

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

INOVACE TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY HŘÍDELE POMOCNÉ ENERGETICKÉ JEDNOTKY

INNOVATION OF PRODUCTION PROCESS OF THE SHAFT FOR AN AUXILIARY POWER UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Dubovský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jakub Dubovský
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Akademický rok:	2021/22

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 diplomové práce:

Inovace technologického postupu výroby hřídele pomocné energetické jednotky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je inovace technologického postupu výroby hřídele určené pro pomocnou energetickou jednotku. V rámci práce je třeba navrhnout technologii výroby, která povede ke zjednodušení stávajícího pracovního postupu. Výstupem práce bude ověřený technologický postup výroby, který bude implementovatelný do sériové výroby.

Cíle diplomové práce:

Teoretická část – rozbor současného stavu problematiky.
Analýza možných řešení a technologická příprava výroby.
Ověření navržené technologie výroby a vyhodnocení dosažených výsledků.
Technicko–ekonomické zhodnocení výsledků.

Seznam doporučené literatury:

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Praha. Scientia, s. r. o. 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook.

SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. Oxford University Press, 2nd ed., 2005, pp. 651, ISBN 0-19-514206-3.

BARÁNEK, I. Rezné materiály pre rýchlostné, tvrdé a suché obrábanie. TU Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 1.vyd., Slovensko, Trenčin, s. 112. ISBN 80-8075-013-0.

BARÁNEK, I., ŠANDORA, J. Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky. TnUAD, Trenčín, 2004 s. 212, ISBN 80-8075-013-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato práce předkládá návrh nové technologie výroby hřídelové součásti, která se nachází ve vnitřním ústrojí zařízení pomocné energetické jednotky určené pro vrtulníky. V první části je provedeno zhodnocení komponentu a vazba jeho konstrukčního provedení v relaci k funkčním nárokům kladených na danou součást v zařízení. Následuje rozbor materiálu součásti a procesních výrobních vlivů. Zejména tepelného zpracování materiálu a prováděného nitridačního procesu hřídele. V návaznosti na posouzení původního stavu výroby jsou navrženy varianty na novou výrobní technologii součásti za využití možností nového strojového parku společnosti. Po zhodnocení navrhovaných technologických řešení je vybraná varianta výrobního postupu ověřena zkušební produkční sérií, jež deklaruje využitelnost navržené technologie pro nasazení v rámci standardního produkčního režimu. Práci uzavírá technicko-ekonomický přehled.

Klíčová slova

obrábění hřídele, technologický postup, soustružení, pomocná energetická jednotka

ABSTRACT

This thesis presents a proposal for a new technology for the production of a shaft component, which is located in the internal system of an auxiliary power unit designed for helicopters. In the first part, an evaluation of the component and the relation of its design to the functional requirements placed on the component in the device is carried out. This is followed by an analysis of the component material and process manufacturing influences. In particular, the heat treatment of the material and the nitriding process performed on the shaft. Following the assessment of the original state of production, options for a new production technology of the component are proposed using the capabilities of the new machinery in the company. After the evaluation of the proposed technological solutions, the selected variant of the production process is verified by a test production series, which declares the applicability of the proposed technology for deployment within the standard production mode. The paper concludes with a technical and economic overview.

Key words

shaft machining, production process, turning, auxiliary power unit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DUBOVSKÝ, Jakub. *Inovace technologického postupu výroby hřídele pomocné energetické jednotky* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140110>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Inovace technologického postupu výroby hřídele pomocné energetické jednotky vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně dne 19. 5. 2022

Bc. Jakub Dubovský

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Janu Dvořáčkovi Ph.D. ze společnosti PBS Velká Bíteš a vedoucímu práce prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za jejich ochotu, cenné připomínky a poskytnuté rady při vypracování diplomové práce.

Poděkování náleží též společnosti PBS Velká Bíteš, jejíž zázemí a prostředky umožnily realizaci této diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 SOUČÁST: KOMPLEXNÍ ZHODNOCENÍ VSTUPŮ	10
1.1 Pomocná energetická jednotka	10
1.1.1 APU Safir 5K/G MI.....	11
1.2 Součást hřídele	12
1.3 Konstrukční prvky	13
1.3.1 Osová díra a dutina čtyřhranu.....	14
1.3.2 Drážkování.....	14
1.3.3 Závit.....	15
1.3.4 Ložiskové nitridované plochy	16
1.3.5 Hlava hřídele.....	16
1.3.6 Technologické prvky	17
1.4 Materiál součásti.....	17
1.4.1 Posouzení vlivu jednotlivých legujících prvků na obrobitelnost materiálu	19
1.5 Posouzení vlivu výrobního procesu na vnitřní napětí materiálu a jejich konsekvence.....	21
1.5.1 Stabilizace: žihání ke snížení vnitřního napětí	23
1.6 Nitridace	24
1.7 Výkovek	25
2 VÝROBNÍ PROSTŘEDKY	28
2.1 Výběr soustružnicko-frézovacího centra	28
2.2 Výběr broušícího stroje	30
2.3 Výběr ostatního zařízení.....	31
3 PŮVODNÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP	32
4 NÁVRHY INOVACE TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	38
4.1 Návrh inovovaného postupu č. 1	38
4.2 Návrh inovovaného postupu č. 2	41
4.3 Návrh inovovaného postupu č. 3	44
4.4 Návrh inovovaného postupu č. 4	46
4.4.1 Detailní rozbor návrhu.....	48
4.4.2 Souhrnný technologický postup – operace	52

5	TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY A OVĚŘENÍ NÁVRHU.....	53
5.1	Volené nástroje.....	53
5.2	Kontrola výkonu motoru	58
5.3	Ověření navrženého postupu	60
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	61
6.1	Náklady původní výrobní technologie	61
6.2	Náklady navržené výrobní technologie	63
6.3	Komparace technologických postupů	64
	ZÁVĚR.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	66
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	72
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

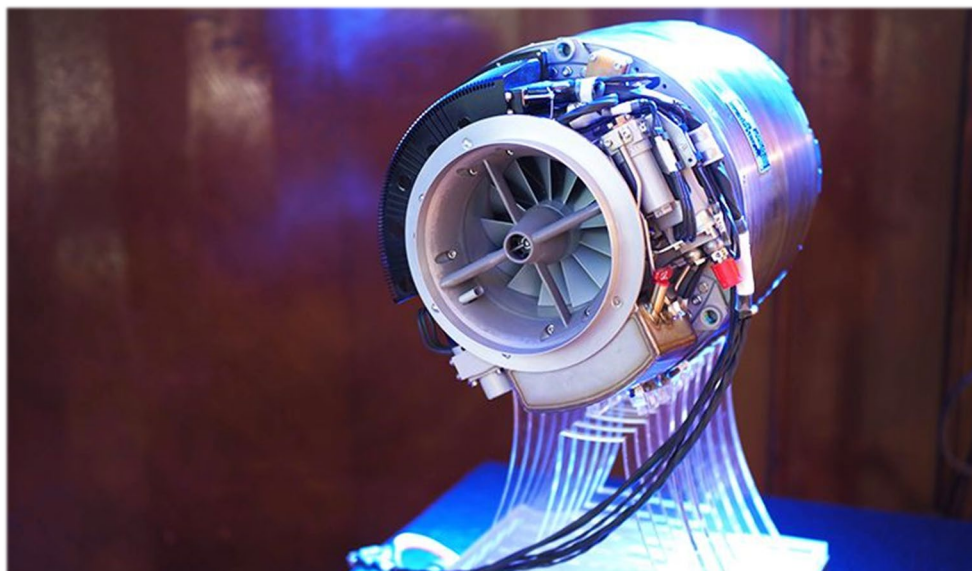
ÚVOD

Akcelerace tlaků, kterým je vystaven nejen průmyslový hospodářský sektor, je v globalizovaném světě bezprecedentní. Výrobní podniky čelí napětí jak ze strany vlastních odběratelů, kteří vyžadují neustálé zvyšování kvalit dodávaných produktů při současném snižování jejich ceny, tak zejména širokému ohrožení z hlediska substitutů z řad konkurenčních výrobních producentů. [1]

Značná konkurence pozitivně ovlivňuje rychlost vývoje, který se tak stává hlavní bodem střetu. Podniky usilující minimálně o udržení svých současných kapitálových pozic se musí zaměřit na dvě dominanty: na schopnost neustále inovovat podle aktuálních trendů a disponovat schopností pružné reakce na okolní prostředí – trhy. Systematické inovování umožňuje dosahování stále efektivnějších výsledků vedoucích ke zvyšování přidané hodnoty vlastních produktů a je nutnou podmínkou pro zvyšování zisků. Jedná se v podstatě o využití potenciálu současných technologií, přičemž provádění kroků v oblastech inovací ze strany daného subjektu by mělo být vedeno kontinuálně a proaktivně. [2; 3]

Pokus a zájem zrealizovat technologické změny, které povedou k inovaci současného stavu výroby vybraného produktu projevila společnost První brněnská strojírna ve Velké Bíteši, s jejíž spoluprací byla tato diplomová práce zrealizována.

Původní První brněnská strojírna jako taková je moravský strojírenský podnik s více než 150letou tradicí, považovaný v určitých fázích své historie za jeden z nejvýznamnějších ve střední Evropě. V současnosti se jménem PBS zaštiťuje několik společností, které jsou však všechny zastřešeny hlavní holdingovou PBS Group a.s. Mezi tyto se řadí i zmíněná PBS Velká Bíteš. Zaměření společnosti se opírá o výrobu pohonných jednotek a zařízení v oblasti letecké techniky, viz obr. 1, a to s celosvětovým polem působnosti. Kromě zaměření zejména na vysoce přesné obrábění je v dané bítešské společnosti přítomna i divize přesného lití či divize povrchových úprav. [4]



Obr. 1 Komplexní produkt: proudový motor PBS TJ150 [5].

1 SOUČÁST: KOMPLEXNÍ ZHODNOCENÍ VSTUPŮ

Řešeným předmětem této diplomové práce je návrh nové výrobní technologie hřídelové součásti, která je jednou z klíčových komponent zařízení pomocné energetické jednotky (PEJ) určené pro vrtulníky. Následující kapitoly zahrnují souhrnný rozbor vstupních parametrů počínaje od přiblížení účelnosti systému PEJ, funkčních vazeb součásti na vázané sub-komponenty jednotky až po technologické vlivy způsobu zpracování materiálu hřídele.

1.1 Pomocná energetická jednotka

V případech, že nejsou u letounu či vrtulníku v činnosti hlavní motory, je jako zdroj energie nutno využít jiný systém. Tímto je zařízení zvané pomocná energetická jednotka APU (Auxiliary Power Unit) fungující jako přídavný autonomní energetický zdroj – elektrický generátor. Bateriové systémy, jimiž jsou stroje vybaveny, totiž nedisponují dostatečnou kapacitou pro zajištění energetického pokrytí jeho širších či vůbec primárních přístrojů (avionika kokpitu, palubní osvětlení a další). Ve své podstatě je pomocná energetická jednotka malý proudový motor, který se u letounů nachází nejčastěji v ocasní části trupu a u helikoptér v motorové gondole, viz obr. 2. [6; 7]



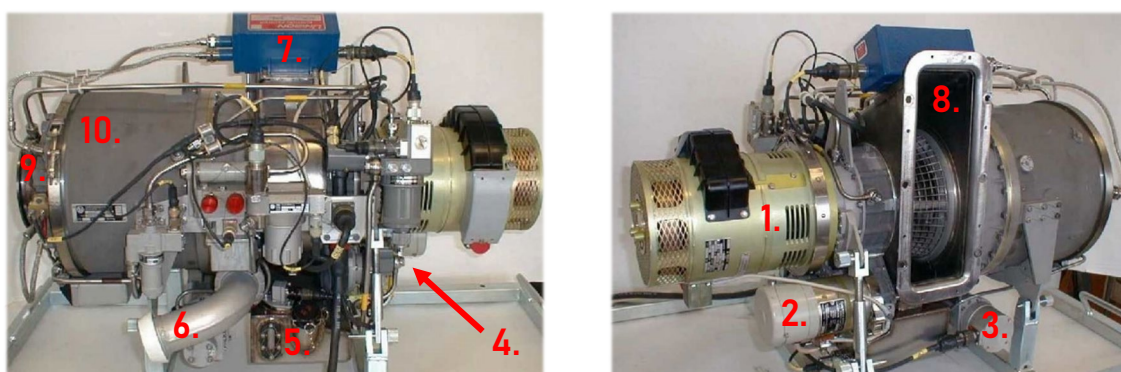
Obr. 2 Umístění APU na letounu a vrtulníku Mi-17 [8; 9].

APU mimo to také poskytuje vysokotlaký vzduch využívaný pro spuštění právě hlavních motorů při nastartování (po jejich spuštění se v závislosti na konkrétním stroji může APU vypnout) či jejich opětovnému krizovému nahození. V jistých případech může též zastávat a tím kompenzovat funkci, a tudíž vůbec přítomnost klimatizační jednotky u daného stroje. Příkladem užitečnosti systému APU je kupříkladu vyhnutí se nutnosti spouštět hlavní motory v případech čekání stoje před vzletem nebo potřebě užívání pozemních podpůrných energetických zařízení (Ground Power Units – GPU). Z čehož plynou významné úspory nákladů například komerčním dopravním společností. [7; 10]

1.1.1 APU Safir 5K/G MI

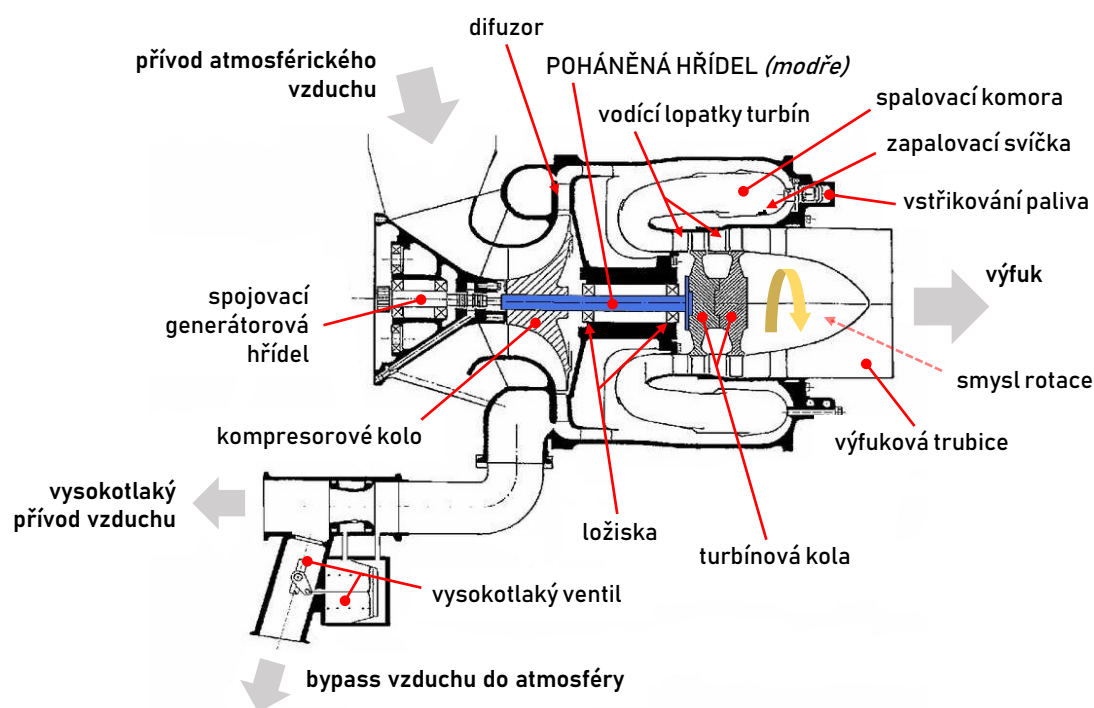
Modelová modifikace pomocné energetické jednotky APU SAFIR 5K/G MI zaujímá v počtu vyrobených kusů přední postavení (v roce 2019 1000. kus) a celkově se jedná o nejuspěšnější produkt PBS. Výroba modelu probíhá již přes 20 let, přičemž historie řady SAFIR zasahuje více než 50 let zpět. V průměru divize letecké techniky, pod kterou produkce zařízení PEJ spadá, zajišťuje až 90 % svého portfolia v oblasti vývoje, výroby a testování vlastními kapacitami. Faktem potvrzujícím zásadní postavení závodu PBS ve Velké Bíteši ve výrobním segmentu pomocných energetických jednotek je jejich celkový prodaný počet, kterým společnost disponuje – přes šest a půl tisíce kusů jednotlivých PEJ. Z toho plyne poměrně podstatné konstatování. A to, že se jedná o produkty vykazující určitou kontinuitu provozem ověřené spolehlivosti konstrukce. [9; 11; 12]

APU SAFIR 5K/G MI je od roku 2000, kdy došlo k sepsání obchodního kontraktu, využívána na ruských (sovětských) vrtulnících Mi-17. Jedná se o jednohřídelový proudový motor tvořený několika subsystémy. Jádrem konstrukce je turbínový motor startovaný prostřednictvím vestavěného elektrického spouštěče. Motor je charakteristický jednoúrovňovou radiální kompresí, prstencovou spalovací komorou a dvouúrovňovou axiální turbínou. Na turbínu je připojena poháněná hřídel, která při chodu PEJ přenáší energii krouťícího momentu do jednotky generátoru. Jeho prostřednictvím jsou pak střídavým proudem napájeny elektrické palubní systémy vrtulníku. Druhou, avšak významově rovnocennou funkcí dané PEJ, je generování vysokotlakého vzduchu. Ten se po provedení předletové přípravy a náběhu jednotky posléze přivádí ke vzduchovým spouštěčům dvojice hlavních motorů. PEJ se po nastartování hlavních motorů u příslušného vrtulníku Mi-17 nevypíná, ale přechází do nižších provozních otáček a je zdrojem elektřiny i za letu. V kritických případech, kdy by došlo k výpadku hlavních motorů, je PEJ jedinou možností jak motory opětovně nastartovat (přechod jednotky do startovacího režimu a zvýšení jejího výkonu). Což v důsledku definuje vysoké nároky na spolehlivost takového zařízení. Mimo zmíněné dvě hlavní funkce zajišťuje SAFIR 5K/G MI i dodávku čistého vzduchu pro odběr klimatizace. Detailnější popis komponent a subsystémů jednotky je zobrazen na obr. 3. Obr. 4 pak přibližuje vnitřní konstrukci zařízení, přičemž lze upozornit na modře zvýrazněnou součást, která je předmětem této DP. Příložen je i tab. 1 s technickými parametry dané jednotky. [13; 14]



1. generátor	6. trubice vyústění vysokotlakého vzduchu
2. elektrický startér	7. zapalovací skříň
3. palivové čerpadlo	8. přívod vzduchu
4. olejové čerpadlo	9. výfukové ústrojí
5. olejová nádrž	10. spalovací komora

Obr. 3 Komponenty a subsystémy na APU SAFIR 5K/G MI [14].



Obr. 4 Vnitřní konstrukce APU SAFIR 5K/G MI [14].

Tab. 1 Technické parametry jednotky SAFIR 5K/G MI [11].

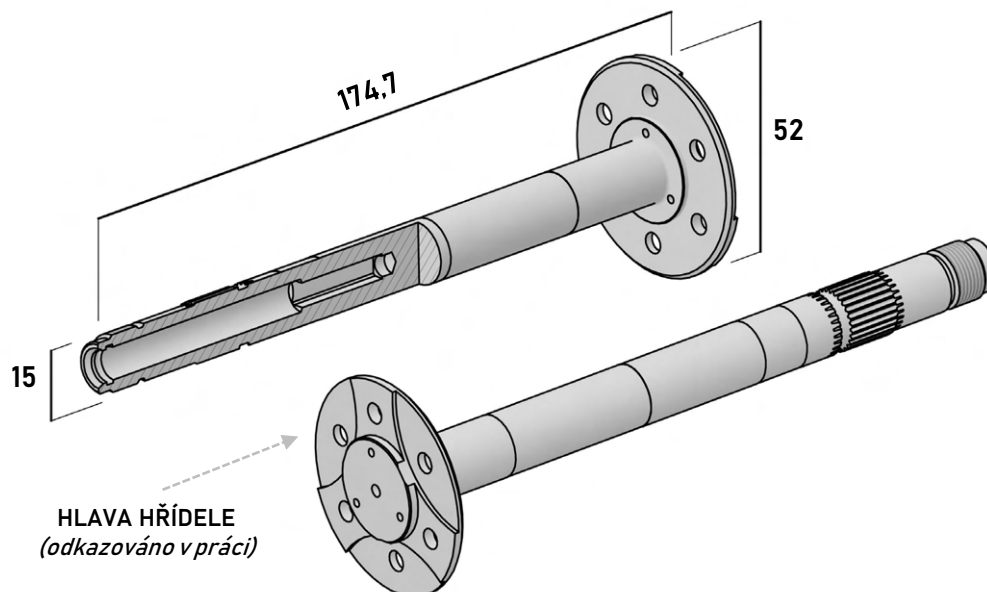
Nominální výkon	20 kVA	Certifikace
Dodávaná elektrická energie	3x 115 V/ 200 V/ 400 Hz	EASA – DOA, POA, MOA
Max. odběr stlačeného vzduchu	24 kg/min	MAA 056 & MAA 076
Max. provozní výška	6000 m	ČSN EN ISO 9001:2015
Max. nepřetržitá doba provozu	6 h	ČOS 051622 (AQAP 2110)
Hmotnost	64 kg	AS 9100, ISO 9001, ISO 14001
Výška x šířka x délka	788 x 520 x 491 mm	NADCAP non-destructive testing (PR, RT) and chemical processes

Vzhledem k účelu použití v aviatice i ve vojenských aplikacích je nezbytné, aby produkt obstál v příslušných certifikacích, které podmiňují jeho nasazení na stroji. Pomocná energetická jednotka disponuje několika takovými. Evropskou certifikací agentury EASA – DOA, POA, MOA (Design, Production, Maintenance - Organisation Approval). V souvislosti s tímto aspektem lze poukázat například na povinnost dohledání původu každé vyrobené součásti – označení kusů jedinečnou indexací. Dalšími jsou certifikace pro užití ve složkách NATO nebo také certifikace globálního kooperačního akreditačního programu pro letecké inženýrství a obranu – NADCAP. [11]

1.2 Součást hřídele

Jak už bylo přiblíženo v předchozí kapitole (viz obr. 4) diplomová práce se zabývá inovací aktuálně zavedené výrobní technologie poháněné hřídele o střední velikosti, jež je jednou ze základních komponent sestavy PEJ. Hřídel má v rámci konstrukčního celku zařízení vazbu na dvojici jeho subsystémů – k části proudového motoru a části generátoru. Jednotlivé konstrukční prvky hřídele jsou partneré z grafiky modelu, viz následující obr. 5.

Podrobnější konstrukční specifikace je zahrnuta na samotném výkresu součásti přiloženém v příloze, ke kterému se váže podniková směrnice upravující úchytky netolerovaných rozměrů. Vybrané listy této viz příloha 1.



Obr. 5 Model součásti a v částečném řezu.

Na většinovou geometrii je kladen velice přísný požadavek na obvodové kruhové házení. Tyto předpisy v jednotkách tisícin vyplývají z provozních podmínek PEJ, kdy rotová část motoru dosahuje při startovacím režimu provozních 51 000 ot/min, přičemž k jejich poklesu v podstatě nedochází ani v režimu za letu, kdy činí 49 074 ot/min. Generální kontrola a opravy zařízení jsou podle údajů PBS běžně zahajovány po 2000 provozních hodinách a 3500 startech. [13; 14]

Obvykle je součást zadávána do výroby v malých sériích o dvaceti kusech a to několikrát ročně v návaznosti na projektovanou produkci celých zařízení APU SAFIR 5K/G MI – ročně okolo sta kusů. Na principu stéjně seriovosti jsou dodávány i výkovkové polotovary, viz výkres v příloze a dále kap. 1.7, ze kterých je součást v PBS obráběna.

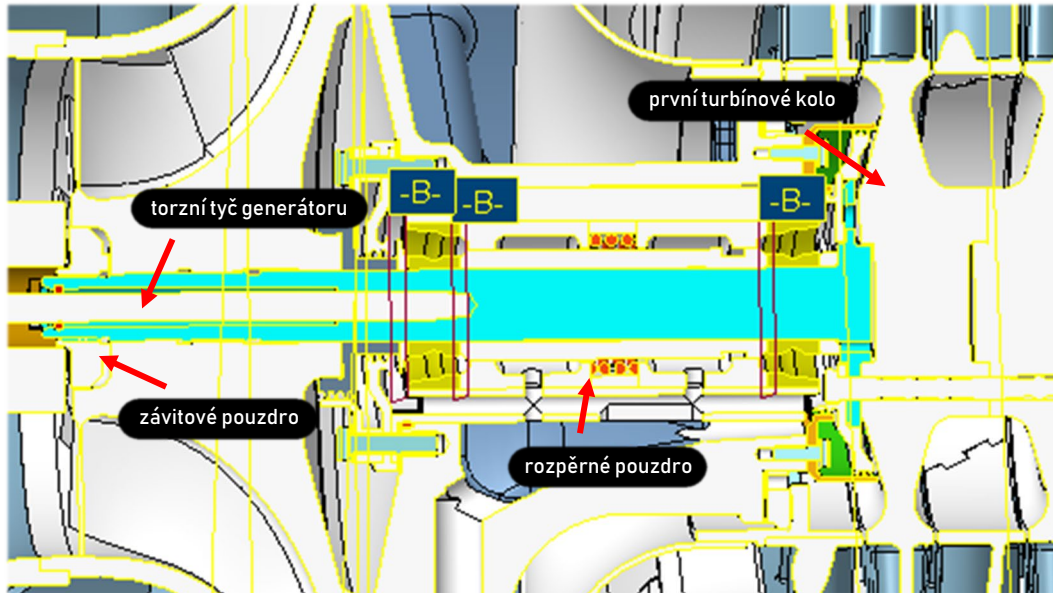
Z každé série dodaných výkovků se pak vyhotovuje dvojice materiálových vzorků, které jsou upíchnuty z válcové části $\varnothing 25,4$ výkovku. Zpracování těchto vzorků pak kopíruje technologii samotné hřídele – TZ, obrobení soustružením a broušením včetně povrchové úpravy nitridováním. Vzorky se následně uchovávají a slouží jako průkazný doklad nesoucí např. informaci o metalurgii konkrétní série – svým způsobem jedinečné zpracování každé série v kovárně dodavatele výkovků. Procesní nakládání se vzorky je proto zahrnuto v původním i nově navrženém technologickém postupu.

1.3 Konstrukční prvky

V nadcházejících bodech je proveden rozbor dílčích konstrukčních prvků hřídele v relaci na vázané okolní komponenty v centru jednotky. Je rozveden vzájemný vztah výchozích kladených aspektů funkčnosti jednotlivých prvků k jejich konstrukčním požadavkům definovaných na výkresu součásti.

1.3.1 Osová díra a dutina čtyřhranu

Do osové díry zakončené dutinou tvaru čtyřhranu se zaoblenými rohy (zřejmě kvůli pevnostní odolnosti při namáhání) bude uložena spojovací torzní tyč vycházející z generátoru, viz obr. 6.



Obr. 6 Řez APU SAFIR 5K/G MI: detail sousedních komponent.

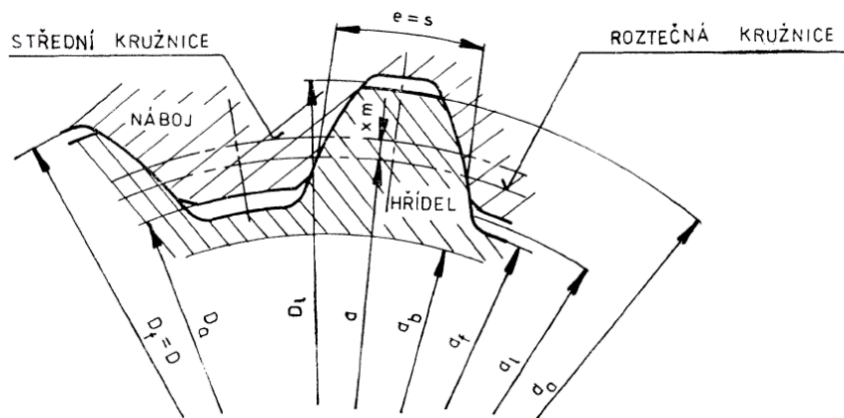
Přesto, že je mezi tyčí a stěnou osová díry poměrně značná vůle, jelikož samotné kontaktní zajišťuje čtyřhran, je nezbytné dosáhnout minimálního vychýlení osy díry vzhledem k ose určené vnější válcovou plochou hřídele, na které se nacházejí ložiska vymezující uložení hřídele. Kdyby nebyla zaručena dostatečná sousost díry, mohlo by dojít ke zvýšeným buzeným kmitům a v důsledku toho k poškození. Na součásti je proto předepsána tolerance sousosti této díry $\varnothing 8$ o hodnotě 0,05 (základnou právě bližší ložisková plocha). Identický účel by měla splňovat tolerance sousosti o velikosti 0,1 a kolmosti 0,02 předepsaná pro čtyřhrannou dutinu. Mimo to je daná kolmost jistým garantem kvality kontaktu spojení. Možná poněkud nevhodně je však základnou polohy čtyřhranu stanovena díra $\varnothing 8$. Vysvětlení souvisí s metrologií, jelikož sousost čtyřhranu se kontroluje prostřednictvím účelného metrologického přípravku právě v relaci k dané díře, která je v tomto případě metrologickou základnou. Z konstrukčního hlediska by bylo relevantnější vztahovat základnu ke stejnému prvku jako díru samotnou, tedy základně E. Ve své podstatě se tak však technologicky děje, jelikož ustavovací a vyrovnávací základnou před vyjiskřením je právě jedna z vnějších válcových ploch; více v technologickém postupu.

1.3.2 Drážkování

Na levé části hřídele (orientace podle výkresu) je uloženo kompresorové kolo, kde spojení pro přenos momentu z kola na hřídel zajišťuje evolventní drážkování 15x0,5 d10 ČSN 01 4950.1 o 28 zubech (pro modul 0,5). [15]

Označení -.1 odkazuje na způsob centrování vnějších (hřídel) a vnitřních (náboj) drážek. V tomto případě se jedná o středění na bocích zubů s plochými dny drážek, viz obr. 7. Jelikož spojení se nenachází na vnější ploše drážkování – hlavové ploše zubů –, lze uvažovat, že předepsaná tolerance sousosti o velikosti 0,05 se vztahuje právě na boky zubů.

Pro účel modelové geometrické interpretace je možné souosost vztahovat k ploše vycházející z roztečné nebo i střední kružnice drážkování. Základnou geometrického předpisu je však už v tomto případě celá osa hřídele – základna CD –, jejíž poloha vychází implicitně ze středícího důlku na pravém čele a kuželového sražení 60° u osové díry. Což jsou ostatně prvky, do kterých je součást ustavena v hrotech při metrologické kontrole, viz kap. 2.3. [15]



Obr. 7 Způsob středění drážkování: na bocích zubů s plochými dny drážek [16].

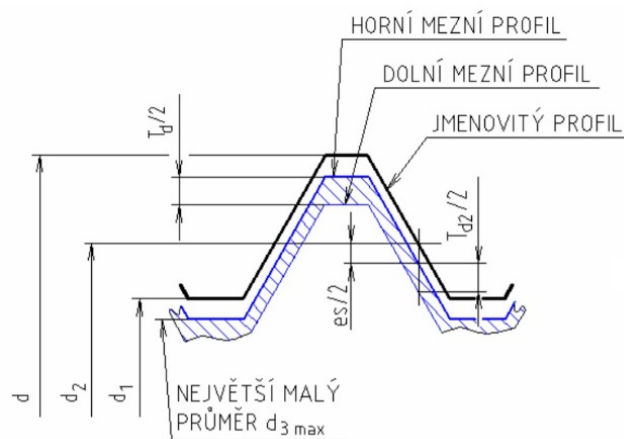
Jmenovitý průměr $D_d = 15$ se vztahuje a je roven průměru patní kružnice náboje D_f , jak je patrné z obr. 7. Průměr hlavové kružnice hřídele, tj. vnější průměr drážkování, je na výkrese oproti normě ($d_a = 14,8$) upraven a činí $14,6$ s tolerancí $-0,05$. Patní kružnice hřídele je průměru $d_f = 13,8$ s tolerancí $h16$. [15; 17]

Značka d_{10} by pak měla definovat mezní úchylku tloušťky zubu hřídele, přesto že by správné značení mělo být „ $10d$ “ (podle normy ČSN 01 4953, str.3. bod 1.5); jde pravděpodobně o chybu na výkrese. Pro šířku drážek na nábojích se zpravidla přednostně využívá úchylky H stupně přesnosti 7 a vyšší, lze tedy předpokládat vznik volného uložení hřídele v náboji. [17]

Z technologického hlediska jsou na výkrese náležitě povoleny stopy po fréze na sousedních plochách drážkování. Zejména pak na $\emptyset 14g6$, který vyčnívá nad dna drážek s průměrem $d_f = 13,8$.

1.3.3 Závit

Axiální zajištění polohy kola kompresoru řeší levé metrické závitové spojení $M 14 \times 1L-6g$ s jemnou roztečí kvůli vyšší samosvornosti (lepší zabezpečení proti uvolnění). Maticí tohoto závitu je pouzdro umístěné v ose kompresoru, viz obr. 6. Vlivem jednotnému směru otáčení rotoru v motoru (obr. 4) dochází k dotažení tohoto pouzdra do lůžka, díky čemuž se poloha kola do axiálního levého směru zajišťuje. Pohyb v ose doprava je pak ustaven rozpěrným pouzdem (obr. 6). Přesto, že je poloha kola na hřídeli ve směru radiálním primárně určena uložení na jedné z lícovaných válcových ploch – $\emptyset 14g6$, $\emptyset 14,9f8$ –, je nutno zajistit přesné dosednutí pouzdra v lůžku. Pro závit je proto předepsána souosost o hodnotě $0,02$. Úchylky rozměrů udává ČSN ISO 965-3. Pro střední průměr d_2 tohoto závitu vychází: $e_s = -0,026$, $e_i = -0,114$, viz obr. 8. Na výkrese je předepsáno odlehčení plochy velkého průměru závitu (rozměr d na obrázku) na $\emptyset 13,9_{-0,1}$ a definována tedy jeho nová úchylka. [18]



Obr. 8 Polohy tolerančních intervalů závitu šroubu [19].

1.3.4 Ložiskové nitridované plochy

Kvůli možnému přenosu přesnosti úložných ploch a jejich geometrických tvarů na oběžné dráhy ložiskových kroužků je, i v souvislosti s dosahovanými otáčkami hřídele, kladený důraz na odolnost a přesnost ložiskových ploch zásadní. Na těchto je tedy předepsána velmi úzká tolerance válcovitosti (0,015) a obvodového házení (0,002). Rozměrová tolerance na $\varnothing 15$ činí pouhé tři tisícinny. Otěruvzdornosti povrchu je zajištěno jeho nitridací do hloubky 0,1 až 0,2 s předepsanou tvrdostí min. 750 HV. Úsek $\varnothing 14,95$ mezi ložiskovými plochami není v kontaktním uložení a je proto vůči nim odlehčen. [20]

1.3.5 Hlava hřídele

Pravé čelo prstence hlavy je osazeno prvním turbínovým kolem (obr. 6) dosedajícím na lícovanou válcovou plochu $\varnothing 25$, na které je proto předepsána tolerance válcovitosti a obvodového házení. Na $\varnothing 52$ s obdobnými geometrickými předpisy je uložena přírubovitá komponenta, jež je zřejmě součástí smontovaného celku s turbínovými koly. Tato pak přiléhá na levou čelní plochu hlavy, což je důvodem uplatnění vzájemné tolerance rovinnosti a čelních házení.

