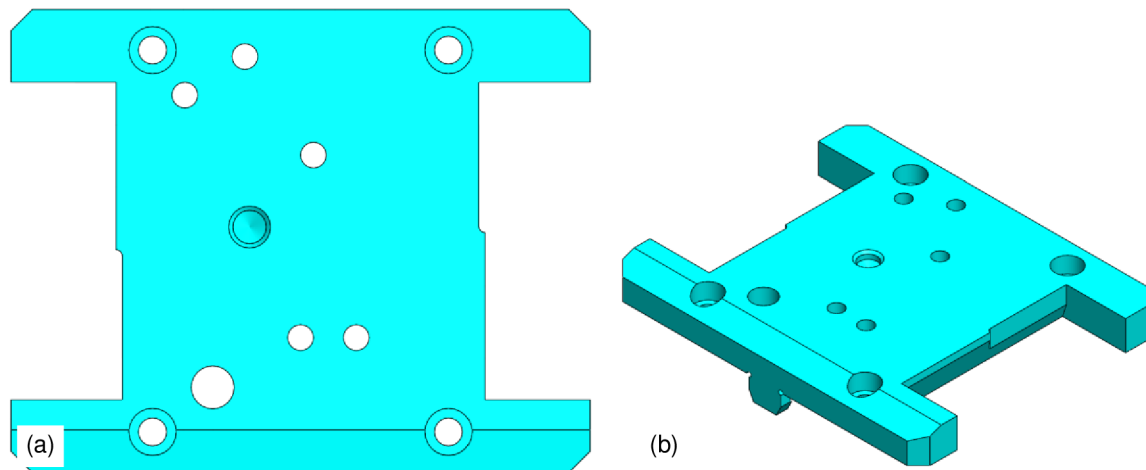
Důvodem použití výkyvných čelistí je rozdílná vzdálenost a úhel sklonu dorazové stěny součásti. Čelist je v prostoru upínky polohována pomocí čepu, který prochází čelistí a dosedá do drážek v upínkách. Výkyvná čelist při procesu upínání nejdříve dosedne na pevnou plochu středového tělesa. Následně dojde k vykývnutí a doražení na plochu součásti. Vykývnutí je způsobeno poodvalením rádiusu čelisti po ploše upínky. Vracení čelistí do výchozí pozice je realizováno dvěma tlačnými pružinami. Pružiny jsou nasunuty na dřívky šroubů. Šrouby jsou zašroubovány do závitu v čelisti a procházejí s vůlí vybráním v upínce. Toto vybrání slouží jako opěrná plocha pro tlačnou pružinu. Dosedací plocha bude cementována, kalena a broušena.



obr. 5-5 Obrázek výkyvné čelisti; (a) pohled shora; (b) čelist ve 3D.

5.3 Základna

Základna spojuje těleso upínací jednotky se středovým tělesem. Spojení s tělesem upínače je realizováno nasunutím základny do drážek a dotažením čtyř šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Horní plocha základny bude sloužit k opření součástí. Z tohoto důvodu bude cementována, kalena a broušena. Použití opěrných kolíků by prodražilo a zkomplikovalo výrobu. V prostoru základny jsou vyvrtány díry pro montáž středového tělesa. Navíc je zde vyvrtána neprůchozí díra, která vytváří prostor pro vrták při vrtání průchozí díry v součásti.



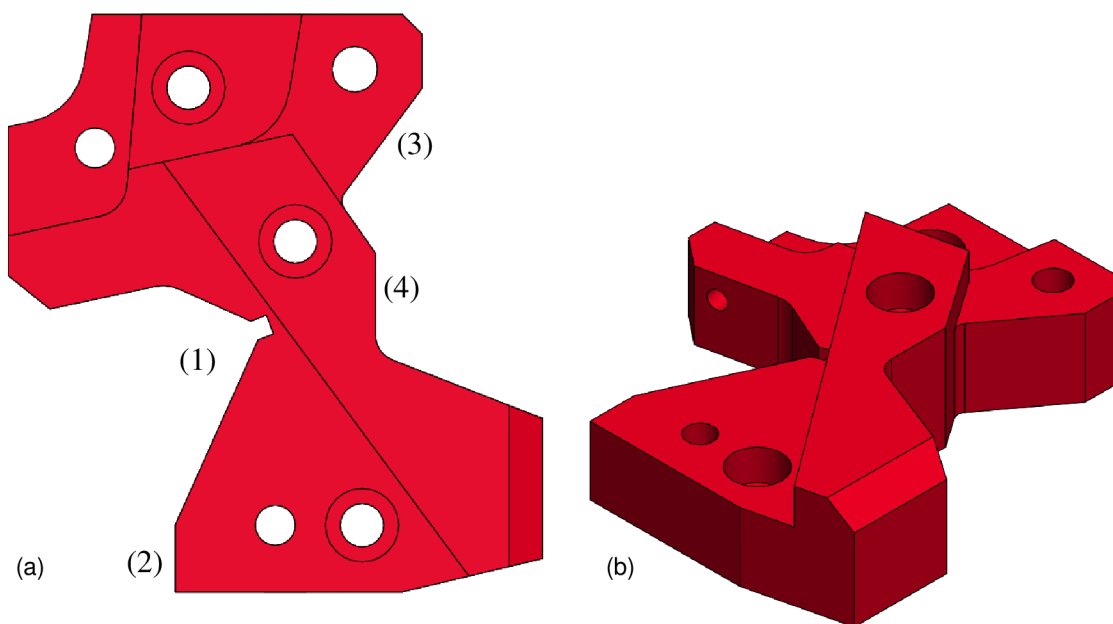
obr. 5-6 Obrázek základny; (a) pohled shora; (b) základna ve 3D.

5.4 Středové těleso

Středové těleso plní funkci pevné čelisti. Zajišťuje ustavení dvou součástí. Spojení se základnou je realizováno dvojicí kolíků a třemi šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. Snadnému odvodu třísek je napomáháno tvarem, který obsahuje (až na úhel prizmatické opěrky) tupé úhly. Nevznikají tudíž uzavřené rohy, kdy by docházelo ke koncentraci třísek. Konstrukce zohledňuje cesty nástroje, díky čemuž by správnou obsluhou nemělo dojít ke kolizi nástroje s přípravkem. Dosedací plochy budou cementovány, kaleny a broušeny.

Před prvním upnutím je součást vložena mezi dorazový šroub a pružnou boční opěrku. Po sevření čelistí je součást ustavena do prizmatické opěrky (1) a doražena na plochu (2). V této pozici při maximu materiálu je zarovnáno čelo a vytvořeno vybrání pro šroub. Dále jsou navrtány osazené díry v podstavě součásti při vykývnutém kolébkovém stole. Tato operace bude provedena sduženým vrtákem, který umožní všechny díry vyvrtat pouze jedním nástrojem. Následně bude vyvrtán průchozí otvor pro zavedení šroubu a sražení hrany díry.

Při druhém upnutí je pro ustavení součástí využita díra pro šroub z první operace. Do této díry je zaveden středící čep. Zároveň součást po sevření čelistí dosedne na plochy (3, 4). V této pozici bude obrobena plocha kolem válcového osazení. Dalším krokem bude sražení hrany díry pro zavedení šroubu. Následně bude ve válcovém osazení vyvrtána díra, která ústí do osazených děr vrtaných v první operaci. Nakonec budou vyřezány dvě drážky pro těsnící kroužky, sražena hrana díry spolu se sražením vnější hrany válcového osazení.



obr. 5-7 Obrázek středového tělesa; (a) pohled shora; (b) pohled ve 3D.

5.5 Výpočet řezných sil a určení upínací síly

Řezná síla vzniká vniknutím frézy do obráběného materiálu. Působíště a směr síly se však v průběhu řezného procesu neustále mění. Tato skutečnost se promítne do volby upínací síly.

Celková řezná síla

Výpočet řezné síly bude proveden pro hrubovací operaci, kdy dochází k největšímu úběru materiálu při nejvyšších posuvech. Řezné podmínky jsou vypočteny pro hrubovací frézu katalogového čísla 0180-14 [57].

tab. 5-1 Tabulka řezných podmínek při hrubování.

