

## Porovnání nástrojových upínačů s ohledem na řezné síly a jakost obrobeného povrchu při frézování austenitické oceli

Janda, Zdeněk, Ing., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638516, zjanda@kto.zcu.cz;

Fulemová, Jaroslava, Ing., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638515, fulemova@kto.zcu.cz;

Švec, Jan, Ing., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638512, visis@kto.zcu.cz

Řehoř Jan, Ing., Ph.D., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638500, rehor4@kto.zcu.cz ;

**V současné době existuje celá řada upínačů nástrojů, které fungují na různých fyzikálních principech. Jednotlivé druhy upínačů se proto od sebe navzájem liší. Rozdíl může být jak v pořizovací ceně, tak v kvalitě upnutí nástroje. Zejména kvalita upnutí nástroje hraje největší roli při volbě upínače pro požadovanou aplikaci, neboť ta může ve výsledku ovlivnit samotný řezný proces a tím i jakost obrobeného povrchu. Obsahem tohoto článku je porovnání tří různých druhů nástrojových upínačů s ohledem na řezné síly a kvalitu obrobeného povrchu při frézování austenitické korozivzdorné oceli.**

→ Klíčová slova: upnutí nástroje, řezné síly, jakost obrobeného povrchu, frézování

### 1 Úvod

Pro dosažení hospodárných úběrů obráběného materiálu je důležité, aby frézovací nástroje pracovaly s vyššími hodnotami řezných i posuvových rychlostí. Vysoká řezná rychlost vyžaduje vysoké otáčky vřetena obráběcího stroje, a to zejména u nástrojů menších průměrů. Vysoká posuvová rychlost způsobuje velké ohybové namáhání sestavy (nástroj – upínač), zejména při obrábění s velkým vyložením nástroje. V takových případech musí zvolený upínač splňovat řadu základních podmínek, musí mít: vysokou pevnost v ohybu; být dokonale dynamicky vyvážen; zaručovat přesné upnutí s minimálním obvodovým házením nástroje; mít schopnost tlumit vibrace; přivádět řeznou kapalinu přímo do místa řezu; umožňovat krátké časy upínání i uvolňování nástroje; dosahovat vysokou životnost při nízkých provozních nákladech a v neposlední řadě vytvářet předpoklady pro snadnou a bezpečnou obsluhu.

Mimo podmínek, které musí upínače splňovat existuje i několik požadavků, které jsou na ně kladeny. Jsou to: dostatečná upínací síla i při vysokých otáčkách; přesnost upnutí (obvodové házení) nástroje; hodnota vyvážení upínače. Upínače mohou plnit také ochrannou funkci, například tím, že svojí konstrukcí dokážou tlumit vibrace vznikající při obrábění, čímž nejen chrání vřeteno stroje, ale také zabraňují vzniku „mikrovýlomků“ na břitu nástroje, tím prodlužují jeho životnost a ve výsledku snižují náklady na celou operaci obrábění. Vliv použitého upínače na trvanlivost nástroje byl v dostupných zdrojích již částečně popsán a je patrný z obrázku 1.

Úkolem tohoto příspěvku je naznačit možný vliv použitého nástrojového upínače na další charakteristické ukazatele řezného procesu, jakými jsou například řezné síly a jakost obrobeného povrchu (drsnost, geometrická přesnost).

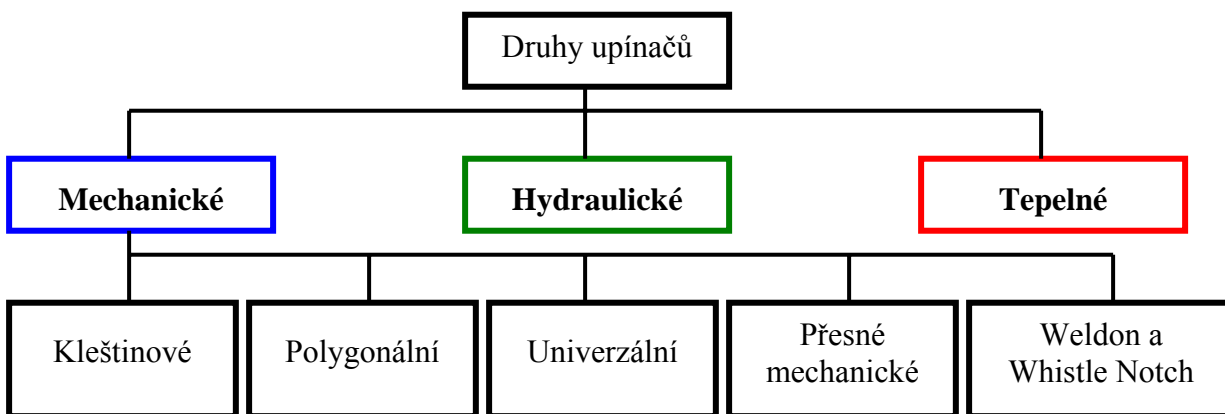


Obr.1 Vliv použitého upínače na trvanlivost nástroje [2]

Fig.1 Influence of used toolholder on tool life [2]

### 1.2 Typy upínačů

V dnešní době existuje celá řada upínačů pro rotační nástroje, které pracují na různých fyzikálních principech. Upínače se dají obecně rozdělit do 3 základních skupin - mechanické, hydraulické a tepelné, viz. obr.2.