Vymezení rotace (přípevnění) dvojice turbínových kol k hlavě zprostředkovává trojice přesných děr $\varnothing 5H7$. Jelikož primárním středícím prvkem první turbíny je právě pravá válcová plocha $\varnothing 25$ (tolerance házení k ose hřídele – základna CD), je v návaznosti na ní nutné zajistit sekundárně polohu vrtaných děr. Je proto vhodně využito tolerování polohy pomocí teoreticky přesné základny – roztečná kružnice $\varnothing 36$ (teoreticky přesně v ose součásti, tj. CD). K dokončení děr vystružením však dochází až v sestavě s uloženými turbínami. Díry jsou proto obrobena s přídkem na $\varnothing 4,5$. [21]

1.3.6 Technologické prvky

Na pravém čele hřídele se nachází středící důlek typu B (s ochranným zahloubením) s vrcholovým úhlem 60° a jmenovitým průměrem 2 – označení B 2/6,3 dle ISO 6411. K obrobení tohoto typu důlku se užívá středícího vrtáku podle norem ISO 2540 (dle ČSN EN ISO 6411 nahrazující tehdejší ČSN 01 4915), DIN 333 či ČSN 22 1112. Přesto, že není podle normy explicitně užito správného označení definující požadavek na přítomnost důlku na hotové součásti, jeho přebrobení se neuskutečňuje. A to vzhledem k potřebě metrologické kontroly, v rámci které se provádí kontrola vybraných předepsaných geometrických tolerancí při ustavení na měřicím zařízení mezi hroty. V souvislosti s důlky nutno poznamenat, že stopy po čelním unašecí, jehož použití ve výrobní technologii tento typ součásti potenciálně nabízí, nejsou dovoleny – stopy nesmí zůstat na hotové součásti. [22]

Pro účel přesného upnutí mezi hroty, nejen při obráběcích operacích, je pro kuželové zahloubení 60° na osové díře předepsána Ra0,4.

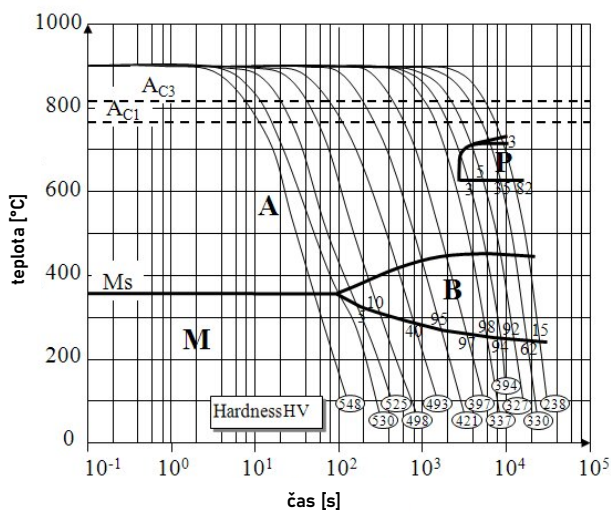
1.4 Materiál součásti

Materiálem součásti je, dle výkresu součásti a výkovku, nízkolegovaná chrom-molybdenová konstrukční ocel AFNOR 30 CD 12 patřící do skupiny speciálních ocelí pro letectví a kosmonautiku; jedná se o označení oceli dle francouzské normy, jelikož dodavatel výkovku se nachází ve Francii. Chemické složení oceli deklarované normou zahrnuje tab. 2 na následující straně. Pro informační účely lze k této oceli nalézt příbuzné ekvivalenty, např. 31CrMo12 (oceli ČSN EN ISO 683-5, značeno dle harmonizované evropské ČSN EN 10027-1); resp. 31CrMo12+QT. [23; 24; 25]

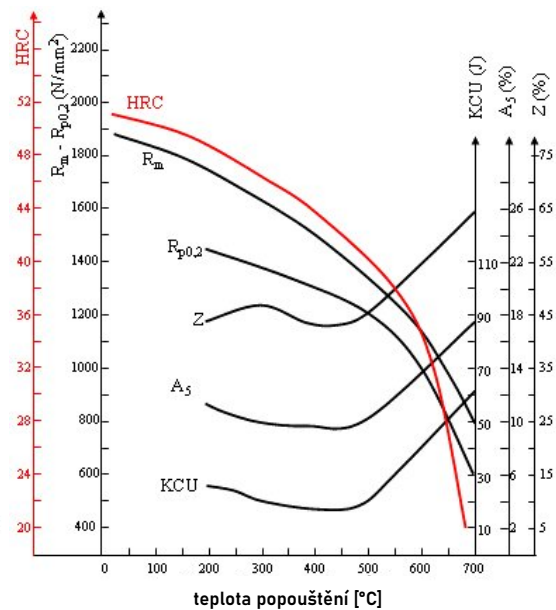
Pro tuto ocel, která je dodávána v zušlechtném stavu, je charakteristická dobrá prokalitelnost a široký zisk rozsahů pevností v tahu v kombinaci s dobrou tažností. Dosahuje též dobrých hodnot rázové houževnatosti při nízkých teplotách a odolnosti proti křehnutí za zvýšených teplot. Ocel lze nitridovat, čehož je u hřídele využito. Materiál nachází využití u silně zatížených, dynamicky a otěrem namáhaných konstrukčních dílů, jejichž aplikace vyžaduje pevností v tahu 620–1550 MPa. Typicky vrtulové soupravy, klikové hřídele, vložky válců, ozubené pastorky a obecně spojovací součást s výše zmíněnými požadavky. [26; 27]

Vzhledem k aplikaci součásti hřídele a prováděnému návaznému tepelnému zpracování – zavedená stabilizace obrobku v původním technologickém postupu (operace č. 9) – je vhodné rozebrat proces zušlechtění poněkud detailněji.

Zušlechtování sestává z dvojice chronologických pochodů: kalení a popouštění. Při kalení je vlivem rychlého ochlazení z austenitizační teploty (pro 30 CD 12 s deklarovaným obsahem uhlíku 0,28 až 0,35 – podeutektoidní ocel – obvykle 30 až 50 °C nad A_{c3}) dosaženo u materiálu vlivem transformace vzniku určitého nového podílu strukturní složky. Ačkoli není autorovi pro účely diplomové práce známa exaktní metalurgie a metalografie dané oceli, lze podle dostupného ARA diagramu, viz obr. 9 níže, odhadovat, že přítomna bude zejména struktura martenzitická a bainitická (určeno na základě předepsané tvrdosti 300–350 HB přibližně odpovídající 320–370 HV). Zásadní je však skutečnost, že tímto způsobem je dosaženo nerovnovážného stavu dané oceli projevujícím se přítomností vnitřního napětí v materiálu s následkem deformací. Jedním z faktorů, který ovlivňuje úroveň těchto projevů je i pravidelnost tvaru zušlechtovaného tělesa. U hřídele lze v tomto ohledu – rotační součást konstantního průřezu, kde oblast hlavy nevykazuje přílišnou koncentraci hmoty relativně k průřezu – připustit nižší úroveň těchto negativních jevů. [28; 29; 30]



Obr. 9 Diagram izotermického rozpadu austenitu pro 30 CD 12 [30].



Obr. 10 Změny mechanických vlastností oceli v závislosti na teplotě popouštění u 30 CD 12 [30].

Při následném popouštění, které zpravidla následuje bezprostředně po kalení, dochází za ohřevu ke změnám nerovnovážných fází (martenzit a zbytkový austenit) v podobě jejich rozpadu probíhajícím v několika stádiích. Proces je doprovázen relaxací vnitřních napětí avšak nikoliv jejich eliminací, a snížením tvrdosti materiálu v závislosti na popouštěcí teplotě, jak je patrné z obr. 10 výše. Snižuje se rovněž pevnost a to na úkor zvýšení tvárnosti a houževnatosti materiálu. [28; 29]

Přítomnost reziduálních zbytkových napětí po zušlechtnění, s příspěvkem napětí vznikajících při obrábění, vykazuje přímý dopad na případné přídavné tepelné zpracování materiálu, o čemž bude pojednáno v kap. 1.5.1.

Požadované mechanické vlastnosti, viz tab. 3, jimiž má výkovek disponovat a musí být doloženy atestem, jsou určující pro specifické nastavení procesních parametrů zušlechťování. Za výchozí lze uvažovat parametry deklarované přímo ve francouzské normě AIR 9160/C pro 30 CD 12: teplota kalení kolem 890 až 910 °C a 580 °C při popouštění. [31]

Tab. 2 Chemické složení oceli 30 CD 12 [30]

C	Si	Mn	S
0,28–0,35 %	0,1–0,4 %	0,4–0,7 %	≤ 0,02 %
P	Cr	Ni	Mo
≤ 0,025 %	2,8–3,3 %	≤ 0,3 %	0,3–0,5 %

Tab. 3 Mechanické vlastnosti výkovek (po zušlechtnění).

Mez pevnosti v tahu Rm	980–1130 MPa
Smluvní mez kluzu Rp0,2	min. 835 MPa
Tažnost A5	min. 15 %
Kontrakce Z	min. 55 %
Tvrdost	300–345 HB
Vrubová houževnatost KCU2	min. 80 J.cm ⁻²

1.4.1 Posouzení vlivu jednotlivých legujících prvků na obrobitelnost materiálu

Pojem obrobitelnosti zahrnuje komplexní vlivy fyzikálních vlastností a chemického složení materiálu na průběh rezného procesu. Jeho výsledky lze posuzovat z hledisek kvalitativních a ekonomických, která v důsledku poukazují na vhodnost aplikace specifických technologií a nástrojů. Přesto, že spolehlivá klasifikace obrobitelnosti pomocí jediné vybrané absolutní veličiny není možná, lze ji posoudit v korelaci s jednotlivými faktory obrábění. Mezi tyto lze zařadit vlivy materiálu obrobku: na intenzitu otěru, podobu energetické bilance procesu řezání, proces utváření třísky a vytváření nových povrchů na obrobcích. Nejdůležitějšími z mnoha aspektů, na nichž obrobitelnost závisí jsou:

- způsob výroby a tepelného zpracování obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu a jeho mikrostruktura,
- fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu obrobku,
- metoda obrábění zahrnující rezné podmínky a prostředí (např. způsob upnutí),
- geometrie, druh a vlastnosti materiálu nástroje.

Veličinami, pomocí kterých lze tyto aspekty hodnotit jsou například: měrná rezná síla, meze pevnosti materiálu, intenzita odírání břitů, součinitel tření na čele a hřbetu nástroje nebo měrná energie obrábění. A to v relaci k pevně definovaným podmínkám obrábění (rezná rychlost, průřez třísky a další). [32]

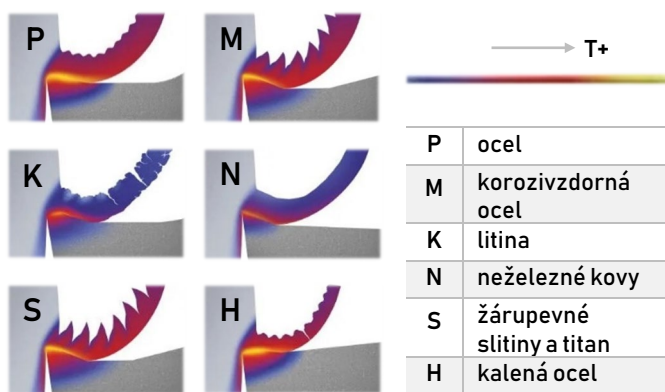
Materiál obrobku – ocel 30 CD 12 – náleží do skupiny nízko až středně uhlíkových (přibližně $0,25 \% (0,3) < C < 0,4 \% (0,55)$ v závislosti na zdroji) nízkolegovaných ocelí (pod 5 % legur). S ohledem na tepelné zpracování tvoří zušlechťenou strukturu materiálu, (s předpokladem většinového podílu, viz ARA diagram z předch. kap.), fáze martenzitu a bainitu případně částečně perlit. Vysoká pevnost zejména prvních dvou poměrně značně zhoršuje obrobitelnost, avšak s usouzením deklarované tvrdosti (přepočteno na ca 33–38 HRC) nemusí být přikládán vliv značný. S rostoucí tvrdostí se totiž nepřímo úměrně snižuje rezná rychlost, čímž lze nepřímo poukázat na zhoršenou obrobitelnost posuzovanou např. pomocí indexu kinetické obrobitelnosti (rozčlenění materiálů do tříd obrobitelnosti). Kované oceli se vyznačují větší stejnorodostí struktury díky jemnější zrnitosti, která ale na obrobitelnost působí negativněji. Lze očekávat až přibližně 25 % zhoršení ve vztahu ke způsobu zpracování polotovaru (výkovku) oproti nominálu taženého polotovaru. [32; 33; 34]

Možný vliv mohou sehrávat i legury chromu a molybdenu, které jsou v oceli přítomny pro zvýšení její pevnosti a rázové houževnatosti. Tyto společně s dalšími prvky (např. W, Cr, Va) mohou totiž ve struktuře kovu utvářet volné karbidy s vysokou tvrdostí dosahující až tvrdosti strukturních složek slinutých karbidů a jejich povlaků (2000–2500 (3000) HV). Obsah uhlíku a legujících prvků obráběného materiálu tomu ovšem nenasvědčuje. Přesto lze souhrnně, s odkazem na tyto skutečnosti, předpokládat opotřebení břitů převážně abrazivními účinky. [28; 35]

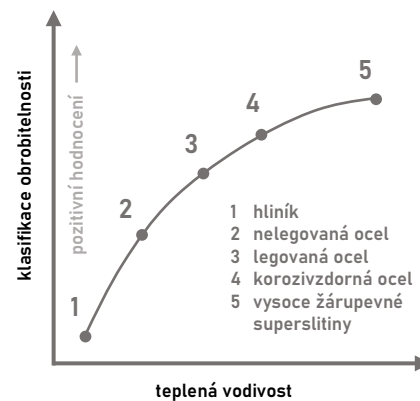
Vzhledem k povaze struktury, její tvrdosti a pevnosti, bude pravděpodobně docházet k většímu zatížení nástroje z pohledu vyšší energetické náročnosti – potřebného výkonu k obrábění (měrná rezná síla $k_{c1.1}$ přibližně v intervalu 2000–2300 MPa pro podobné materiály (DIN 1.7220 či DIN 1.8519) a obecně pro nízkolegovanou ocel s obsahem legujících prvků pod 5 % s tvrdostí 350 HB). Negativní sklony materiálu k adheznímu přilnutí a vytváření nárůstku jsou minimální (oproti např. nízkouhlíkové oceli se složkou měkkého a tvárného feritu). V důsledku tohoto tak u této oceli dochází k rozšíření kontaktní zóny třísky s hřbetem VBD, nárůstu teploty a tedy i vyššímu opotřebení. Za hlavní pozorované mechanismy opotřebení nástroje lze u tohoto materiálu označit tendenci k tvorbě žlábků, zvýšené opotřebení hřbetu a náchylnost k plastické deformaci břitů.

Míra opotřebení se přesto v tomto případě dle [36] považuje za akceptovatelnou. Očekává se pozitivní jakost povrchu a také kontrolované utváření kratších plynulých třísek, viz skupina P na obrázku 11 níže. (s odkazem na klasifikaci materiálu 30 CD 12 dle CMC a MC kódu společnosti Sandvik Coromant – CMC: 02.2; MC: P2.5.Z.HT). Obr. 11 ilustruje typické utváření třísek pro jednotlivé materiálové skupiny. [23; 32; 34; 36]

Z hlediska fyzikálních vlastností lze zmínit tepelnou vodivost, která v případech nízkých hodnot způsobuje komplikace v podobě neefektivního odvádění generovaného tepla ze zóny řezu prostřednictvím třísek. Proces v tomto případě doprovází silná oxidace ulpívajících třísek na břitu nástroje a teplota výrazně narůstá. V porovnání např. titanem – materiálem s nízkou tepelnou vodivostí –, nelze u materiálu této oceli usuzovat na výskyt podobných negativních jevů. Přibližné vyhodnocení obrobitelnosti v závislosti na tepelné vodivosti ilustruje diagram na obr. 12. U materiálu obrobku se též nepředpokládají výrazné projevy zpevňování za studena, které lze sledovat zvláště u austenitických korozivzdorných ocelí a některých vysoce žárupevných slitin. [33]



Obr. 11 Typické utváření třísek pro jednotlivé skupiny kovových materiálu podle ISO [34]



Obr. 12 Klasifikace obrobitelnosti na základě tepelné vodivosti materiálu [33].

Tvorby karbidů se *nikl* účastní až nad 2 % obsahu a při vyšším vede ke značnému zhoršení obrobitelnosti, protože se podílí na zvýšení pevnosti a houževnatosti oceli. Vzhledem ke koncentraci pod 0,3 % nelze tak podílu niklu přisoudit významný negativní vliv. [32]

Snížená houževnatost docílená vlivem přítomnosti *síry*, jež se v oceli vyskytuje v podobě sulfidů MnS a FeS, se při obrábění projevuje velmi příznivě, jelikož podporuje tvorbu krátké a lámavé třísky. V důsledku toho zvýšená křehkost oceli však snižuje vrubovou houževnatost, což je pravděpodobně s ohledem na požadované mechanické vlastnosti součásti důvodem, proč je podíl obsahu síry u této oceli, v porovnání s typickou koncentrací okolo 0,25 %, tak nízký (pod 0,02 %). Přesto i již velmi malé odchylky v koncentraci síry (např. 0,001–0,003 %) mohou být vzhledem k obrobitelnosti zásadní. Sulfidové vměstky se v závislosti na koncentraci síry mohou podílet i na redukci pevnosti v oblastech plastické deformace a tedy energie potřebné k oddělení materiálu. [32; 33; 34]

Mangan zlepšuje kalitelnost a zvyšuje pevnost oceli. Společně se sírou vytváří díky vzájemné afinitě zmíněné měkké inkluze sulfidu manganu. S ohledem na relativně nízký obsah uhlíku v dané oceli a koncentraci manganu 0,4–0,7 %, lze jeho vliv klasifikovat příznivě (do obsahu asi 1,5 % Mn pro příslušnou koncentraci C u předmětné oceli). [36]

Obsah *fosforu* pod 0,025 % nenaznačuje parciální vliv na zhoršenou obrobitelnost ve vztahu k tomuto prvku – přibližnou hraniční hodnotou je koncentrace okolo 0,1 %. Obecně působí fosfor k tvorbě krátkých třísek a při vyšším obsahu přispívá k lepší kvalitě obrobené plochy. [32; 36]

V případě vyšších obsahů tvoří *křemík* společně s dalšími prvky (Al, Ca) tvrdé inkluze oxidů, které mohou vlivem abraze podstatně zkracovat trvanlivost břitu. [32; 33]

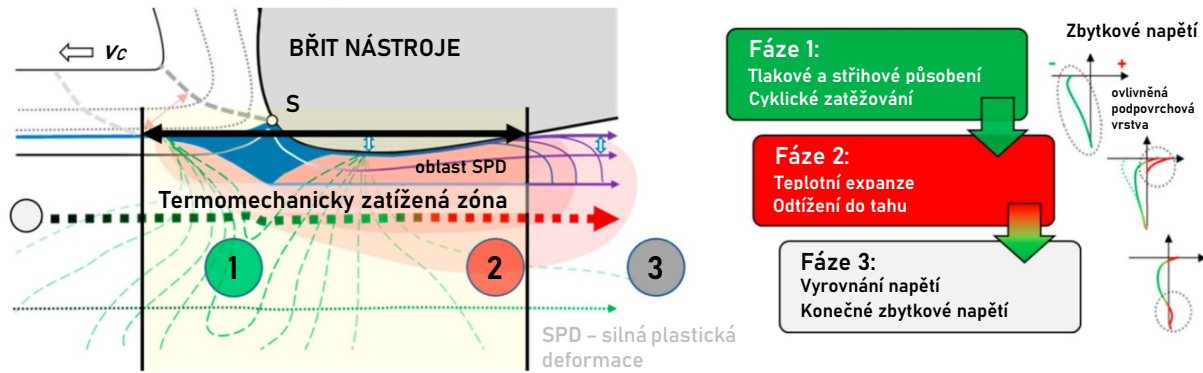
1.5 Posouzení vlivu výrobního procesu na vnitřní napětí materiálu a jejich konsekvence

Jak již bylo naznačeno v předchozích kapitolách, vnitřní zbytkové (strukturální) napětí, které vzniká doprovodně výsledkem aplikovaných výrobních procesů zpracovávaného materiálu, má v důsledcích řadu významných vlivů jak ve fázích obrobku, tak i u dokončené obrobené součásti. Problematiku lze tedy rozdělit do dvou rovin: na vliv v průběhu samotného výrobního procesu v kontextu technologie a výstupních kvalit obrobeného dílce (tvar) a na vliv na výsledné vlastnosti součásti nasazené v systému.

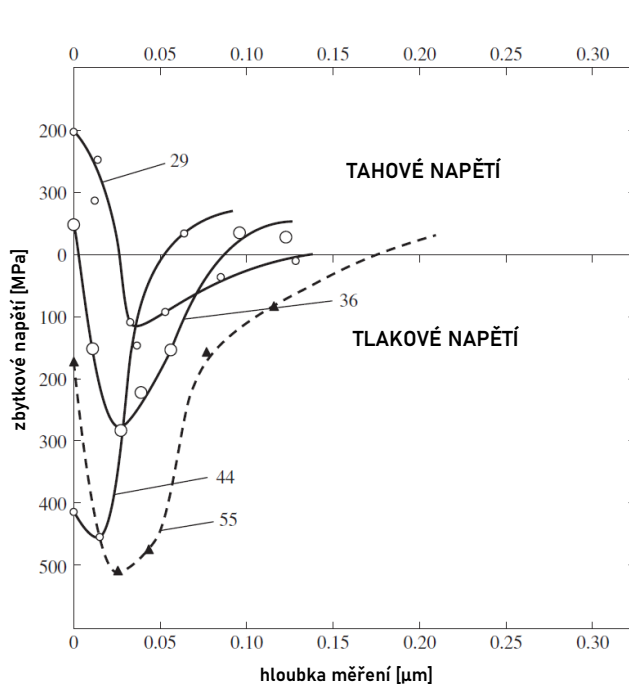
První zvýšené celkové vnitřní napětí doprovázející zušlechtní je způsobeno nepravidelností tepelného gradientu při ochlazování (s ohledem na rozdílné průměry výkovku) a také samotnou transformací na nerovnovážné fáze. [28; 33]

K narušení těchto vnitřních účinků, jejichž působení bylo do té doby na makroskopické úrovni rovnovážné, ale následně dochází vnějším silovým působením při jednotlivých (řezných) obráběcích operacích. Čímž může docházet ke geometrickému ovlivnění v podobě průhybů, a tedy změně tvarů a rozměrů obrobku. Tyto procesy relaxace mohou vykazovat jistou setrvačnost – k nastání průhybů nemusí docházet bezprostředně po obrobení ale v i horizontu dnů až dokonce týdnů –, což může potenciálně dále komplikovat výrobu. Nelze tak vyloučit nutnost nejednoho technologického zásahu (přídavných operací zvyšujících výrobní náklady) nebo dokonce nemožnost dosáhnout požadovaných přesností. [29; 37]

Vnější silová zatížení při obrábění pak zároveň do povrchových vrstev v zónách řezu vkládají další napětí, která v souhrnu (společně s vnitřním napětím z TZ) vzájemně superpozicují. Závislost charakteru vnitřního napětí, jeho intenzita a hloubka penetrace závisí na mnoha faktorech. Jedná se zejména o vlastnosti obráběného materiálu (jeho tažnost, tvrdost, pevnost), řezné parametry (řezná rychlost, hloubka řezu, posuv), použitý nástroj (materiál, geometrie či opotřebení) a procesní kapalinu a také způsob obrábění konkrétní technologií. Za obecně prospěšná napětí lze považovat napětí tlaková, jelikož zvyšují únavovou životnost. Přiblížení mechanismu tvorby zbytkového napětí uvádí obr. 13. Na obr. 14 je k vidění příklad vnesených zbytkových napětí, kde lze očekávat rozdíly mj. v závislosti na tvrdosti obráběného materiálu a rovněž odlišné výsledky s ohledem na specifický směr, ve kterém jsou hodnoty napětí zjišťovány. Z grafu lze pozorovat přechod zbytkového vnitřního napětí do tlakové oblasti u materiálů obrobku s tvrdostí přibližně přes 45 HRC, u kterých se začíná realizovat krátká článkovitá tříška. S nárůstem tvrdosti se zvyšuje úhel střižné roviny, přičemž dochází k poklesu šířky třísky a hloubka penetrace zbytkového napětí v těchto případech roste. Obr. 15 uvádí rozdílnost očekávaných výsledků zbytkového vnitřního napětí v závislosti na specifických řezných podmínkách při obrábění. Možno podotknout, že v rámci různých metod pro zjišťování hodnot zbytkového vnitřního napětí se mohou naměřené hodnoty též různit. [37; 38]

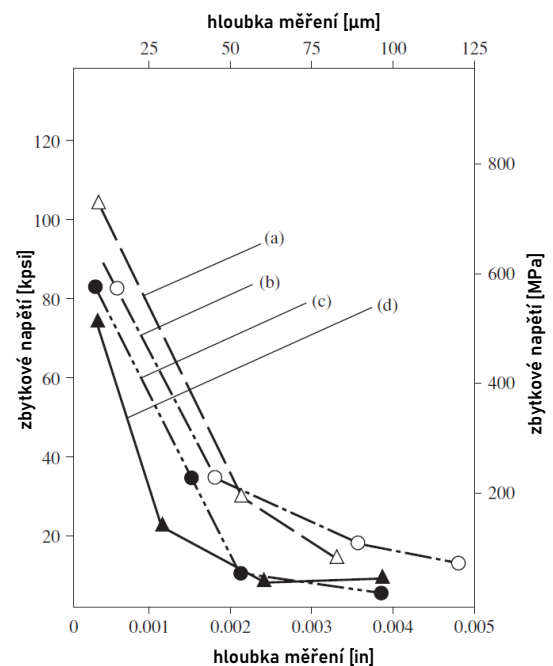


Obr. 13 Mechanismus tvorby zbytkových napětí při soustružení [39].



Vzorky z materiálu AISI 4340 o rozdílných tvrdostech. Vzorky leptány, měřeno pomocí rentgenové difrakce. Obráběno ostrým nástrojem (bez opotřebení) z keramiky (Al_2O_3/TiC).
 Řezné podmínky: $vc = 91.47$ m/min; $ap = 0.15$ mm; $f = 0.89$ mm.
 Číselné hodnoty u každé jednotlivé křivky představují tvrdost daného materiálu v HRC.

Obr. 14 Distribuce hodnot zbytkového napětí u obrobků rozdílných tvrdostí (měřeno ve směru posuvu) [38].



Obráběna tvárná nízkouhlíková ocel za podmínek ortogonálního řezu. Výsledky získány pomocí metody snímání změny křivosti obrobku při postupném odstraňování vrstev pomocí leptání. Ostrý nástroj bez opotřebení.

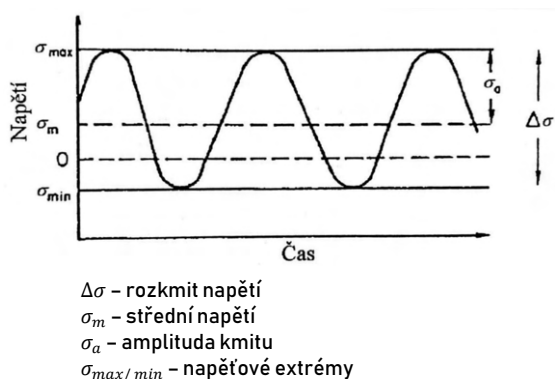
Řezné podmínky:
 vc [m/min]/ ap [mm]: a) 91.8/ 0.127; b) 91.8/ 0.254; c) 271.8/ 0.254; d) 271.8/ 0.127.

Obr. 15 Změny zbytkového vnitřního napětí v závislosti na rozdílných řezných parametrech (měřeno ve směru posuvu) [38].

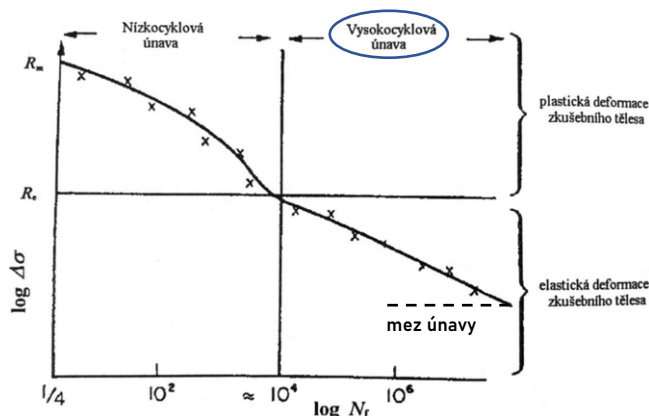
Druhá snad významnější rovina se týká vlivu vnitřního zbytkového napětí po obrábění na životnost součásti. S ohledem na nasazení hřídele ve významném systému (PEJ) ve stroji je zřejmé, že aspekty životnosti a spolehlivosti představují zásadní parametr, který nelze opomíjet.

Intenzivní cyklické zatěžování rotorové hřídele v systému a to při napětích menších než je mez kluzu, podporuje riziko vzniku únavového poškození. Přesto, že je integrita součásti kontrolována pomocí magnetoskopické defektoskopie, může za provozu v rámci vysokocyklové únavy dojít k iniciaci trhlin a v kritickém případě až k porušení součásti.

Každá i nezatížená součást totiž vykazuje jistou geometrickou nepřesnost (sledovatelné průhyby, házivost aj.), která se za provozu – v případě hřídele rotace – projeví nepřetržitým generováním střídavého tlakového a tahového zatěžování, tedy napětím jak naznačuje obr. 16. V přídech, že rozkmit těchto napětí překračuje mez únavy, existuje konečný počet cyklů, v průběhu kterých dojde iniciaci trhlin. Právě přítomnost zbytkového napětí v materiálu může v důsledku, s poukazem na Goodmanovo pravidlo (závislost rozkmitu napětí na středním napětí při srovnatelném počtu cyklů do porušení), vést ke snížení potřebného napěťového rozkmitu pro srovnatelný počet cyklů do porušení, viz. obr. 17. To znamená, že i přes teoreticky „dokonalou“ geometrii mohou vyvolaná i relativně malá napětí představovat nebezpečí. V souvislosti s geometrií hřídele je nutné poznamenat, že únavovou životností, v porovnání s hladkým tělesem, negativně ovlivňují i různé konstrukční prvky součásti jako např. zápichy a tvarové přechody. [40]



Obr. 16 Časový průběh napětí při cyklickém zatěžování; příklad střídavého nesouměrného namáhání [40].



Obr. 17 Únavová životnost hladkých součástí bez vnitřních trhlin [40].

1.5.1 Stabilizace: žihání ke snížení vnitřního napětí

I s teoretickým uvážením, že by projevy relaxace nezpůsobily takové geometrické defekty (průhyby aj.) narušující a komplikující výrobní proces, je neadekvátní opomíjet sekundární vlivy zbytkového napětí na provozní životnost součástí. Toto je důležité konstatovat, jelikož ve fázi návrhu nové technologie výroby se jednalo o možnosti vynechání tepelného zpracování (stabilizace) za účelem snížení počtu operací a výrobních nákladů. Je evidentní, že na tuto problematiku nelze pohlížet pouze prizmatem výrobní technologie. Vzhledem k potenciálním konsekvencím bylo proto rozhodnuto, že provádění stabilizace bude zachováno.

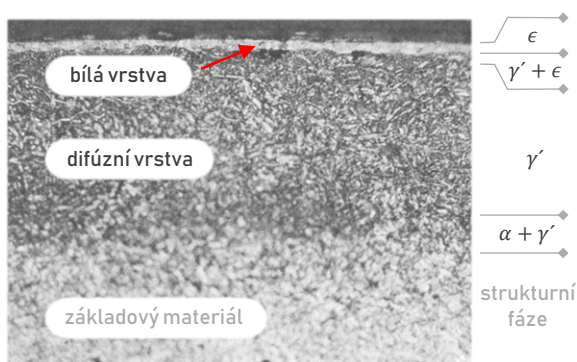
Současně prováděná stabilizace je v podstatě žihání ke snížení vnitřního napětí probíhající pod teplotami rekrystalizace. Obecně se tento druh žihání provádí s cílem snížit nebo odstranit vnitřní napětí, která u součásti vznikla v průběhu jejich předcházejícího zpracování v důsledku například silného lokálního ohřevu při svařování, tváření za studena (např. rovnání), značného třískového obrábění nebo nerovnoměrností podmínek tepelného zpracování polotovarů (odlitky a výkovky).

Snahou u prováděného žihání pro snížení vnitřního napětí je dosažení rovnovážnosti struktur, avšak bez vzniku fázových přeměn, prostřednictvím poměrně dlouhé výdrže na žihací teplotě (pod A_1) při malých ochlazovacích rychlostech zpravidla nižších než na klidném vzduchu – ochlazuje se v peci. Mechanismus je založen na dostatečném snížení meze kluzu vlivem zahřátí, čímž dochází k uvolnění přítomných vnitřních napětí, která korespondují s pružnou deformací mřížky a přeměně těchto na lokální plastickou deformaci.

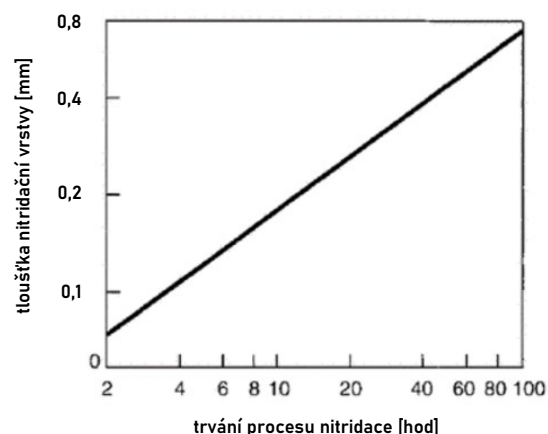
Očekává se, že k největšímu vkladu a zároveň uvolnění napětí vzniklém zušlechtním dojde při hrubovacích operacích. Za tyto je proto vhodné začlenit proces stabilizace s tím, že do dokončovacích operací, ve kterých je již cílem dosáhnout jisté rozměrové a geometrické přesnosti, bude obrobek vstupovat s minimalizovanými zbytkovými napětími. [40]

1.6 Nitridace

Nitridace je chemicko-technologický proces založený na sycení povrchu ocelí dusíkem, při kterém se dosahuje, krom dalšího komplexu parametrů, zejména vysoké povrchové tvrdosti důsledkem vytvoření jemných a velmi tvrdých intersticiál ve struktuře. Složení těchto sestává převážně ze sloučenin dusíku a železa, které se ve vzniklé vrstvě vyskytují postupně směrem od povrchu v podobě čtyř nitridových fází; způsobeno rozdílným obsahem železa v radiálním směru podél průřezu, přičemž lze vyjít z rovnovážného Fe-N diagramu. Opticky lze však sledovat dvě zóny nitridované vrstvy: základovou tzv. bílou vrstvou tvořenou kubickým či hexagonálním nitridem a na ni navazující difúzní vrstvou rozpuštěného dusíku s obsahem precipitátů tvrdých karbonitridů. Povrchová tvrdší vrstva zajišťuje hlavní výhody v podobě vysoké odolnosti vůči opotřebení a odírání a difúzní vrstva přispívá k lepším únavovým vlastnostem. Které jsou zajištěny zbytkovým tlakovým napětím vyvolaným růstem objemu vrstvy nitridů (dusík difunduje do součásti). Základový materiál, by pak měl disponovat jistou tvrdostí, aby poskytoval dostatečnou oporu a tedy soudržnost s na něm vznikající nitridační vrstvou – toho je dosaženo martenzitickým jádrem z předcházejícího procesu zušlechtní. Jednotlivé vrstvy jsou k vidění na obr. 18 níže. Krom sloučenin se železem vytváří dusík v legovaných ocelí další karbidy, které jsou oproti Fe-N stálejší za vysokých teplot a rovněž tvrdší. Jedná se o již zmíněné uhlíkové nitridy – tzv. karbonitridy – a mnohé další speciální nitridy, jež jsou navázány nejčastěji na přísadové afinní prvky (legury) chromu, molybdenu, hliníku a vanadu. K aplikaci nitridování jsou zpravidla vhodné oceli s obsahem uhlíku ca 0,3 až 0,4 %, u nichž je kontrolovaný právě obsah výše deklarovaných (Cr, Mo, Al, V) příp. jiných prvků. Takové oceli se nazývají nitridační a jsou relativně dražší než např. běžné konstrukční oceli. [28, 41; 42; 43]



Obr. 18 Metalografický výbrus nitridovanou vrstvou oceli [42].

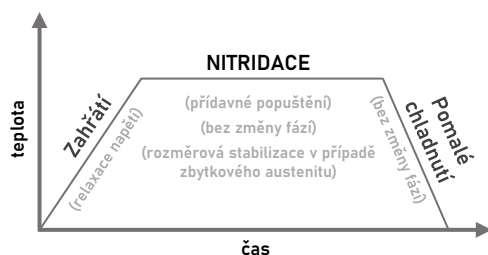


Obr. 19 Časová náročnost nitridačního procesu (nitridace v plynu) [44].