Průměr	Posuv	Počet břitů	Hloubka řezu	Šířka řezu	Vliv obráběného materiálu	Vliv tloušťky třísky	Úhel nastavení hl. ostří
$\varnothing D$	f_z	z	a_p	B	C_{Fc}	m_c	κ_r
mm	mm	–	mm	mm	–	–	°
14	0,25	3	4	13	1350	0,25	90

Úhel mezi břity frézy φ_t je definován jako podíl úhlů na kruhu k počtu břitů z :

$$\varphi_t = \frac{360}{z} = \frac{360}{3} = 120^\circ \quad (1)$$

Tloušťka třísky se mění v závislosti na úhlu posuvového pohybu. Proto je třeba dopočítat maximální úhel posuvového pohybu φ_{max} , na jehož základě bude určen počet břitů v řezu n_z . Počet břitů v záběru se zaokrouhluje vždy nahoru.

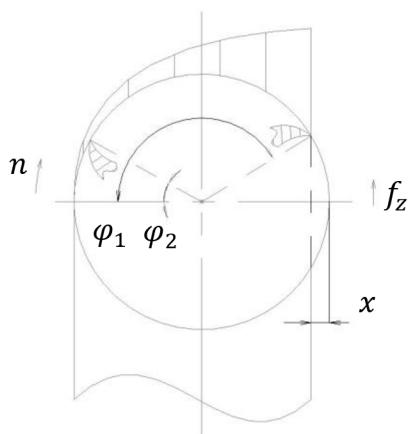
$$\varphi_{max} = 90 + \sin^{-1}\left(\frac{\frac{D}{2} - x}{\frac{D}{2}}\right) = 90 + \sin^{-1}\left(\frac{\frac{14}{2} - 1}{\frac{14}{2}}\right) = 149^\circ \quad (2)$$

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{\varphi_t} = \frac{149}{120} = 1,24 \Rightarrow 2 \quad (3)$$

Maximální úhel posuvového pohybu φ_{max} je úhel, pod kterým bude břit frézy opouštět řez. Prohlásme ho pro následující výpočet jmenovitého průřezu třísky A_D jako φ_1 . Vzhledem ke skutečnosti, že břity jsou posunuty o úhel 120° a v řezu jsou dva břity, definujme úhel posuvového pohybu φ_2 pro druhý břit v řezu.

$$\varphi_1 = \varphi_{max} = 149^\circ \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 - 120 = 29^\circ \quad (5)$$



obr. 5-8 Schéma úhlů posuvových pohybů (SolidWorks 2018).

Výpočet jmenovitého průřezu třísky A_D :

$$A_{D1} = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_1) = 4 \cdot 0,25 \cdot \sin(149) = 0,52 \text{ mm}^2 \quad (6)$$

$$A_{D2} = a_p \cdot f_z \cdot \sin(\varphi_2) = 4 \cdot 0,25 \cdot \sin(29) = 0,48 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

Ve výpočtu řezné síly dále figuruje měrná řezná síla k_c , pro jejíž učení je potřeba znát jmenovitou tloušťku třísky h .

$$h_1 = f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\varphi_1) = 0,25 \cdot \sin(90) \cdot \sin(149) = 0,129 \text{ mm} \quad (8)$$

$$h_2 = f_z \cdot \sin(\kappa_r) \cdot \sin(\varphi_2) = 0,25 \cdot \sin(90) \cdot \sin(29) = 0,121 \text{ mm} \quad (9)$$

$$k_{c1} = \frac{C_{Fc}}{h_1^{m_c}} = \frac{1350}{0,129^{0,25}} = 2253,62 \text{ MPa} \quad (10)$$

$$k_{c2} = \frac{C_{Fc}}{h_2^{m_c}} = \frac{1350}{0,121^{0,25}} = 2288,05 \text{ MPa} \quad (11)$$

Nyní již k finálnímu výpočtu řezné síly F_c :

$$F_{c1} = k_{c1} \cdot A_{D1} = 2253,62 \cdot 0,52 = 1171,88 \text{ N} \quad (12)$$

$$F_{c2} = k_{c2} \cdot A_{D2} = 2288,05 \cdot 0,48 = 1098,26 \text{ N} \quad (13)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} = 1171,88 + 1098,26 = 2270,14 \text{ N} \quad (14)$$

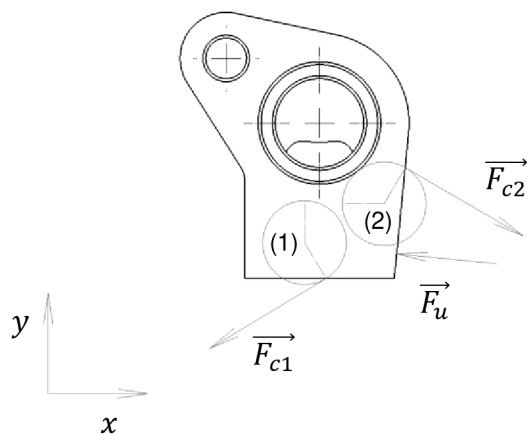
Upínací síla

Velikost upínací síly je úzce spjata s únosností středícího čepu. Středící čep bude namáhán na stříh. Následující výpočet zjistí, jaké největší smykové zatížení dokáže čep o průměru 6,8 mm z oceli ČSN 11 600 snést při dodržení bezpečnosti 2.

$$\tau_D = 85 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$F_{\check{c}} = \frac{S_{\check{c}} \cdot \tau_D}{k} = \frac{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4} \cdot \tau_D}{k} = \frac{\frac{\pi \cdot 6,8^2}{4} \cdot 85}{2} = 1543,46 \text{ N} \quad (16)$$

Upínací síla F_u svírá s osou x úhel $5,65^\circ$. To má za následek, že po rozkladu síly do směrů x a y je $F_{u,y}$ výrazně menší, než $F_{u,x}$. Pro odhad upínací síly uvažujme 2 situace, kdy v průběhu řezu bude složka řezné síly ve směru y působit proti čelistem. Ze silové rovnováhy v ose y poté dopočítáme složku upínací síly ve směru y .



obr. 5-9 Schéma řezných sil v pozici 1 a 2 s naznačenou upínací silou (SolidWorks 2018)

Situace 1

$$F_{u1y} = -F_{c1y} + F_{\check{c}} = -1168,71 + 1543,46 = 374,75 \text{ N} \quad (17)$$

Situace 2

$$F_{u2y} = -F_{c2y} + F_{\check{c}} = -1138,84 + 1543,46 = 404,62 \text{ N} \quad (18)$$

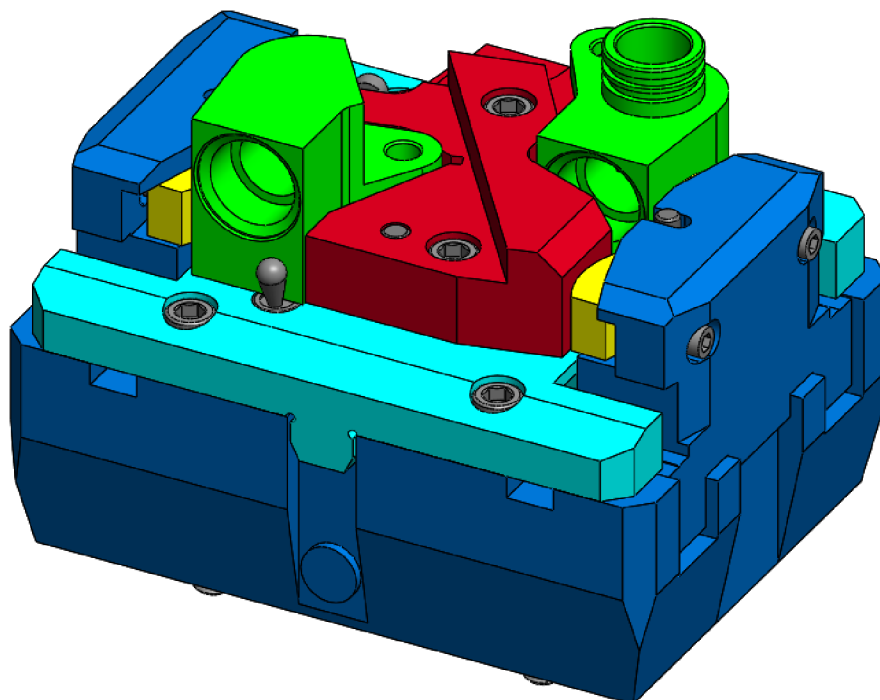
Z předešlého výpočtu je zřejmé, že čep zvládne pohlit účinky řezné síly ve směru osy y . Upínací síla F_u bude zvolena s ohledem na bezpečnost s koeficientem 2,2, který by měl zaručit spolehlivé sevření.

$$F_u = k_b \cdot F_c = 2,2 \cdot 2270,14 = 4994,3 = 5000 \text{ N} \quad (19)$$

Upínací jednotka zvládne vyvodit upínací sílu 12 kN. 5 kN je tedy v její kompetenci. Hodnota bude nastavena pomocí škrtkícího ventilu v hydraulickém okruhu.