Obr.2 Druhy upínačů rotačních nástrojů  
Fig.2 Types of toolholders

**Mechanické upínače** - tyto nejsou zcela vhodné pro moderní nástroje, jelikož nedovolují plně využít vlastností nástrojů a snižují jejich životnost. Využití nacházejí především ve specifických aplikacích, hlavně z důvodu příznivého poměru cena – výkon. [19],[20] Důvody nevhodnosti použití mechanického upínače pro moderní technologie obrábění: nedostatečná upínací síla, která způsobuje možné vypadnutí nástroje při pracovní operaci; nevyhovující pevnost v ohybu a nedostačující dynamická vyváženost, což má za následek chvění nástroje a podstatné snížení jeho životnosti; vysoká obvodová házivost, která se podílí na snížení životnosti nástroje; nedostatečné tlumení vibrací; vysoká celková házivost

**Hydraulické upínače** - pracují na principu deformace vnitřní membrány působením hydraulického tlaku. Tlak kapaliny vyvozuje upínací sílu. Výhodami hydraulických upínačů jsou: přesné upnutí nástroje s opakovatelností  $\leq 0,003$  mm; tlumení vibrací; samosvorný regulační šroub; robustní mechanika; vysoká odolnost vůči znečištění; utěsněný mechanismus pro tlaky chladicí kapaliny do 100 bar; dynamické testy až do 100 000 ot./min bez závady.

**Tepelné upínače** - pracují na principu tepelné roztažnosti kovů při vysokých teplotách. Pomocí vysokofrekvenční indukční cívky se upínač velmi rychle ohřeje přesně na místě, kde se nástroj upíná. Tepelná pouzdra jsou vyrobena z materiálu, jehož ohřevem dojde ke zvetšení otvoru pro upnutí nástroje. Po vsunutí nástroje se upínač musí nechat ochladit, a to buď přirozenou cestou (časově náročné), nebo nuceně (chladicí systém). Výsledkem procesu smrštění je téměř homogenní nástroj s vysokou přesností upnutí, velkými přenášenými kroutícími momenty a velmi dobrým poměrem mezi radiální tuhostí a vnějším tvarem upínače. Velkou výhodou tepelných upínačů je jejich jednoduchá konstrukce a s ní související nízké výrobní náklady. Do tepelných upínačů lze upnout i nástroje, jejichž stopka má vyfrézovanou upínací plošku – např. Weldon, Whistle Notch. Různé typy a velikosti prodlužovacích nástavců umožňují teleskopické uspořádání tepelně smrštitelných upínačů. Výhody tepelného upínání: obvodové házení nástroje 0,003 mm; vysoká upínací síla vysoká životnost upínacích držáků; dobré vystředění prodlužuje životnost nástroje i vřeten; dobrá kvalita povrchu díky vysoké tuhosti a přesnosti upnutí; rychlejší upnutí a uvolnění nástroje; přenos vysokého kroutícího momentu; použití pro nejvyšší otáčky

## 2 Charakteristika experimentu

Veškeré experimentální testování probíhalo na tříosé frézovacím centru MCV 750A od výrobce Kovošvit a.s. Sezimovo Ústí. Testovány byly tři nástrojové upínače, každý fungující na odlišném principu. Jednalo se o mechanicko-plastický, hydraulicko-mechanický a tepelný upínač. Jejich bližší charakteristika je uvedena níže. Jako nástroj byla použita stopková fréza o průměru 32mm a celkové délce 190mm se dvěma vyměnitelnými břitovými destičkami ze SK ( $\varnothing$  12mm) od společnosti Sandvik. Jednalo se o sousledné frézování řádkovacím způsobem po vrstevnici za sucha. Řezné podmínky byly zvoleny z intervalu doporučeného výrobcem nástroje a jsou uvedeny v následující tabulce. Experimentální obrobek byl upnut na tříšložkovém dynamometru pro měření řezných sil od společnosti Kistler. K měření geometrické přesnosti byla použita dotyková analogová sonda SP2-1 RENISHAW. Během experimentu se mimo upnutí nástroje měnilo i jeho vyložení. Jeho volba byla omezena hloubkou tepelného upínače, která dovolila nejmenší možné vyložení o hodnotě 128mm a dále minimální upínací délkou pro hydraulicko-mechanický upínač, která je 44,5 mm. Interval možného vyložení byl tedy 128 – 145,5 mm.