Jak již bylo naznačeno, zušlechtní oceli předchází nitridaci. Nitridační teplota se tudíž pohybuje pod teplotou popouštěcí, tedy kolem 500–550 °C; pokud by byla teplota vyšší, mohlo by dojít ke snížení tvrdosti jádra a nedostatečné podpoře pro narůstající difúzní vrstvou. Nitridací lze dosáhnout tlouštěk vrstvy přibližně až 1 mm s hodnotami tvrdosti pohybujícími se obvykle 1000–1200 HV.

Délka procesu je však obecně velmi dlouhá – jen vystavení působení dusíku může dosahovat až 100 h (expoziční doby se významně prodlužují v závislosti na požadované tloušťce), viz obr. 19 na předchozí stránce. Pro porovnání: stejné tloušťky lze alternativním konvenčnějším procesem cementování (sycení uhlíkem) dosáhnout za 4,5 h expozice. Krom toho umožňuje cementování průnik vrstev až kolem 6 mm do povrchu a stabilnější (postupnější) pokles hodnot tvrdosti směrem do hloubky vrstvy. Rozdílem a v mnohých ohledech převažující výhodou nitridace je však eliminace vzniku vnitřních napětí vznikajících při kalení po cementaci (kalící teploty ca 870–1065 °C). Díky nízkým teplotám nitridace (~500 °C) a volnému chladnutí, které redukuje vznik termálních gradientů, a zvláště při předem provedeném žíhání pro snížení napětí – v případě současného technologického procesu výroby součásti se tak děje –, jsou generované distorze vyvolané nitridací minimální, viz obr. 20. Tedy předešlý proces TZ, tj. žíhání ke snížení napětí, má v jistém smyslu návaznost na stabilizování nitridačního procesu v souvislosti s projevem při něm vznikajících deformací (tyto budou omezeny). Při cementaci a kalení zůstává navíc ve struktuře přítomen zbytkový austenit, u něhož může docházet k samovolné přeměně na jiné fáze. Tento pochod je doprovázen změnou rozměru a tvaru a nelze vyloučit ani nárůst vnitřního napětí. Při nitridaci tato skutečnost odpadá. [28; 44]

Minimální vyvolané deformace a čistý nitridovaný povrch bez okujů mnohdy dovolují vynechat po nitridaci následné dokončovací operace. Přesto, že s ohledem na kladenou přesnost nitridovaných ploch na hřídeli není možné vynechat operace broušení, je nicméně zřejmé, že proces nitridace přináší znatelné výhody vycházející z rozměrové a tvarové stability. [33]



Obr. 20 Výhody procesu nitridace [42].



Obr. 21 Nitridovaná hřídel (předmět DP).

Existují čtyři druhy technologie nitridace, které se vzájemně liší zdrojem a způsobem jakým je součást exponována přítomností sytícího dusíku. Mezi tyto patří plazmová (iontová) nitridace, nitridace v solné lázni, nitridace v plynu a prášková nitridace. Jednotlivě se dané technologie rozlišují mimo jiné v rychlostech, přesnostech řízení (kontrola) samotného procesu a výsledků (dosahované struktury) a také v úrovních při nich způsobených deformací. PBS využívá pro výrobu vývojově starší technologii nitridace v plynové peci. Metoda spočívá v působení plynné neustále se obnovující atmosféry čpavku v peci. Ten následně disociuje, přičemž vzniklý atomární dusík je absorbován do povrchu součásti. Na obr. 21 výše je k vidění hřídel po provedené nitridaci, kde patrné hladké a lesklé úseky jsou právě nitridované plochy. [28; 44; 45]

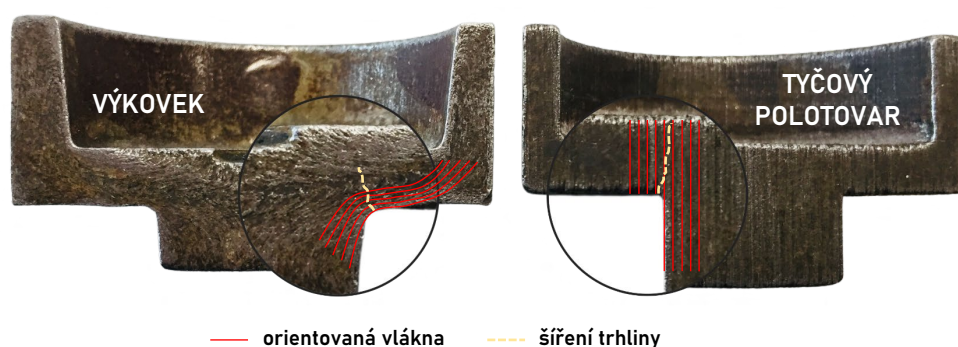
1.7 Výkovek

Jako polotovary součástí se využívá již dříve zmiňovaný externě dodávaný výkovek v zušlechťeném stavu, tj. v základu tepelně zpracovaný. S ohledem na sériovost produkce součásti hřídele přibližně 100 ks ročně a již několik let probíhajícímu způsobu výroby zahrnující konstantní materiálový vstup – totožný výkovek –, lze mimo jiné usuzovat (nejsou k dispozici podrobnější informace o nákladech) na ekonomický smysl řešení volby takového polotovaru v podobě vyššího procenta využití materiálu. Výkovek tak může vést ke snížení nákladů na pořizovaný materiál a časy obráběný jsou oproti plnému materiálu zkráceny.

Zásadní předností daného výkovku a obecně všech výkovků jsou ale dosahované mechanické vlastnosti kované struktury, které vycházejí z optimalizovaného toku orientace vláken ve vnitřní struktuře. [46; 47]

Příčinou původu vzniku těchto vláken v oceli je přítomnost vměstků převážně síry a fosforu, které mají nižší teplotu tuhnutí než železo, a proto tuhnou v tavenině jako poslední a vytvářejí tak obálku zrn primárních. Následným tvářením v kovárnách dodavatelů konvenčních polotovarů (tyče, bloky aj.) se takto odlitý základní materiál silně přetváří (např. válcuje) a zrna včetně vláknových obálek se zplošťují. Následně prováděná rekrystalizace obnoví zrno, avšak vměstky z důvodu jejich nižší difúzní rychlosti zůstávají v deformovaném stavu. Uvnitř takto zpracovaného materiálu tedy vznikají nesouvislé plošné útvary usměrněné ve směru toku materiálu, které se po provedení výbrusu projeví jako vlákna. [48; 49]

Právě orientace vláknového toku v hotové součásti z tvářeného polotovaru, ať už se jedná o tyčový polotovar nebo výkovek (odlitek lze považovat za izotropní), ve výsledku vede k anizotropii mechanických vlastností takového materiálu. Pokud je pro výrobu součásti využito např. tyčového materiálu, je směr vláken konstantní avšak v místech obrobení jsou vlákna značně přerušena. Naproti tomu u výkovku kopíruje směr vláken obvykle tvar zápustky, viz obr. 22. Důsledkem je vzájemná variabilita v hodnotách mechanických vlastností, kterou takové struktury vykazují. Přesto, že v obou vzorcích se pevnost a tvrdost nemusí výrazně lišit, protože jejich hodnoty se odvíjí převážně chemickým složením kovu a jeho tepelným zpracováním, významné pozitivní změny lze pozorovat v parametrech životnosti souvisejícími s šířením trhlin – hodnotách únavové životnosti, rázové pevnosti či tažnosti. [46; 47]



Obr. 22 Porovnání vláknové struktury výkovek a tyčový polotovaru v detailu.

Snahou je orientovat vlákna ve výkovku s ohledem na projektovanou aplikaci – kritická zatížená místa – takovým způsobem, aby případná postupující trhlina směřovala kolmo k vláknům, což k vede k vyšší energetické náročnosti na její další postup směrem do materiálu a tedy vyšší odolnosti struktury vůči porušování. Další výhodou výkovků je jejich zlepšená strukturální integrita způsobená přidavných kovací procesem – kovááním samotného výkovku –, vlivem kterého se dále minimalizují a uzavírají případně přítomné porozity. Na výkrese výkovku, je přímo znázorněna orientace vnitřní vláknové struktury, která vychází z orientace dělicí roviny. [47; 48; 50]

Výkres výkovku předepisuje také aplikaci mezních úchylek na délkové rozměry podle evropské EN 10243-1 a to ve stupni přesnosti F čili v přiměřeném standardním stupni. Po provedené analýze bylo zjištěno, že ačkoliv některé úchytky, jejichž hodnoty se určují na základě parametrů kování, tabulkovým hodnotám odpovídají, určité úchytky jsou od doporučení normy rozdílné. Jde však o skutečnost v souladu s normou, jelikož doporučené hodnoty z normy nejsou závazné a po dohodě s protistranou (zákazníkem) mohou být korigovány. [51]

Specifikace tolerovaných geometrických nepřesností vycházejících zejména z dělené dutiny zápustek, výběrově dovolené přesazení o hodnotě 0,5 (- *Max mismatch*), úchyly dovoleného sestřížení 0,6 (- *Flash extension*) nebo dovolené deviace od přímosti a rovinnosti 0,6 (- *Flatness*) nepředstavují žádné komplikace pro účel následného komplexu obrábění; částečně mohou pouze složit jako východisko pro nastavení např. bezpečné vzdálenosti při programování drah v CAM. Přídavky k finální kontuře hřídele jsou totiž ve většině objemu značné (naznačeno také na výkrese), a rovněž v kritické oblasti hlavy činí 1,5–2 mm. Jistou pozornost je třeba zaměřit na způsob opracování povrchu výkovku, který je otryskán (- *GRIT BLASTING*), viz obr. 23. V návaznosti na tuto skutečnost je tudíž nutné v oblastech hlavy (čela na $\varnothing 56,4$), dosáhnout při obrábění dostatečného úběru, aby došlo k odstranění celého drsnostního profilu a vznikla kompaktní celistvá obrobená plocha. [51]



Obr. 23 Fyzický výkovek pro součást hřídele (předmět DP).

2 VÝROBNÍ PROSTŘEDKY

Výrobní park divize letecké techniky disponuje konvenčními stroji, řadou CNC obráběcích center s doménou třískového obrábění rotačních i nerotačních součástí a taktéž multifunkčními obráběcími centry. Pracoviště brusírny dále zahrnuje několik brousicích strojů – rovněž CNC a konvenčních. Mimo to se v provozu nachází také výrobní zařízení nekonvenčních technologií, konkrétně např. elektroerozivní hloubička – EDM. Z výčtu lze sekundárně zmínit také zařízení sloužící pro popis a označování obrobků. V kontextu výroby součástí hřídele jsou výrobní prostředky a vybavení DLT, až na externě zajištěnou nitridaci, plně soběstačné.

Jedním z parciálních cílů prováděné inovace výroby součásti je snaha o přesun výroby a tedy i závislosti ze současných konvenčních na CNC stroje. Z čehož lze očekávat mimo mnohé například zvýšení opakovatelnosti výroby díky mj. redukcii chybovosti lidského faktoru a vyšší přesnosti či snížení zásobovacích (skladovacích) kapacit. Prim však spočívá v motivaci zkrácení výrobních časů. Jichž může být dosaženo optimální konsolidací, tedy sloučením co nejvyššího počtu obráběcích úkonů do jednotlivých operací při minimálních manipulačních nárocích nebo transferech mezi stroji za zvýšeného výkonu obráběcího procesu (např. vyšší hodnoty posuvů u CNC strojů, optimalizované dráhy aj.). [52]

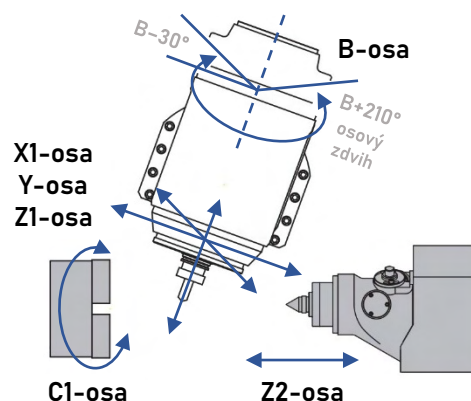
2.1 Výběr soustružnicko-frézovacího centra

Pro účely výroby dané součásti hřídele bylo rozhodnuto o přípustnosti výběru následujících potenciálně vhodných strojů z oblasti třískového obrábění s podmínkou přítomné Y osy vyžadováno pro frézování drážkování).

Multifunkční centrum Mazak Integrex i-300 s řídicím systémem Mazatrol SmoothX, viz obr. 24, které je jedním z nejnovějších v rámci DLT. Jedná se o koncept soustružnicko-frézovacího stroje o kompaktních zástavbových rozměrech s konstrukcí v základu založenou na lineárním pohybu nástroje – frézovacího vřetena –, jež navíc disponuje naklápěním (tzv. B-hlava). Mimo vysokou kinematickou adaptibilitu díky 5 pracovním osám spočívá navíc přidaná hodnota stroje v přiblížení velikosti instalovaných výkonů pro různé druhy třískového obrábění – vyšší výkon a zejména pak kroutící moment oproti např. poháněným frézovacím nástrojům u soustružnických center s Y osou. K unášení obrobku lze u Mazak Integrex i-300 využít jedno hlavní soustružnické vřeteno, přičemž dolní šikmé vodící lože se zde nenachází a tudíž i spodní nástrojová revolverová hlava (dolní suport) a CNC luneta u tohoto modelu není přítomna. Místo protivřetena se pak v konstrukci nachází koník s regulovatelnou přitlačnou silou až do hodnot 10 kN. Stroj je vybaven řetězovým nástrojovým zásobníkem s 36 pozicemi s upínacím mechanismem do vřetena Kennametal KM XMZ – konkrétně KM63XMZ –, což je speciální (individuální) řada tohoto výrobce pro výhradní použití na strojích Integrex. Jistým neopomenutelným negativem je absence vysokotlakého čerpadla pro procesní kapalinu. Konfigurace pracovního prostoru daného modelu i-300 včetně pracovních os a jejich rozsahu ilustruje obr. 25. V tab. 4 jsou pak vybrané technické parametry stroje. [53; 54; 55]



Obr. 24 Mazak Integrex i-300 [54].



Obr. 25 Konfigurace pracovního prostoru Mazak Integrex i-300 [53].

Tab. 4 Technické parametry Mazak Integrex i-300 1000U (- délka lože 1000 mm) [53; 56]

maximální soustružený průměr	658 mm
maximální pracovní délka	1011 mm
maximální průvlečný průměr	80 mm
maximální otáčky soustružnického vřetena	4000 min ⁻¹
výkon motoru (40 % ED, 30 min rating) ¹	30 kW
maximální otáčky frézovacího vřetena	12 000 min ⁻¹
výkon motoru (40 % ED, 30 min rating)	22 kW
pohyb v ose X	615 mm
pohyb v ose Y	260 mm
pohyb v ose Z	1077 mm
rotace v ose B	240°
sklíčidlo	KITAGAWA B-210X, velikost 10 palců
upínací mechanismus do vřetena	krátký kužel A2-8 (ISO 702-1)

¹ přípustný cyklus zatěžování (- výkonová charakteristika stroje)

Dalšími uvažovanými stroji pro případné užití byla též nová soustružnická centra Mazak tentokrát z řady QuickTurn, vybavená v obou případech Y osou a řídicím systémem Mazatrol SmoothG. Specificky Mazak QT 100MSY s protivřetenem (bez koníku) a větší Mazak QT 200MY ve verzi s koníkem, oba modely s 12-ti poziční nástrojovou revolverovou hlavou se systémem upínání VDI. S ohledem na jednotlivé a zvláště na konečnou zvolenou variantu navrženého technologického postupu, bylo ujednáno, že u stroje QT 100MSY bude kritická limitace v podobě průvlečného průměru vřetena, který u tohoto činí 52 mm. Navíc je pro obráběcí operace vyžadováno použití koníku. U stroje QT 200MY pak konstrukční parametry vyhovují požadované aplikaci obrábění hřídele nicméně vysokotlaký čerpací systém ve výbavě schází také. Na základně informací z dřívějších aplikací nutno poznamenat, že u stroje QT 200MY byly např. při nouzově přerušném obráběcím procesu a pokusu o jeho opětovné spuštění sledovány jisté problémy s harmonizací sdruženého pozicování v ose Y při současné indexaci v ose C (odpovídá kinematice odvalovacího frézování drážkování). [57; 58; 59]

Ačkoli je patrné určení Mazak Integrex i-300 zvláště pro středně velké až velké složité díly, bylo na základě dohody s technologií v PBS, rozhodnuto využít pro soustružnické a frézovací operace v rámci prvotní zkušební dávky (nový technologický výrobní postup) multifunkční Integrex. S jeho chodem jsou pozitivní zkušenosti a příslušní operátoři disponují vysokou mírou svěřené důvěry.

Pro účely vyšší operativnosti a nižších provozních nákladů strojního pracoviště bylo přistoupeno k výjimce pro obrábění v operaci 1 a 2, o čemž pojednává kap. 4.4). V těchto operacích bude užito konvenčního hrotového soustruhu SV18 RA, technické parametry viz příloha 2.

2.2 Výběr broušícího stroje

Pro dokončovací operace byla bezprostředně volena z pracoviště brusírny nejnovější CNC univerzální hrotová bruska Studer S31 určená svojí dimenzací pro středně velké obrobky. Stroj vybavený otočnou revolverovou nástrojovou hlavou a přídatným vřeteníkem pro vnitřní broušení viz obr. 26, umožňuje mimo klasické broušení válcových, kuželových a čelních ploch (upnutí mezi hroty nebo do obrobkového vřetena) také broušení tvarových ploch a závitů. A to díky automatickému NC řízenému pozicování hlavy v ose B s přesností $0,0001^\circ$ v případě synchronizovaného unášení v ose C (obrobkové vřeteno). V zástavbě je rovněž integrována obrobková snímací sonda a ořovnávací zařízení. Konstrukce tvořená nejmodernější granitovou monolitní (syntetickou) základnou s lisovanými vodícími dráhami pak zaručuje maximální přesnost chodu stroje. U hrotů koníku a vřetena je pak umožněno jemné nastavení v podobě korekce kužele po $1\ \mu\text{m}$ (do $40\ \mu\text{m}$). Vybrané technické specifikace jsou obsaženy v tab. 5. [60; 61; 62]



Obr. 26 Studer S31 a přítomná konfigurace revolverové nástrojové hlavy [60; 63].

Tab. 5 Technické parametry Studer S31 [60].

vzdálenost mezi hroty	1000 mm
výška hrotů	175 mm
průměr kotouče pro vnější broušení	500 mm
max. šířka kotouče pro vnější broušení	63 mm
výkon revolverové nástrojové hlavy	7,5 kW
max. obvodová rychlost kotouče	50 m/s
výkon přídatného vřeteníku	4 kW
max. otáčky přídatného vřeteníku	$1500\ \text{min}^{-1}$
pohyb v ose X	280 mm
řídící systém stroje	31 i-A Fanuc Control

2.3 Výběr ostatního zařízení

Pro obrobení dutiny čtyřhranu byla určena současně využívaná vertikální elektroerozivní hloubička Exeron EDM 313 MF vybavená vlastním řídicím systémem MF 10 – Exowin založeném na podpoře běžného PC (OS Windows). [64; 65]

V procesu výroby je nutné každou součást označit přesným identifikátorem, prostřednictvím kterého lze krom jiného zpětně dohledat konkrétní historii procesního nakládání s daným kusem. Gravírování označení se provádí na laserovém zařízení TruMark 5000 od výrobce Trumf. [66]

Doprovodná měření v průběhu výroby jsou zajištěna běžnými komunálními měřidly a řadou vlastních účelných měřicích přípravků (např. pro kontrolu vyjiskřené dutiny čtyřhranu). Závěrečná metrologická kontrola zejména geometrických parametrů na vysoce přesných broušených plochách se provádí na zařízení Taylor Hobson Talyrond 252, viz obr. 27. Přístroj na principu kontaktního snímání (rotační součásti do výšky 300 mm, průměru 350 mm a hmotnosti do 20 kg) umožňuje též vyhodnocení drsnostních parametrů povrchu, přičemž jeho souhrnně pojatá přesnost se pohybuje okolo $0,2 \mu\text{m}$ (- vyhodnocení geometrických tolerancí). [67]



Obr. 27 Měřicí přístroj Taylor Hobson Talyrond 252.

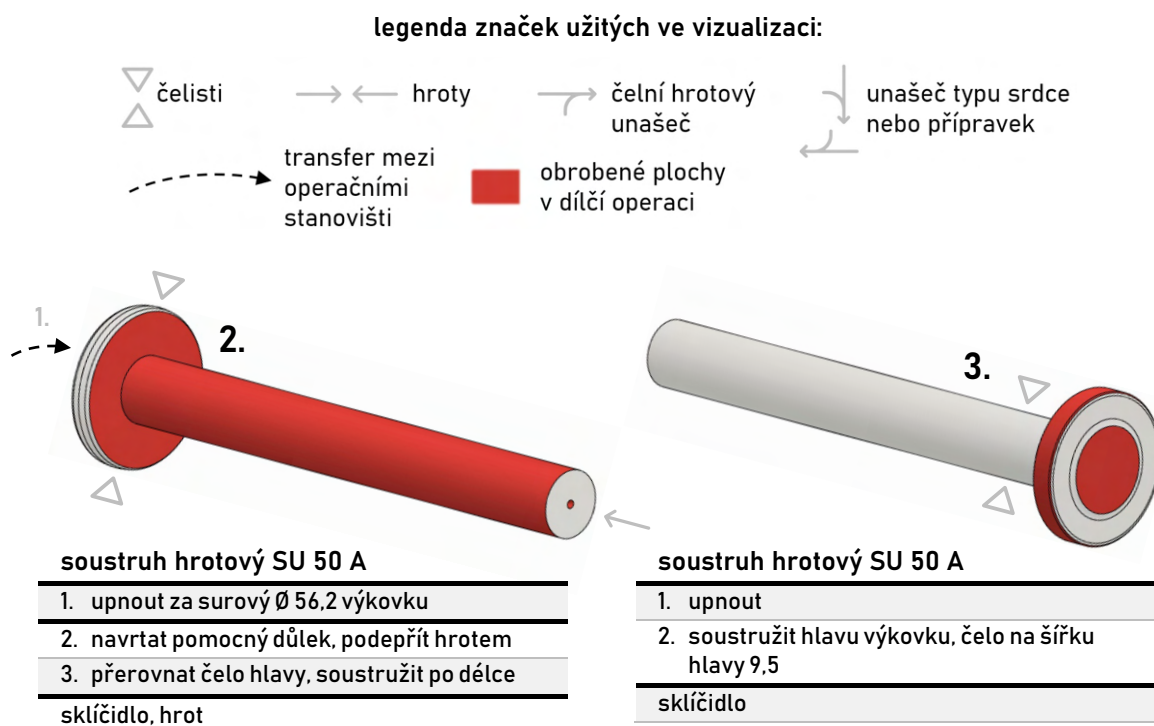
3 PŮVODNÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Současně prováděný výrobní postup součásti představuje stav, jehož geneze vychází z minulosti volených a v průběhu let optimalizovaných a ověřených technologických řešení. Nyní zavedená technologie výroby hřídele se mimo jiné opírá i o historicky příbuzné součásti a projekty řešené v rámci PBS – zejména starší modely APUs –, na jejichž základě disponuje společnost mnohaletými zkušenostmi a získanému know-how v dané technické oblasti.

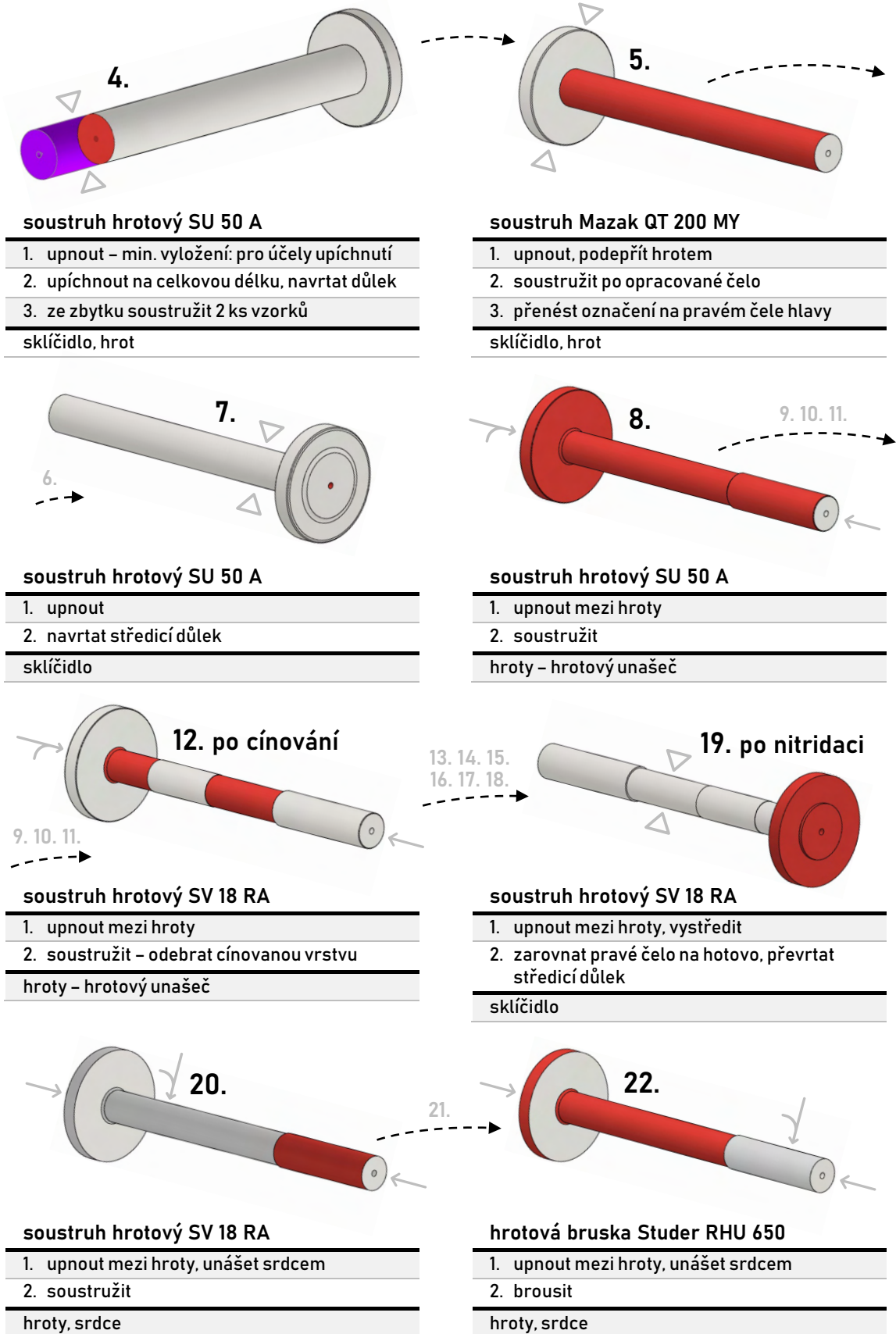
Aktuální koncepce technologického postupu, jak je zřejmé z výše zmíněného, je tudíž vystavena na technických možnostech strojních zařízení, jejichž konstrukci a kupříkladu míru účelnosti (např. počet řízených os) lze datovat přibližně více než 30 let zpětně.

Sled původního výrobního postupu tak kombinuje několik jednoúčelových strojů, přičemž dle originálního soupisu technologické průvodky je celkově realizováno 35 operačních položek [68]. Tyto jsou různého charakteru: přípravné, obráběcí (soustružení, frézování, broušení, obrábění vyjiskřením), operace TZ a povrchových úprav, kontrolní, zámečnické, metrologické a operace přídavné (defektoskopie, odmagnetování). Jelikož v některých obráběcích operacích, které byly definovány v jedné položce (původní postup), docházelo k více než jednomu přeupnutí obrobku, byly operace pro účely práce přečíslovány, aby bylo možné jednoznačné a nezkrácené porovnání s navrženými změnami variant inovované výrobní technologie (viz kap. 4).

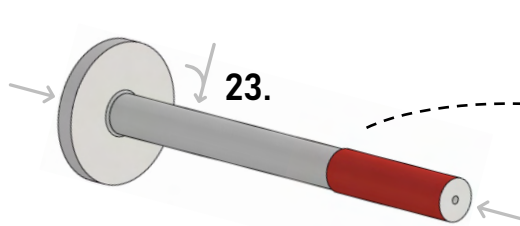
Souhrnný počet operací po přečíslování pak činí 40, z nichž 21 operací je primárního obrábění realizovaném na celkově 8 strojích. Jmenovitě: konvenční hrotový soustruh SU 50 A, SV 18 RA, CNC soustruh Mazak QuickTurn 200 MY, konvenční hrotová bruska Studer RHU 650, Studer RHU 500, EDM Exeron 313 MF, 3-osá CNC frézka MCV 1270 Sprint a konvenční odvalovací frézka Mikron 102. Ilustrace jednotlivých obráběcích operací (přečíslovaných, tj. jedna operace pro jedno upnutí) jsou zahrnuty na komplexním obr. 28 na dalších stranách. V tabulce 6 jsou pak vypsány zbylé doprovodné operace k primárnímu obrábění.



Obr. 28 Vizualizace operací primárního strojního obrábění současného technologického postupu [69].



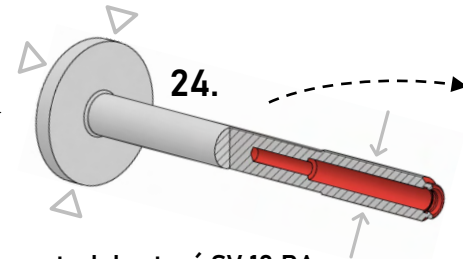
Obr. 28 Operace primárního strojního obrábění současného technologického postupu [69].



hrotová bruska Studer RHU 650

1. upnout mezi hroty, unášet srdcem
2. brousit

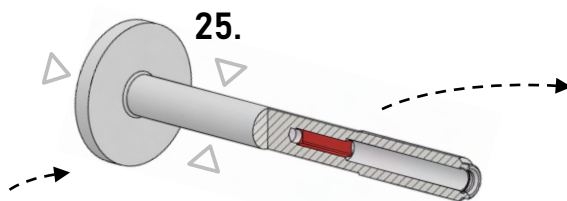
hroty, srdce



soustruh hrotový SV 18 RA

1. upnout, vystředit, podepřít lunetou
2. zarovnat čelo a soustružit vnější konturu
3. postupně vrtat
4. přesoustružit díru $\varnothing 8$, soustružit vnitřní zápich, sražení 30°

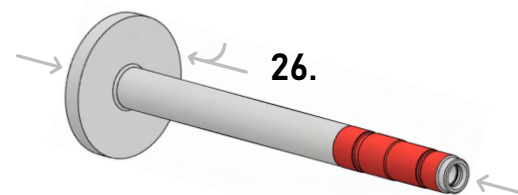
měkké čelisti, luneta



EDM Exeron 313 MF

1. upnout, vystředit
2. vyjiskřit

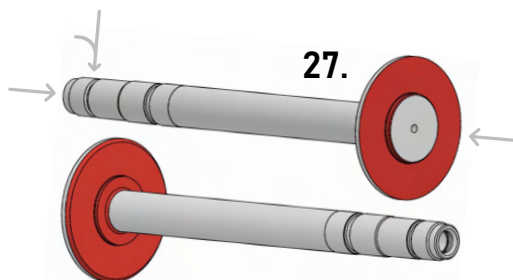
upínací prizmatická kostka



soustruh hrotový SV 18 RA

1. upnout mezi hroty, unášet v přípravku
2. soustružit

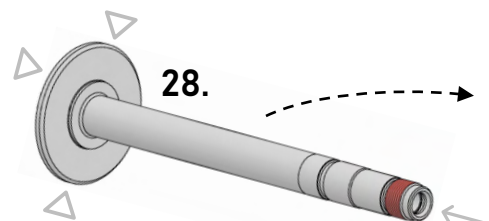
hroty, upínací přípravek



soustruh hrotový SV 18 RA

1. upnout mezi hroty, unášet srdcem
2. postupně soustružit

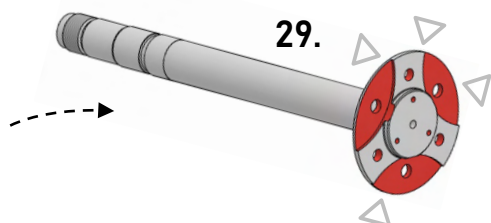
hroty, srdce



soustruh hrotový SV 18 RA

1. upnout, podepřít hrotem
2. řezat závit

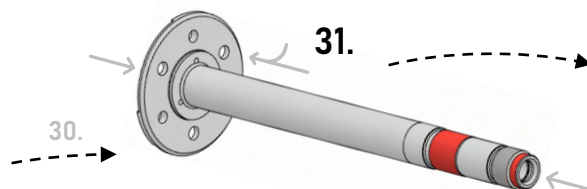
měkké čelisti, hrot



CNC frézka MCV 1270 Sprint 3-os.

1. upnout, ustavit
2. postupně vrtat
3. frézovat postupně vybrání

upínací přípravek, dělicí přístroj

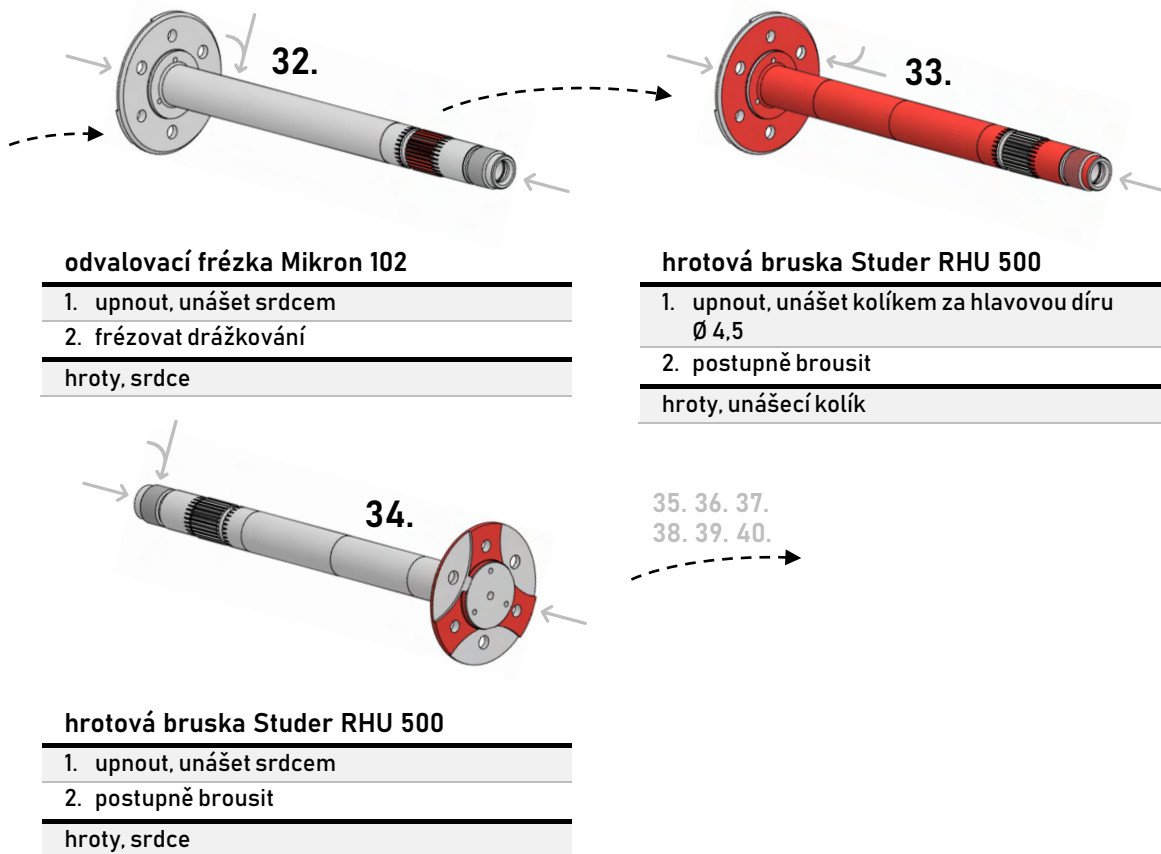


hrotová bruska Studer RHU 650

1. upnout, unášet kolíkem
2. brousit

hroty, kolík

pokrač. Obr. 28 Operace primárního strojního obrábění současného technologického postupu [69].



pokrač. Obr. 28 Operace primárního strojního obrábění současného technologického postupu [69].

Tab. 6 Ostatní operace původního technologického postupu [68; 69].