5.6 Sestavení

Kompletní upínací jednotka bude tvořena následujícími díly: těleso jednotky, upínka levá a pravá, výkyvné čelisti, základna a středové těleso. Spojovací materiál spolu s ostatními nakupovanými prvky byl vybrán dle katalogů v příloze [58], [59], [60] a podle strojnických tabulek [61]. Na následujícím obrázku jsou zachyceny obráběné součásti (zelená) ve stavu, ve kterém je bude obsluha vyjímat po ukončení obráběcího cyklu.



obr. 5-10 Obrázek sestavy s osazenými upínacími pozicemi.

5.7 Optimalizace výrobního procesu

Strojní časy

Pro výpočet bylo nutné nadefinovat nástroje a jejich posuvy. Řezná rychlost byla odečtena z katalogu výrobců nástrojů [57], [62], [63]. Použité nástroje a řezné podmínky jsou uvedeny v následující tabulce 5-2. Číslo pozice je zároveň indexem i . Výpočet bude proveden pro jednu upínací jednotku, tedy obrábění na dvou místech, jehož výstupem je jedna kompletní součást a jedna z půlky.

tab. 5-2 Tabulka řezných podmínek pro vybrané nástroje.

Pozice	Nástroj	Průměr	Řezná rychlost	Počet břitů	Posuv na zub	Posuv na otáčku
		$\varnothing D_i$	v_{ci}	z_i	f_{zi}	f_{ni}
		mm	$m \cdot \text{min}^{-1}$	mm	mm	mm
1	Dokončovací fréza	14	240	4	0,1	-
2	Hrubovací fréza	14	600	3	0,25	-
3	Sdružený vrták	15/19/23	60	-	-	0,3
4	Vrták	6,8	60	-	-	0,16
5	Vrták	9	60	-	-	0,22
6	Vrták	14,8	60	-	-	0,3
7	Vrták	17	60	-	-	0,33
8	Drážkovací fréza	13,5	150	6	0,12	-
9	Odjehlovací fréza	6	100	4	0,1	-

Při známé řezné rychlosti v_c a průměru frézy D je možno dopočítat otáčky nástroje n . První výpočet bude ukázkově proveden pro dokončovací frézu pozice 1.

$$n_1 = \frac{1000 \cdot v_{c1}}{\pi \cdot D_1} = \frac{1000 \cdot 240}{\pi \cdot 14} = 5456,72 \text{ min}^{-1} \quad (20)$$

Z otáček n , počtu břitů z a posuvu na zub f_z , případně posuvu na otáčku f_n je možno vypočítat posuvovou rychlost v_f . Výpočet se liší pro obrábění frézou a vrtání. Z tohoto důvodu budou zařazeny dva ukázkové výpočty.

Výpočet pro obrábění frézou z 1. pozice je ve tvaru:

$$v_{f1} = f_{z1} \cdot z_1 \cdot n_1 = 0,1 \cdot 4 \cdot 5456,72 = 2182,69 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (21)$$

Pro vrtací operace bude výpočet proveden pro pozici 4:

$$v_{f4} = f_{n4} \cdot n_4 = 0,16 \cdot 2808,61 = 449,38 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (22)$$

V následující tabulce 5-3 jsou použity a dopočítány hodnoty dle předešlých vztahů:

tab. 5-3 Tabulka dopočítaných hodnot otáček a posuvů.

Pozice	Nástroj	Průměr	Otáčky	Posuvová rychlost
		$\varnothing D_i$	n_i	v_{fi}
		mm	min ⁻¹	mm · min ⁻¹
1	Dokončovací fréza	14	5456,72	2182,69
2	Hrubovací fréza	14	13641,82	10231,36
3	Sdružený vrták	15/19/23	1273,23	381,97
4	Vrták	6,8	2802,61	449,38
5	Vrták	9	2122,10	466,85
6	Vrták	14,8	1290,44	387,13
7	Vrták	17	1123,44	370,74
8	Drážkovací fréza	13,5	3536,77	2546,47
9	Odjehlovací fréza	6	5305,15	2122,06

Před výpočtem strojních časů bylo třeba zjistit dráhy nástrojů při pracovním posuvu. Definice drah byla provedena v programu SolidWorks 2018 pro technologické operace potřebné k zhotovení součásti. Ze známé dráhy nástroje L a posuvové rychlosti v_f je možno určit jednotkový strojní čas t_{AS} (operace zarovnání čela):

$$t_{AS1} = \frac{L_1}{v_{f1}} = \frac{153,62}{2182,69} = 4,223 \text{ s} \quad (23)$$

Následující tabulka 5-4 představuje zjednodušený technologický postup, navíc doplněný o délky drah a jednotkové strojní časy:

tab. 5-4 Tabulka zjednodušeného technologického postupu s uvedením drah a jednotkových strojních časů.

Operace	Pozice nástroje	Dráha	Jednotkový strojní čas
		L_i <i>mm</i>	t_{ASi} <i>s</i>
Obrábění na pozici 1			
Zarovnání čela	1	153,62	4,22
Hrubování vybrání pro šroub	2	300	1,76
Dokončování vybrání pro šroub	1	75,23	2,07
Vrtání osazených děr	3	34	5,34
Vrtání průchozí díry pro šroub	4	24	3,21
Sražení hrany díry pro šroub	5	3,6	0,46
Obrábění na pozici 2			
Hrubování kolem válcového osazení	2	904,5	5,31
Dokončení plochy kolem válcového osazení	1	355	9,76
Sražení hrany díry pro šroub	5	3,6	0,46
Vrtání díry ve válcovém osazení	6	33,5	5,19
Sražení hrany díry ve válcovém osazení	7	6,1	0,98
Vyřezání dvou drážek pro těsnící kroužky	8	364	8,58
Sražení vnější hrany válcového osazení	9	30,5	0,86

V tuto chvíli jsou známé strojní časy pracovních posuvů nástrojů. K finálnímu strojnímu času je však třeba ještě zjistit a započítat čas strávený přejezdy rychloposuvem a časy vzniklé funkcí stroje jako např. čas výměny nástroje, čas vyklopení stolu apod. V následující tabulce 5-5 jsou uvedeny výchozí parametry stroje pro získání chybějících veličin.

tab. 5-5 Tabulka parametrů stroje FZ15 FX [12].