Byly zvoleny tři hodnoty vyložení (odstupňované po 5 mm): 128, 133 a 138 mm. Vliv vyložení nástroje na řezný proces však není obsahem tohoto článku.

Tab.1 Řezné a technické podmínky

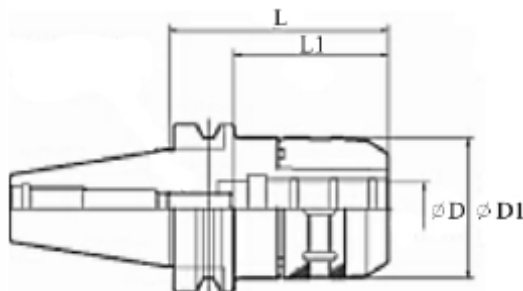
Tab.1 Cutting and technological conditions

Typ záběru	obvodové frézování	Obráběcí stroj	MCV 750 A Výrobce Kovosvit a.s. Sezimovo Ústí
Ax. hloubka řezu $a_p$ [mm]	1		
Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	185	Nástroj	dvoubřitá fréza $\varnothing 32$ , 2 kruhové VBD
Posuv $f_z$ [mm/zub]	0,28		
Otáčky vřetená [ot/min]	1840	Zkušební obrobek	austenitická ocel EN ISO X6CrNiTi18-10 (DIN 1.4541)
Radiální šířka řezu $a_e$ [mm]	0,5	Měřicí soustava	drsnoměr DIAVITE DH-5
Strategie frézování	řádkovací po vrstevnicích, sousledné		dotyková analogová sonda SP2-1 RENISHAW
Druhy nástrojových upínačů	- mechanicko-plastický upínač SK40 HMC - hydraulicko-mechanický upínač CoroGrip - tepelný upínač		třísložkový piezoelektrický dynamometr pro frézování KISTLER 9255

## 2.1 Charakteristika použitých upínačů

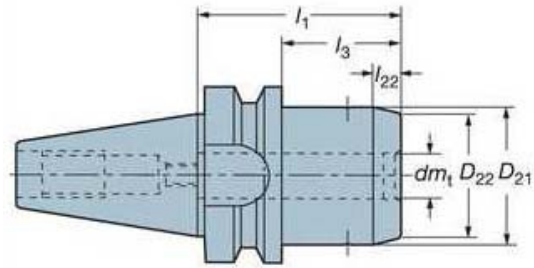
Mechanicko-plastický upínač SK40 HMC 32–105 pracuje na principu symetricky rozmístěných válečkových ložisek a vyniká vysokou přesností a vysokým přeneseným krouticím momentem. Ve své konstrukci kombinuje příčné a podélné drážky, kdy příčné drážky zajišťují rovnoměrnou deformaci upínací dutiny po celé délce stopky nástroje a podélné drážky zvyšují schopnost pružné deformace upínacího průměru a tím zlepšují obemknutí stopky nástroje. Povrch tělesa upínače je zakalen při teplotě  $-100^\circ\text{C}$  a tím je z materiálu odstraněn zbytkový austenit a pouzdro tak vyniká vysokou životností. Díky vysokému přenesenému krouticímu momentu a vysoké přesnosti lze nástroj použít pro těžké hrubování i pro jemné dokončování. Pro různé průměry stopek nástrojů je možné použít redukce a výrobce zaručuje stykovou plochu více než 80% plochy kužele.

<b>MECH.PLASTICKÝ</b>	kužel - SK 40
$\varnothing D$	32 mm
délka L	105 mm
$\varnothing D1$	70 mm
délka L1 min	50 mm
délka L1 max	76 mm
redukce	M32



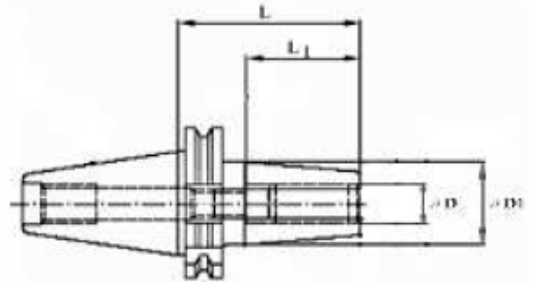
Hydraulicko-mechanický upínač CoroGrip od fy Sandvik Coromant pracuje na principu působení hydraulické kapaliny na mechanický klín, který je tlakem kapaliny posunut do upínací polohy. Upnutí nástroje je dvakrát větší silou oproti běžným kleštinovým upínačům. Lze tedy přenášet velké krouticí momenty, aniž by došlo k proklouznutí a pootočení upnutého nástroje. Nutným příslušenstvím je však hydraulická pumpa, která může být ruční nebo pevná.