1.	kontrolovat výkovek	18.	označit laserem zabarvením povrchu
6.	kontrolovat tvrdost 300–345 HB na pravém obroběném čele, vystavit protokol	21.	označit laserem – přenést značení
9.	stabilizovat včetně dvou vzorků	30.	odjehlit a srazit hrany 0,2x45° po operaci 29
10.	kontrolovat před povrchovou ochranou	35.	odjehlit hlavu po broušení
11.	cínovat do hloubky 8–12 µm	36.	přenést značení a označit laserem
13.	chránit středící dĺžky pastou Cordusal N 523	37.	upnout, leštit, srazit hranu, odjehlit
14.	brousit 2 ks vzorků	38.	magnetoskopická defektologie
15.	kontrolovat před tepelným zpracováním	39.	odmagnetovat zbytkový magnetismus
16.	nitridovat včetně 2 ks vzorků 0,15–0,25 mm na tvrdost 750 HV min, doložit protokolem	40.	výstupní metrologická kontrola
17.	kontrolovat nitridaci po příjemce v PBS		

Je evidentní, že přesuny dávky obrobků (standardně 20 ks) mezi využitými stroji v důsledku vedou k vynucenému nárůstu zejména seřizovacích dávkových časů, které se následně promítají do nákladů. Kromě toho vzniká ve vybraných případech nutnost zavést podpůrné technologické operace, které ve své podstatě nesouvisí primárně s tvarovým obráběním součástí. Jejich význam se zakládá převážně na požadavcích přesného ustavování obrobků ve vybraných operacích při přechodu z jednoho stroje na jiný. Konkrétně lze z výčtu (obr. 28) poznamenat sekvenci operací 20, 22 a 23, v průběhu kterých jsou obrobny plochy sloužící následně jako upínací základny při operaci vrtání osové díry (operace 24) a vyjiskření (operace 25). Např. při broušení v operaci 22 je předepsáno obvodového házení do 0,01 mm na průměru hlavy. Týž předpis je stejný pro operaci 23. Broušené plochy z těchto operací následně slouží k vystředění pomocí úchylkoměru v návazné operaci 24.

Komplex obráběcích operací 19–23 pak zároveň kompenzuje riziko a eliminuje přítomnosti průhybů a deformací obrobku, které mohou v ojedinělých případech nastávat po nitridaci – dochází k redukci potenciálně deformovaného tvaru ploch posléze užitých jako upínací základny. Tyto průhyby se podle sdělení operátorů strojů, kteří provádějí operace následující po nitridaci, pohybují v četnosti přibližně 10–20 % v dávce a to do mezní hodnoty až 0,1 mm. Podle usouzení technologů PBS je pravděpodobným původcem těchto občasných průhybů konkrétní poloha součástí v nitridační plynové peci, kde některé kusy mohou být vystaveny rozdílným podmínkám nastaveného cyklu (teplotním, chemickým a jiným). Což nepřímo nevylučuje skutečnost, že nitridace pomocí technologie plynové pece se neřadí mezi šetrnější technologie ve smyslu vzniku co nejmenších deformací, které nabízí např. alternativní technologie plazmové nitridace [29; 70]. Nicméně přídavky na plochy, specificky ty nitridované (soustružení ploch určených k nitridaci po cínování na $\varnothing 15,1 \pm 0,01$ v operaci 12, nitridace v op. 16), jsou v kontextu těchto průvodních negativních jevů – průhybů –, dostatečné. Blíže k této problematice viz kap. 4.4.1.

Důvod řezání závitu v samostatné operaci 28 namísto kompletního obrobení již v operaci 26 není autorovi znám. Vhodnost vložené op. 28 dále devaluje fakt, že jako upínací základny je užito průměru hlavy, jež sice po broušení v operaci 22 vykazuje házivost do 0,01 mm, avšak jmenovitá šířka upínaného kontaktního průměru vychází z kótování podle původních návodek pouhé 2 mm. Mimo to také způsob upnutí v základně měkkých čelistí, která není nativní – totiž geometrická tolerance sousostí závitu je vztažena k primární ose CD hřídele, viz výkres součásti – právě přerušuje vazbu mezi konstrukční a technologickou základnou, která by měla být optimálně identická. Konstrukční předpis požadavku přebroušení závitu M 14x1L-6g na $\varnothing 13,9_{-0,1}$ na výkrese součásti lze též považovat za neopodstatněný. Protože přebroušením se toleranční pole profilu závitu na válcové vnější ploše snižuje z g6 na úroveň danou $\varnothing 13,9_{-0,1}$. A tedy závitová vůle při interpretaci na střední rozměr vychází na této vnější ploše více než (spojení s maticí s tolerančním polem rovněž do mínusu v sestavě PEJ) 0,15 mm na průměr namísto původní pozice na $\varnothing 14_{-0,006}$ až $-0,017$ mm pro g6. Kontakt závitových ploch vnějšího závitu a matice tudíž bude realizován na bocích závitu. Geometrie vnější válcové plochy tak není pro spojení rozhodující, nýbrž geometrie boků profilu. Z čehož vyvstává záměr (v rámci návrhů na novou výrobní technologii) rezat závit při hrotovém upnutí na již na hotovo osoustružené ploše předepsaného $\varnothing 13,9_{-0,1}$. Požadavek na přebroušení (viz výkres) je proto zbytečný a to i kdyby byla předepsána např. vyšší hodnota sousostí (sousost na výkrese do 0,02 mm), jelikož z konstrukčního pohledu nelze tento předpis odůvodnit. Nejlepší přesnosti geometrie profilu závitu bude dosaženo při hrotovém unášení – upnutí v přirozené základně CD.

Obdobný závěr lze vyvodit pro prováděné broušení plochy na $\varnothing 14,6_{-0,05}$ v operaci 31, na které se následně v op. 32 frézuje drážkování $15 \times 0,5$ d10 ČSN 01 4950.1. Středění, jak již bylo referováno v kap. 1.3.2, je pro tento typ drážkování uskutečněno na bocích zubů a tedy obalová plocha drážkování definována vnějším průměrem není funkčně, ve smyslu drážkovaného spojení, zásadní. Vyšší přesnost se pak konsekventně vyžaduje při frézování drážek, které je prováděno odvalovacím způsobem za v tomto případě vhodného upnutí do hrotů – identita s konstrukční základnou CD.

Opodstatnění současného broušení plochy na $\varnothing 12,5_{-0,1}$ v operaci 31, která je pak navíc opět přebroušena v op. 33 nebylo zřetelně objasněno.

Finální leštění po provedení všech primárních obráběcích operací souvisí s lokálním zvýšením meze únavy vlivem zlepšení jakosti povrchu. Neboť nejvyšších mezí únavy vykazují tělesa v případech, kdy jsou jejich povrchy hladké a jemně leštěné. Konkrétně je prováděno na součásti leštění všech zápchů a hran, jelikož potenciál ke vzniku trhlin v těchto zónách je obecně považován za nejčastější. Leštění se provádí ručně při unášené součásti na soustruhu za využití leštící pasty a brusné vatičky. [71]

Po zhodnocení ostatních operací, viz tab. 6, bylo rozhodnuto vyloučit v nových postupech operaci 18, jejíž účel v původní technologii lze dohadovat patrně kvůli odměřování při návazném konvenčním soustružení. V operaci 21 a 36 se v původním postupu provádí laserové označování obrobku pomocí TruMark 500, zatímco postačující by bylo pouze to z op. 36 (po finálním broušení) – do této operace by se pak obrobky popisovaly individuálně fixem. Současně původní soupis technologického postupu neobsahuje jasnou specifikaci způsobu označování obrobků před nitridací, kde je popisování fixem vyloučeno. Původní návodka op. 5 sice zmiňuje úkon přenesení označení, ale není jasné, jakou způsobem má být toto provedeno. Může být usuzováno např. na gravírování na CNC soustruhu nástrojem, což by odůvodňovalo přechod z konvenčního soustruhu na tento stroj. Jiné položky z této sekce již vyloučit při navrhování nového postupu nelze.

Orientace dutiny čtyřhranu v ose součásti nemusí být s ohledem na její funkční účel, viz kap. 1.3.1, důsledněji relativně ku ostatní geometrii řešena – poloha natočení dutiny v podélné ose součásti vůči hlavovým díram a vyfrézovanému vybrání. V původní operaci 25 se tak při vyjiskření ustaví součást pouze opticky souhlasně s orientací dutiny danou na výkrese.

Závěrem možno dodat, že kótování v původní návodce u druhé obráběcí operace, tj. číslovaná operace 3, je voleno takovým způsobem, že pokud by byl výkovek dodán na minimálních rozměrech šířky hlavy (rozměr $7^{+2,1}$ ve výsledku roven 7), nebylo by na polotovaru-výkovku přítomno dostatečné množství materiálu pro dosažení požadovaných kótovaných rozměrů na návodce – úkon 2: - soustružení čela na šířku hlavy 9,5 [69]. V inovovaném postupu budou proto úběry voleny tak, aby se zajistila vyrobiteľnosť jak na minimum, tak maximum materiálu šířky hlavy obrobku.

4 NÁVRHY INOVACE TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Následující kapitoly představí vybrané navržené varianty nového technologického postupu, jejichž společným určujícím kritériem při vytváření bylo maximální snížení počtu operací strojního obrábění. Pro rekapitulaci se tedy jedná o redukci celkového počtu původních 21 operací prezentovaných na obr. 28 dříve.

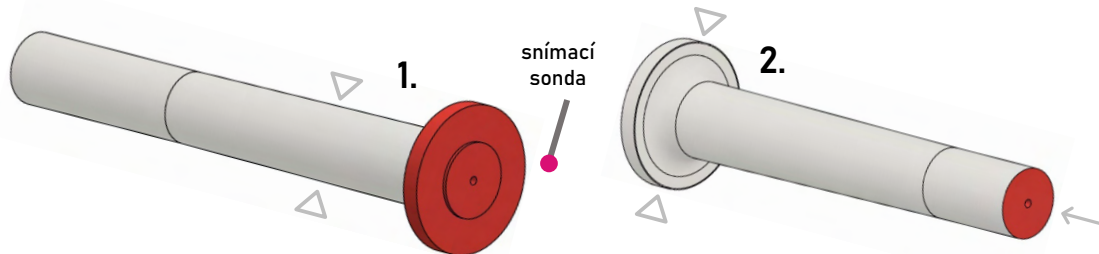
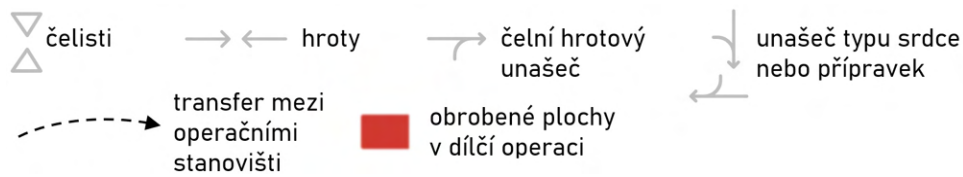
Celkově vzniklo šest návrhů a modifikací nových technologických postupů. Sjednocením a částečnou úpravou některých z těchto byly sestaveny 4 demonstrační varianty postupů, jež jsou uvedené v následujících kapitolách. U každé z těchto variant jsou pak zhodnoceny zejména jednotlivé volené obráběcí operace a zvláště jejich chronologie a účelnost. Přičemž vyvozené závěry z rozboru jednotlivých navržených variant konsekventně odůvodňují zavedení vždy další návazné revizní varianty – tj. od návrhu č. 1 až po finální návrh č. 4. Souvislost s řadou těchto prováděných úprav lze mj. nacházet v omezených dostupných kapacitách PBS alokovaných pro realizaci tohoto projektu (předmětu této DP) a také standardní časové náročnosti 4 až 5 týdnů celkové výroby součásti. K ověření zvolené technologie byla totiž k dispozici pouze jedna pilotní série.

4.1 Návrh inovovaného postupu č. 1

První návrh obsahoval v součtu 13 obráběcích operací, viz obr. 29, a uvažoval soustružení při upnutí mezi hroty s hrotovým unašečem. Již první operace vznesla při revizním rozboru společně s technologií PBS úvahy o vhodnosti způsobu místa odměření a nastavení nulového bodu programu – projektováno na CNC Integrex. Koncept navrhoval snímat právě čelo výkovku sondou, kde by se nacházel Z nulový bod programu. Od tohoto však následně ustoupeno, jelikož by nebylo nutně zaručeno dosažení konstantních rozměrů obrobku po této nebo druhé a další operaci. A to kvůli možnosti značně proměnné šířky hlavy výkovku vycházející z širokého tolerančního intervalu příslušné kóty $7^{+2,1}$ a také hrubé drsnosti otryskaného povrchu výkovku nevyklučující rozdílnost pozice kontaktu sondy napříč jednotlivými kusy. Druhá operace totiž uvažovala s dorazem obrobené kontury z op. 1 v Z ose, kde měl být tímto způsobem realizován i nulový bod; snímání sondou nebylo v této druhé operaci plánováno. Zároveň by takto nebyla u jednotlivých obráběných kusů zachována neměnná orientace obrobené součásti do výkovku v žádané konstantní vzdálenosti od levého čela hlavy, blíže viz kap. 4.4.1. Po provedené nitridaci následující po op. 4 bylo v reakci na riziko vzniku průhybu navrženo převrtání středících důlků, tj. op. 5 a 6. V přípravné operaci 7 následovalo přebrobení plochy technologické základny při upnutí mezi hroty, která by poté sloužila jako upínací základna v op. 8 a 9. Po zpětném zhodnocení navržené operace 10 bylo usouzeno, že u této nelze, s ohledem na vyžadovanou přítláčnou sílu koníka (dle empirických vzorců min. okolo 3000 N) pro zajištění důsledného zaseknutí unašecích hrotů, vyloučit průhyb takto štíhlého obrobku s L/d okolo 11,5, ve kterém jsou navíc již vyvrtány osové díry $\varnothing 5,1^{+0,2}$ a $\varnothing 8^{+0,1}$ [72; 73; 74; 75]. V operaci 11 nebylo navrženo převrtání středících důlků (v reakci na nezbytné přesoustružení čela pro odstranění stop po čelním unašeci), jelikož se jedná o důlek s ochranným zahloubením, které tento úběr pokryje.

Současně se vyloučilo provedení vrtání osových děr, případně také vnitřního zápichu a sražení před nitridací, jelikož sledované velikosti průhybů (dřívější zkušenosti z výroby) při tomto procesu TZ dosahovaly hodnot vyšších než požadované předpisy souososti pro díry. I pokud by průhyb nebyl tak výrazný, bylo by nutně vzniklé tvarové deviace redukovat a přesoustružit alespoň geometrii sražení 60° , aby byla zajištěna co nejlepší souosost prvků základny CD pro operaci 10 a zejména pro operace broušení 12 a 13. Provedení těchto operací před nitridací bylo tedy již u prvního návrhu postupu vyloučeno.

legenda značek užitých ve vizualizaci:



soustruh Mazak Integrex i-300

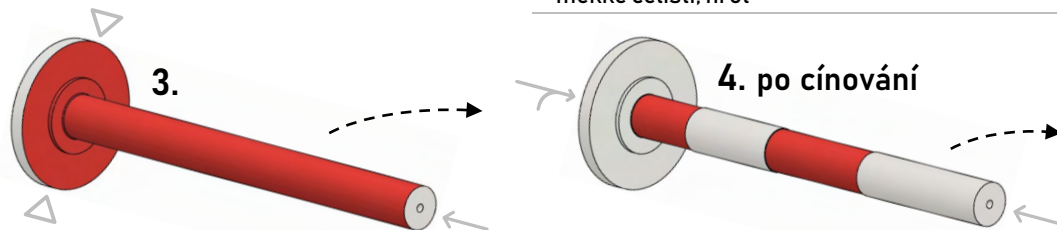
1. upnout do tvrdých čelistí, snímat sondou na pravém čele výkovku
2. soustružit, vrtat středící důlek

tvrdé čelisti, snímací sonda

soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. navrtat pomocný středící důlek, podepřít hrotem

3. upíchnout na délku, navrtat středící důlek
měkké čelisti, hrot



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí, podepřít hrotem
2. soustružit

měkké čelisti, hrot

soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout mezi hroty
2. soustružit – odebrat cínovanou vrstvu

hroty – hrotový unašeč



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. převrtat středící důlek

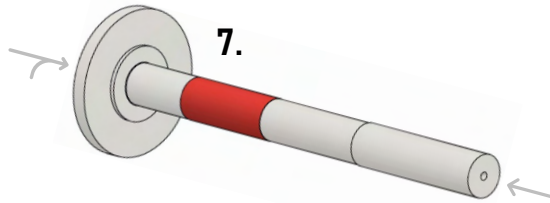
měkké čelisti

soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. převrtat středící důlek

měkké čelisti

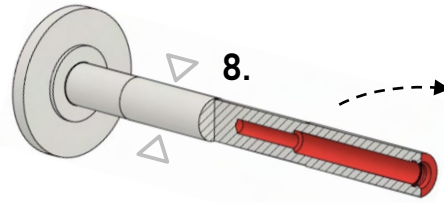
Obr. 29 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 1.



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout mezi hroty
2. soustružit

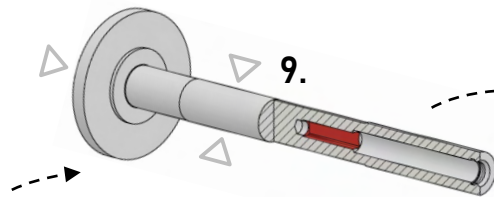
hroty – hrotový unašeč



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. zarovnat čelo na finální délku
3. postupně vrtat
4. přesoustružit díru $\varnothing 8$, soustružit vnitřní zápich, sražení 60°

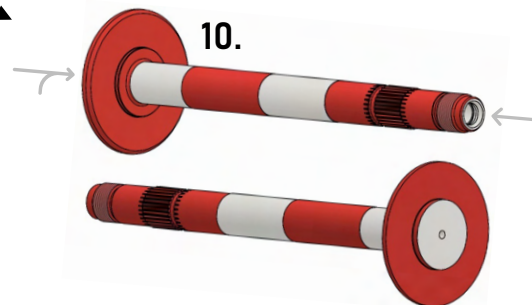
měkké čelisti



EDM Exeron 313 MF

1. upnout, vystředit
2. vyjiskřit

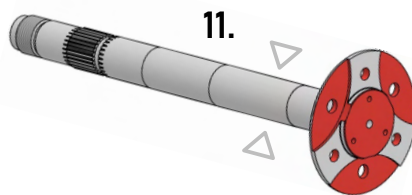
upínací prizmatická kostka



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout mezi hroty
2. soustružit, frézovat drážkování, řezat závit

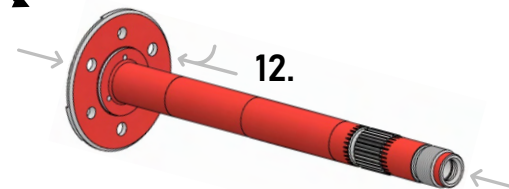
hroty – hrotový unašeč, snímací sonda



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. zarovnat čelo, frézovat vybrání, vrtat díry

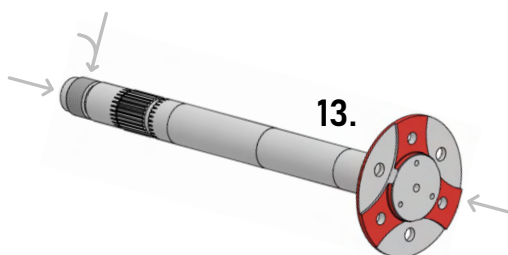
měkké čelisti



bruska Studer S31

1. upnout mezi hroty, unášet kolíkem za hlavovou díru $\varnothing 4,5$
2. postupně brousit

hroty, unášecí kolík



bruska Studer S31

1. upnout mezi hroty, unášet srdcem
2. postupně brousit

hroty, srdce

pokrač. Obr. 29 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 1.

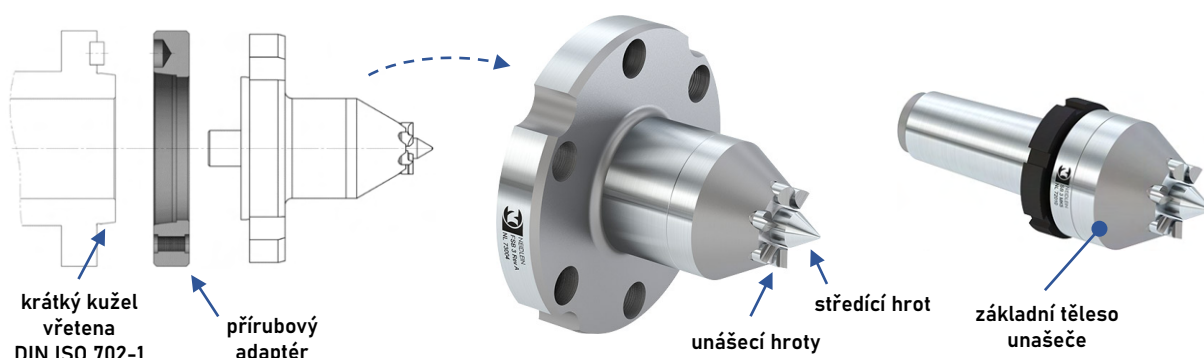
4.2 Návrh inovovaného postupu č. 2

Upravující druhý návrh s celkově 12 operacemi, viz obr. 31 dále, počítal se změnou ve způsobu ustavení obrobku v Z ose v první operaci za užití pevného dorazu k levému čelu hlavy výkovku. Tedy k té ploše, vůči které je snahou orientovat součást do výkovku (kap. 4.4.1). Současně byla operace 8 z prvotního návrhu postupu přeložena až po operaci 7 nynějšího postupu (za operace hrotového čelního unášení), čímž se zmírnilo riziko zhroucení profilu vlivem přítlačné síly koníka z prvního návrhu, kde bylo nutné podepírat již vyvrtaný obrobek (menší tuhost).

V operaci 1 však při CNC obrábění opět figuruje variabilní šířka hlavy výkovku. Na což je nutné reagovat nastavením počátku drah nástroje vycházejících z kót maxima materiálu výkovku – maximální šířka hlavy. Při menší šířce hlavy než 9,1 by tudíž byly prováděny nežádoucí řezy naprázdno navíc. Manuální korekce posunutí nulového bodu obsluhou, která by před operací proměřila u každého výkovku skutečnou šířku hlavy se nepovažovalo za výhodné řešení.

Kvůli nesrovnalostem v komunikaci s technologií v PBS bylo v rámci rozpracovávání této varianty postupu zjištěno, že výroba nedisponuje hrotovým unáščem, jenž by byl využitelný pro CNC Integrex, a na kterém byl celý postup závisle vystaven. Vřeteno obráběcího centra Mazak má totiž oproti konvenčnímu soustruhu s kuželovou dutinou (původní postup) dutinu válcovou. Přímé upnutí původního unášče s kuželovou stopkou na Integrex tak nebylo možné.

Bylo proto rozhodnuto poptat potřebnou sadu komponent pro hrotové čelní unášení ke stroji Integrex. Na základě doporučení tuzemského zastoupení vybraných kontaktovaných výrobců, jmenovitě firmy Neidlein Spannzeuge a Röhme, bylo ujednáno, že nejvhodnějším technickým řešením pro danou aplikaci bude těleso unášče s válcovou stopkou, která se upíná do měkkých čelistí sklíčidla. A to kvůli rychlejší manipulativnosti tohoto řešení oproti katalogové alternativě robustnějšího upínače montovaného na vřeteno stroje pomocí přírubového adaptéru – nasazení přímo na krátký kužel A2–8 vřetena CNC Integrex. Tento upínač je navíc určen pro řádově těžší obrobky než v tomto případě obráběná hřídel a také pro aplikace těžkého soustružení. Obě varianty tělesa unášče jsou k vidění na obr. 30. [72, 73]



Obr. 30 Hrotový unášec s přírubovým adaptérem a s válcovou stopkou od fy Neidlein [73].

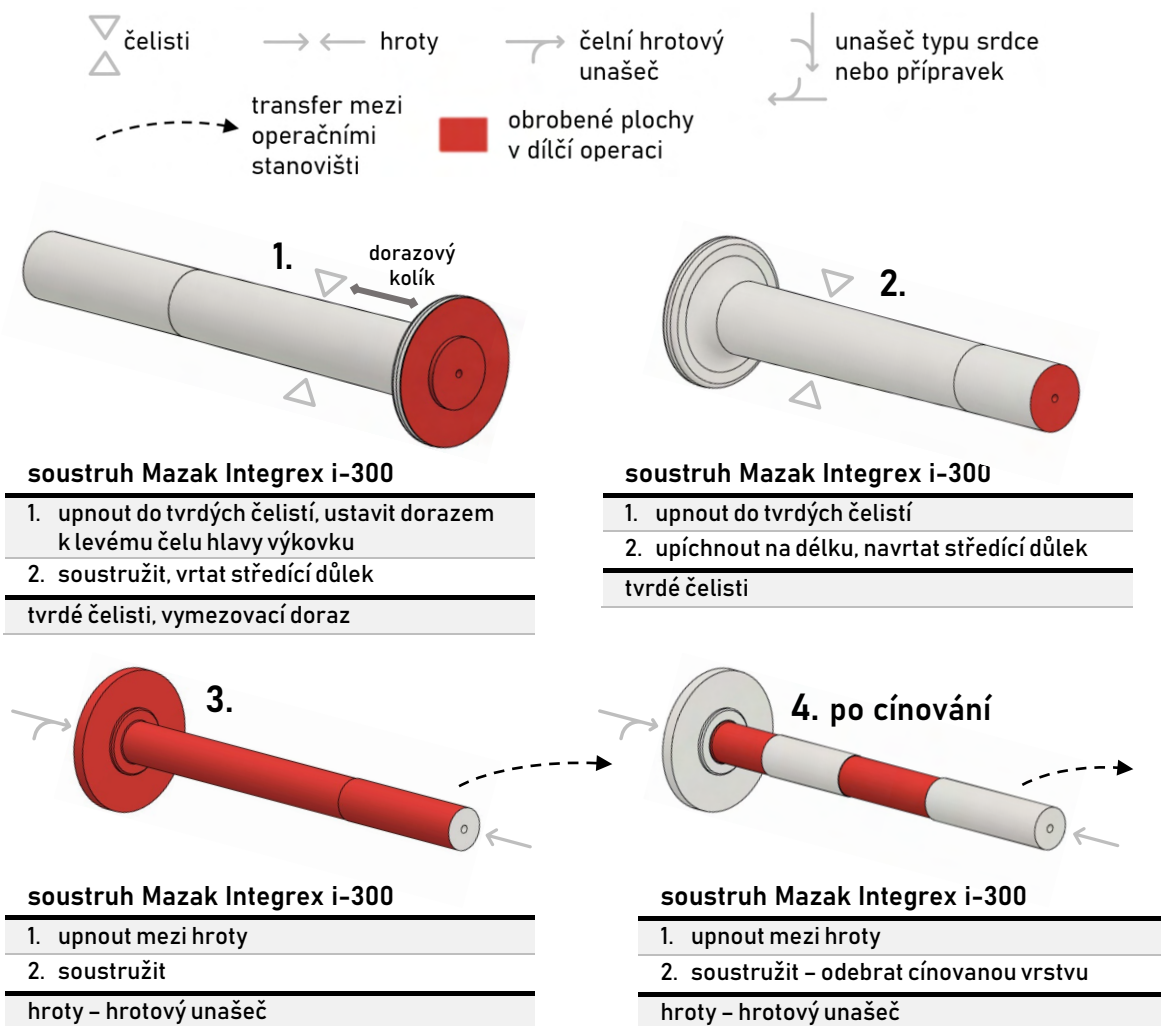
Cenová nabídka poptaných položek (základní těleso unášče s válcovou stopkou, unášecí kotouč resp. unášecí hroty a středící hrot) činila k datu 7. 3. 2022 u sady fy Röhme 1024 EUR EXW a fy Neidlein 22 646 Kč; ID položek výrobce Röhme: 1341541, 1341608, 1341941 a Neidlein: 725 03, 736 785, 735 11. Poněvadž bylo plánované určení tohoto unášče pouze pro účely výroby hřídele a neprojektovalo se využití pro jiné obráběcí aplikace, bylo by nutné tuto investici odepisovat pouze u zakázek výroby daných hřídelí.

Při opětovném posouzení návrhu postupu č. 2, které vycházelo z odůvodnění racionalizace k provedení nákupu, se rozhodlo k přepracování návrhu.

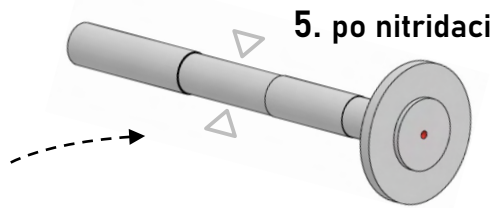
Neboť u řezání závitu, frézování drážkování a soustružení jejich vnějších ploch v operaci 7 bylo, na rozdíl od ostatních obráběných ploch následně broušených, nutno u této dvojice dosáhnout relativně vysokých požadavků přesnosti (souosost 0,02 a 0,05) vztahujících se k základně CD, která ale v podstatě vzniká až průběhu operace 9. V operaci 7 tedy neexistuje přímá vazba na originální základnu CD. V důsledku součtu vnášených chyb (ustavení, přesnost polohování stroje aj.) v rámci těchto jednotlivých operací (op. 7 až 9) lze pak očekávat vyšší míru nepřesnosti, přičemž by dané předpisy geometrických tolerancí nemusely být splněny.

Nabízená cena upínacích komponent vedla dále k úvahám, zda je skutečně nevyhnutelné, aby došlo k ekonomicky významnému navýšení počtu operací ve smyslu výměny hrotového unašeče za upínání do měkkých čelistí (vyhnutí se investici). Upnutí mezi hroty při užití unašeče, od kterého se obecně očekává lepší přesnost ustavení obrobku a tedy i výsledná přesnost obrobených rozměrů, nepřináší v tomto směru u dané varianty návrhu č. 2 rozhodující výhodu v porovnání např. s případně zmíněným využitím upínáním do měkkých čelistí (ztráta přímé vazby na základnu CD). Mimo to nejsou dovoleny zbytkové stopy po unašeči na čele hřídele. Na tolerovaných plochách určených k broušení je také volen přírůstek a tudíž snaha o docílení relativně vyšší přesnosti při soustružení těchto ploch je neopodstatněná. Jelikož získanou přesnost resp. nepřesnost při soustružení těchto bude implicitně pokrývat v obou případech přírůstek.

legenda značek užitých ve vizualizaci:



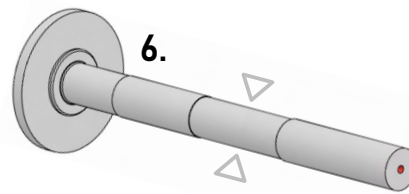
Obr. 31 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 2.



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. převrtat středící důlek

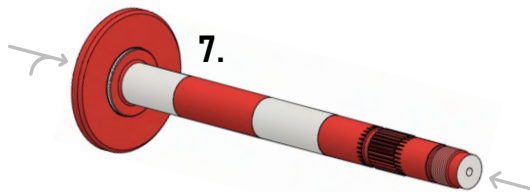
měkké čelisti



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. převrtat středící důlek

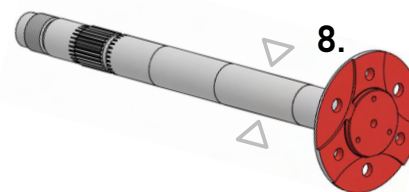
měkké čelisti



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout mezi hroty
2. soustružit, frézovat drážkování, řezat závit

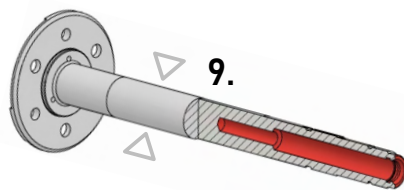
hroty – hrotový unášec



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
2. soustružit, frézovat vybrání, vrtat díry

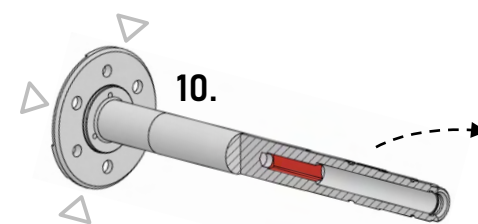
měkké čelisti



soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí, dorazit čelem od pouzdra
2. zarovnat čelo na finální délku
3. postupně vrtat
4. přesoustružit díru $\varnothing 8$, soustružit vnitřní zápich, sražení 60°

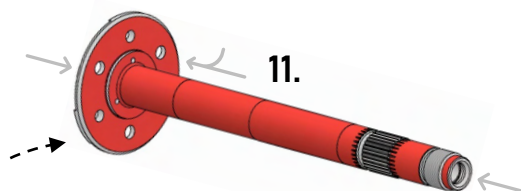
měkké čelisti



EDM Exeron 313 MF

1. upnout, vystředit
2. vyjiskřit

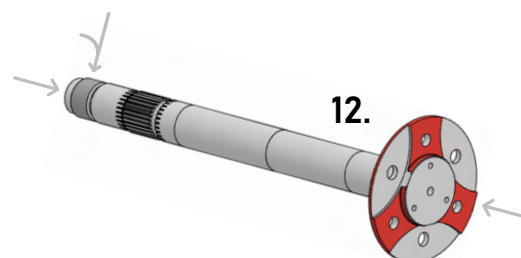
upínací prizmatická kostka



bruska Studer S31

1. upnout mezi hroty, unášet kolíkem za hlavovou díru $\varnothing 4,5$
2. postupně brousit

hroty, unášecí kolík



bruska Studer S31

1. upnout mezi hroty, unášet srdcem
2. postupně brousit

hroty, srdce

pokrač. Obr. 31 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 2.

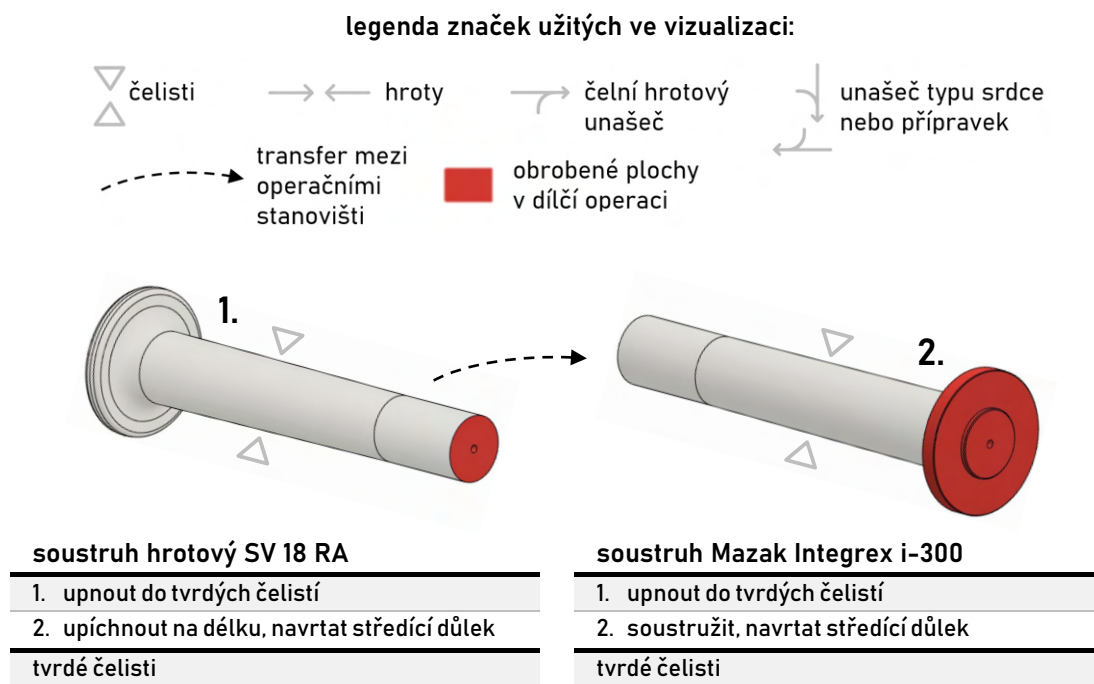
4.3 Návrh inovovaného postupu č. 3

Varianta třetí, viz obr. 32, navrhovaná s upínáním do měkkých čelistí dosáhla stejného počtu 12 operací jako předchozí návrh, čímž byla otázka o nákupu unašeče uzavřena. V operaci první se po konzultaci s technologickým oddělení PBS dohodlo o přeložení první operace na stanoviště konvenčního soustruhu. Odměrování v první operaci při voleném způsobu kótování polotovaru výkovku je totiž flexibilněji proveditelné při ručním vedení stoje. Na tomto by byla obrobena primární základna – upíchnuté levé čelo (na délku odměřovanou od levého čela hlavy) – sloužící následovně k ustavení v Z ose v pouzdrovém dorazu při druhé operaci na Integrex. Změnu nahrazení za konvenční stroj v op. 1 navíc podporuje skutečnost, že využití CNC stroje na takto jednoduchou soustružnickou operaci (vzdáleně za technologickým potenciálem stroje) není vzhledem k relativně vyšším nákladům takového strojního pracoviště (Integrex) vhodné.