Operace	Čas
	t_{si} s
Výměna nástroje	0,9
Změna pozice nástroje	1,9
Vyklopení stolu o 90°	0,9
Otočení stolové platformy	3,5

Dráhy rychloposuvů zaujímají délku $L_{RP} = 7,96 \text{ m}$. Při rychloposuvové rychlosti $v_{RP} = 75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ bude čas rychloposuvů t_{RP} roven:

$$t_{RP} = \frac{L_{RP}}{v_{RP}} = 6,37 \text{ s} \quad (24)$$

Nyní bude proveden finální výpočet, který určí celkový strojní čas pro jednu upínací jednotku. V pracovním cyklu dojde k 1 rotaci stolové platformy, ke 2 vyklopením stolu o 90°, k 13 výměnám nástrojů při 19 výměnách pozice.

$$\begin{aligned} t_{AScelk1} &= \sum_{i=1}^{13} t_{ASi} + 13 \cdot t_{s1} + 19 \cdot t_{s2} + 2 \cdot t_{s3} + t_{s4} + t_{RP} = \\ &= 4,22 + 1,76 + 2,07 + 5,34 + 3,21 + 0,46 + 5,31 + 9,76 + 0,46 + \\ &\quad + 5,19 + 0,98 + 8,58 + 0,86 + 13 \cdot 0,9 + 19 \cdot 1,9 + 2 \cdot 0,9 + 3,5 + \\ &\quad + 6,37 = \\ &= 107,67 \text{ s} = 1,79 \text{ min} \end{aligned} \quad (25)$$

Čas obsluhy přípravku

Z přípravku bude operátor vyjímat hotové součásti, ofukovat třísky, zakládat nové součásti k obrobení atd. Dohromady tyto úkony tvoří dobu strávenou obsluhou po jednom obráběcím cyklu. Cílem je, aby tato doba nepřesáhla čas obrábění součásti. Vznikl by prostoj v chodu stroje a tím i finanční ztráta podniku. Naopak prostoj obsluhy je také nevyhovující.

Pro následující bilanci časů stroje a časů obsluhy byl proveden odhad času úkonů, kterými bude muset obsluha projít před spuštěním obráběcího programu.

tab. 5-6 Tabulka odhadů pracovních úkonů.

Úkon	Čas
	t_{ui} s
Otevření dveří stroje	2
Ofuk	5
Vyjmutí součástí	10
Ofuk součástí	15
Ofuk přípravku	30
Založení nových dílů	30
Upnutí	2
Doklepnutí	5
Vizuální kontrola	10
Zavření dveří stroje	2
Spuštění programu	1
Kontrola 40. kusu	30

$$t_{uc} = \sum_{i=1}^{12} t_{ui} = 142 \text{ s} = 2,36 \text{ min} \quad (26)$$

Součet těchto časů činí 2,36 min. Při porovnání s výpočtem strojního času, který vyšel 1,79 min je zřejmé, že řezný proces na prvním stole bude hotový dříve, než obsluha stihne projít přípravou obrobků na druhém stole. Z tohoto důvodu bude třeba najít efektivnější řešení, které bude uvažovat více upínacích jednotek na stole. Hodnoty již definovaných strojních časů, stejně jako odhad časů obsluhy, poslouží jako výchozí bod pro odhad čtyř- a šesti-upínačového řešení.

Definice rozvržení

V kapitole 4 byly nastíněny dva koncepty rozvržení, které měly stůl osazený čtyřmi nebo šesti upínacími jednotkami. Časy obráběcího centra se nezmění. Změní se však počet vyklopení kolébkového stolu. Podle drah v programu SolidWorks 2018 byl zjištěn rozdíl ve vzdálenostech rychloposuvů. Dále bude strojní čas každé operace vynásoben počtem příslušných jednotek.

Výpočet strojních časů pro **čtyři** upínače:

$$t_{RPd4} = 7,28 \text{ s} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} t_{AScelk4} &= 4 \cdot \sum_{i=1}^{13} t_{ASi} + 13 \cdot t_{s1} + 19 \cdot t_{s2} + 4 \cdot t_{s3} + t_{s4} + t_{RP} + t_{RPd4} = \\ &= 4 \cdot (4,22 + 1,76 + 2,07 + 5,34 + 3,21 + 0,46 + 5,31 + 9,76 + 0,46 + \\ &\quad + 5,19 + 0,98 + 8,58 + 0,86) + 13 \cdot 0,9 + 19 \cdot 1,9 + 4 \cdot 0,9 + 3,5 + \\ &\quad + 6,37 + 7,28 = \\ &= 261,35 \text{ s} = 4,36 \text{ min} \end{aligned} \quad (28)$$

Výpočet strojních časů pro **šest** upínačů:

$$t_{RPd6} = 10,92 \text{ s} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} t_{AScelk6} &= 6 \cdot \sum_{i=1}^{13} t_{ASi} + 13 \cdot t_{s1} + 19 \cdot t_{s2} + 4 \cdot t_{s3} + t_{s4} + t_{RP} + t_{RPd6} = \\ &= 6 \cdot (4,22 + 1,76 + 2,07 + 5,34 + 3,21 + 0,46 + 5,31 + 9,76 + 0,46 + \\ &\quad + 5,19 + 0,98 + 8,58 + 0,86) + 13 \cdot 0,9 + 19 \cdot 1,9 + 2 \cdot 0,9 + 3,5 + \\ &\quad + 6,37 + 10,92 = \\ &= 359,59 \text{ s} = 5,99 \text{ min} \end{aligned} \quad (30)$$

Nyní dojde k upravení tabulky odhadů pracovních úkonů:

tab. 5-7 Tabulka odhadů pracovních úkonů pro více upínacích jednotek.

Úkon	Čas obsluhy	Čas obsluhy 4 jednotek	Čas obsluhy 6 jednotek
	t_{ui}	t_{4ui}	t_{6ui}
	s	s	s
Otevření dveří stroje	2	2	2
Ofuk	5	10	15
Vyjmutí součástí	10	30	45
Ofuk součástí	15	35	50
Ofuk přípravku	30	50	75
Založení nových dílů	30	50	75
Upnutí	2	2	2
Doklepnutí	5	20	30
Vizuální kontrola	10	10	10
Zavření dveří stroje	2	2	2
Spuštění programu	1	1	1
Kontrola 40. kusu	30	30	30

$$t_{4uc} = \sum_{i=1}^{12} t_{4ui} = 242 \text{ s} = 4,03 \text{ min} \quad (31)$$

$$t_{6uc} = \sum_{i=1}^{12} t_{6ui} = 337 \text{ s} = 5,61 \text{ min} \quad (32)$$

Součet časů pro čtyři upínače činí 242 s tedy 4,03 min. Pro šest upínačů je čas roven 337 s čili 5,61 min. Při porovnání s příslušnými strojními časy je zřejmé, že v obou případech má obsluha jistý prostoj. Konečné rozhodnutí o vhodném rozvržení bude provedeno výpočtem výrobní kapacity.

5.8 Zjednodušený výpočet výrobní kapacity

Uvažujme nepřetržitý třísměnný provoz. V kalendářním roce (365 dní) bude stroj každý měsíc 8 hodin mimo provoz z důvodu celkové údržby. Poruchovost bude činit 10% z prostojů. Dále musí být započítán čas změny platformy stolů, který dle tabulky 5-5 činí 3,5 s. Počet výrobků v sérii je 100 000 ks.

Využitelný časový fond

Tento údaj udává, kolik hodin může podnik maximálně vyrábět.

$$\text{Využitelný čas} \quad T_k = 365 \text{ dní} = 8760 \text{ h} \quad (33)$$

$$\text{Prostoj kvůli servisu} \quad T_n = 8 \cdot 12 = 96 \text{ h za rok} \quad (34)$$

$$\text{Prostoj díky poruchovosti} \quad T_p = T_n \cdot 0,1 = 9,6 \text{ h za rok} \quad (35)$$

$$\text{Prostoj rotací platformy} \quad T_{r4} = 100 \text{ h za rok} \quad (36)$$

$$T_{r6} = 80 \text{ h za rok} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} T_{f4} &= T_k - T_n - T_p - T_{r4} = 8760 - 96 - 9,6 - 100 = 8554,4 \text{ h} = \\ &= 30795840 \text{ s} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} T_{f6} &= T_k - T_n - T_p - T_{r6} = 8760 - 96 - 9,6 - 80 = 8574,4 \text{ h} = \\ &= 30867840 \text{ s} \end{aligned} \quad (39)$$

Výrobní kapacita za optimálních podmínek

Toto číslo sděluje, kolik kusů součástí je možno maximálně vyrobit v daném časovém fondu.

$$Q_{p4} = \frac{T_{f4}}{t_{AScelk4}} = \frac{30795840}{261,35} = 117833,71 = 117\,833 \text{ ks} \quad (40)$$

$$Q_{p6} = \frac{T_{f6}}{t_{AScelk6}} = \frac{30867840}{359,59} = 85841,76 = 85\,841 \text{ ks} \quad (41)$$

Koeficient celkového využití výrobní kapacity

Tento údaj vypovídá o výrobní efektivitě podniku. Pokud vyjde menší jak 100% podnik nevyužívá naplno svoji výrobní kapacitu.

$$\text{Požadovaná výroba} \quad Q_s = 100\,000 \text{ ks} \quad (42)$$

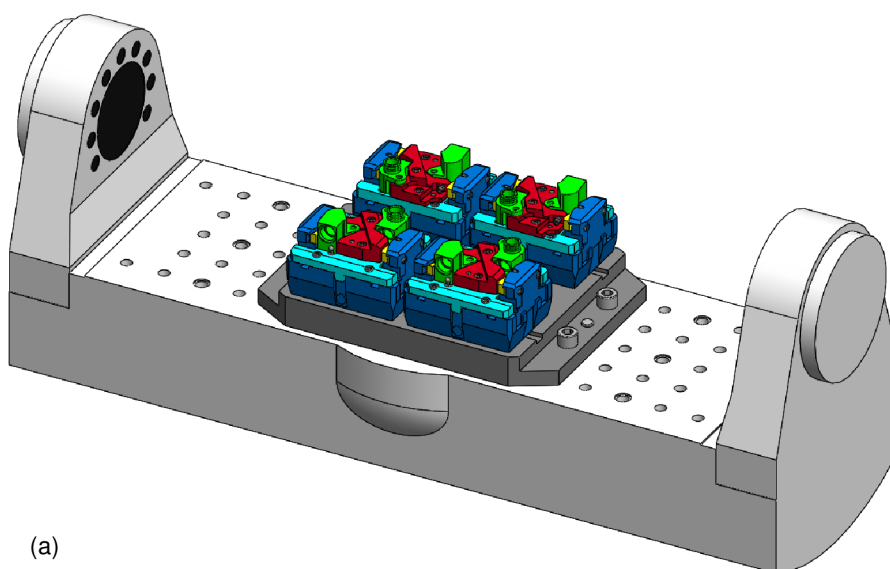
$$K_{c4} = \frac{Q_s}{Q_{p4}} \cdot 100 = \frac{100\,000}{117\,833} \cdot 100 = 84,9\% \quad (43)$$

Použití 6 upínacích jednotek prodlouží strojní čas na tolik, že výroba by nebyla schopna naplnit požadovaný počet kusů. Výhodnější bude použit 4 upínací jednotky na jednom stole. Toto rozvržení je schopné dodat nejen požadovaný počet výrobků, ale i případně dodávku ročně navýšit o 17 833 kusů.

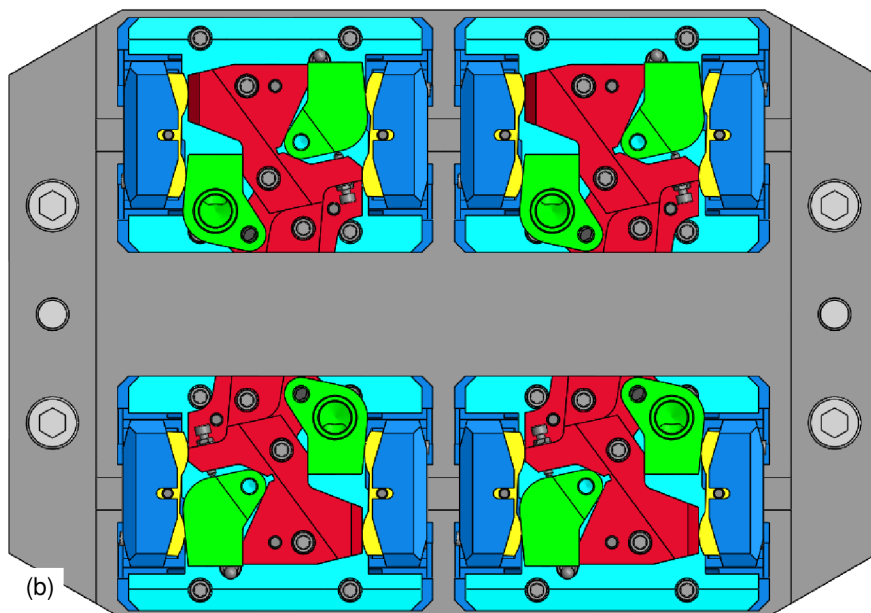
5.9 Efektivní rozvržení

Na základě předešlého hodnocení bylo vybráno rozvržení dle konceptu 1.1. Tento koncept nabízí optimální situaci, kdy je stroj v nepřetržitém provozu a obsluha má dostatečný čas na výměnu součástí. Výroba nevyužívá 15,1% své kapacity. Tato kapacita může být využita k navýšení výroby či jako časová rezerva případných komplikací výroby.

Je třeba mít na paměti, že aby obráběcí centrum splňovalo definované parametry nepřetržitého provozu, bude se montovat dvojnásobný počet upínacích jednotek. Vzhledem ke dvěma pracovním místům bude použito 8 upínacích jednotek.



(a)



(b)

obr. 5-11 Obrázek finálního rozvržení; (a) rozvržení upínacích jednotek na stole; (b) pohled shora na jednotky.

6 DISKUZE

Popsány byly tři možné přístupy, z nichž byl vybrán výsledný návrh a posléze řešení. Z důvodu snížení výrobních nákladů byl použit na vyráběné dílce stejný materiál, a to 16MnCr5. Nejdříve byl nadefinován jeden upínací celek, pro nějž byla zjištěna upínací síla. Upínač je schopen vypočtenou upínací sílu vyvodit, byl tedy i kvůli flexibilním rozměrům použit. Dále bylo třeba zjistit, které z koncepčních rozvržení zajistí jak sériovou, tak efektivní výrobu. Pro tento účel byly oba porovnávané modely ověřeny sérií výpočtů strojních časů. Nakonec byly výsledky jednotlivých modelů vyhodnoceny výpočtem výrobní kapacity. Na základě těchto výpočtů byl vybrán model čtyř upínacích jednotek na jednom stole, který splňuje výrobní požadavky. Výkresová dokumentace vyráběných součástí a sestavy je součástí přílohy této práce.

7 ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo navrhnout konstrukci systému upínání tvarové součásti na frézce s ohledem na minimální náklady a prostoje. Dílčími cíli bylo analyzovat a provést rešerši stávajících upínacích řešení, vypracovat koncepční návrhy možných řešení a vybraný návrh vypracovat do podoby výkresové dokumentace. Hlavní cíl i dílčí cíle byly splněny. V rešerši jsou zmapované patentní i komerčně dostupné upínací prvky a přípravky. Dále pak byla provedena analýza hliníkových slitin vhodných pro výrobu zadané součásti s ohledem na zajištění funkce. Nakonec byl proveden popis vhodných obráběcích center. Finální návrh byl proveden pro variantu 1, která díky svým kompaktním rozměrům umožnila provést rozvahu nad vhodným počtem upínačů. Vhodnost byla ověřena výpočty, na jejichž základě byl určen finální počet upínačů na jenom stole.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MICHNA, Štefan et al. *Encyklopedie hliníku*. Přerov: Adin, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
2. 2.Hot gas line. In: *Continental* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.contitech.de/en-gl/Solutions/Fluid-Handling/Passenger-Cars/Interior/Air-Conditioning-Unit>
3. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
4. Slitiny hliníku. *Ehlinik.cz* [online]. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/prilohy/zakladni-technicke-informace.pdf>
5. Hliník a jeho slitiny. *Alfun* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://alfun.cz/o-hliniku>
6. Slitiny hliníku. *Hliníkové profily* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://proal.cz/hlinik/slitiny-hliniku/>
7. AL slitiny. *Ing. Petr Spáčil - kovoobrábění* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>
8. Hliník. *Alfun* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://alfun.cz/hlinik>
9. HB-45-12. *Hydromat Inc.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://hydromat.com/machines/hb-45-12>
10. HB-45-12 Rotary transfer. *Hydromat Inc.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://hydromat.com/sites/default/files/pdfs/brochures/Hydromat-HB-45-12.pdf>
11. Chiron 12 Series. *Chiron* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://chiron.de/pdf/series/BR12_072018_EN_RZ_LowRes.pdf
12. Chiron 15 Series. *Chiron* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://chiron.de/pdf/series/BR15_072018_EN_RZ_LowRes.pdf
13. Chiron 18 Series. *Chiron* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://chiron.de/pdf/series/BR18_072018_EN_RZ_LowRes.pdf
14. Matsuura MAM72-63V. *Matsuura Machinery* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.matsuura.co.uk/cnc-milling/mam72-63v/>
15. Matsuura MAM72-63V. *Makrum Oy* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.makrum.fi/wp-content/uploads/2012/02/MAM72-63V.pdf>
16. VF-5/50. *Haas Automation* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/machines/vertical-mills/vf-series/models/medium/vf-5-50.html>