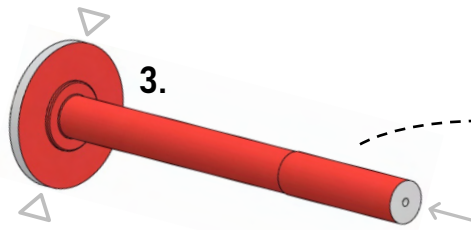
Třetí a čtvrtá operace kopírovala volené úběry z předchozího návrhu, pouze se změnil způsob upnutí. Místo redukování důlku na pravém čele v op. 5 ve variantě č. 2 se tak po nitridaci v tomto návrhu č. 3 přesoustružil průměr hlavy, který se následně v op. 7 upnul do měkkých čelistí. Vystředění v této operaci pak mělo být provedeno vůči nitridovaným plochám (nejmenší přídavky na obrábění).

Návrh počítal se zařazením elektroerozivního hloubení až jako poslední operační položku v celkovém sledu operací. Důvodem je, že ustavovací plocha pro operaci vyjiskření (upnutí do prizmatické kostky) bude oproti předchozím variantám návrhů již broušena. A to v řádově vyšší přesnosti v porovnání se soustružením. Tedy přenášená chyba vztažená k ustavení se tímto technologickým uspořádáním omezí. Dřívější motivace pro zařazení operace EDM před broušením z důvodu rizika potenciálního poškození broušených ploch při manipulaci s obrobkem při vyjiskření se po dohodě s technologií PBS upozadily.

Návrh se ale opět potýkal se skutečností, že prvky závitu a drážkování jsou v rámci op. 7 obráběné v relaci k nevlastní základně, jelikož vznik základny CD se vztahuje až k operaci 8 a 9.



Obr. 32 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 3.



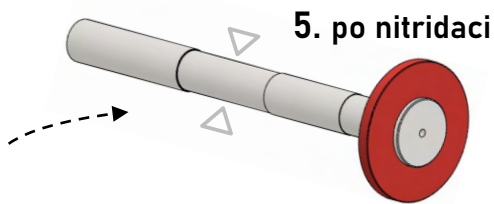
soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí, podepřít hrotem
 2. soustružit
- měkké čelisti, hrot



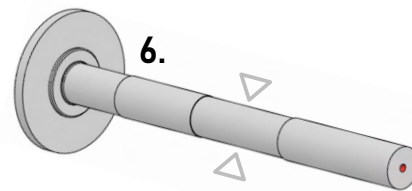
soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí, podepřít hrotem
 2. soustružit – odebrat cínovanou vrstvu
- měkké čelisti, hrot



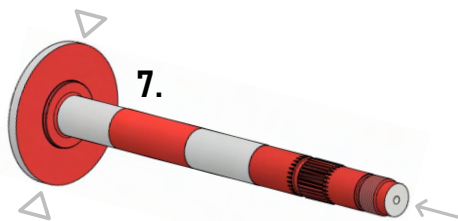
soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
 2. soustružit
- měkké čelisti



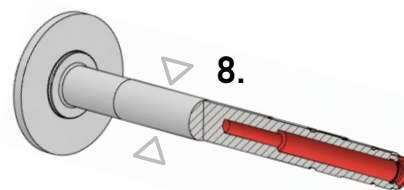
soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
 2. převrtat středící důlek
- měkké čelisti



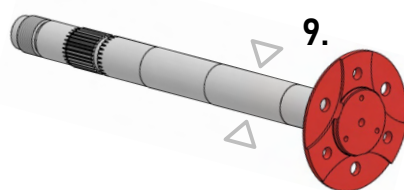
soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
 2. soustružit, frézovat drážkování, řezat závit
- měkké čelisti



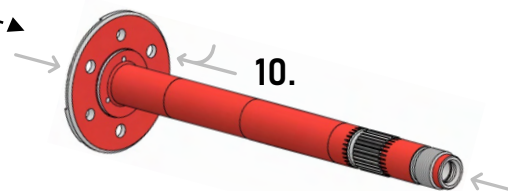
soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
 2. zarovnat čelo na finální délku
 3. postupně vrtat
 4. přesoustružit díru $\varnothing 8$, soustružit vnitřní zápich, sražení 60°
- měkké čelisti



soustruh Mazak Integrex i-300

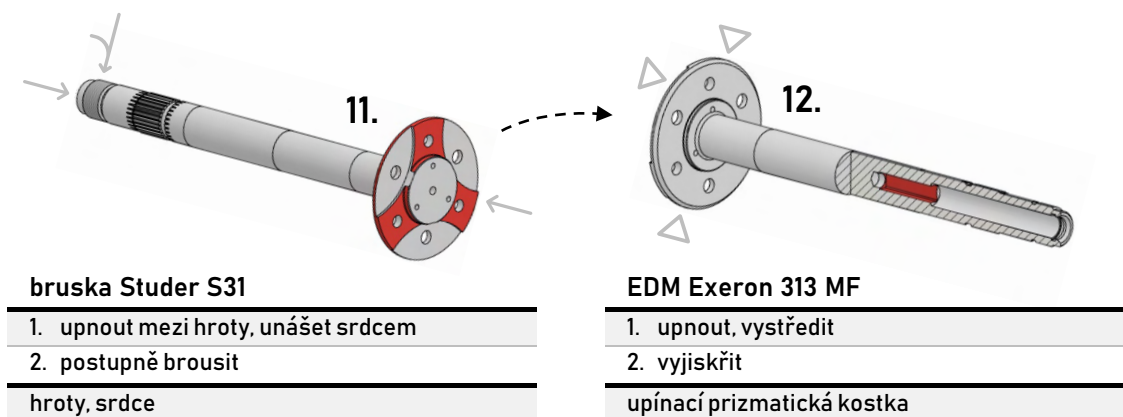
1. upnout do měkkých čelistí
 2. soustružit, frézovat vybrání, vrtat díry
- měkké čelisti



bruska Studer S31

1. upnout mezi hroty, unášet kolíkem za hlavovou díru $\varnothing 4,5$
 2. postupně brousit
- hroty, unášecí kolík

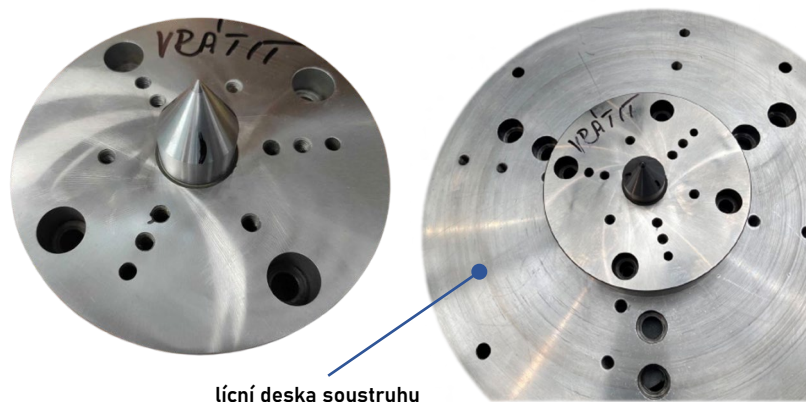
pokař. Obr. 32 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 3.



pokrač. Obr. 32 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 3.

4.4 Návrh inovovaného postupu č. 4

Řešení k poslednímu zmíněnému negativu z varianty č. 3 nabídlo sdělení přijaté z technologického oddělení firmy kdy vyšlo najevo, že výrobní prostředky evidují hrotový přípravek, jenž se upíná k lícni desce na vřeteno soustruhu, viz obr. 33. Pokud by se vyvrtání hlavových děr (viz např. op. 9 z předchozí varianty návrhu) realizovalo v dřívějších operacích, bylo by možné obrobek v rezolutní operaci 7 viz obr. 32, upnout do hrotů a unášet pomocí kolíku přes otvory a to při menší přítlačné síle koníka než by vyžadovala aplikace hrotového čelního unášení.

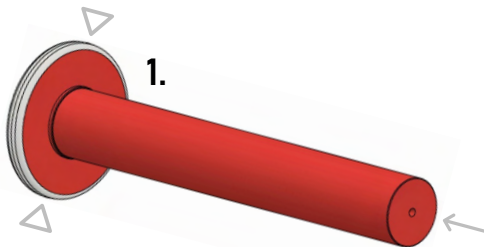
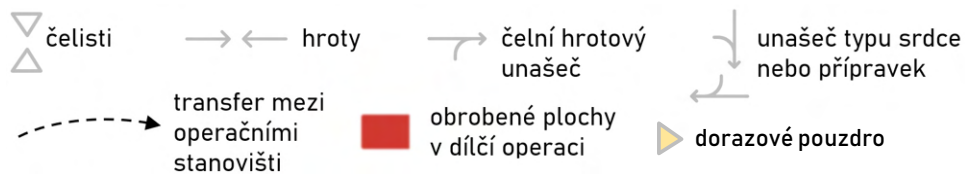


Obr. 33 Hrotový přípravek k upnutí na lícni desku soustruhu.

Návrh čtvrtý je tedy koncipován pro kombinaci upnutí v měkkých čelistech a v operaci 7 s upnutím mezi hroty za využití unášení skrze hlavové díry. Vyšší konsolidace úkonů do jednotlivých operací vedla k faktickému zrušení operace 9 z varianty č. 3 a jejímu provedení v aktuální op. 5. Operace 5 a 6 v tomto návrhu také oproti předchozí variantě vykazuje účelný charakter – dřívější význam těchto byl v rámci technologického komplexu operací pouze přípravný.

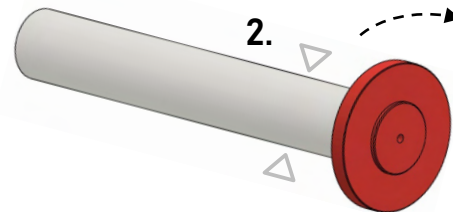
Vzhledem k tomu že se jedná o finální návrh, který byl zvolen pro výrobní ověření v pilotní sérii 5 kusů, je žádoucí bližší rozbor jednotlivých navržených operací. Vybrané komentáře proto následují po obr. 34, jenž prezentuje navržený operační sled varianty č. 4.

legenda značek užitých ve vizualizaci:



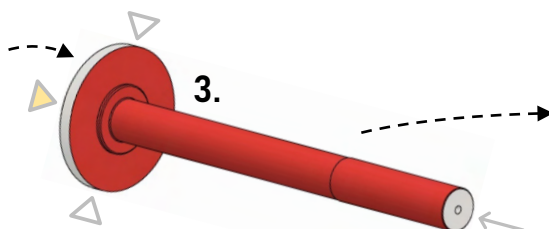
1. soustruh hrotový SV 18 RA

1. upnout do tvrdých čelistí za surový \varnothing 56,2 výkovku
 2. navrtat pomocný důlek, podepřít hrotem
 3. soustružit; úběr na čele max. 0,5 mm
 4. upíchnout na délku, navrtat středící důlek
- tvrdé čelisti



2. soustruh hrotový SV 18 RA

1. upnout do tvrdých čelistí
 2. soustružit, navrtat středící důlek
- tvrdé čelisti



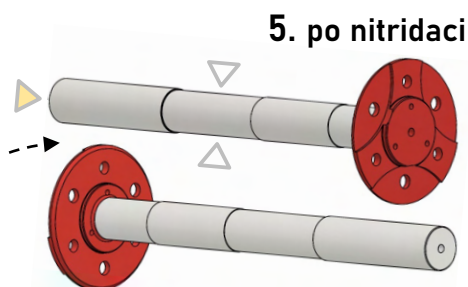
3. soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí, podepřít hrotem
 2. soustružit
- měkké čelisti, dorazové pouzdro, hrot



4. po cínování

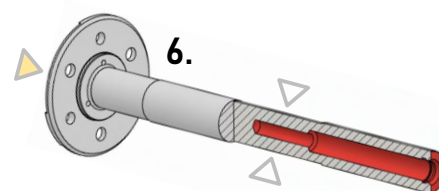
1. upnout do měkkých čelistí, podepřít hrotem
 2. soustružit – odebrat pocínovanou vrstvu
- měkké čelisti, hrot



5. po nitridaci

soustruh Mazak Integrex i-300

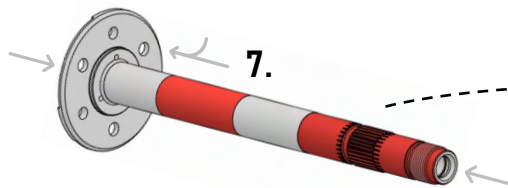
1. upnout do měkkých čelistí
 2. převrtat středící důlek, soustružit, frézovat vybrání, vrtat díry
- měkké čelisti, dorazové pouzdro



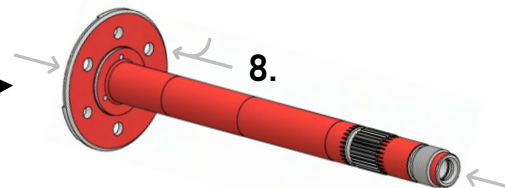
6. soustruh Mazak Integrex i-300

1. upnout do měkkých čelistí
 2. zarovnat čelo na finální délku
 3. postupně vrtat
 4. přesoustružit díru \varnothing 8, soustružit vnitřní zápich, sražení 60°
- měkké čelisti, dorazové pouzdro

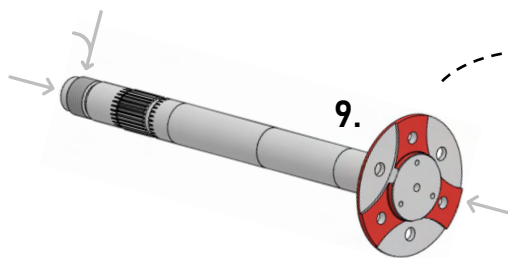
Obr. 34 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 4.


soustruh Mazak Integrex i-300

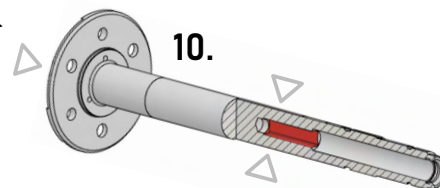
- | |
|--|
| 1. upnout mezi hroty, unášet kolíkem za hlavovou díru Ø 4,5 |
| 2. soustružit, frézovat drážkování, řezat závit hrotový přípravek, unášecí kolík |


bruska Studer S31

- | |
|---|
| 1. upnout mezi hroty, unášet kolíkem za hlavovou díru Ø 4,5 |
| 2. postupně brousit hroty, unášecí kolík |


bruska Studer S31

- | |
|-------------------------------------|
| 1. upnout mezi hroty, unášet srdcem |
| 2. postupně brousit hroty, srdce |


EDM Exeron 313 MF

- | |
|---|
| 1. upnout, vystředit |
| 2. vyjiskřit upínací prizmatická kostka |

pokrač. Obr. 34 Operace primárního strojního obrábění návrhu technologického postupu č. 4.

4.4.1 Detailní rozbor návrhu

ad) operace 1 a 2

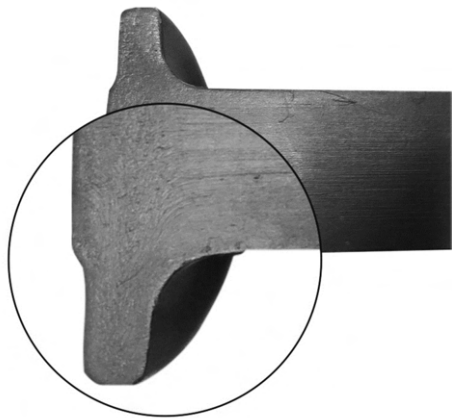
V operacích 3 až 5 je nulový bod zajištěn snímáním levého čela obrobku sondou při jejich dorazu v Z ose do pouzdra (viz kap. 5.1). Pro zajištění přesného odměřování a pozicování v těchto operacích je nutné, aby byla technologicky zajištěna vazba na vzájemnou kolmost obrobekových čel z op. 1 a op. 2. Požadavek na maximální odchylku kolmosti čel vychází nepřímo z šířky volených tolerancí délkových kót a je tedy roven stejné hodnotě: 0,1. V operaci 1 je tudíž navrženo přesousstružit surový Ø 27,7 výkovku. Aby byla následně v op. 2 dostupná (k op. 1 vztažená) upínací základna a kolmost čel byla dodržena. Pokud by se totiž v první operaci pouze upíchl na danou délku od pravého čela hlavy, viz návodky v příloze 3, a v operaci druhé by se upínalo do tvrdých čelistí za surový kužel výkovku, nebylo by možné vyloučit vyosení takto upnutého obrobku vedoucí v důsledku k rozdílné kolmosti opracovaných čelních ploch. V souvislosti s tímto nutno upozornit též na úchylku přímosti a rovinnosti o velikosti 0,6 předepsanou na výkrese výkovku (- Flatness, sekce General Specification).

Skutečnost, že je na výkovku provedeno sestřiznění otřepů vznikajících v dělicí rovině (viz kap. 1.7) je výhodná. Protože tak na velkém průměru hlavy výkovku vzniká válcová ploška, za kterou lze upínat do tvrdých čelistí stabilněji než v případě výskytu vykovaného otřepu.

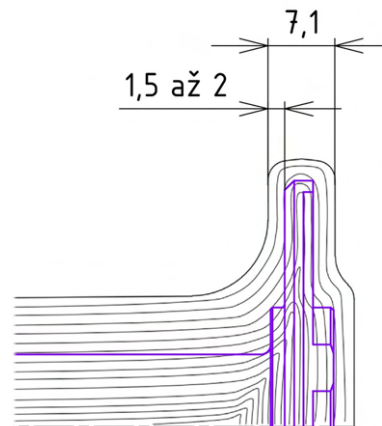
Vzhledem k vysoké šířce předepsané tolerance nejen pro kóty oblasti hlavy výkovku se rozhodlo využít i pro operaci 2 konvenčního soustruhu. Ruční vedení nástroje bude pružněji reagovat na tvarovou realitu výkovku než pevný program, u kterého by bylo nutné počítat s bezpečnostní vzdáleností nájezdů k polotovaru.

V obou operacích se také jedná o menší objem ubíraného materiálu a základní linie obráběného tvaru, což záměr navrhované změny podporuje.

Volené rozměrové kóty v operaci 1 a 2 jsou přitom voleny takovým způsobem, aby bylo zajištěné optimální orientování součásti s ohledem na přítomnou strukturu vláken ve výkovku, viz obr. 35. Pro dosažení co nejlepších mechanických vlastností součásti se rozhodlo o umístění kontury hřídele podél hlavní osy takto: pozice pravého čela hřídele ve vzdálenosti 1,5–2 mm od daného čela výkovku, jak naznačuje obr. 36. Rozměr 1,5 vychází z jmenovitých kót jednotlivých operací. Toleranční přírůstek 0,5 (tj. vzdálenost 2 mm od čela) se vztahuje k předepsanému pomocnému úběru na čele výkovku, který je proveden pro účely odměření délky při upíchnutí v op. 1, viz návodky v příloze 3.



Obr. 35 Strukturování vláken na výbrusu výkovku.



Obr. 36 Orientování součásti vzhledem k vláknům ve výkovku.

ad) operace 4

V průběhu procesu stabilizace neboli žíhání ke snížení vnitřního napětí, které je provedeno u obrobku po operaci 3, se neočekává vznik žádných resp. nepatrných případně technologicky nevýznamných deformací tělesa. Nevýznamných, jelikož i při modelové predikci průhybu o velikosti např. 0,1 mm (hodnota značně naddimenzovaná v relaci na dosavadní zkušenost – v podstatě se dosud nesledovaly žádné distorze při stabilizaci –) by takový průhyb nepřinesl negativní následky pro následující operace. Operace 4 totiž v tomto případě nepodmiňuje kvůli přítomnosti přídavků na obrobku (min. 0,4 mm na plochu po op. 3) nezbytné dosažení v jiných případech požadované geometrické přesnosti obrobených dílčích prvků. Geometrickou polohu plochy odebrané cínované vrstvy vůči již obrobenému tvaru z op. 1, 2 a 3 není nutné významně řešit.

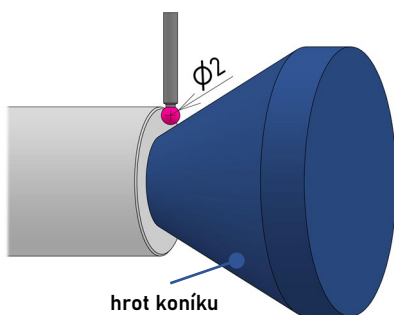
ad) operace 5 a 6

Pro účely předepsané hloubkové penetrace nitridované vrstvy do základového materiálu se na obrobených plochách vyskytuje po odebrání pocínované vrstvy v op. 4 jmenovitý přídavek 0,05 mm (na plochu) – rozměr $\varnothing 15,1 \pm 0,01$ z návodků. V reakci na riziko vzniku dosud vysledovaných průhybů při nitridaci do velikosti 0,1 mm je tedy vhodné zvolit jednu z těchto ploch s nejmenšími přídavky jako technologickou upínací základnu v operaci 5 a 6. Upnutí za nitridovanou plochu je výhodné i z toho hlediska, že po nitridaci se sleduje na pocínovaných plochách zhrublá textura povrchu a přítomnost drobných nerovností, viz obr. 21 dříve. Lícované díry $\varnothing 5H7$ s předepsanou tolerancí polohy, které se dokončují až ručním vystružením v sestavě s protidílcem na pracovišti montáže, budou v této operaci obrobeny na $\varnothing 4,5$.

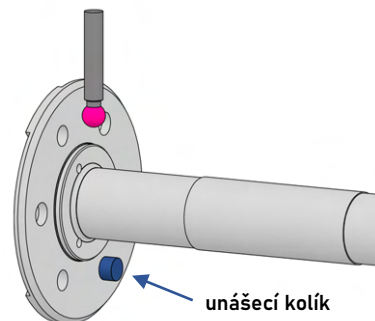
ad) operace 7

Prostor pro dotyk snímací sondy v operaci 7 na levém čele obrobku, jak naznačuje obr. 37, je kvůli přítomnosti najetého hrotu koníku a velikosti průměru štíhlé části obrobku ($\varnothing 16$ z op. 3) značně omezený i pro nejmenší dostupný průměr dotykové kuličky, který činí 2 mm. Vizuální kontrola průběhu snímacího cyklu by v tomto případě nebyla bezpečně proveditelná. V operaci 7 je navíc nutno provádět snímání pro každý obrobek zvlášť kvůli možné proměnlivosti jejich ustavení v konkrétní poloze v ose Z při upnutí v hrotech; v operaci 3 a 4 se tomu tak neděje, jelikož u těchto je zaručena jistá relativní stálost polohy dorazu v ose prostřednictvím dorazového pouzdra a nulový bod je tak naměřen pouze u prvního obrobku a další kusy se obrábí k tomuto původnímu nastavení.

Pro snímání byla proto volena levá čelní plocha hlavy. Aby nedošlo ke kolizi sondy s unášecím kolíkem v díře, je nutno takto upnutý obrobek ručně ve vřetení natočit, aby se kolík nacházel v poloze pod osou Z, viz. obr. 38.



Obr. 37 Prostor k dotyku sondy u levého čela upnutého obrobku v operaci 7.



Obr. 38 Volená plocha k obrobkovému snímání v operaci 7.

K unášení obrobku v operaci byly zvoleny díry $\varnothing 4,5$, jenž jako jediné nejsou obrobena na hotovo. Obrobek v operaci 7 pak na plochách, které budou v op. 8 a 9 broušeny, disponuje voleným jmenovitým přírůstkem 0,1 mm (přírůstek na plochu).

ad) stabilizace

Při návrzích nových technologických postupů se rozhodovalo o změně v přeřazení operační položky prováděného stabilizačního procesu (žihání ke snížení vnitřního napětí, viz operace 9 v pův. postupu) nebo také o jeho úplném vyřazení za účelem snížení výrobních nákladů.

Uvážení vynechání stabilizace bylo kvůli vazbě tohoto TZ na nitridační proces vyloučeno. Pokud by totiž nebyla zbytková napětí v materiálu polotovaru a vnesená napětí při hrubování dostatečně zrelaxována při stabilizačním žihání, k jejich globálnímu uvolnění by došlo až při nitridaci. V důsledku by se pak u takové nitridace velmi pravděpodobně projevil vyšší průhyby než jaké jsou sledovány nyní, tj. při nitridaci s předcházející stabilizací. Návazně by poté vyvstala nutnost volit vyšší tloušťku nitridační vrstvy, aby se zajistil dostatečný přírůstek na broušení kompenzující tak riziko zvýšených hodnot nitridačních průhybů. Vyšší hloubky nitridační vrstvy však souvisí se značným nárůstem expoziční doby v nitridační peci, jak uvádí obr. 19 dříve. Růst nákladů spojený s prodloužením energeticky náročného provozu nitridační pece by v součtu mohl překonat primární úsporu danou zrušením prováděného stabilizačního procesu. Větší přírůstky dále souvisejí s delšími časy na broušení. Omezená redukce zbytkového napětí (v průběhu fáze zahřátí na nitridační teplotu by částečná stabilizace proběhla, viz obr. 20) by rovněž nevyloučila riziko rozměrové nestability hotové součásti.

Přeřazení stabilizace na úplný počátek operací, tedy žhání neobrobeného výkovku, by přineslo obdobný komplex negativních důsledků. Pokud by se navíc stabilizoval surový výkovek, tedy rozdílná geometrie a objem materiálu oproti nynějšímu stavu stabilizovaného obrobku, znamenalo by to pravděpodobné změny v aktuálních procesních parametrech TZ. Nynější parametry jsou totiž s odkazem na zdroje v PBS výsledkem dlouhodobé optimalizace. Provádění úprav nastavení procesu tedy není při uvážení množství nepredikovatelných důsledků a celkového výsledku v tomto případě žádoucí.

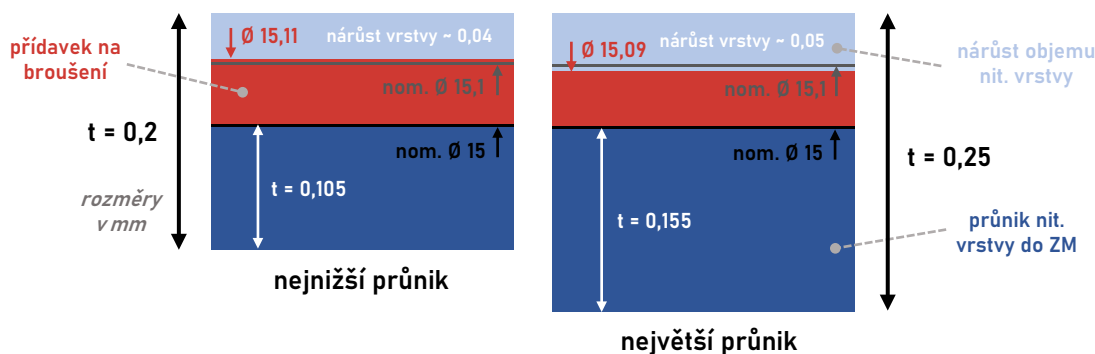
V novém postupu bude tudíž zachována tvarová podobnost se stabilizovanou hřídelí z původního postupu a parametry procesu budou zachovány. Čímž se očekává dosažení zachování daných materiálových vlastností takové stabilizované součásti jako tomu bylo v rámci původní výrobní technologie.

ad) nitridace

Jak bylo uvedeno v rozboru současného stavu výroby v kap. 3, po nitridaci se objevují zhruba u 10 až 20 % kusů v dávce průhyby o velikostech do 0,1 mm. Až na dvojici nitridovaných ploch určených pouze k dokončovacím broušení, následuje po nitridaci obrobení celého tvaru. Deformace se tak tímto až na výjimku daných nitridovaných ploch eliminují.

Pro nitridované plochy je nutné uvažovat s kritickou situací průhybu až do hodnoty sledovaného extrému (0,1 mm) a volit takové přídavky a předepsanou hloubku nitridační vrstvy, aby se zajistila postačující kompenzace případných deformací a výsledná tloušťka nitridační vrstvy na hotové hřídeli dosahovala požadovaných 0,1 až 0,2 mm z výkresu.

S ohledem na ekonomičnost nitridace (doba expozice dusíkové atmosféře) i následného dokončování broušením byly voleny totožné osvědčené přídavky včetně tolerancí daného rozměru jako v původním postupu, tedy 0,05 mm na plochu – rozměr $\varnothing 15,1 \pm 0,01$ ku $\varnothing 15$ na hotové hřídeli. Tuto volbu racionalizuje skutečnost, že na nitridovaných plochách nedochází při procesu nitridace pouze k penetraci do základového materiálu, ale nitridační vrstva narůstá i do vnějšího objemu. Tento mechanismus tedy vede k lokálnímu přírůstku přídavku – původně obrobený nominální $\varnothing 15,1$ v op. 4 se v radiálním směru zvětší. Empiricky dohadovaná velikost expandované nitridační vrstvy dosahuje, dle komunikace společnosti externě zajišťující pro PBS toto TZ, přibližně 20 % z nitridované tloušťky. Tedy pokud je předepsáno nitridování do hloubky 0,15 až 0,25 mm, tak kupř. při uvážení výsledné tloušťky 0,25 mm činí poměrný nárůst vně 0,05 mm. Po revizi předepisované tloušťky nitridace z původního postupu se rozhodlo o posunutí spodního limitu z původních 0,15 na 0,2 mm. Revidovaná tloušťka zaručující předepsaný průnik 0,1 až 0,2 mm na hřídeli i při uvážení rizika průvodních negativ procesu zmíněných výše (průhyby), činí 0,2 až 0,25 mm. Obr. 39 níže uvádí výslednou tloušťku vrstvy v základním materiálu za předpokladu krajních případů – 0,105 až 0,155 mm.



Obr. 39 Krajní případy tloušťky nitridační vrstvy.

4.4.2 Souhrnný technologický postup – operace

Byl vytvořen soupis nového technologického postupu zahrnující kompletní chronologii operačního komplexu, tj. primární operace strojního obrábění hřídele prezentované na obr. 34 a také soubor operací ostatních, mezi které se řadí např. mezioperační kontrola, označování obrobku, TZ, galvanická úprava a další. Oproti původnímu postupu bylo u nového rozhodnuto vyřadit sekundární operace 10, 18 a 35, viz tab. 6 dříve. Nový technologický postup je přiložen v příloze 4.

5 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY A OVĚŘENÍ NÁVRHU

Z požadavku společnosti PBS byly vyhotoveny operační návodky, které u jednotlivých operací vyznačují obráběné plochy, požadované rozměry obrobku a také seznam prováděných hlavních úkonů v operaci. Návodky jsou součástí přílohy 3, kdy číslování operací koresponduje se soupisem nového technologického postupu (příloha 4).

Programování obrábění pro stroj Mazak Integrex i-300 bylo provedeno v softwaru Mazatrol Smooth CAM na PC, který vykazuje identické rozhraní jako na ovládacím panelu stroje. Vytvořené programy byly v postprocesingu převedeny do Mazatrol G-kódu, jenž je po obsahové i strukturní stránce totožný se standardním ISO formátem G-kódů. [76]

5.1 Volené nástroje

Volba konkrétních nástrojů pro výrobní operace se volila z dostupného nástrojového vybavení, kterými letecká výrobní divize disponuje. Seznam použitých nástrojů a příslušného upínacího systému je sepsán v tab. 7 níže. Vybrané rezné podmínky zahrnuje tab. 8 dále.

Tab. 7 Použité nástroje a upínací systémy.

č. nástroje	typ rezného nástroje	upínání	poznámka k:		č. operace ¹ : úkon
	označení	označení			
	výrobce	výrobce			
T1	VBD - střední obrábění	nosné těleso	VBD	utvařeč třísek: typ NEX	1: soustružení 2: soustružení
	CNMG 120408 NEX AC520U	DCLNR 2525M12		třída NM výrobce: AC520U	
	Sumitomo Electric	Iscar		SK + povlak TiAlN + AlCrN	
T2	středící vrták B2 60°	kleštinový upínač DIN 6499 s Morse kuželem	upín.	Morse kužel MK4	1: navrtání středícího důlku 2: navrtání středícího důlku
	R-6345-0B2 SK OP3194984	MT 4 ER 32X 61		pro nástroje Ø 2–20 mm	
	Rotana	Iscar			
T3	VBD - upichovací	planžeta DGFH 32-2	VBD	třída NM výrobce: IC830	1: upíchnutí
	DGN 3102C IC830	Iscar		SK + povlak AlTiN + TiN	
	Iscar	nosné těleso planžety SGTBU 25-6G			
		Iscar			
T4	VBD - střední obrábění	nosné těleso DWLNR 2525P-08	VBD	utvařeč třísek: typ M30	3: soustružení - hrubování 5: soustružení - hrubování 7: soustružení - hrubování
	WNMG 080408EN-M30 CTCM120	Iscar		třída NM výrobce: CTCM120	
		Ceratzit		držák pravý KM63 pro nosné těleso ISO s čtyřhrannou stopkou UT63-SHR2525-MIY	
	Ceratzit				

¹ číslování operací koresponduje s číslováním dle obr. 34

pokrač. Tab. 7 Použité nástroje a upínací systémy.

č. nástroje	typ řezného nástroje		upínání		poznámka k:	č. operace: úkon	
	označení		označení				
	výrobce		výrobce				
T5	VBD – dokončovací obrábění		nosné těleso SDJCR 2525M-11		VBD	utvařec tříssek: typ CF05 třída NM výrobce: CTEP110 Cermet + povlak TiCN + Al ₂ O ₃	3: soustružení – dokončování 4: soustružení 5: soustružení – dokončování 7: soustružení – dokončování
	DCGT 11T302EN-CF05 CTEP110		Iscar				
	Ceratizit		držák pravý KM63 pro nosné těleso ISO s čtyřhrannou stopkou UT63-SHR2525-MIY				
			Ceratizit				
T6	středící vrták B2 60°		kleštinový upínač KM63 XMZ		upín.	pro nástroje Ø 0,5–13 mm	5: převrtání středícího důlku
	R-6345-0B2 SK OP3194984		09.2.2363.2 12603/19				
	Rotana		Mimatic				
T7	8-břítá stopková fréza Ø 20 DIN 6527		kleštinový upínač KM63 XMZ		fréza	SK, válcová stopka, bez vnitřního chlazení délka břitu 38	5: frézování vybrání
	GH 100 U; ID: 5745		KM63XMZER3260Y				
	Gühring		Kennametal		upín.	pro nástroje Ø 2–20	
T8	NC navrtávák 120° Ø 6		kleštinový upínač KM63 XMZ		navrt.	HSS, povlak.	5: navrtání děr Ø 5, 4,5, 2
	ID: 5509		09.2.2363.2 12603/19		upín.	pro nástroje Ø 0,5–13	6: navrtání díry Ø 5,1 ^{+0,2}
	Gühring		Mimatic				
T9	vrták Ø 5 DIN 6537 K		kleštinový upínač KM63 XMZ		vrták	SK, válcová stopka, povlak. TiAlN délka břitu 28	5: vrtání Ø 5
	ID: 10478040		09.2.2363.2 12603/19				
	ATORN		Mimatic		upín.	pro nástroje Ø 0,5–13	
T10	vrták Ø 4,5 DIN 6537 K		kleštinový upínač KM63 XMZ		vrták	SK, válcová stopka, povlak. TiAlN délka břitu 24	5: vrtání Ø 4,5
	ID: 10478035		09.2.2363.2 12603/19				
	ATORN		Mimatic		upín.	pro nástroje Ø 0,5–13	
T11	vrták Ø2 DIN 1897		kleštinový upínač KM63 XMZ		vrták	HSS-E, válcová stopka, povlak. AlCrN délka břitu 8	5: vrtání Ø 2
	A1149XPL-2		09.2.2363.2 12603/19				
	Walter		Mimatic		upín.	pro nástroje Ø 0,5–13	

pokrač. Tab. 7 Použité nástroje a upínací systémy.