17. Pallet Changer Model Guide for HAAS Machines. *Pallet Changer System* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.midaco-corp.com/pdf/brochure-haas.pdf>
18. AS5025SDCECI Dual Pallet Changer with Cast Iron Pallets. *Pallet Changer System* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.midaco-corp.com/pd.1443/as5025sdceci-dual-pallet-changer-with-cast-iron-pallets/>
19. Automatic Pallet Systems. *Pallet Changer System* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://generalplatform.blob.core.windows.net/wwwmidaco-corpcom/product/pdf/401792cf-6bac-4813-a37f-2ad93a578690.pdf>
20. Choose options. *Haas Automation* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/content/haascnc/en/build-and-price/choose-options.VF-5%252F50.html>
21. Automated Machining Centers F510D Hyundai Wia. *Hillary Machinery* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.hillaryinc.com/index_htm_files/hyundai-fd-machiningcenter.pdf
22. F410D, F500D, F600D. *Hyundai Wia Machine Tools* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://machine.hyundai-wia.com/eu/product/product_detail.asp?PRODUCT_SEQ=882&PRODUCT_CODE=B02004
23. MV154APC. *Quaser Machine Tools, Inc.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.quaser.com/english/products.php?mode=proDetail&cid=1480403038&pid=1480467067&topcid=1480403038>
24. MV154APC Series. *Quaser Machine Tools, Inc.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.quaser.com/files/proimages/1487238709_pdf.pdf
25. Introduction to Fixture Design. NEE, Andrew Y. C., Zhen J. TAO a Senthil A. KUMAR. *An Advanced Treatise On Fixture Design And Planning* [online]. New Jersey: World Scientific, 2004, s. 1-20 [cit. 2019-05-15]. ISBN 981-256-059-9. Dostupné z: <https://www.karnataka.gov.in/gttc/elearning/FIXTURE%20DESIGN.pdf>
26. *Low-Block Edge Clamp* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.carrlane.com/en-us/product/power-workholding/extending-clamps/low-block-edge-clamps>
27. B1.372 Low-block clamping cylinders. *Roemheld* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.roemheld-gruppe.de/shop/en/b1-372-low-block-clamping-cylinders.html>

28. Pneumatické upínače s posuvnou tyčí. *Kipp-Normované díly, obslužné díly a upínací systémy* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Produkty/Ovl%C3%A1dac%C3%AD-prvky-normovan%C3%A9-d%C3%ADly/Rychloup%C3%ADna%C4%8De-pneumatick%C3%A9-rychloup%C3%ADna%C4%8De/K0093-Pneumatick%C3%A9-up%C3%ADna%C4%8De-s-posuvnou-ty%C4%8D%C3%AD-Proveden%C3%AD-A.html>
29. MoveLock Modular System. *Kurt Workholding* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.kurtworkholding.com/documents/Kurt_MoveLock.pdf
30. CNC Workholding. *Datron High Speed CNC Milling Machines* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.datron.com/cnc-machine-products/cnc-workholding.php>
31. Datron Pneumatic Clamping Technology. *Datron High Speed CNC Milling Machines* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.datron.com/Content/DATRON_Clamping_Systems_Data_Sheet.pdf
32. Hydraulický svěrák modulární řady DHMS. *Vývoj, konstrukce, technologie a výroba - Deprox s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.deprox.cz/hydraulicky-sverak-modularni/>
33. CECIL, J. Computer-Aided Fixture Design – A Review and Future Trends. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer, 2001, 2001, **18**(11), 790-793 [cit. 2019-05-15]. ISSN 1433-3015. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs001700170004?LI=true>
34. BI, Z. M. a W. J. ZHANG. Flexible fixture design and automation: Review, issues and future directions. *International Journal of Production Research* [online]. 2001, **39**(13), 2867-2894 [cit. 2019-05-15]. DOI: 10.1080/00207540110054579. ISSN 0020-7543. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207540110054579>
35. HOFFMAN, Edward G. *Jig and fixture design*. 5th ed. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, c2004. ISBN 1-4018-1107-8.
36. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
37. Opěrné čepy ve tvaru kolíku s vnitřním závitem. *Norelem* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/cz/02/02027_Datasheet_17790_Op_rn_epy_ve_tvaru_kol_ku_s_vnit_n_m_z_vitem--cs.pdf

38. Pružné boční opěrky. *Norelem* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/cz/03/03330_Datasheet_2794_Pru_n_bo_n_op_rky--cs.pdf
39. Středící čepy s vnitřním závitem. *Norelem* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/cz/02/02025_Datasheet_18075_St_ed_c_epy_s_vnit_n_m_z_vitem--cs.pdf
40. Opěrné čepy. *Norelem* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.norelem.com/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/DataSheet/cz/02/02010_Datasheet_2273_Op_rn_epy--cs.pdf
41. ŠMEJKALOVÁ, Jana. Jak na hliník?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015, 09.12.2015, (12) [cit. 2019-05-15]. ISSN 2336-3096. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/jak-na-hlinik.html>
42. Multi-Vise. *Paws Workholding* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://pawsworkholding.com/multi-vise/>
43. Tooling & Fixturing. *Haas Automation* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/productivity/tooling-and-fixturing.html>
44. Pitbull Clamps. *Mitee-Bite Products LLC*. [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.miteebite.com/products/pitbull-clamps/>
45. Hydraulic fixture. *Miwe Precision Work* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.precisionwork.com.tw/en/product/23>
46. HASONĚ, Ladislav, Pavel DANĚK a Antonín VÁCLAVEK. ADAMOVSKE STROJIRNY. *Dostředný hydraulický upínač*. Česká a Slovenská Federativní Republika. 06647-90.W. Uděleno 15.07.1992.
47. DOSTÁLEK, Miroslav. *Hydraulická upínací jednotka*. Československá socialistická republika. Uděleno 15.02.1969.
48. NEUMAIR, Georg. HAWE HYDRAULIK GMBH & CO. KG. *Elektrohydraulický upínací přípravek*. Česká republika. CZ/EP 1 371 853 T3. Uděleno 16.03.2005.
49. TROXLER, Ferdinand. F-TOOL INTERNATIONAL AG. *Upínací zařízení pro upínání obrobků*. Česká republika. CZ/EP 1 767 301 T3. Uděleno 27.05.2009.
50. KONÁŠ, Jan, Jan ŠÍDLO a Karel ŽENÍŠEK. *Stavebnicové zařízení k upínání obrobku*. Československá socialistická republika. 120268. Uděleno 15.10.1966.
51. ANYE, Lai, Bai HUIMING, Cao XIANQIANG a Zhou SIJIN. FUJIAN CHENGGONG MACHINE TOOL CO., LTD. *Self-adaptation positioning fixture*. China. 206936412. Uděleno 30.01.2018.

52. WETTER, Etienne. *Zařízení pro samočinné upínání malých součástí určených k opracování*. Československá socialistická republika. 110936. Uděleno 15.05.1964.
53. SVOBODA, Petr. MOVA UB, S.R.O. *Hydraulická upínací jednotka pro upínání tvarově rozdílných součástí*. Česká republika. 2005-628. Uděleno 18.04.2007.
54. JINGEN, Xu, Xiang XUEMEI, Tao XUNHUI a Tian BINGHUA. KUNSHAN KERSEN SCIENCE & TECH CO., LTD. *Clamping fixture*. China. WO2018CN77836. Uděleno 02.03.2018.
55. SHIBIAO, Li. ZHAOQING WOSON PRECISION MACHINERY CO., LTD. *Compound angle processing mechanism*. China. 201720947761.7. Uděleno 23.02.2018.
56. SULTAN, Jamal N. Effect of Austenizing and Tempering Heat Treatment Temperatures on the Fatigue Resistance of Carburized 16MnCr5 (ASTM 5117) Steel. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* [online]. Mosul, 2013, 2012, **20**(4), 1-10 [cit. 2019-05-15]. ISSN 2312-7589. Dostupné z: <http://tj-es.com/wp-content/uploads/2018/07/vol20no4p1.pdf>
57. Frézy. *Výroba tvrdokovových fréz* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.hofmann-vratny.cz/cz/hrubovaci-frezy/?list=0180>
58. Šrouby s hlavou a tlačnou kuličkou. *Kipp-Normované díly, obslužné díly a upínací systémy* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.kipp.cz/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP_DE_CH_PL/BEDIENTEILE/DataSheet/cz/K03/K0380_Datasheet_1569__rouby_s_hlavou_a_tla_nou_kuli_kou--cs.pdf
59. Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem. *Kipp-Normované díly, obslužné díly a upínací systémy* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.kipp.cz/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP_DE_CH_PL/BEDIENTEILE/DataSheet/cz/K08/K0869_Datasheet_18428__roub_s_v_lcovou_hlavou_a_vnit_n_m_estihranem_DIN_912_DIN_EN_ISO_4762--cs.pdf
60. Pružné boční opěrky. *Kipp-Normované díly, obslužné díly a upínací systémy* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://www.kipp.cz/xs_db/DOKUMENT_DB/www/KIPP_DE_CH_PL/BEDIENTEILE/DataSheet/cz/K03/K0368_Datasheet_1516_Pru_n_bo_n_op_rky--cs.pdf
61. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
62. Frézy. *Výroba tvrdokovových fréz* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://www.hofmann-vratny.cz/cz/ctyrbrite-frezy/?list=1161>

63. Doporučené řezné podmínky pro vrtání s vrtáky. *Nástroje CZ, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: http://www.nastrojecz.cz/docs/doporucene_rezne_podminky_pro_vrtani_s_vrtaky_cz.pdf

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Symboly a veličiny

A_{Di}	mm^2	jmenovitý průřez třísky
a_p	mm	hloubka řezu
B	mm	šířka řezu
C_{Fc}	–	vliv obráběného materiálu
$\emptyset D$	mm	průměr nástroje
$\emptyset D_i$	mm	průměry nástrojů v pořadí dle operací
d_{ζ}	mm	průměr středícího čepu
F_c	N	řezná síla
F_{ci}	N	složky řezné síly
F_{ζ}	N	síla působící na středící čep
F_u	N	upínací síla
F_{ciy}	N	složky řezných sil ve směru y pro vyšetřované pozice
F_{uiy}	N	složky upínacích sil ve směru y pro vyšetřované pozice
f_{ni}	mm	posuvy na otáčku v pořadí dle operací
f_z	mm	posuv na zub
f_{zi}	mm	posuvy na zub v pořadí dle operací
h_i	mm	jmenovitá tloušťka třísky
K_{c4}	%	koeficient celkového využití výrobní kapacity
k	–	koeficient bezpečnosti
k_b	–	koeficient bezpečnosti
k_{ci}	MPa	měrná řezná síla

L_i	mm	dráha nástroje v pořadí dle operací
L_{RP}	mm	dráha uražená rychloposuvem
m_c	—	vliv tloušťky třísky
n	min^{-1}	otáčky frézy
n_i	min^{-1}	otáčky nástroje v pořadí dle operací
n_z	—	počet břitů v řezu
Q_{p4}	—	počet vyrobitelných kusů součástí na čtyřech jednotkách
Q_{p6}	—	počet vyrobitelných kusů součástí na šesti jednotkách
Q_s	—	požadovaná výroba
R_m	MPa	mez pevnosti
$S_{\check{c}}$	mm	průřez středícího čepu
T_{f4}	s	využitelný časový fond při použití čtyř jednotek
T_{f6}	s	využitelný časový fond při použití šesti jednotek
T_k	h	využitelný čas
T_n	h	prostoje kvůli servisu
T_p	h	prostoje díky poruchovosti
T_{r4}	h	prostoje rotací platformy při použití čtyř jednotek
T_{r6}	h	prostoje rotací platformy při použití šesti jednotek
t_{ASi}	s	jednotkový strojní čas v pořadí dle operací
$t_{AScelki}$	min	strojní časy pro různé počty upínacích jednotek
t_{RP}	s	čas strávený rychloposuvem
t_{RPdi}	s	čas strávený rychloposuvy pro různý počet jednotek
t_{Si}	s	časy spojené s chodem stroje
t_{ui}	s	čas úkonů obsluhy
t_{uc}	min	celkový čas strávený obsluhou

t_{4uc}	<i>min</i>	celkový čas úkonů obsluhy při použití čtyř jednotek
t_{4ui}	<i>s</i>	čas úkonů obsluhy při použití čtyř jednotek
t_{6uc}	<i>min</i>	celkový čas úkonů obsluhy při použití šesti jednotek
t_{6ui}	<i>s</i>	čas úkonů obsluhy při použití šesti jednotek
v_{RP}	$m \cdot min^{-1}$	rychloposuvová rychlost
v_{fi}	$mm \cdot min^{-1}$	posuvová rychlost v pořadí dle operací
v_{ci}	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost v pořadí dle operací
x	<i>mm</i>	přesah frézy vůči obráběné ploše
Z	–	počet břitů frézy
Z_i	–	počty břitů nástrojů v pořadí dle operací
κ_r	°	úhel nastavení hlavního ostří
τ_D	<i>MPa</i>	dovolené smykové napětí
φ_1	°	posuvový úhel prvního břitu v řezu
φ_2	°	posuvový úhel prvního břitu v řezu
φ_{max}	°	maximální úhel posuvového pohybu
φ_t	°	úhel mezi břity frézy

9.2 Zkratky

TAMIL	towards a manufacturing integration link
CAFD	computer aided fixture design
CAD	computer aided design
CAM	computer aided manufacturing

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

obr. 2-1	Obrázek potrubního celku klimatizace [2].	14
obr. 2-2	Obrázek transferového stroje HB 45-12 [9].	17
obr. 2-3	Obrázek obráběcího centra CHIRON FZ12 s možnými kombinacemi stolů a vřeten [11].	18
obr. 2-4	Obrázek pracovního prostoru; (a) pracovní prostor centra FZ15 FX s kolébkovým stolem [12]; (b) rozsah upínacího prostoru kolébkového stolu stroje FZ12 FX [11].	18
obr. 2-5	Obráběcí centrum Matsuura MAM72-63V [14].	19
obr. 2-6	Druhy paletových zásobníků obráběcích center Matsuura; (a) lineární paletový systém - 17 a více palet; (b) paletový systém do věže - 18 palet, (c) jednopatrový paletový systém - 6 palet [15].	19
obr. 2-7	Pětiosé obráběcí centrum HAAS VF-5/50 [16].	20
obr. 2-8	Příslušenství k obráběcímu centru HAAS VF-5/50; (a) kolébkový stůl TR210 [20]; (b) měnič palet AS5025SDCECI [18].	20
obr. 2-9	Stroje série FD; (a) F600D; (b) F500D; (c) F410D [21].	21
obr. 2-10	Obráběcí centrum QUSER MV154APC [23].	21
obr. 2-11	Upínač od společnosti ROEMHELD [26].	23
obr. 2-12	Upínač od společnosti Kipp [28].	24
obr. 2-13	Hydraulická pohyblivá čelist od společnosti Kurt [29].	24
obr. 2-14	Upínače od společnosti DATRON; (a) KSE-PH, (b) KSE-AS [30].	25
obr. 2-15	Modulární svěrák DHMS [32].	25
obr. 2-16	Modulární prvky; (a) opěrné čepy [40]; (b) pružná boční opěrka [38]; (c) prizmatická opěrka [35]; (d) středící čep [39].	27
obr. 2-17	Přípravek PAWS workholding s hydraulickou deskou [42].	29
obr. 2-18	Rotační přípravky HAAS; (a) rychlovýměnná deska; (b) blokový systém upnutý na rotační stůl [43].	29
obr. 2-19	Přípravek MITEE-BITE [44].	30
obr. 2-20	Přípravek MIWE [45].	30
obr. 2-21	Obrázek dostředného hydraulického upínače; (a) řez hydraulickým upínačem; (b) pohled P [46].	31