č. nástroje	typ řezného nástroje		upínání		poznámka k:	č. operace: úkon	
	označení	označení					
	výrobce	výrobce					
T12	4-břítá srážecí fréza 90° Ø 8	kleštinový upínač KM63 XMZ	fréza	SK, válcová stopka	5: sražení hran po frézování vybrání R25, sražení hrany u Ø 2		
	ID: 6713	09.2.2363.2 12603/19		povlak TiAlN			
	Gühring	Mimatic	upín.	pro nástroje Ø 0,5-13			
T13	vrták Ø 5,2x96x136	tepelný upínač KM63 XMZ	vrták	SK + povlak TiAlN	6: vrtání osové díry Ø 5,1 ^{+0.2}		
	ID: 1588SL15C-0520	KM63XMZHPVTT06080MY		válcová stopka Ø 6, vnitřní chlazení			
	VHM Bohrer	Kennametal		délka břitu 96			
T14	korunka vrtáku Ø8	těleso vrtáku	kor.	vnitřní chlazení	6: vrtání osové díry Ø 8 ^{+0.1}		
	KenTIP FS HPL KCMS15 KTFST08000HPLM	KenTIP FS 8xD KTFS080R08SS10M				těles.	vnitřní chlazení
		Kenametal	válcová stopka				
		tepelný upínač Ø10 KM63 XMZ	délka břitu 68				
	Kennametal	KM63XMZHPVTT10090MY					
Kennametal							
T15	vnitřní zapichovací nůž pravý	upínací pouzdro	pouz.	válcová stopka s fazetkou	6: soustružení zápichu		
	PICCO R 006.0150-22	MG PCO-16-6-8				upín.	pro nástroje Ø 16
		Iscar					
		upínač Weldon Ø 16 KM63 XMZ					
Iscar	UT63-WE16-80-MIY						
	Ceratizit						
T16	nůž pro vnitřní soustružení a srážení	upínací pouzdro	pouz.	válcová stopka s fazetkou	6: soustružení sražení 60°		
	PICCO R 050.6-22; ID: 6402278	MG PCO-16-6-8				upín.	pro nástroje Ø 16
		Iscar					
		upínač Weldon Ø16 KM63 XMZ					
		UT63-WE16-80-MIY					
Iscar	Ceratizit						

pokrač. Tab. 7 Použité nástroje a upínací systémy.

č. nástroje	typ řezného nástroje		upínání		poznámka k:	č. operace: úkon	
	označení		označení				
	výrobce		výrobce				
T17	VBD - vnitřní soustružení		nosné těleso vnitřní	Iscar	těl.	s vnitřním chlazením	
			E06H SWUBR-06				
	WBMT 52.004R; ID: 5506173		upínací pouzdro	Iscar	pouz.	válnková stopka s fazetkou	
			SBB D16-6				
	Iscar		upínač Weldon Ø 16 KM63 XMZ	Ceratizit	upín.	pro nástroje Ø 16	
UT63-WE16-80-MIY							
T18	VBD - dokončovací obrábění		nosné těleso	Iscar	VBD	utvařeč třísek: typ 27	
			SVJCR 2525M-11				
	VCGT 110302FN-27 CTPX715		držák pravý KM63 pro nosné těleso ISO s čtyřhrannou stopkou	Ceratizit		třída NM výrobce: CTPX715	
			UT63-SHR2525-MIY			SK + povlak. AlTiN	
T19	VBD - zapichovací		nosné těleso	Iscar	VBD	třída NM výrobce: IC908	
			GHMR 25				
	GIP 1.96-0.15		držák pravý KM63 pro nosné těleso ISO s čtyřhrannou stopkou	Ceratizit		SK + povlak. AlTiN	
			UT63-SHR2525-MIY				
T20	nástrčná odvalovací drážkovací fréza		kleštinový upínač KM63 XMZ	Ceratizit	fréz.	HSS-E, povlak.	
			0,5x30° ČSN014950.1				UT63-ER25-120-MIY
			KASIKTOOLS				
T21	VBD - závitovací		nosné těleso	WIDAX	VBD	třída NM výrobce: IC908	
			ID: 225 37 014 00				
	16ER100		držák pravý KM63 pro nosné těleso ISO s čtyřhrannou stopkou	Ceratizit		SK + povlak. AlTiN	
			UT63-ER25-120-MIY				

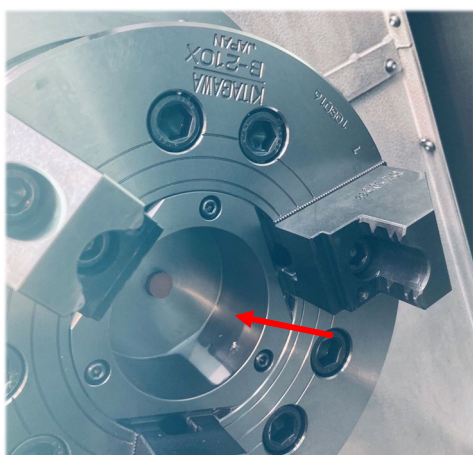
pokrač. Tab. 7 Použité nástroje a upínací systémy.

č. nástroje	typ řezného nástroje		upínání		poznámka k:	č. operace: úkon
	označení	výrobce	označení	výrobce		
	T22	brousicí kotouč 99BA60K9V08 50 Tyrolit	-	-		
T23	elektroda	-	elekt.	MN: měď	10: vyjiskření	
procesní kapalina: středisko obrobna		Castrol Hysol MB50 8-12% + demi. voda (refraktometr)		procesní kapalina: středisko brusírna		Castrol Syntilo 75 EF 4% + demi. voda (refraktometr)

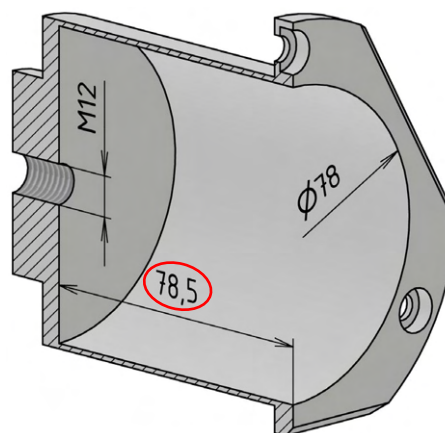
Tab. 8 Vybrané řezné podmínky.

č. nástroje	řezné parametry			č. nástroje	řezné parametry		
	vc	[m/min]			vc	[m/min]	
T4	vc	[m/min]	100	T20	vc	[m/min]	28,3
	f	[mm]	0,25		f	[mm]	0,01
	ap	[mm]	1		ap	[mm]	0,4
T5	vc	[m/min]	120	T21	vc	[m/min]	35
	f	[mm]	0,1		f	[mm]	1
	ap	[mm]	0,4		ap	[mm]	0,2-0,01

Navržená výrobní technologie uvažuje s využitím dorazového pouzdra v operaci 3 až 6 (obr. 34). Jedná se o technologický přípravek tvaru válce se zadní stěnou, který se připevňuje pomocí šroubů do průchozího sklíčidla na stroji Integrex, jak je patrné z obr. 40. Na základě rozměrových podkladů získaných z technologického oddělení společnosti byl vytvořen výrobní výkres přípravku, jehož proměnnou je pro účely výrobních operací nového technologického postupu jeho specifická dorazová hloubka – kóta 78,5. Do přípravku se připevňuje závitová tyč M12, díky které lze dorazovou hloubku korigovat (využito v op. 3-5). Model dorazového pouzdra v řezu je přiblížen na obr. 41.



Obr. 40 Upnuté dorazové pouzdro do sklíčidla stroje.



Obr. 41 Model dorazového pouzdra užitého k výrobě hřídele.

5.2 Kontrola výkonu motoru

Před započítáním výroby byla provedena kontrola ověřující potřebný výkon hlavního vřetene soustruhu – obrobkového vřetena. Výpočet (5.3) byl proveden pro energeticky nejnáročnější hrubovací soustružení (nejvyšší hodnoty řezných parametrů – max. hodnoty šířky záběru h.o. a posuvu) využívající nástroj T4 (tab. 7). A to pro operaci č. 3 (obr. 34), ve které bude v rámci všech soustružnických operací obráběn největší průměr ($\varnothing 53$) a tedy otáčky vřetena budou pro danou řeznou rychlost nejnižší, viz vztah (5.4). Jelikož s poklesem otáček klesá (příp. je konstantní) též max. využitelná hodnota výstupního výkonu vřetena, viz obr. 42. (platí pro otáčkový interval < 2000 vycházející ze zvolených otáček, kdy pro tyto je z důvodu způsobu upnutí obrobku (podepření hrotem) nastaven zmíněný limit).

Z důvodu bezpečnosti byla pro výpočet užitá horní hodnota zjištěné jednotkové měrné řezné síly (kap. 1.4.1) a tedy $k_{c1} = 2300$ MPa. Hodnota exponentu $mc = 0,25$ byla stanovena z [34] pro ocel P2.5.Z.HT (MC kódu Sandvik), která by měla nejlíže odpovídat AFNOR 30 CD 12. Užitá nosné těleso (T4) má pak úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 95^\circ$.

Velikost měrné řezné síly při řezném procesu se vypočte podle vztahu [32]:

$$k_c = \frac{k_{c1}}{(f \cdot \sin \kappa_r)^{mc}} \quad (5.1)$$

- kde: k_c – měrná řezná síla materiálu [MPa],
 k_{c1} – měrná řezná síla pro jednotkový průřez třísky materiálu (1x1 mm) [MPa],
 f – posuv na otáčku (T4, op. 3) [mm],
 κ_r – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří [°],
 mc – materiálový exponent závislý na fyzikálních vlast. a řezných podm. [-].

Výkon při obrábění a rovinné plastické deformaci udává vztah [32]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} = \frac{k_c \cdot A_D \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} = \frac{k_c \cdot a_p \cdot f \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} \quad (5.2)$$

- kde: P_c – potřebný výkon hlavního vřetene [kW],
 F_c – řezná síla (ve směru hlavního řezného pohybu) [N],
 v_c – řezná rychlost (T4, op. 3) [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
 A_D – jmenovitý průřez třísky [mm^2],
 a_p – šířka záběru hlavního ostří [mm].

Sloučením (5.1) a (5.2) vychází komplexní vztah:

$$P_c = \frac{k_c \cdot a_p \cdot f \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} = \frac{k_{c1}}{(f \cdot \sin \kappa_r)^{mc}} \cdot \frac{a_p \cdot f \cdot v_c}{60 \cdot 10^3} = \frac{k_{c1} \cdot a_p \cdot f^{1-mc} \cdot v_c}{(\sin \kappa_r)^{mc} \cdot 60 \cdot 10^3} = \quad (5.3)$$

$$= \frac{2300 \cdot 1 \cdot 0,25^{1-0,25} \cdot 100}{(\sin 95)^{0,25} \cdot 60 \cdot 10^3} \doteq 1,49 \text{ kW.}$$

Vztah mezi řeznou rychlostí a otáčkami obrobku při soustružení je definován [32]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} \quad (5.4)$$

kde: D – soustružený průměr obrobku [mm],
 n – otáčky hlavního vřetene [min^{-1}],

kdy nejnižších otáček je dosaženo na $D_{max} = \varnothing 53$ mm a tedy:

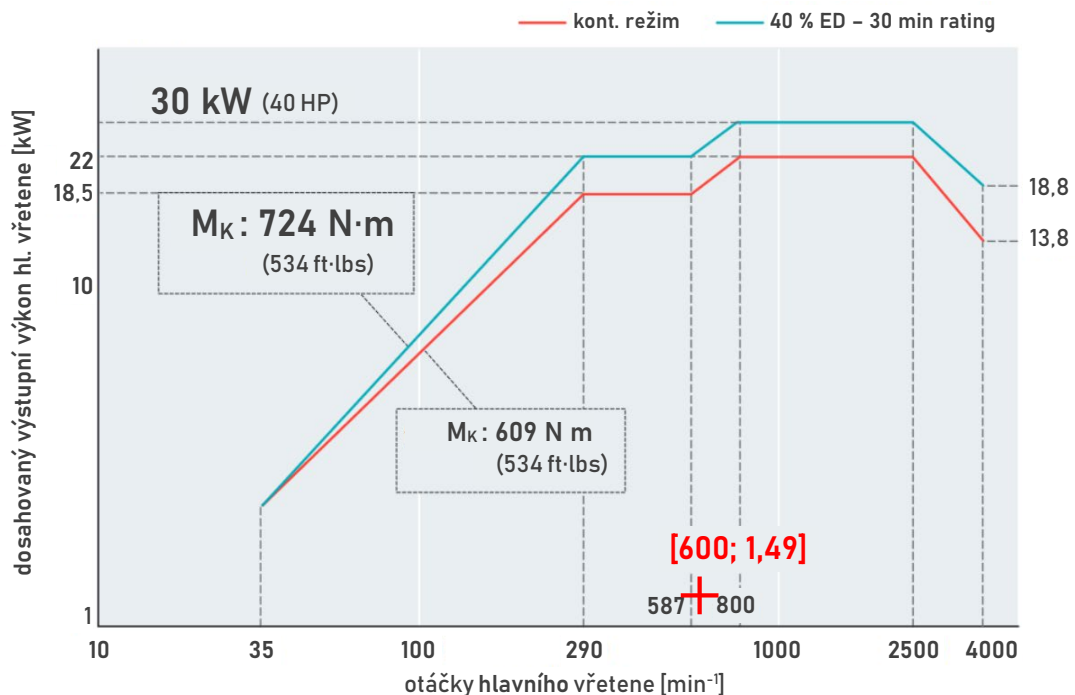
$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} = \frac{100 \cdot 10^3}{\pi \cdot 53} \doteq 600 \text{ min}^{-1}.$$

Na obr. 42 je vyznačeno umístění vypočtené výkonové spotřeby (červený kříž) vycházející pro dané hrubovací soustružení v operaci č. 3. Pozice vypočteného výkonu při příslušných otáčkách vřetene se nachází významně pod přípustnou výkonovou hranicí a to pro oba zatěžovací režimy – režim kontinuálního zatížení (22 kW) a režim střídavého zatížení (30 kW).

Není tak nutné provádět kontrolu časového zatížení provozu motoru vřetena (nástroj při hrubovacím řezu) ve spojitosti výkonem. Užitý výkon vřetenového motoru v operaci je v relaci na dovolené maximum i kontinuálního režimu (600 ot. ~ ca 20 kW) marginální.

Integrex i-300 hlavní vřeteno

max. otáčky:	4000 min^{-1}
max. výstupní výkon:	30 kW (40 % ED – 30 min rating), 22 kW (kont. režim)
max. krouticí moment:	724 N·m (40 % ED – 30 min rating), 609 N·m (kont. režim)



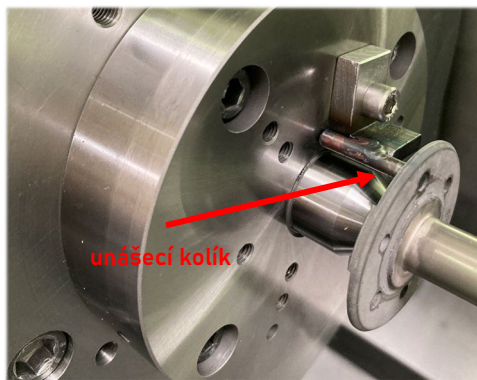
Obr. 42 Výkonová charakteristika stroje – užitý výkon při hrubování [53].

5.3 Ověření navrženého postupu

Nový výrobní postup byl realizován na ověřovací dávce 5 ks hřídelí. V průběhu výrobního ověření se neprojevyly žádné skutečnosti, které by vedly k nucenému zásahu do navržené technologie.

Drobné průhyby se očekávaně projevily jak po stabilizačním, tak nitridačním procesu. V případě stabilizace se zjišťované průhyby pohybovaly do hodnot 0,02–0,03 mm a po nitridaci v součtu až na výjimku jednoho kusu, kde průhyb činil 0,05 mm, bylo naměřeno házení do 0,04 mm. Jednalo se tak o technologicky přijatelné hodnoty, které se pohybovaly pod horní stanovenou hranicí okolo 0,08 mm, kdy při této už by vyrobitelnost minimálně podle navržené technologie nemusela být zajištěna. V jednotlivých strojních operacích byly dodrženy všechny deklarované tvarové a rozměrové požadavky zahrnuté v návodkách.

Obr. 43 naznačuje reálné unášení hřídele v op. 7 (obr. 34) při výrobním ověření. Aby se minimalizovala obrobková vůle v ose C daná vloženým unášecím kolíkem v hlavové díře hřídele, byl průměr tohoto kolíku přesně lícován. Pokud by totiž jeho uložení v díře vykazovalo vyšší vůli, mohla by se tato ve výsledku projevit jako ustavovací nepřesnost při frézování drážkování – obrobek je při frézování drážkování odvalovacím způsobem indexován v ose C – a přenést se tak do geometrické polohy drážek, u kterých požadovaná souosost do 0,05 mm.



Obr. 43 Unášení obrobku pomocí lícovaného kolíku.



Obr. 44 Obrobená hřídel.

Po provedených výrobních operacích byla hotová hřídel, viz obr. 44, podrobena výstupní metrologické kontrole na již zmíněném přístroji Taylor Hobson Talyrond 252. U všech 5 ks se naměřené odchylky pohybovaly v dovořených tolerancích, viz ukázka měřicího výstupního protokolu v příloze 5. Lze tedy konstatovat aplikovatelnost nového výrobního technologického postupu, kterým lze původní postup nahradit.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomické zhodnocení nového technologického postupu (návrh č. 4) je provedeno v relativním porovnání vůči postupu původnímu. Základem pro vzájemné vyčíslení byly stanovené jednotkové a dávkové časy pro dílčí operace dané dvojice postupů – původního a nově navrženého –, přičemž provozní náklady na jednotlivá strojní zařízení a operační stanoviště pochází z ERP databáze firmy PBS. Výpočet je vztažen k standardní výrobní dávce hřídelí, která činí 20 ks.

Zhodnocení obou variant opomíjí pro účely komparace postupů nákladovou položku na materiál (výkovek), jelikož polotovár je v obou případech totožný. Z důvodu absence příslušných nákladových údajů je vyloučeno také vyčíslení vztahujících se k operačním položkám stabilizace a cínování (op. 80 a 90 v soupisu nového postupu viz příloha 4) – tyto procesy jsou zprostředkovány DLT interně v rámci závodní spolupráce. Ze stejného důvodu je z nákladů vynechána operační položka plynové nitridace (op. 130 tamtéž) zajištěná externí kooperací.

6.1 Náklady původní výrobní technologie

Tab. 9 uvádí souhrn původních operací s danými stanovišti, evidované výrobní časy, jejichž zdrojem je soupis původního technologického postupu, dále dílčí hodinové provozní náklady stanoviště a výsledné jednotkové náklady na operaci a jejich sumu. Modře zvýrazněné jsou primární strojní operace, na které byla v této práci zaměřena pozornost. Vzorový výpočet je proveden podle vztahu (6.1).

Tab. 9 Náklady na operace pro výrobní dávku 20 ks původní výrobní technologií [68].

č. operace	popis operace	pracoviště	t _{ac} [min]	t _{bc} [min]	hodinový náklad na pracoviště [Kč/hod]	náklad na operaci na dávku 20 ks [Kč]
1	kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	0	20	475	158,33
2	soustružení	SU 50 A	12,786	30	972	4 628,66
3, 4	soustružení	SU 50 A	15,504	30	972	5 509,3
5	soustružení	Mazak QT 200 MY	4,56	48	1294	3 002,08
6	kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	1,97	20	475	470,25
7, 8	soustružení	SU 50 A	26,4252	30	972	9 047,76
9	tepelné zpracování	pec vakuová 15.0 VPT-4025	-	-	-	-
10	kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	2,56	20	475	563,67
11	cínování	cínování	-	-	-	-
12	soustružení	SV 18 RA	24	30	972	8 262
13	zámečnické práce	práce zámečnické	0,684	10	957	377,7
14	broušení	BRH 20 A	3,02	35	986	674,42
15	kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	1,78	20	475	440,17
16	externí	externí kooperace 1 týden – nitridace	-	-	-	-
17	kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	3,09	20	475	207,26
18	popisování	TruMark Station 5000	1,824	15	1046	897,47
19, 20	soustružení	SV 18 RA	33,96288	30	972	11 489,97

pokrač. Tab. 9 Náklady na operace pro výrobní dávku 20 ks původní výrobní technologií [68].

č. operace	popis operace	pracoviště	t _{AC} [min]	t _{BC} [min]	hodinový náklad na pracoviště [Kč/hod]	náklad na operaci na dávku 20 ks [Kč]
21	popisování	TruMark Station 5000	1,824	15	1046	897,47
22, 23	broušení	RHU 650	18,80088	30	986	6 672,22
24	soustružení	SV 18 RA	36,99528	30	972	12 472,47
25	vyjiskřování	EXERON EDM 313	67,0776	60	1590	37 141,13
26, 27	soustružení	SV 18 RA	66,79944	30	972	22 129,02
28	soustružení	SV 18 RA	8,83728	30	972	3 349,28
29	frézování	MCV 1270 Sprint - 3 osy	25	191,25	1371	15 795,06
30	zámečnické práce	práce zámečnické	5,13456	10	957	1 797,42
31	broušení	RHU 650	4,1	90	986	2 826,53
32	frézování	Mikron 102	19,0608	60	930	6 838,85
33	broušení	RHU 500	7	30	986	2 793,67
34	broušení	RHU 500	37,51512	30	986	12 822,97
35	zámečnické práce	práce zámečnické	1,9152	10	957	770,45
36	popisování	TruMark Station 5000	1,7328	15	1046	865,67
37	soustružení	SV 18 RA	10,14	30	972	3 771,36
38	kontrola	defektoskopie magnetická	7,668	25	855	2 541,63
39	zámečnické práce	práce zámečnické	1,9152	10	957	770,45
40	kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	24,13	30	475	4 058,08
SUMA			477,81	1 084,25	-	184 043

Náklady na operaci č. 2 (výrobní dávka 20 ks):

$$N_{OP2} = (t_{AC2} \cdot d_v + t_{BC2}) \cdot \frac{N_{hp2}}{60} = (12,786 \cdot 20 + 30) \cdot \frac{792}{60} \doteq 4628,66 \text{ Kč} \quad (6.1)$$

kde: N_{OP2} – náklady na operaci č. 2 při výrobní dávce 20 ks [Kč],

t_{AC2} – jednotkový čas s přídavkem času směnového operace č. 2 [min],

d_v – velikost výrobní dávky [ks],

t_{BC2} – dávkový čas s přídavkem času směnového operace č. 2 [min],

N_{hp2} – hodinový provozní náklad pracoviště [Kč · hod⁻¹].

Výjimkou v počtu kusů v dávce při výpočtu je operace č. 17 a 14, kde se kontrolují a brousí pouze 2 ks vzorků. Náklady pro tyto operace se tedy vztahují k $d_v = 2$ ks. Taktéž je tomu u počtů nového návrhu (op. č. 3 a 14) v následující kapitole.

6.2 Náklady navržené výrobní technologie

Analogicky byla sestavena a vyčísleny hodnoty pro novou výrobní technologii v tab. 10 níže. Zdrojem strojních časů při operacích na soustruhu Integrex byla v tomto případě data získaná z vytvořených CAM programů (programován Integrex), kdy výchozí teoretické časy byly následně korigovány na základě reálně proběhlé výroby pilotní série a evidence práce obsluhy. Strojní časy operací na konvenčním soustruhu a CNC brusce byly stanoveny pouze na základě zmíněné pracovní evidence.

Tab. 10 Náklady na operace pro výrobní dávku 20 ks navrženou výrobní technologií.

č. operace soubis TP	č. operace vizualizace ¹	popis operace	pracoviště	t _{ac} [min]	t _{bc} [min]	hodinový náklad na pracoviště [Kč/hod]	náklad na operaci na dávku 20 ks [Kč]
1		vydání materiálu	práce při zásobování	0	20	475	158,33
2	1	soustružení	SV 18 RA	14,4021	30	972	5152,28
3		broušení	BRH 20 A	3,0202	35	986	674,43
4	2	soustružení	SV 18 RA	13,00887	30	972	4700,87
5		kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	1,97	20	475	470,25
6	3	soustružení, frézování	Mazak Integrex i-300/1000	14,36856	60	1460	8452,7
7		popisování	TruMark Station 5000	1,824	15	1046	897,47
8		tepelné zpracování	pec vakuová 15.0 VPT-4025	-	-	-	-
9		cínování	cínování	-	-	-	-
10	4	soustružení, frézování	Mazak Integrex i-300/1000	6,16116	45	1460	4093,43
11		zámečnické práce	práce zámečnické	0,684	10	957	377,7
12		kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	1,78	20	475	440,17
13		externí kooperace	externí kooperace 1 týden	-	-	-	-
14		kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	3,09	20	475	207,26
15	5	soustružení, frézování	Mazak Integrex i-300/1000	20,44907	75	1460	11776,88
16	6	soustružení, frézování	Mazak Integrex i-300/1000	24,9165	75	1460	13951,03
17	7	soustružení, frézování	Mazak Integrex i-300/1000	38,51724	90	1460	20935,06
18		zámečnické práce	práce zámečnické	5,13456	10	957	1797,42
19	8	broušení	Studer S31 CNC	45,28616	45	1645	26065,66
20	9	broušení	Studer S31 CNC	14,85505	45	1645	9379,27
21	10	vyjiskřování	EXERON EDM 313	67,0776	60	1590	37141,13
22		soustružení	SV 18 RA	10,14	30	972	3771,36
23		popisování	TruMark Station 5000	1,7328	15	1046	865,67
24		kontrola	defektoskopie magnetická	7,668	25	855	2541,63
25		zámečnické práce	práce zámečnické	1,9152	10	957	770,45
26		kontrola	práce při třídění, kontrola rozměrová	24,13	30	475	4058,08
SUMA				322,13	815	-	158 679

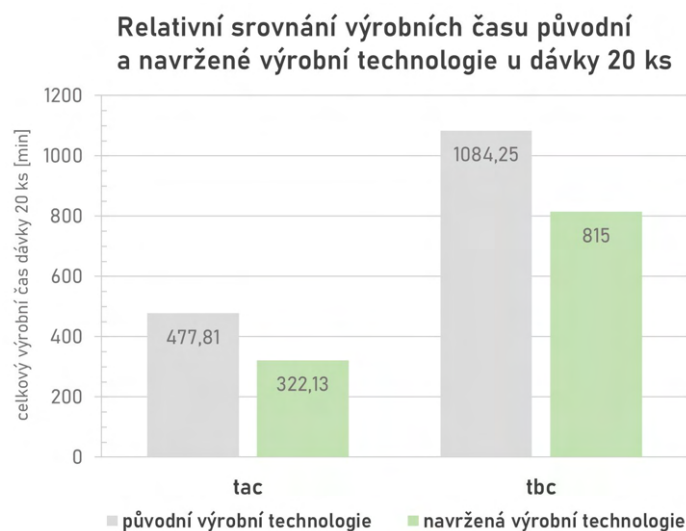
¹ číslování operací koresponduje s číslováním dle obr. 34

6.3 Komparace technologických postupů

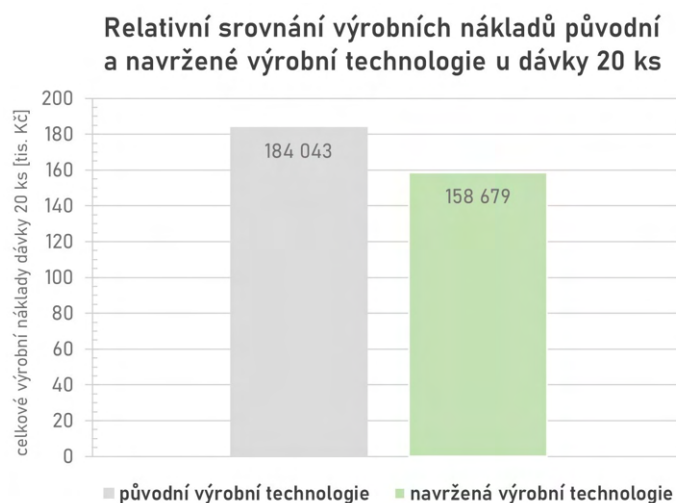
U nově navržené technologie došlo k zásadnímu snížení jak dávkového – 815 oproti původním 1084,25 min –, tak zejména strojního času – 322,13 ku 477,81 min. Tato skutečnost přinese uvolnění výrobních kapacit jednotlivých původně využívaných pracovišť a příslušejících lidských zdrojů, které mohou být využity pro jiné projekty.

Při aplikaci nové technologie bylo využito současného nástrojového a ostatního vybavení společnosti. Nebylo tedy nutné realizovat žádné vstupní počáteční investice. Návratnost projektu a tedy bod zvratu zde tudíž není uvažován.

Z hlediska nákladového bylo u standardní výrobní dávky 20 ks docíleno finanční úspory v celkové výši 25 364 Kč (158 679 oproti 184 043 Kč), která představuje 13,78 % pokles nákladů oproti předchozí výrobní technologii. Navržená technologie tedy nabízí i přes využití modernějších a nákladnějších strojních pracovišť znatelné souhrnné úspory a výhodně nahrazuje předešlý způsob výroby. Relativní srovnání s původní technologií je ilustrováno na obr. 45 a 46.



Obr. 45 Relativní srovnání výrobních časů s původní výrobní technologií.



Obr. 46 Relativní srovnání výrobních nákladů s původní výrobní technologií.

ZÁVĚR

Na základě zhodnocení funkčních nároků hřídelové součásti, procesních vlivů jejího tepelného zpracování a prováděného nitridačního procesu byly sestaveny návrhy na novou výrobní technologii využívající CNC výrobní stroje. Po provedení rozboru možných výrobních variant součásti, který posuzoval hlediska celkového počtu výrobních operací, vhodnost voleného operačního sledu a také případné vázané nákladové položky, byl sestaven nový výrobní technologický postup a pro tento vyhotoveny operační návodky. Následovalo zkušební ověření tohoto návrhu v pilotní výrobní sérii za využití dostupného strojního vybavení. Následná metrologická kontrola deklarovala, že hotové součásti jsou v souladu s předpisy na výkrese a tedy nový technologický postup je aplikovatelný. Technicko-ekonomické relativní porovnání technologií poukázalo na významné dosažené výrobní úspory. Oproti původní výrobní technologii bylo u navržené docíleno při uvážení standardní výrobní dávky 20 ks:

- redukce dávkového času z původních 1084,25 min na 815 min.,
- snížení jednotkového času z 477,81 min na 322,13 min,
- finanční úspory výrobních nákladů v celkové výši 25 364 Kč na výrobní dávku, která představuje relativní pokles o 13,78 %.

Inovovaná technologie výroby součásti tímto byla prakticky ověřena a bude dále využívána.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Hwaiyu, Geng. *Manufacturing Engineering Handbook*. Second Edition. Palo Alto, California: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-0-07-183977-8.
2. ZIMMERMANN, František. Technologie stárnou stejně jako lidé. *MM Průmyslové spektrum* [online]. nedatováno, 2021(6). ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/210616>
3. DVOŘÁK, Roman, Peter BALLON, Ivan BORUTA, Ján KOŠTURIÁK a Norbert BRATH. Inovace podnikatelského modelu, Část 8., Ekonomický pohled na inovace. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [vid. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/inovace-podnikatelskeho-modelu-cast-8-ekonomicky-pohled-na-inovace>
4. O PBS. *PBS* [online]. 2017 [vid. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://pbs.cz/cz/O-PBS>
5. DUROŇOVÁ, Iva. PBS Velká Bíteš zahájila sériovou výrobu motoru PBS TJ 150. *Strojirenstvi.cz, Portál Profesionálů* [online]. 27. březen 2019 [vid. 2022-02-08]. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/pbs-velka-bites-zahajila-seriovou-vyrobu-motoru-pbs-tj-150>
6. KROES, Michael J., William A. WATKINS, Frank DELP a Ronald STERKENBURG. *Aircraft Maintenance & Repair*. Seventh Edition. New York, New York: McGraw-Hill Education, 2013. ISBN 978-0-07-180150-8.
7. Auxiliary Power Unit (APU). *SKYbrary Aviation Safety* [online]. 26. květen 2021 [vid. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/auxiliary-power-unit-apu>
8. How to take care of Cabin Air conditioning Odours originating from an Aircraft APU during ground operations ? *FL360aero* [online]. 8. duben 2021 [vid. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://fl360aero.com/detail/how-to-take-care-of-cabin-air-conditioning-odours-originating-from-an-aircraft-apu-during-ground-operations/212>
9. PBS Auxiliary Power Units. *PBS* [online]. Dostupné z: https://www.pbs.cz/getmedia/53215bc5-6cdb-4c50-afcd-4854b175e159/PBS_Brochure_Auxiliary_Power_Units_EN2109.pdf.aspx?ext=.pdf
10. ROB, Mark. How an Auxiliary Power Unit Works. *FLYING Magazine* [online]. 10. březen 2018 [vid. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://www.flyingmag.com/how-an-auxiliary-power-unit-works/>
11. Safir 5K/G MI. *PBS* [online]. 2017 [vid. 2022-02-15]. Dostupné z: <https://pbs.cz/cz/Lectvi/Pomocne-energeticke-jednotky/Safir-5K-G-MI>
12. Lectví. *PBS* [online]. 2017 [vid. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://pbs.cz/cz/Lectvi>
13. Prodej devítisté APU Safir 5K/G MI. *PBS* [online]. 10. leden 2019 [vid. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://pbs.cz/cz/Blog/Devitisty-PEJ-Safir-5K-G-MI>

14. PRVNÍ BRNĚNSKÁ STROJÍRNA VELKÁ BÍTEŠ A.S. *ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА SAFIR 5K/G MI, РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ* [online]. 28. leden 2003 [vid. 2022-02-17]. Dostupné z: <http://calameo.download/002055968740459972737>
15. ČSN 01 4950.1, Evolventní drážkování, Praha: Český normalizační institut, 1962, 32 s., DT 621.824.4
16. ČSN 01 4954, ST SEV 268-76, Drážková spojení evolventní s úhlem profilu 30 °: Základní profil a tvar zubu, Praha: Český normalizační institut, 1978, 16 s., MDT 621.824.4
17. ČSN 01 4953, ST SEV 259-76, Drážková spojení evolventní s úhlem profilu 30 °: Lícování, Praha: ÚNM, 1978, 24 s., MDT 621.824.4
18. ČSN ISO 965-3, Metrické závity ISO pro všeobecné použití – Tolerance – Část 3: Úchytky závitů, Praha: Český normalizační institut, 2000, 20 s. Třídící znak 01 4314
19. BRANDEJS, Jan a Petr SVOBODA. *ZÁVITY* [online]. [vid. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6681807-Z-a-v-i-t-y-zakladni-tvarovy-prvek-sroubu-a-matic-geometricky-je-urcen-zavitovou-plochou-vytvorenou-pohybem-profilu-zavitu-po-sroubovici.html>
20. 8. Použití ložisek. *ZKL Group* [online]. [vid. 2022-02-20]. Dostupné z: <https://www.zkl.cz/cs/produkty/obecne-informace-pro-konstruktery/8-pouziti-lozisek>
21. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vydání šesté, doplněné 2016. Brno: CERM Akademické nakladatelství, 2016. ISBN 978-80-7204-921-9.
22. ČSN EN ISO 6411, Technické výkresy – Zjednodušené zobrazování středících důlků, Praha: Český normalizační institut, 1999, 12 s., Třídící znak 01 3240, idt ISO 6411:1982
23. Total Materia :: Equivalent Finder. *Total Materia* [online]. [vid. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://portal.totalmateria.com/en/search/quick/materials/1060291/equivalents-finder>
24. Struktura evropských značek ocelí. *DDS Steel-Czech* [online]. 2010 [vid. 2022-02-25]. Dostupné z: <http://www.dds-czech.cz/znacenidleu.php>
25. ČSN EN ISO 683-5, Oceli pro tepelné zpracování, oceli legované a oceli automatové – Část 5: Oceli k nitridování, Nové Město: Česká agentura pro standardizaci, 2021, 28 s. Třídící znak 42 0931, idt ISO 683-5:2017
26. WOOLMAN, J. a R. A. MOTTRAM. *The Mechanical and Physical Properties of the British Standard EN Steels (B.S. 970 - 1955): EN 21 to EN 39* [online]. Volume 2. B.m.: Elvieser, 2013. ISBN 978-1-4831-5717-7. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=UNUgBQAAQBAJ&pg=RA1-PA23&lpg=RA1-PA23&dq=30CD12+properties&source=bl&ots=bs-M0mHQWN&sig=gcP44p378iWCHB5M1eklNGIYu3c&hl=cs&sa=X&ei=V0eIVLj7IcvmasmagYAF&ved=0CEIQ6AEwBQ#v=onepage&q&f=false>

-
27. Nízkolegované konstrukční oceli třídy 15, jejich složení a tepelné zpracování. *TumliKOVO* [online]. 3. únor 2011 [vid. 2022-02-24]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/nizkolegovane-konstrukcni-oceli-tridy-15-jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
 28. PTÁČEK, Luděk a A KOLEKTIV. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM Akademické nakladatelství, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
 29. PACAL, Bohumil, docent ÚMVI – odbor kovových materiálů [ústní konzultace]. Brno, 23.2.2022.
 30. Total Materia :: Metallography. *Total Materia* [online]. [vid. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://portal.totalmateria.com/en/search/quick/materials/1060291/metallography>
 31. AIR 9160/C, CONDITIONS GÉNÉRALES DE RECETTE ET D'EMPLOI: DES ACIERS CORROYÉS: UTILISÉS DANS LES CONSTRUCTIONS AÉRONAUTIQUES, Paris: MINISTERE DES ARMÉES: DÉLÉGATION MINISTÉRIELLE POUR L'ARMEMENT: DIRECTION TECHNIQUE DES CONSTRUCTIONS AERONAUTIQUES, 1973, 69 s.
 32. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. první. Brno: CERM Akademické nakladatelství, 2012. ISBN 80-214-2374-9.
 33. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. 1. české vydání. Sandviken: Sandvik Coromant, 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.
 34. Obráběné materiály. *Sandvik Coromant* [online]. [vid. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
 35. HOUDEK, Josef a Karel KOUŘIL. Opatření břitů nástrojů ze slinutých karbidů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2. únor 2005 [vid. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/opotrebeni-britu-nastroju-ze-slinutych-karbidu-2>
 36. *Garant Příručka obrábění*. 2006.
 37. BAKALOVA, Totka. *Vliv materiálových a technologických parametrů na napětí v povrchové vrstvě a vlastnosti dynamicky namáhaných strojních součástí* [online]. Liberec, 2010. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci: Fakulta strojní. Dostupné z: https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/9897/dr_20112.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 38. SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. Second Edition. Oxford: Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-514206-3.
 39. SCHOOP, Julius. In-Situ Calibrated Modeling of Residual Stresses Induced in Machining under Various Cooling and Lubricating Environments. *Lubricants* [online]. 2021, 9(3), 28 [vid. 2022-03-01]. ISSN 2075-4442. Dostupné z: [doi:10.3390/lubricants9030028](https://doi.org/10.3390/lubricants9030028)
-

-
40. PTÁČEK, Luděk a A KOLEKTIV. *Nauka o materiálu I*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM Akademické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7204-283-1.
 41. Nitridace v plynu. *Bodycote* [online]. 2019 [vid. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.bodycote.com/cs/sluzby/tepelne-zpracovani/vytvrzovani-povrchu-bez-kaleni/nitridace-v-plynu/>
 42. PYE, David. *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing* [online]. 1 st ed. Novelty, Ohio, USA: ASM International, 2003. ISBN 0-87170-791-8. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=3002362&pq-origsite=summon>
 43. MITTEMEIJER, Eric J. a Marcel A. J. SOMERS. *Thermochemical Surface Engineering of Steels: Improving Materials Performance* [online]. B.m.: Elvieser, 2015. ISBN 978-0-85709-652-4. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=1903765&pq-origsite=summon>
 44. DAVIS, J. R. *Gear Materials, Properties, and Manufacture* [online]. 1st ed. Novelty, Ohio, USA: ASM International, 2005. ISBN 978-1-61503-049-1. Dostupné z: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/techlib-ebooks/detail.action?docID=3002338>
 45. ROUŠ, Jiří. *Nitridování* [online]. [vid. 2022-04-19]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/14_Strojirenska-technologie_35-37/36_MMP/186_Nitridovn---Rous---P1.pdf
 46. STAFF. Forging Basics: What is Metal Forging? *Fine Metal Working* [online]. 28. červen 2021 [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://finemetalworking.com/forging>
 47. WALTERS, John a C. J. VAN TYNE. Grain Flow in Forgings - The Basics. *Forge* [online]. 6. říjen 2014 [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.forgemag.com/articles/84265-grain-flow-in-forgings---the-basics>
 48. WALTERS, John a C. J. VAN TYNE. Grain Flow in Forgings II – How Forging Changes Grain Flow. *Forge* [online]. 8. prosinec 2014 [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.forgemag.com/articles/84286-grain-flow-in-forgings-ii-how-forging-changes-grain-flow>
 49. *Technologie tváření kovů* [online]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf
 50. WALTERS, John a C. J. VAN TYNE. Grain Flow in Forgings IV – Various Processes and Influence of Machining. *Forge* [online]. 6. květen 2015 [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.forgemag.com/articles/84328-grain-flow-in-forgings-iv-various-processes-and-influence-of-machining>
 51. ČSN EN 10243-1, Ocelové zápusťkové výkovky – Mezní úchytky rozměrů – Část 1: Výkovky kované na bucharech a svislých kovacíh lisech, Praha: Český normalizační institut, 2003, 40 s., Třídící znak 42 9031
-

-
52. MAREK, Jiří a A KOL. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, 2018. ISBN 978-80-906310-8-3.
 53. *Mazak Integrex i Series* [online]. B.m.: Yamazaki Mazak Corporation. Dostupné z: https://www.mmsonline.com/cdn/cms/low_INTEGREX_%20i-Series_EA.pdf
 54. INTEGREX i-300S. *Mazak* [online]. 2022 [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/integrex-i-300s/>
 55. KM Taper Identification. *TAC Rockford* [online]. 2022 [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://tacrockford.com/technical/machine-tool-taper-identification/km-tool-holder-form-identification/>
 56. INTEGREX i-300. *Mazak* [online]. 2022 [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.mazak.com.br/machines/integrex-i-300/>
 57. *Mazak Quick Turn Series* [online]. B.m.: Yamazaki Mazak Corporation. Dostupné z: <https://virtual.mazakusa.com/wp-content/uploads/2020/07/QUICK-TURN-Series-Brochure-1.pdf>
 58. QUICK TURN 100MSY. *Mazak* [online]. 2022 [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/quick-turn-100msy/>
 59. QUICK TURN 200MY. *Mazak* [online]. 2022 [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/quick-turn-200my/>
 60. *Studer S31* [online]. B.m.: Fritz Studer. červen 2018. Dostupné z: https://www.galika.hu/pictures/Docs/Technol%C3%B3gi%C3%A1k/K%C3%B6sz%C3%B6r%C3%BCI%C3%A9s-Studer/S31_EN.pdf. V4 en
 61. *Eccentric Pin Grinding Using the C Axis by STUDER on the S31 Universal Grinding Machine* [online]. 6. prosinec 2017. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=xUMDqYcurdU>
 62. MASCHLANKA, René. 4 reasons for granite in measurement technology – accurate to the micrometre. *Reitz* [online]. 17. červenec 2020 [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://blog.reitz-natursteintechnik.de/en/4-reasons-for-granite-in-measurement-technology-accurate-to-the-micrometre>
 63. STUDER S31 - UNITED GRINDING Group. *Industry Arena* [online]. [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://en.industryarena.com/united-grinding/products/universal-cylindrical-grinding-machines--149/studer-s31--10762>
 64. *EXERON katalog new* [online]. B.m.: Penta Trading. Dostupné z: <https://adoc.pub/queue/penta-slovensko-s-r-o-teplicka-3862-poprad-slovenska-republi.html>
 65. PENTA TRADING. *exeron EDM 313 MF 30 - hloubička nejvyšší kvality* [online]. 2017 [vid. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=27arIRvGiqk>
 66. TruMark série 5000. *TRUMF* [online]. 2022 [vid. 2022-03-28]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/laser/znacici-laser/trumark-serie-5000/
-

-
67. TalyRond252 With Seround Retrofit Package. *Salbro Engineers* [online]. 2022 [vid. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://salbroengineers.nowfloats.com/products/talyrond252-with-seround-retofit-package/29>
68. *Technologický postup 481145.11/1 (původní)*. B.m.: PBS Velká Bíteš
69. *Operační návody výroby hřídele, číslu výkresu B1-0481-10257*. B.m.: PBS Velká Bíteš. 22. únor 2002
70. Plazmová nitridace. *Nitech a.s.* [online]. 2022 [vid. 2022-04-08]. Dostupné z: <https://www.nitech.cz/plazmova-nitridace/>
71. FUSEK, Martin a Ludmila ADÁMKOVÁ. *Únava materiálu: Mez únavy hladkých těles, faktory, ovlivňující mez únavy* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3024-7. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_011/%C3%9Anava%20materi%C3%A1lu/02%20Text%20pro%20e-learning/%C3%9Anava%20materi%C3%A1lu%2008.pdf
72. *Live Centres Face Drivers: Edition 8* [online]. B.m.: Röhm. 2019. Dostupné z: https://www.roehm.biz/fileadmin/content/pdf/products/en/02_Live_centres_face_driver_2019.08_en_web.pdf. Id.-Nr. 1178262 / 0819 MA
73. *Tools for Clamping between Centers* [online]. B.m.: Neidlein Spannzeuge. 2020. Dostupné z: https://www.neidlein.de/media/downloads/Nei_Katalog-2020_rz_en_ANSICHT_GESAMT.pdf. No. 01.01.21
74. *Tailstock Fundamentals: How to use the Tailstock on a Haas Lathe* [online]. 18. listopad 2014. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=01B-TZAwkCo>
75. *Betriebsanleitung CoAE Hydr. 1381526* [online]. B.m.: Röhm. 24. září 2020 [vid. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.roehm.biz/en/products/constant-face-drivers/constant-face-drivers/coae-series/>. Version 1.0, ID: 1381526
76. Combined G-Code and Conversational Programming Strategies. *John Hart* [online]. [vid. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.johnhart.com.au/news/latest-news/cnc-machine-tools/861-combined-g-code-and-conversational-programming-strategies>
77. *Soustruh SV18 RA | TumliKOVO: Technologie strojního obrábění kovů* [online]. [vid. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/soustruh/sv18/>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A_D	jmenovitý průřez třísky	[mm ²]
F_c	řezná síla	[N]
N_{hp}	hodinový provozní náklad stanoviště	[Kč · hod ⁻¹]
N_{OP}	náklady na operaci	[Kč]
P_c	výkon hlavního vřetene	[kW]
D	soustružený průměr obrobku	[mm]
a_p	šířka záběru hlavního ostří nástroje	[mm]
d_v	velikost výrobní dávky	[ks]
k_c	měrná řezná síla materiálu	[MPa]
k_{c1}	měrná řezná síla pro jednotkový průřez třísky materiálu	[MPa]
t_{AC}	jednotkový čas s přídavkem času směnového	[min]
t_{BC}	dávkový čas s přídavkem času směnového	[min]
v_c	řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
f	posuv na otáčku	[mm]
mc	materiálový exponent	[-]
n	otáčky hlavního vřetene	[min ⁻¹]
κ_r	nástrojový úhel nastavení hlavního ostří nástroje	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
APU	Auxiliary Power Unit
CNC	Computer Numerical Control
DLT	divize letecké techniky
EDM	Electric Discharge Machining
ERP	Enterprise Resource Planning
EXW	Ex-works
PBS	První brněnská strojírna
PEJ	pomocná energetická jednotka
TZ	tepelné zpracování

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výběr ze Směrnice KS - 001/72: Mezní úchytky netolerovaných rozměrů
- Příloha 2 Technické parametry soustruhu SV 18 RA/750
- Příloha 3 Operační návodky nového technologického postupu
- Příloha 4 Soupis nového technologického postupu
- Příloha 5 Výstupní metrologický protokol

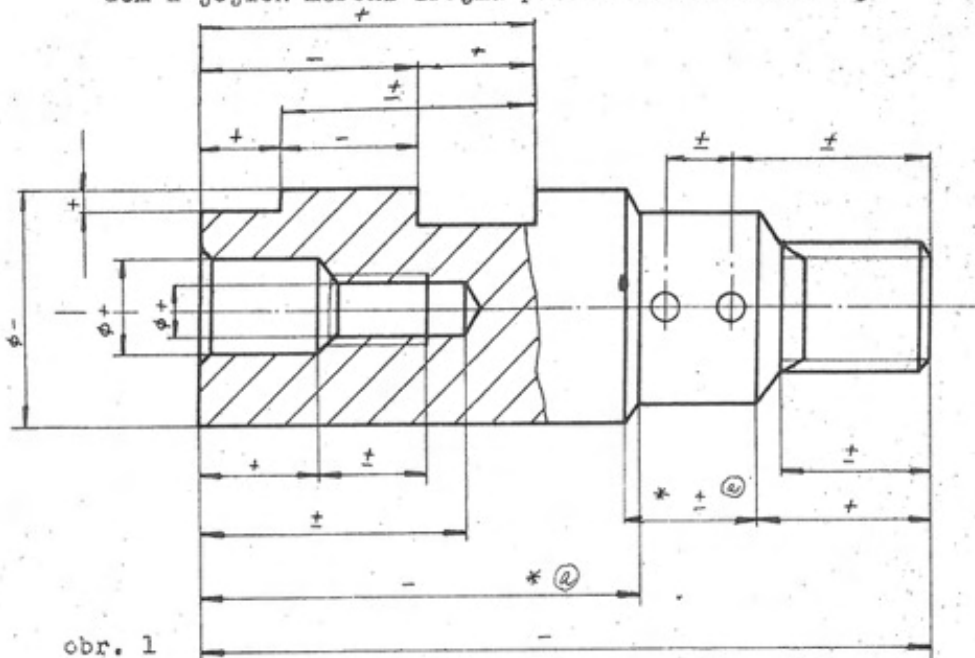
Seznam výkresů

výkres součásti: HRIDEL B1-0481-10257

výkres výkovku: SHAFT-FORGING 21381

I. VŠEOBECNĚ

1. Tato směrnice platí pro obroběné součásti a vztahuje se na každý jejich kótovaný rozměr, u kterého ve výrobních podmínkách nejsou uvedeny dovolené úchytky lícovacími značkami nebo číselnými hodnotami.
2. Směrnice stanoví mezní úchytky netolerovaných jmenovitých rozměrů. Tyto úchytky je možné dodržet bez zvláštních obtíží při obvyklé dílenské přesnosti, za použití běžných výrobních a měřicích prostředků.
3. U rozměrů, kde se dovolují větší úchytky než je stanoveno v tabulce I, musí být úchytky předepsány na výrobním podkladě, aby rozměry nebyly zhotoveny neekonomicky přesně.
4. Obecný příklad pro jednostrannou i oboustrannou úchytku je uveden na příkladu podle obr. 1. Úchytky + nebo - jsou předepsány na průměry válcových ploch. a pro rozměry, u nichž jest vzhledem k jejich měření zřejmá povaha díry nebo hřídele, i když se nejedná o tvar rotační. Úchytky ± jsou předepsány pro rozměry, u nichž není vzhledem k jejich měření zřejmá povaha hřídele ani díry.



II. ÚCHYLKY ROZMĚRŮ

5. Hodnoty mezních úchylek průměrů, délek, hloubky vrtání, délky závitů a roztečí.

② V případě kótování rozměru od hrany (nekolmé) sražení nebo osazení (viz kóty označené *) je tolerance rozměru dvojnásobkem tolerance uvedené v tabulce I.

Tabulka I.

Rozsah jmenovitých rozměrů	Mezní úchytky rozměrů				Hloubka vrtání a délka závitů		Rozteče, neurčitých případy	Rozteče vrtaných děr
	míry vnitřní		míry vnější		horní	dolní		
	⑥ dolní	horní	horní	dolní			②	
0,1- 0,3	0	+0,05	0	-0,05	+0,1	-0,05	± 0,025	± 0,025
0,3- 0,6	0	+0,06	0	-0,06	+0,2	-0,1	± 0,03	± 0,03
0,6- 1,0	0	+0,07	0	-0,07	+0,2	-0,1	± 0,035	± 0,035
1,0- 18,0	0	+0,1	0	-0,1	+0,4	-0,2	± 0,05	± 0,05
18,0- 80,0	0	+0,2	0	-0,2	+0,80	-0,40	± 0,1	± 0,1
80,0- 180,0	0	+0,3	0	-0,3			± 0,15	± 0,15
180,0- 315,0	0	+0,4	0	-0,4			± 0,20	± 0,20
315,0- 500,0	0	+0,5	0	-0,5	-	-	± 0,25	± 0,25
500,0- 800,0	0	+0,6	0	-0,6	-	-	± 0,30	± 0,30
800,0- 1000,0	0	+0,7	0	-0,7	-	-	± 0,35	± 0,35
1000,0- 1250,0	0	+0,8	0	-0,8	-	-	± 0,4	± 0,4
1250,0- 1600,0	0	+0,9	0	-0,9	-	-	± 0,45	± 0,45
1600,0- 2000,0	0	+1,0	0	-1,0	-	-	± 0,5	± 0,5
2000,0- 2500,0	0	+1,1	0	-1,1	-	-	± 0,55	± 0,55

⑥*) U vnitřních průměrů se připouští dolní mezní úchytky rozměrů (míry vnitřní) -0,05 v celém rozsahu jmenovitých rozměrů.

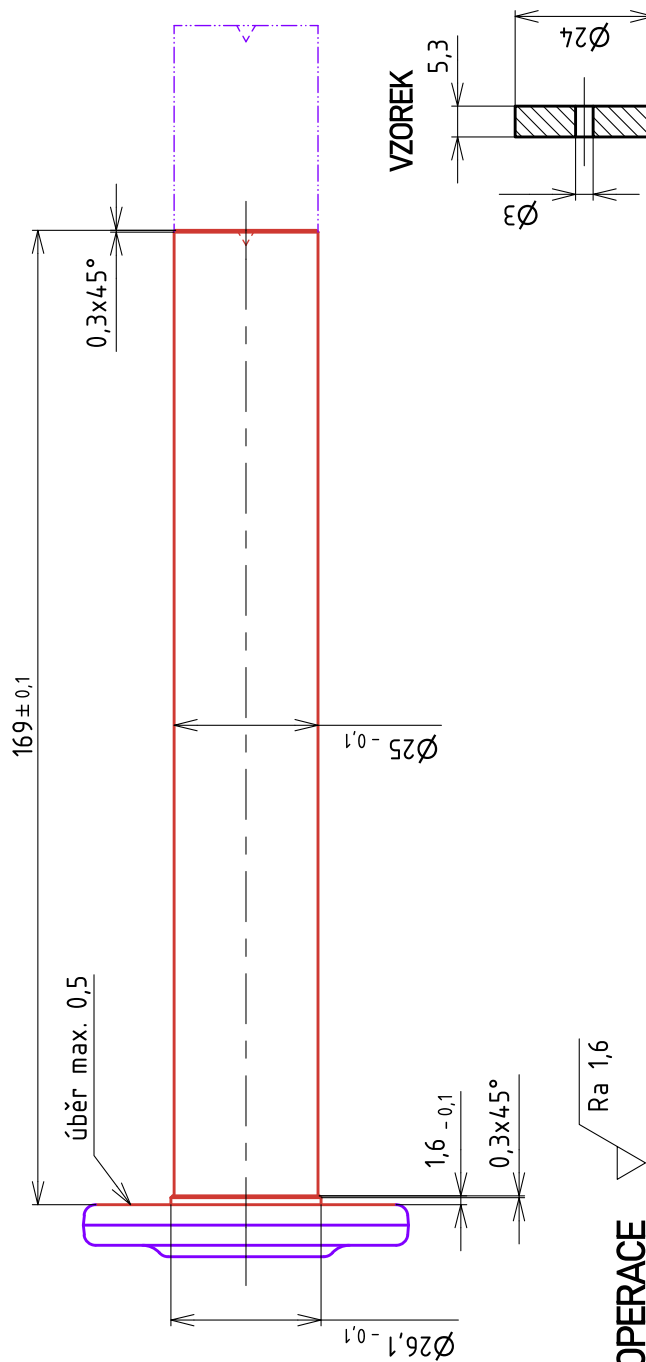
Odchytky od pravidelného geometrického tvaru (oválnost, kuželovitost atd.) všech povrchů s volnými rozměry se dovolují vyrábět v rozmezí třetiny tolerance pro daný netolerovaný rozměr. Pro odchytky tvaru a polohy rozměrů tolerovaných

hrotový soustruh SV 18 RA/750



oběžný průměr nad ložem	380 mm
oběžný průměr nad suportem	215 mm
vzdálenost hrotů (max. soustružená délka)	750 mm
max. hmotnost obrobku	300 kg
rozsah otáček soustružnického vřetena	14–2800 min ⁻¹ (21 rychlostních stupňů)
výkon motoru	7,5 kW
rozsah podélných posuvů	0,02–2,8 mm
rozsah příčných posuvů	0,01–1,4 mm
kužel vřetena	metrický kužel ME 50
kužel pinoly koníku	Morse kužel MK4

NÁVODKA Č. 20

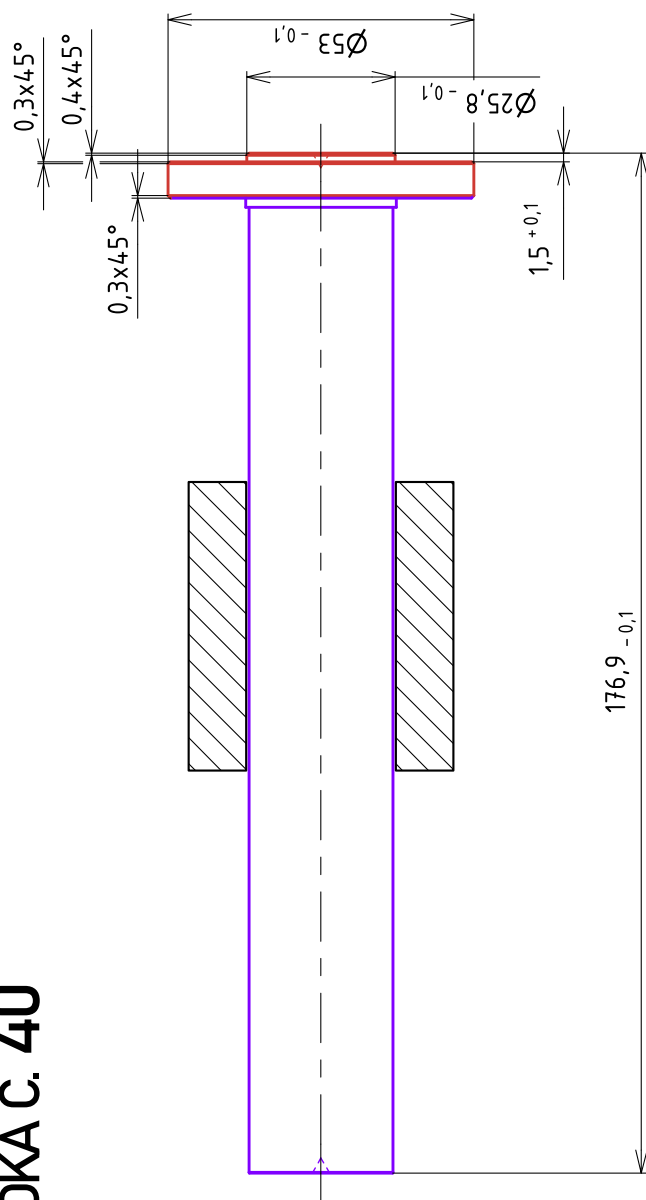


OPERACE

1. Upnout za surový $\varnothing 56,2$, navrtat pomocný středící důlek ISO 6411 – B 2 / 6,3 a podepřít hrotem
2. Přerovnat čelo hlavy s max. úběrem $0,5$ a soustružit podle návodky
3. Upíchnout na délku $L = 169 \pm 0,1$
4. Navrtat středící důlek ISO 6411 – B 2 / 6,3

Z odpíchnutého materiálu soustružit 2 ks vzorků

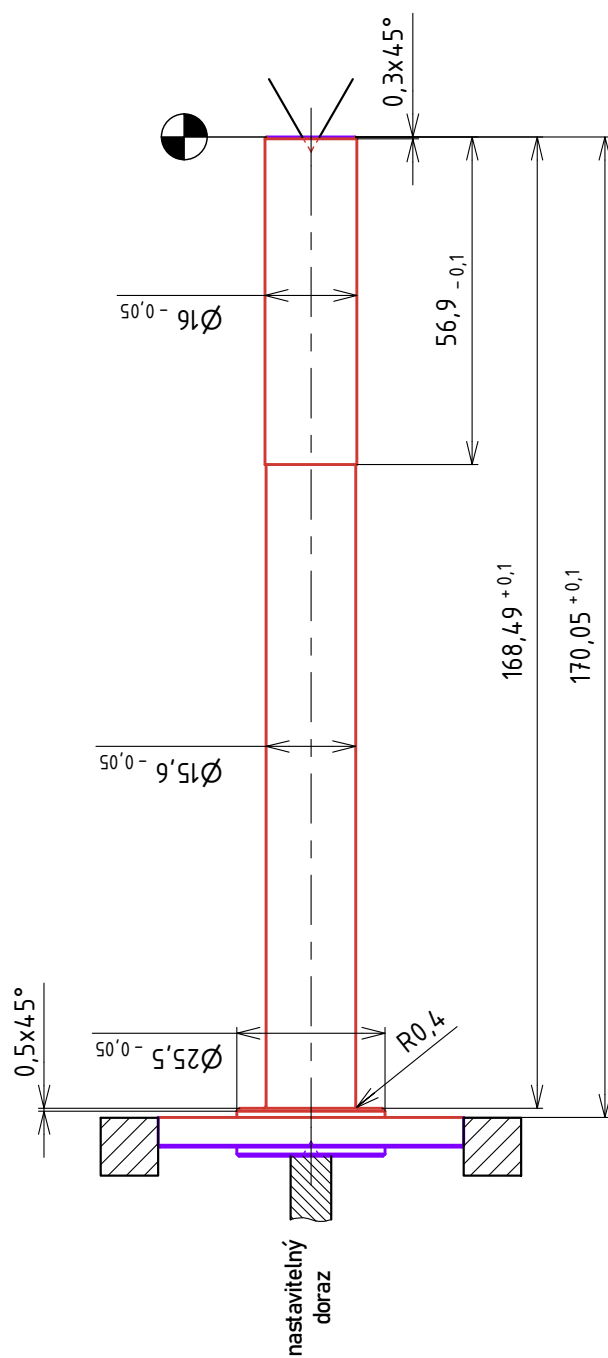
NÁVODKA Č. 40



OPERACE

1. Upnout
2. Zarovnat na celkovou délku $L = 176,9_{-0,1}$, soustružit podle návodky
3. Navrtat středící důlek ISO 6411 - B2 / 6,3

NÁVODKA Č. 60

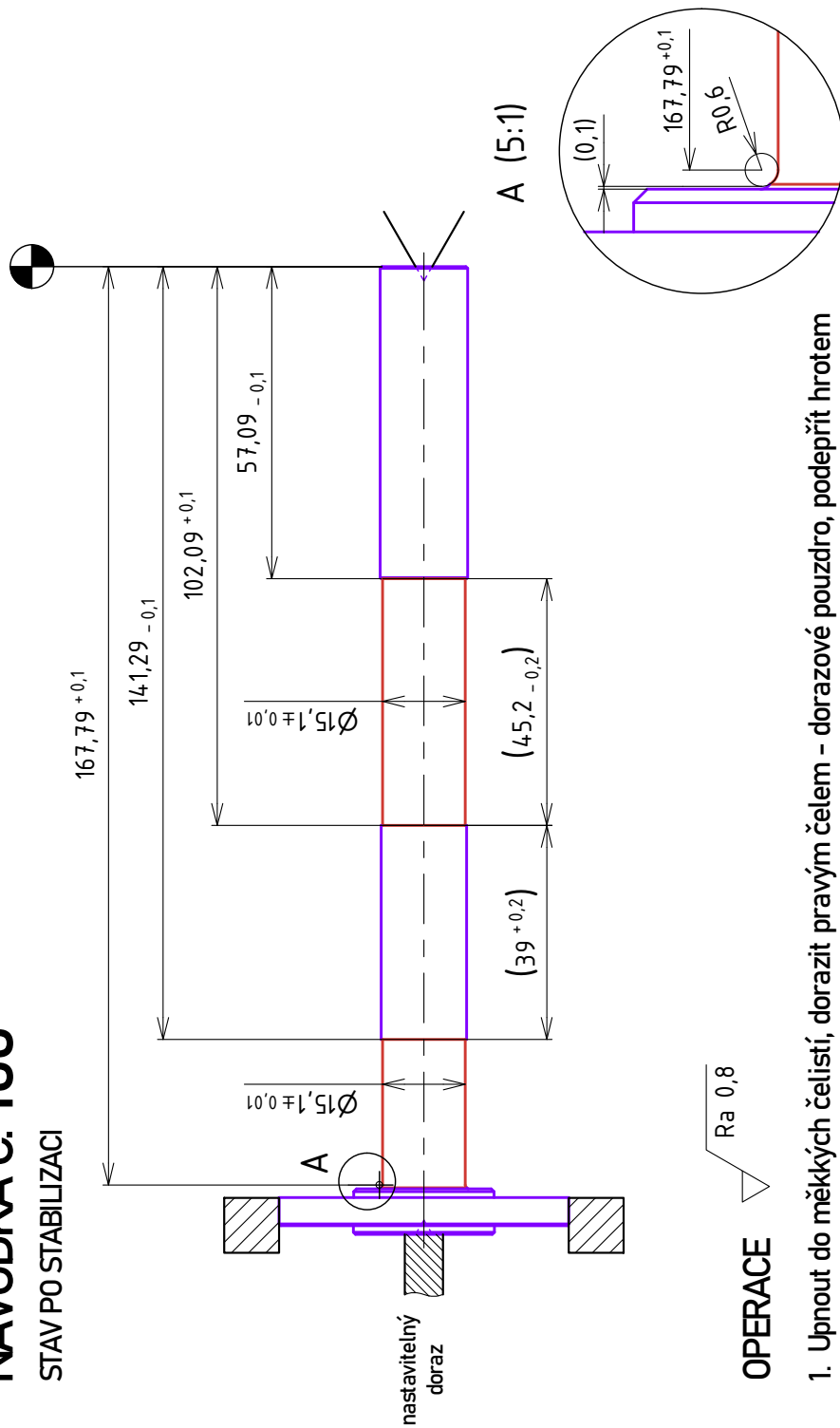


OPERACE

1. Upnout do měkkých čelistí, dorazit pravým čelem – dorazové pouzdro, podeprít hrotem
2. Soustružit konturu
3. Jemně srazit hranu na $\varnothing 53$ ručně brusným papírem (drsnost P120)

NÁVODKA Č. 100

STAV PO STABILIZACI

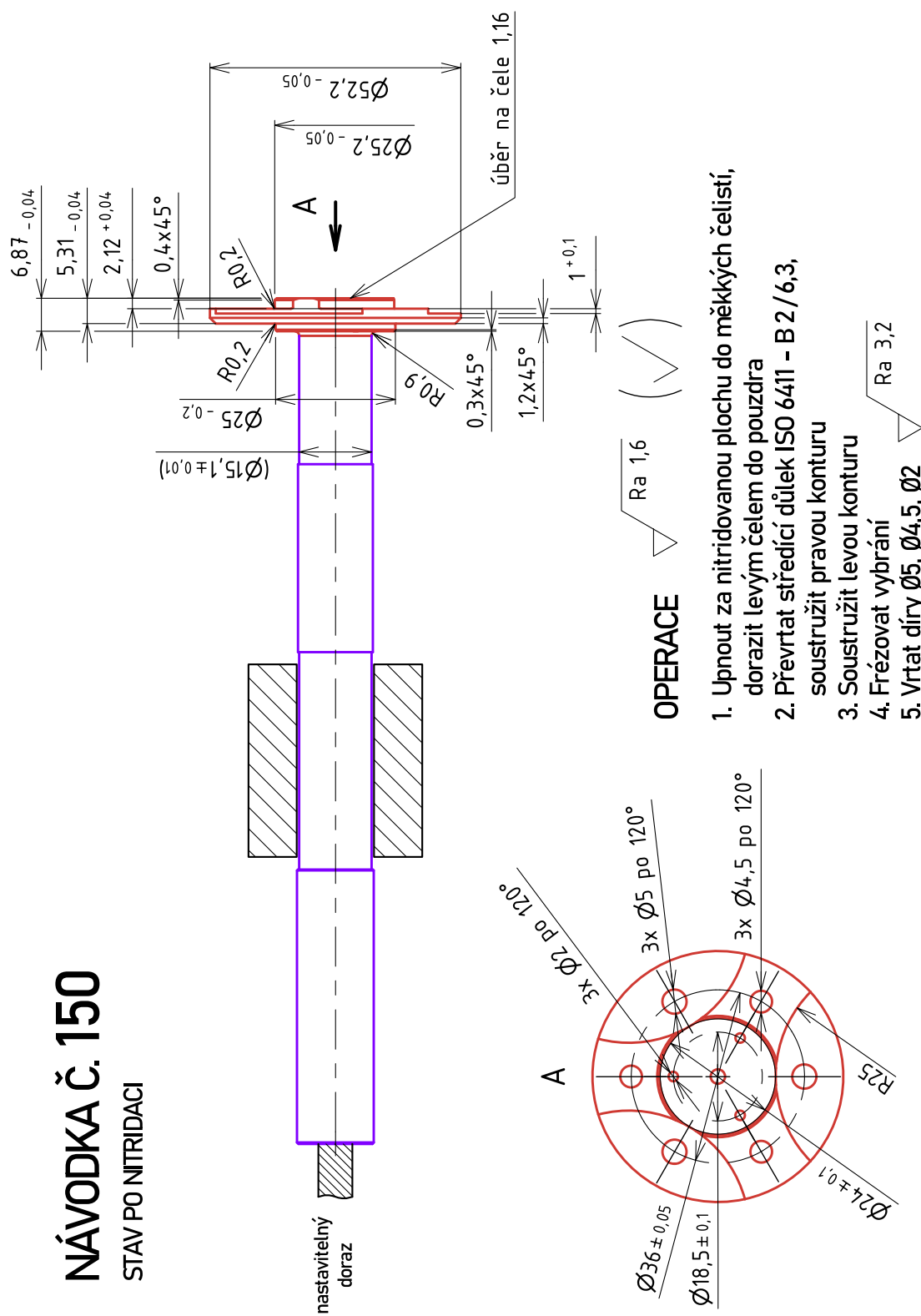


OPERACE

1. Upnout do měkkých čelistí, dorazit pravým čelem - dorazové pouzdro, podepřít hrotem
2. Soustružit konturu - odebrat pocínovanou vrstvu

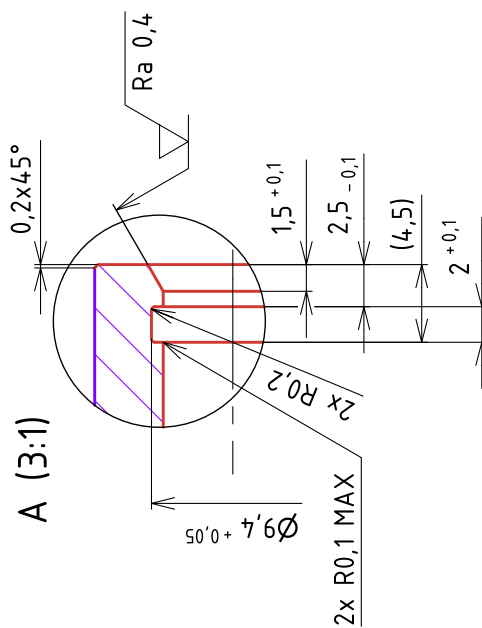
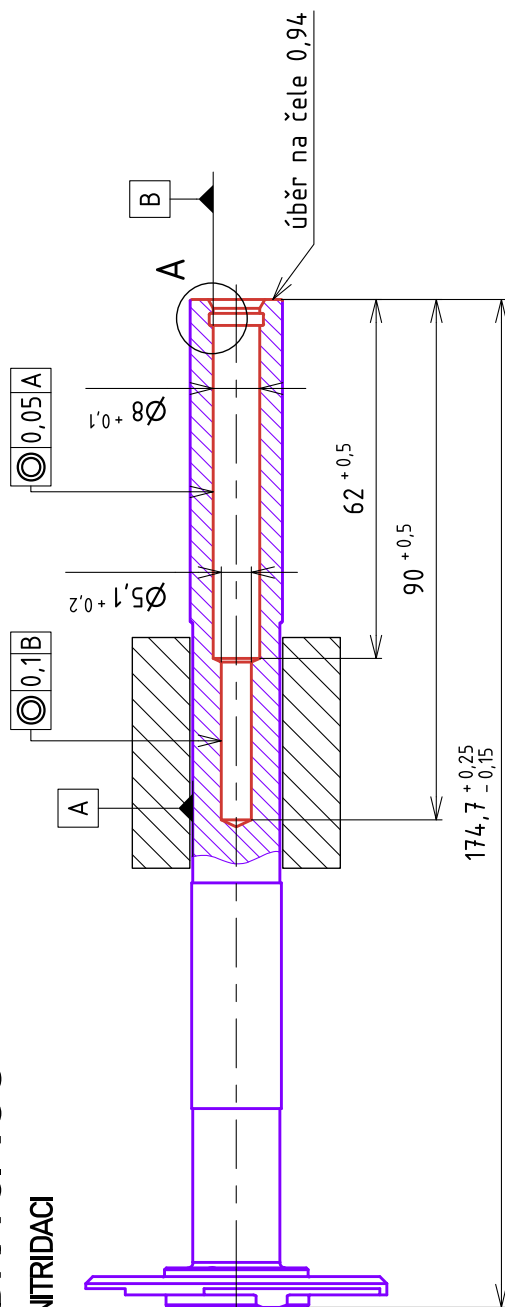
NÁVODKA Č. 150