obr. 2-22	Obrázek hydraulické upínací jednotky; (a) řez upínací jednotkou v poloze uvolněno; (b) řez upínací jednotkou v poloze upnuto; (c) příklad sestavení [47].	32
obr. 2-23	Obrázek elektrohydraulického upínacího přípravku; (a) částečný řez upínacím přípravkem; (b) částečný řez v rovině III; (c) blokové schéma zapojení [48].	33
obr. 2-24	Obrázek upínacího zařízení pro upínání obrobků; (a) částečný řez upínacím zařízením; (b) pohled zepředu; (c) řez A-A z obrázku b [49].	34
obr. 2-25	Obrázek stavebnicového zařízení; (a) sestavení stavebnicových těles; (b) příklad sestavení [50].	35
obr. 2-26	Obrázek samočinného polohovacího přípravku; (a) půdorys přípravku; (b) řez A-A; (c) upínací mechanismus [51].	36
obr. 2-27	Obrázek samočinného zařízení [52].	37
obr. 2-28	Obrázek upínací jednotky; (a) 3D pohled na upínací jednotku; (b) upínací jednotka v základních pohledech; (c) řez A-A z obrázku b; (d) řez B-B z obrázku b [53].	38
obr. 2-29	Sestavení a příklad rozvržení; (a) obrázek upínací jednotky se založenými obrobky; (b) příklad rozvržení šesti jednotek na stole obráběcího stroje [53].	39
obr. 2-30	Obrázek základních pohledů nástavby [53].	39
obr. 2-31	Obrázek upínacího přípravku; (a) 3D pohled na upínací přípravek; (b) (c) (d) detailní pohledy na upínací přípravek [54].	40
obr. 2-32	Obrázek kombinovaného výrobního mechanismu; (a) pohled zepředu; (b) pohled zleva; (c) pohled shora [55].	41
obr. 3-1	Obrázek vybrané součásti; (a) pohled shora; (b) pohled ze předu; (c) 3D pohled	43
obr. 3-2	Obrázek obráběcího centra Chiron FZ15 FX [12].	43
obr. 4-1	Obrázek konceptu 1; (a) pohled shora na středové těleso; (b) 3D pohled na středové těleso.	44
obr. 4-2	Obrázek konceptu 1.1; (a) pohled shora na rozvržení upínacích jednotek; (b) 3D pohled na koncept čtyř upínacích jednotek.	45
obr. 4-3	Obrázek konceptu 1.2; (a) pohled shora na rozvržení upínacích jednotek; (b) 3D pohled na koncept šesti upínacích jednotek.	45
obr. 4-4	Obrázek konceptu 2; (a) pohled shora na středové těleso; (b) 3D pohled na středové těleso.	46
obr. 4-5	Náčrt konceptu 3.	47
obr. 5-1	Obrázek finálního rozvržení; (a) pohled shora; (b) 3D pohled na přípravek.	48
obr. 5-2	Obrázek kolébkového stolu pro stroj FZ15 FX.	49

obr. 5-3	Obrázek hydraulického rozvaděče.	49
obr. 5-4	Obrázek těla upínací jednotky (tmavě modrá) a posuvných upínek (světle zelená).	50
obr. 5-5	Obrázek výkyvné čelisti; (a) pohled shora; (b) čelist ve 3D.	51
obr. 5-6	Obrázek základny; (a) pohled shora; (b) základna ve 3D.	52
obr. 5-7	Obrázek středového tělesa; (a) pohled shora; (b) pohled ve 3D.	53
obr. 5-8	Schéma úhlů posuvových pohybů (SolidWorks 2018).	55
obr. 5-9	Schéma řezných sil v pozici 1 a 2 s naznačenou upínací silou (SolidWorks 2018)	56
obr. 5-10	Obrázek sestavy s osazenými upínacími pozicemi.	57
obr. 5-11	Obrázek finálního rozvržení; (a) rozvržení upínacích jednotek na stole; (b) pohled shora na jednotky.	66

11 SEZNAM TABULEK

- tab. 2-1** Přehled technologických vlastností vybraných slitin hliníku [4], [8].
- tab. 2-2** CHIRON v konfiguraci se dvěma kolébkovými stoly a s jedním vřetenem [12], [12], [13].
- tab. 2-3** Vlastnosti frézovacího centra Matsuura MAM72-63V [14].
- tab. 2-4** Vlastnosti frézky HAAS VF-5/50 [19], [18].
- tab. 2-5** Přehled frézek HYUNDAI WIA FD Series [22].
- tab. 2-6** Přehled obráběcích center QUASER série Pallet MV154APC [23], [24].
- tab. 2-7** Souhrnná tabulka důležitých vlastností popsaných strojů.
- tab. 2-8** Tabulka parametrů upínače ROEMHELD [27].
- tab. 2-9** Tabulka parametrů upínače Kipp [28].
- tab. 2-10** Tabulka parametrů pohyblivé čelisti Kurt [29].
- tab. 2-11** Tabulka parametrů upínače DATRON [31].
-
- tab. 5-1** Tabulka řezných podmínek při hrubování.
- tab. 5-2** Tabulka řezných podmínek pro vybrané nástroje.
- tab. 5-3** Tabulka dopočítaných hodnot otáček a posuvů.
- tab. 5-4** Tabulka zjednodušeného technologického postupu s uvedením drah a jednotkových strojních časů.
- tab. 5-5** Tabulka parametrů stroje FZ15 FX [12].
- tab. 5-6** Tabulka odhadů pracovních úkonů.
- tab. 5-7** Tabulka odhadů pracovních úkonů pro více upínacích jednotek.

12 SEZNAM PŘÍLOH

12.1 Výkresy

- Příloha 1.** BP-00: UPÍNAČ
- Příloha 2.** BP-01: SPOJKA
- Příloha 3.** BP-02: ZÁKLADNA
- Příloha 4.** BP-03: STŘEDOVÉ TĚLESO
- Příloha 5.** BP-04: ČELIST

12.2 Tabulky

- Příloha 6.** Tabulka 2-1: Přehled technologických vlastností vybraných slitin hliníku
- Příloha 7.** Tabulka 2-2: Přehled center CHIRON v konfiguraci se dvěma kolébkovými stoly a s jedním vřetenem
- Příloha 8.** Tabulka 2-3: Vlastnosti frézovacího centra Matsuura MAM72-63V
- Příloha 9.** Tabulka 2-4: Vlastnosti frézky HAAS VF-5/50
- Příloha 10.** Tabulka 2-5: Přehled frézek HYUNDAI WIA FD Series
- Příloha 11.** Tabulka 2-6: Přehled obráběcích center QUASER série Pallet MV154APC

12.3 Katalogy

- Příloha 12.** Šroub s válcovou hranou a vnitřním šestihranem
- Příloha 13.** Šrouby s hlavou a tlačnou kuličkou
- Příloha 14.** Pružné boční opěrky