STAV PO NITRIDACI

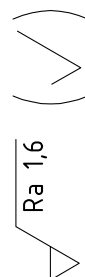


NÁVODKA Č. 160

STAV PO NITRIDACI



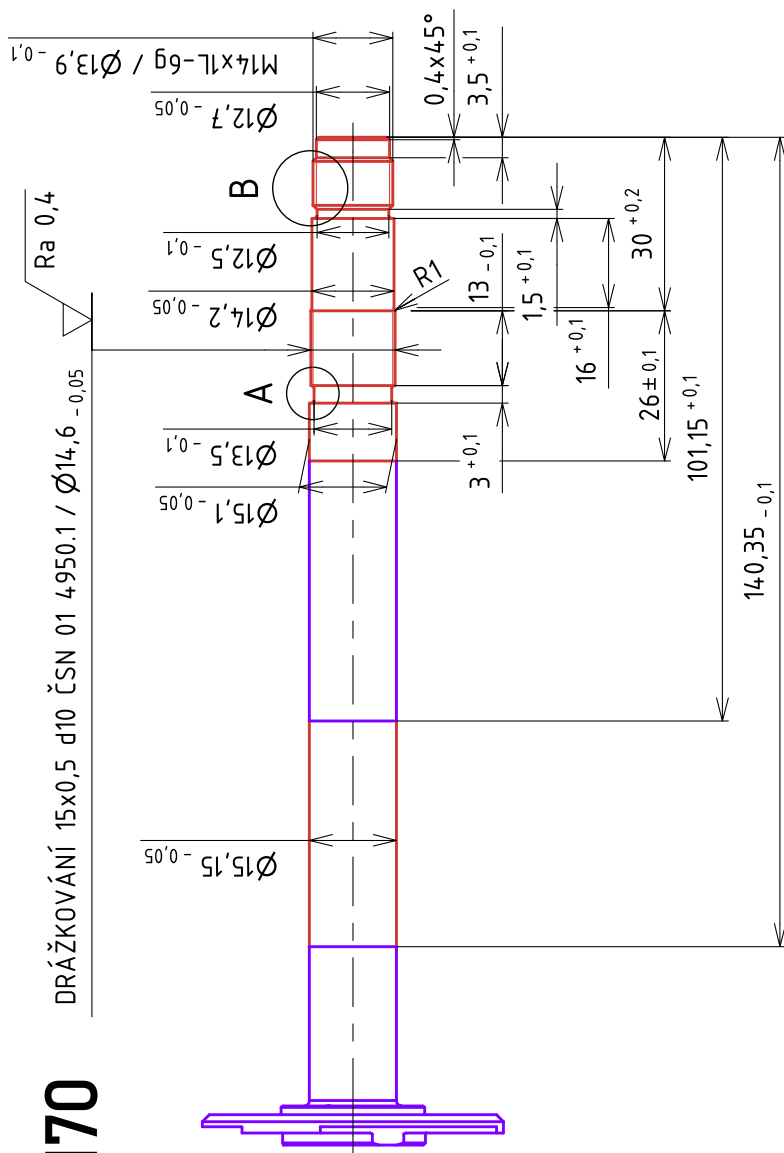
OPERACE



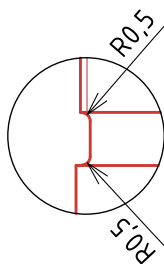
1. Upnout za nitridovanou plochu do měkkých čelistí, dorazit pravým čelem do pouzdra
2. Zarovnat levé čelo na celkovou délku $L = 174,7^{+0,25}_{-0,15}$, srazit hranu
3. Vrtat osový otvor $\varnothing 5,1^{+0,1}$ a $\varnothing 8^{+0,1}$
4. Přesoustružit povrch díry $\varnothing 8^{+0,1}$, soustružit vnitřní zápích a sražení 60°

NÁVODKA Č. 170

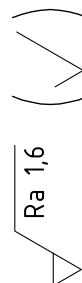
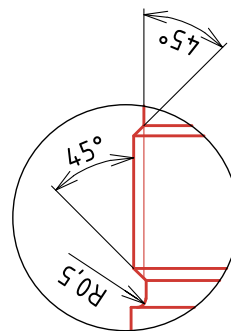
DRÁŽKOVÁNÍ 15x0,5 d10 ČSN 01 4950.1 / Ø14,6_{-0,05}



A (3:1)



B (3:1)

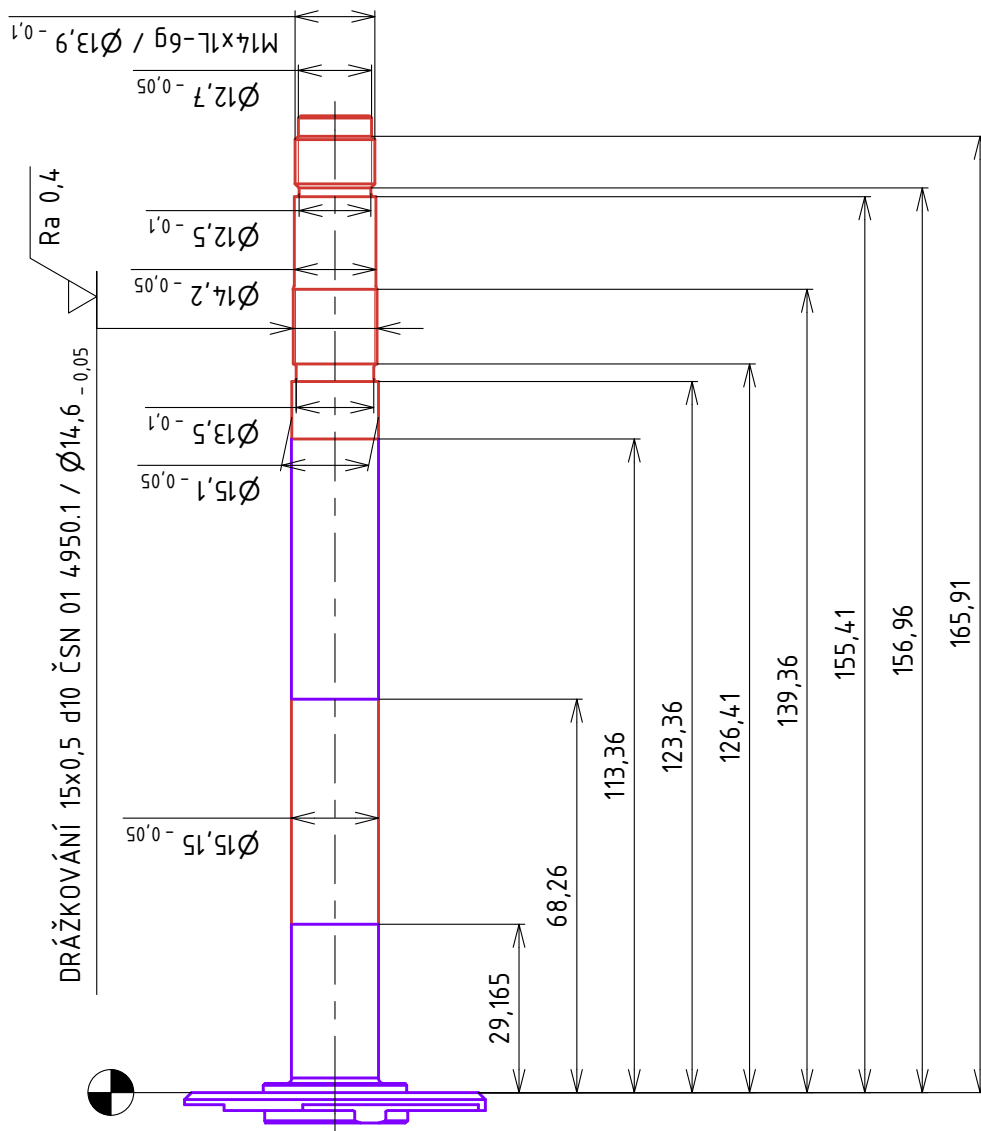


OPERACE

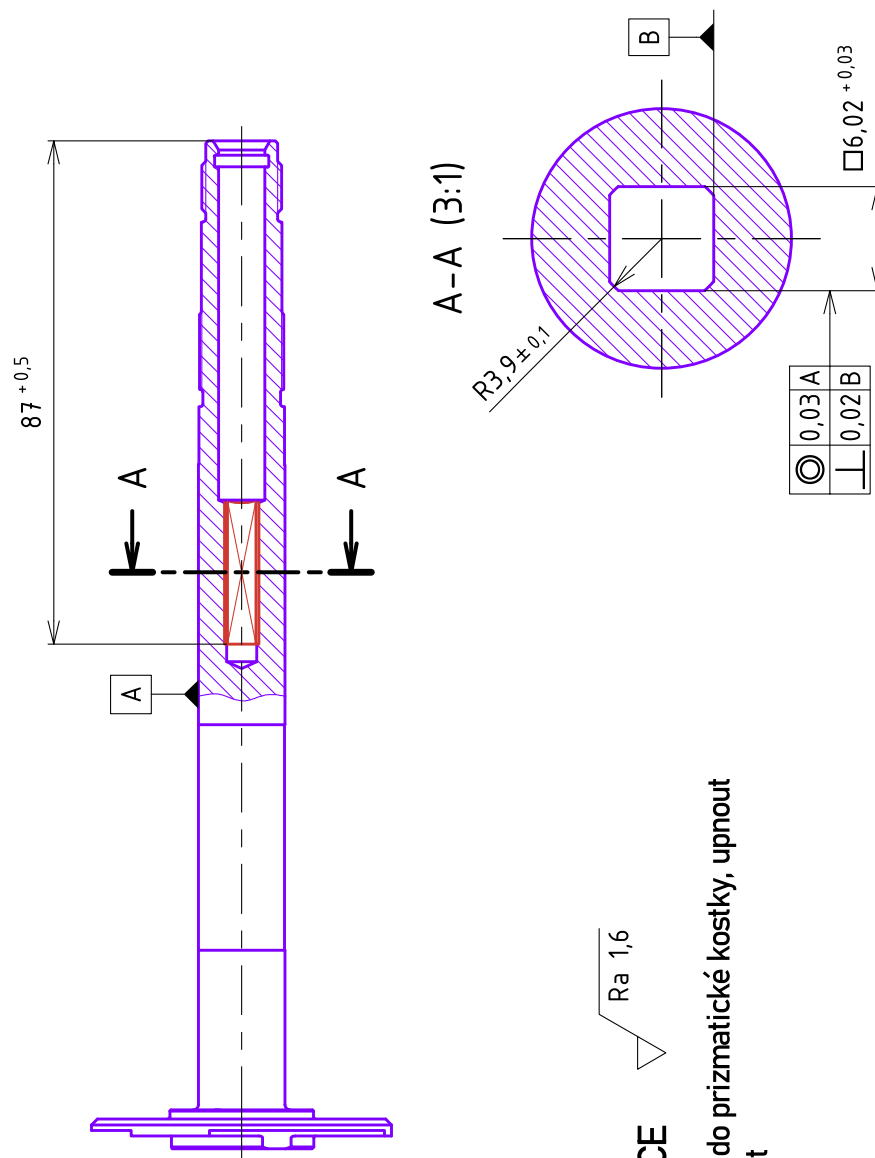
1. Upnout mezi hroty, unášet za díru Ø4,5
2. Soustružit konturu, zápichy
3. Řezat závit
4. Frézovat drážkování

NÁVODKA Č. 170-T

TECHNOLOGICKÉ DÉLKOVÉ KÓTY - PROGRAM



NÁVODKA Č. 210



OPERACE

1. Ustavit do prizmatické kostky, upnout
2. Vyjiskřit

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP						List: 1 / 7	
Artikl:	Alt.	Název	Výkres: B1-0481-10257				Postavení		
499501.029		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.					Dílec		
Dávky :	technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od / do	Modifikace	Změna od /do	Stav Poč. operací	
	5	0	0	334	7.4.2022 0:0	1	(PRVOTNI)	O 26	
Poznámka: 3V066653		Autor postupu		Schválil					
		Dubovský Jakub		Dvořáček Jan 6.4.2022					
Materiál - název		Artikl		Spotřební množství		MJ	% ztrát		
výk. 21381 Shaft-Forging		M16311702091899		1,0 ks			0		
Příznaky	Pracoviště	Středisko	Rozměr přezu	Ks	Kspolot	Příd. up.	Prořez	Hmotnost polot.	
+++++									
Poznámka : VYKOVEK 21381 VYKOVEK HRIDEL		Klíč: 45833							
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
10	0996001	Práce při zásobování	301		20,00 min. 0000		1,0		
		vydání materiálu			0,00 min. 0000				
VYDAT VÝKOVKY, VYSTAVIT VÝPIS ATESTU MATERIÁLU.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
20	0412505	Soustruh hrotový	331		30,00 min. 6120		1,0		
		soustružení			14,4021 min. 6120				
UPNOUT ZA SUROVÝ ϕ55, SOUSTRUŽIT Z LEVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 20:									
- NAVRTAT POMOCNÝ STŘEDÍCÍ DŮLEK ISO 6411 - B2/ 6,3, PODEPŘÍT HROTEM,									
- PŘEROVNAT ČELO HLAVY S ÚBĚREM MAX. 0,5,									
- ϕ25 SOUSTRUŽIT NA ϕ26,1-0,1 DO HL. 1,6-0,1,									
- DÁLE NA ϕ25-0,1,									
- SRAZIT HRANU 0,3x45°,									
- UPÍCHNOUT NA DÉLKU 169+-0,1 OD PŘEROVNEHÉHO ČELA HLAVY,									
- NAVRTAT STŘEDÍCÍ DŮLEK ISO 6411 - B2/6,3,									
*									
- Z ODPÍCHNUTÉHO MATERIÁLU SOUSTRUŽIT 2 KS VZORKŮ ϕ14x5,3 D3,									
- PŘEDAT 2 KS VZORKŮ NA NÁSLEDUJÍCÍ OPERACI.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
30	0561304	Bruska vodorovná	331		35,00 min. 5120		1,0		
		broušení			3,0202 min. 5120				
PŘEBROUSIT ČELA 2KS VZORKŮ NA OPRACOVÁNÍ Ra0,8, VZORKY NA POVRCHU OZNAČIT ČÍSLEM ID ELEKTROPEREM, VZORKY PŘILOŽIT K VÝROBNÍ DÁVCE.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
40	0412505	Soustruh hrotový	331		30,00 min. 5120		1,0		
		soustružení			13,00887 min. 5120				
UUPNOUT ZA OPRACOVANÝ ϕ25-0,1, SOUSTRUŽIT Z PRAVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 40:									
- ZAROVNAT PRAVÉ ČELO NA CELKOVOU DÉLKU 176,9-0,1,									
- ϕ25-0,004+0,005 NA ϕ25,8-0,1 DO HL. 1,55+0,1,									
- ϕ52j5 NA ϕ53-0,1,									
- SRAZIT HRANY 0,3x45°,									
PŘENĚST POŘADOVÉ ČÍSLO VÝKOVKU FIXEM, PŘILOŽIT 2 KS VZORKŮ,									
PŘEDAT VČETNĚ 2 KS VZORŮ NA NÁSLEDUJÍCÍ OPERACI.									
Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022									

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP						List: 2 / 7	
Artikl:	Alt.	Název	Výkres: B1-0481-10257				Postavení		
499501.029		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.					Dílec		
Dávky:	technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od / do	Modifikace	Změna od / do	Stav	Poč. operací
5	0	0	334	7.4.2022	0:0	1	(PRVOTNI)	O	26
Poznámka: 3V066653			Autor postupu		Schválil				
			Dubovský Jakob		Dvořáček Jan 6.4.2022				
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
50	0986001	Prace pri trideni,kontrola roz kontrola	302		20,00 min. 1,97 min.	0000 0000	1,0		
KONTROLOVAT 100% TVRDOST 300 AŽ 345 HB NA LEVÉM ČELE, VYSTAVIT TVRDOMER NAR-DLT-00474 PROTOKOL PŘEDAT VČETNĚ 2 KS VZORKŮ NA NÁSLEDUJÍCÍ OPERACI.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
60	4445603	Mazak Integrex i-300/1000 soustružení, frézování	331	L-4445602-0602	60,00 min. 14,36856 min.	5120 5120	1,0		
UPNOUIT DO MĚKKÝCH ČELISTÍ ZA PLOCHU $\pm 53+0,1$, DORAZIT DO POUZDRA, PODEPŘÍT HROTEM, SOUSTRUŽIT Z LEVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 60: - SOUSTRUŽIT NA $\pm 16-0,05$ DO DÉLKY $56,9-0,1$, - SRAZIT HRANU $0,3 \times 45^\circ$, - DÁLE NA $\pm 15,6-0,05$ DO DÉLKA $168,49+0,1$ V ROHU $R0,4$, - ± 25 NA $\pm 25,5-0,05$ DO DÉLKY $170,05+0,1$, - SRAZIT HRANU $0,2 \times 45^\circ$ NA $0,5 \times 45^\circ$, PŘENĚST POŘADOVÉ ČÍSLO VÝKOVKU FIXEM, PŘEDAT VČETNĚ 2 KS VZORŮ NA NÁSLEDUJÍCÍ OPERACI.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
70	9582301	TruMark Station 5000 popisování	331		15,00 min. 1,824 min.	5120 5120	1,0		
NA PRÁVÉ ČELO PŘENĚST MĚLKÝM GRAVÍROVÁNÍM ČÍSLO VÝKOVKU, VELIKOST PÍSMO 3, PŘEDAT VČETNĚ 2 KS VZORKŮ NA NÁSLEDUJÍCÍ OPERACI.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
80	2162801	Pec vakuová 15.0 VPT-4025 tepelné zpracování	332		0,00 min. 0,00 min.	6125 6125	1,0		
STABILIZOVAT: - $530^\circ - 20^\circ\text{C}$ PO DOBU 8 HODIN, - OCHLADIT, - OHŘÁT NA $510^\circ - 20^\circ$ PO DOBU 7 HODIN, - OCHLADIT. * STABILIZOVAT VČETNĚ VZORKŮ.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
90	0965501	Cínování cínování	301	I	0,00 min. 0,00 min.	0000 0000	1,0		
CÍNOVAT 8 AŽ $12\mu\text{m}$. * 2 KS VZORKŮ NECÍNOVAT.									
Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022									

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP						List: 3 / 7	
Artíkl:	Alt.	Název	Výkres: B1-0481-10257				Postavení		
499501.029		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.					Dílec		
technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od / do	Modifikace	Změna od /do	Stav	Poč. operací	
Dávky : 5	0	0	334	7.4.2022:0	1	(PRVOTNI)	O	26	
Poznámka: 3V066653		Autor postupu		Schválil					
		Dubovský Jakub		Dvořáček Jan		6.4.2022			
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
100	4445603	Mazak Integrex i-300/1000 soustružení, frézování	331 L-4445603-0606		45,00 min. 5120 6,16116 min. 5120	5120	1,0		
KONTROLOVAT PO STABILIZACI 100%, ZEJMÉNA HÁZENÍ - MAX. 0,08, UPNOUT DO MĚKKÝCH ČELISTÍ ZA PLOCHU $\approx 53+0,1$, DORAZIT DO POUZDRA, PODEPŘÍT HROTEM, SOUSTRUŽIT Z LEVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 100: - 2x $\approx 15-0,003$ NA $\approx 15,1+-0,01$, V ROHU U HLAVY R0,6, NEPOŠKODIT CÍNOVÁNÍ NA OSTATNÍCH PLOCHÁCH, PŘEDAT VČETNĚ 2 KS VZORŮ NA NÁSLEDUJÍCÍ OPERACI.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
110	0986001	Prace při třídění, kontrole roz kontrola	302		10,00 min. 0000 0,684 min. 0000	0000	1,0		
KONTROLOVAT ROZMĚRY PŘED NITRIDACÍ, PRO KONTROLU POUŽÍT BĚŽNÁ PASAMETR NAR-DLT-00255 KOMUNÁLNÍ MĚŘIDLA, PŘILOŽIT 2KS VZORKŮ. POSUVNE MERITKO NAR-DLT-00330									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
120	0942105	Práce zámečnické zámečnické práce	331		20,00 min. 5120 1,78 min. 5120	5120	1,0		
CHRÁNIT STŘEDÍCÍ DŮLKY PASTOU CONDURSAL N 523 A PŘÍPADNĚ OSTATNÍ POŠKOZENÉ PLOCHY.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
130	0999901	Externí kooperace 1 týden externí kooperace	301	E	0,00 min. 0,00 min.		1,0		
NITRIDOVAT DO HLUBKY 0,2-0,25, TVRDOST MIN. 750 HV, KONTROLOVAT HLUBKU NITRIDACE A TVRDOST NITRIDOVANÉ VRSTVY KONTROLOVAT NA VZORCÍCH - DOLOŽIT PROTOKOLEM, VRÁCENÉ VZORKY DO PBS ULOŽIT VE SKLADU A ZAEVIDOVAT.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
140	0986001	Prace při třídění, kontrole roz kontrola	302		20,00 min. 0000 3,09 min. 0000	0000	1,0		
KONTROLOVAT POČET KUSŮ A POŽADOVANOU DOKUMENTACI, NA ZBYTKU VZORKU ZAJISTIT PROVEDENÍ ŘEZU A VYHODNOTIT TLOUŠŤKU NITRIDOVANÉ VRSTVY 0,15 AŽ 0,25 TVRDOST NITRIDOVANÉ VRSTVY MIN. 750 HV, VYSTAVIT PROTOKOL.									
Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022									

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP						List: 4 / 7	
Artikl:	Alt.	Název	Výkres: B1-0481-10257				Postavení		
499501.029		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.					Dílec		
Dávky :	technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od / do	Modifikace	Změna od /do	Stav	Poč. operací
	5	0	0	334	7.4.2022:0	1	(PRVOTNI)	O	26
Poznámka: 3V066653			Autor postupu		Schválil				
			Dubovský Jakub		Dvořáček Jan 6.4.2022				
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
150	4445603	Mazak Integrex i-300/1000 soustružení	331		75,00 min. 5120	5120	1,0		
			L-SX-4464		20,44907 min. 5120				
KONTROLOVAT PO NITRIDACI 100%, ZEJMÉNA HÁZENÍ - MAX. 0,08, UPNOUT DO MĚKKÝCH ČELISTÍ ZA PLOCHU $\pm 15,1+0,01$ - LEVÝ ÚSEK, DORAZIT DO POUZDRA, SOUSTRUŽIT Z PRAVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 150: - REDUKOVAT STŘEDÍCÍ DŮLEK ISO 6411 - B2/6,3 - ZAROVNAT PRAVÉ ČELO (ÚBĚR CCA 1,16), - $\pm 25-0,004+0,005$ NA $\pm 25,2-0,05$ DO HL. 2,12+0,04 V ROHU R0,2, - $\pm 52\pm 5$ NA $\pm 52,2-0,05$ DO HL. 5,31-0,04, - SRAZIT HRANU $0,3 \times 45^\circ$ NA $0,4 \times 45^\circ$, - FRÉZOVAT HOTOVĚ VYBRÁNÍ 3x R25 DO HL. 1+0,1, - ČELO $\pm 15-0,003/ \pm 25$ DO HL. 6,87-0,04 V ROHU R0,9. - ± 25 HOTOVĚ NA $\pm 25-0,2$ DO HL. 5,31-0,04, - SRAZIT HRANU $0,2 \times 45^\circ$ NA $0,3 \times 45^\circ$ A $1 \times 45^\circ$ NA $1,2 \times 45^\circ$, VRTAT OTVORY: - 3x ± 5 , - 3x $\pm 5H7$ NA $\pm 4,5$, - 3x ± 2 , PŘENĚST ZNAČENÍ FIXEM.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
160	4445603	Mazak Integrex i-300/1000 soustružení, frézování	331		75,00 min. 5120	5120	1,0		
			L-SX-4465		24,9165 min. 5120				
UPNOUT DO MĚKKÝCH ČELISTÍ ZA PLOCHU $\pm 15,1+0,01$ - LEVÝ ÚSEK, VALECKOVY KALIBR B3-081-70241 DORAZIT DO POUZDRA, SOUSTRUŽIT Z LEVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 160: - ZAROVNAT LEVÉ ČELO NA CELKOVOU DÉLKU $174,7+0,25-0,15$ (ÚBĚR CCA 0,94), - SRAZIT HRANU $0,2 \times 45^\circ$, OSOVÝ OTVOR: - VRTAT $\pm 5,1+0,2$, - VRTAT $\pm 8+0,1$, OTVOR PŘESOUSTRUŽIT, - SOUSTRUŽIT VNITŘNÍ ZÁPICH A SRAŽENÍ 60° PODLE DETAILU A.									
<hr/> Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022									

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP					List: 5 / 7		
Artikl:	Alt.	Název	Výkres: B1-0481-10257			Postavení			
499501.029		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.				Dílec			
Dávky :	technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od / do	Modifikace	Změna od /do	Stav	Poč. operací
	5	0	0	334	7.4.20220:0	1	(PRVOTNI)	O	26
Poznámka: 3V066653		Autor postupu		Schválil					
		Dubovský Jakub		Dvořáček Jan		6.4.2022			
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
170	4445603	Mazak Integrex i-300/1000	331		90,00 min. 5120	5120	1,0		
		soustružení, frézování	L-SX-4466		38,51724 min. 5120				
UPNOUT MEZI HROTY, UNÁŠET ZA HLAVOVÝ OTVOR 4,5, SOUSTRUŽIT Z LEVÉ STRANY DLE NÁVODKY Č. 170 - TECHNOLOGICKÉ DÉLKOVÉ ROZMĚRY V Č. 170-T:					FREZA ODVALOVACI G22-138-3 G22-138-3				
- $\varnothing 12,5-0,1$ NA $\varnothing 12,7-0,05$,									
- $\varnothing 14g6$ NA $\varnothing 14,2-0,05$									
- $\varnothing 14,9f8$ NA $\varnothing 15,1-0,05$,									
HOTOVĚ:									
- SOUSTRUŽIT ZÁPICH 1,5 ZA ZÁVITEM A ZÁPICH 3 ZA DRÁŽKOVÁNÍM,									
- M14x1L-6g: SOUSTRUŽIT PLOCHU NA $\varnothing 13,9-0,1$, ŘEZAT ZÁVIT,									
- DRÁŽKOVÁNÍ: SOUSTRUŽIT PLOCHU NA $\varnothing 14,6-0,05$, FRÉZOVAT DRÁŽKOVÁNÍ 15x0,5 d10 ČSN 01 4950.1,									
- SOUSTRUŽIT $\varnothing 14,95-0,05$,									
- SRAZIT HRANU 0,4x45°.									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
180	0942105	Práce zámečnické	331		10,00 min. 5120	5120	1,0		
		zámečnické práce			5,13456 min. 5120				
ODJEHLIT:									
- 3x OTVOR $\varnothing 2$,									
- 3x OTVOR $\varnothing 5$,									
- 3x OTVOR $\varnothing 5H7$,									
- 3x VYBRÁNÍ R25									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
190	3552301	Studer S31 CNC	331		45,00 min. 6120	6120	1,0		
		broušení			45,28616 min. 6120				
UPNOUT MEZI HROTY, UNÁŠET ZA HLAVOVÝ OTVOR $\varnothing 4,5$, BROUSIT Z LEVÉ STRANY HOTOVĚ (PŘÍDAVKY Z PŘEDCHOZÍ OPERACE 0,1 NA PLOCHU) DLE NÁVODKY Č. 190:									
- $\varnothing 12,5-0,1$,									
- $\varnothing 14,6g6$,									
- $\varnothing 14,9f8$,									
- 2x $\varnothing 15-0,003$,									
- $\varnothing 14,95$,									
- ČELO $\varnothing 15-0,003/ \varnothing 25$ V ROHU R1-0,2,									
- ČELO $\varnothing 25/ \varnothing 52j5$,									
*POZOR, $\varnothing 15+0,003$ NA LEVÉ STRANĚ MUSÍ BÝT BROUŠEN NA STEJNOU NEBO MENŠÍ HODNOTU JAKO DRUHÝ $\varnothing 15-0,003$ Z DŮVODU MONTÁŽE LOŽÍSKA.									
Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022									

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP						List: 6 / 7	
Artikl:	Alt.	Název	Výkres: B1-0481-10257				Postavení		
499501.029		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.					Dílec		
Dávky :	technologická	minimální	maximální	Kmen. středisko	Platí od / do	Modifikace	Změna od /do	Stav Poč. operací	
	5	0	0	334	7.4.20220:0	1	(PRVOTNI)	O 26	
Poznámka: 3V066653		Autor postupu		Schválil					
		Dubovský Jakub		Dvořáček Jan		6.4.2022			
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
200	3552301	Studer S31 CNC	331		45,00 min. 6120	6120	1,0		
	broušení				14,85505 min. 6120				
<p>UPNOUT MEZI HROTY, UNÁŠET SRDCEM, BROUSIT Z PRAVÉ STRANY HOTOVĚ (PŘÍDAVKY Z PŘEDCHOZÍ OPERACE 0,1 NA PLOCHU) DLE NÁVODKY Č. 200:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ρ52j5, - ČELO ρ25-0,004+0,005/ ρ52j5, - ρ25-0,004+0,005. 									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
210	9592501	EXERON EDM 313	331		60,00 min. 6125	6125	1,0		
	vyjiskřování				67,0776 min. 6125				
<p>VYJISKŘIT ČTYŘHRAN PODLE ŘEZU A-A DLE NÁVODKY Č. 210.</p> <p>DRZAK ELEKTRODY PRO EXERON 183-66635 ELEKTRODA PRO EXERON 183-66636 KALIBR B2-081-70242 KALIBR ČTYŘHRAN 5,98 OBOUSTRANNÝ B2-081-70463 PRIPRAVEK B1-081-70157 B1-081-70157 UPINAC B1-081-60377</p>									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
220	0412505	Soustruh hrotový	331		30,00 min. 6120	6120	1,0		
	soustružení				10,14 min. 6120				
<p>UPNOUT MEZI HROTY, LEŠTIT Z LEVÉ STRANY, VŠECHNY HRANY NA Ra0,2 U:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ø14g6, - Ø14,9f8, <p>LEŠTIT A ZAOBLIT HRANY NA Ra0,2 U:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2x ρ15-0,003, <p>LEŠTIT NA Ra0,2:</p> <ul style="list-style-type: none"> - VŠECHNY ZÁPICHY, - R1-0,2 U ρ15,003 - NEPOŠKODIT PŘILEHLÉ ČELO ρ15-0,003/ ρ25. 									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
230	9582301	TruMark Station 5000	331		15,00 min. 5120	5120	1,0		
	popisování				1,7328 min. 5120				
<p>OZNAČIT LASEREM ZABARVENÍM POVRCHU ČÍSLO SOUČÁSTI, VÝROBNÍ ČÍSLO KUSU A PŘENĚST POŘADOVÉ ČÍSLO VÝKOVKU, VELIKOST PÍSMO 3.</p>									
Operace	Pracoviště	Název pracoviště	Středisko / NC	Kooperace	TBC / TAC	Tarif	KVO / Čas d.		
240	2868201	Defektoskopie magneticka	102		25,00 min. 5120	5120	1,0		
	kontrola				7,668 min. 5120				
<p>KONTROLOVAT NA TRHLINKY ELEKTROMAGNETEM DLE QSD 10.07, NÁVODKA PP DEF 013 MTS, TRHLINKY NEJSOU DOVOLENY.</p>									
<p>Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022</p>									

PBS Velká Bíteš, a. s.		TECHNOLOGICKÝ POSTUP						List: 7 / 7	
Artíkl: 499501.029	<i>Alt.</i>	<i>Název</i>	<i>Výkres:</i> B1-0481-10257			<i>Postavení</i>			
		HŘÍDEL 481145.11 - OVĚŘENÍ T.P.				Dílec			
<i>technologická</i>	<i>minimální</i>	<i>maximální</i>	<i>Kmen. středisko</i>	<i>Platí od / do</i>	<i>Modifikace</i>	<i>Změna od / do</i>	<i>Stav</i>	<i>Poč. operací</i>	
<i>Dávky :</i> 5	0	0	334	7.4.2022:0	1	(PRVOTNI)	O	26	
<i>Poznámka:</i> 3V066653		<i>Autor postupu</i> Dubovský Jakub		<i>Schválil</i> Dvořáček Jan 6.4.2022					
<i>Operace</i>	<i>Pracoviště</i>	<i>Název pracoviště</i>	<i>Středisko / NC</i>	<i>Kooperace</i>	<i>TBC / TAC</i>	<i>Tarif</i>	<i>KVO / Čas d.</i>		
250	0942105	Práce zámečnické zámečnické práce	331		10,00 min. 4120 1,9152 min. 4120	4120	1,0		
ŘÁDNĚ ODMAGNETOVAT, ZBYTKOVÝ MAGNETISMUS MAX.200 Am-1, KONTROLOVAT NA $\approx 15-0,003$ (2x).									
<i>Operace</i>	<i>Pracoviště</i>	<i>Název pracoviště</i>	<i>Středisko / NC</i>	<i>Kooperace</i>	<i>TBC / TAC</i>	<i>Tarif</i>	<i>KVO / Čas d.</i>		
260	0986001	Prace pri trideni,kontrola roz kontrola	302		30,00 min. 0000 24,13 min. 0000	0000	1,0		
KONTROLOVAT DLE VÝKRESU PRO Č.Č.481145.11/D, O VÝSLEDKU INFORMOVAT TO, OTVORY 3x $\approx 5H7$ BUDOU DOHOTOVENY PŘI MONTÁŽI.					HLOUBKOMER NAR-DLT-00093 KALIBR B2-081-70242 KONTROLNI PRIPRAVEK-TVARU TRUBKY B2-081-70357 MERIDLO G25-115-2 MIKROMETR MAHR NAR-DLT-00216 PACKOVY UCHYLKOMER NAR-DLT-00246 PASAMETR NAR-DLT-00255 POSUVNE MERITKO NAR-DLT-00330 PRIPRAVEK B1-081-70157 B1-081-70157 VALECKOVY KALIBR B3-081-70241 ZAVITOVY KALIBR NAR-DLT-00576				
Vytiskl: Dvořáček Jan Dne: 17.5.2022									

Příloha 5
Výstupní metrologický protokol

Typ: TE 100G, SAFÍR SK/G MI		KONTROLNÍ LIST		Číslo částí: 481145,11/1		Index změny: d	
Číslo kusu: 187867.2.1		Datum: 09.05.2022		Podpis:		Čís. oddělení-vady: 45	
Závěrečná kontrola: Vyhovuje		Název: HRÍDEL		Datum, podpis		Datum, podpis	
KONTROLA MATERIÁLU							
Kontrola polotovaru		Výsledek		Datum, podpis		Povrchové vady	
Výkovek 21381		Vyhovuje		El. magnet		Výsledek	
KONTROLA ROZMĚROVÁ							
Index rozměru		Předpis		Změřeno		Předpis	
				Index rozměru		Změřeno	
A2		168±0,1		S1	∅0,02	C,D	0,02
A3		4,5 ^{+0,02}		S2	∅0,05	C,D	0,04
				S3	∅0,03	E	0,03
C1		R1 _{0,2} LEŠTIT	vyhovuje				
D1		∅14 g6 (^{+0,006} _{-0,017})					
D2		∅15 _{-0,003}	14,999				
D3		∅15 _{-0,003}	14,999				
D4		∅25 ^{+0,002} _{-0,004}	25,001				
D5		∅52 j5 (^{+0,006} _{-0,007})	52,003				
D6		□6 ^{+0,03}	6,02				
D8		∅18,5 (±0,1) *	18,54				
E1		0,002/∅20 C,D	0,002				
E2		0,005/∅50 C,D	0,004				
F1		0,002 C,D	0,002				
F2		0,005 C,D	0,004				
F3		0,002 C,D	0,002				
F4		0,002 C,D	0,002				
F5		0,005 C,D	0,003				
F6		0,005 C,D	0,003				
G1		0,001	0,001				
G2		0,001	0,001				
P1		Ra 0,2	Vizuálně vyhovuje				
R1		0,005	0,004				
				Kontrola zbytkového magnetizmu		MAX. 200 Am ⁻¹	
				Kontrola nitrace na vzorku		Kontrola nitrace na vzorku	
				Hloubka		0,2 – 0,25	
				Tvrdość HV		MIN 750 HV	
				*) DLE KS-001/72			
Kontrola rozměrová		Výsledek		Datum, podpis		Datum, podpis	
		vyhovuje					