HYDR.MECHANICKÝ	kužel - SK 40
Ø dmt	25 mm
Ø D <sub>22</sub>	62 mm
Ø D <sub>21</sub>	67 mm
délka l <sub>1</sub>	93 mm
délka l <sub>3</sub>	74 mm
Délka l <sub>22</sub>	22,5 mm



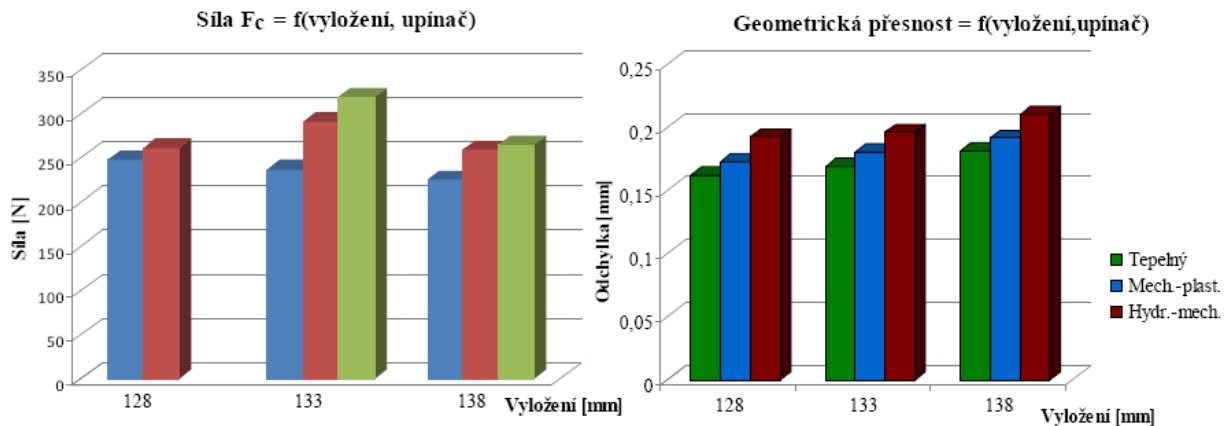
Tepelný upínač pracuje na principu tepelné roztažnosti kovů při vysokých teplotách. Disponuje vysokou upínací silou, která může být 2-4krát větší než u běžných kleštinových upínačů a tím je umožněno přenášet vysoké kroutící momenty. Kvalitní materiál zaručuje vysokou životnost upínacích držáků. Dobré vystředění prodlužuje životnost nástroje i vřetena. Obrobený povrch má dobrou kvalitu díky vysoké tuhosti a přesnosti upnutí. Nutným příslušenstvím je však velmi nákladné upínací zařízení.

TEPELNÝ UPÍNAČ	kužel SK 40
Ø D	25 mm
Délka L	65 mm
Ø D <sub>1</sub>	44 mm
délka L1 min	58 mm
délka L1 max	76 mm



### 3 Porovnání nástrojových upínačů s ohledem na řezné síly a jakost obrobeného povrchu při frézování austenitické oceli

Z praktického hlediska je nejdůležitější složkou řezné síly síla  $F_C$ , která namáhá nástroj na ohyb a ovlivňuje velikost potřebného příkonu na vřetenu  $P_{PE}$ . Tato složka také nejlépe charakterizuje zatížení soustavy S-N-O.

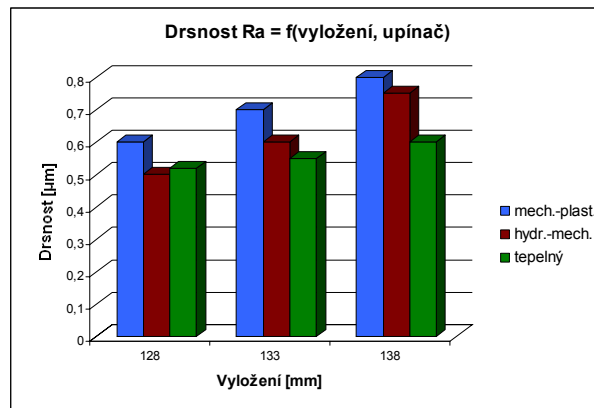


Obr.3 Porovnání velikosti složky řezné síly  $F_C$  (a) a geometrické odchylky obrobeného povrchu (b) v závislosti na použitém upínači

Fig.3 Comparison of the size of the cutting force components  $F_C$  (a) and geometric deviations of machined surfaces (b) depending on the used toolholder

Vzájemné porovnání upínačů pouze z hlediska silového zatížení není dostačující, proto je na předchozím obrázku vyobrazení silového zatížení podloženo ještě grafickým zobrazením geometrické odchylky obrobených povrchů pro testované upínače. Největšího silového zatížení je dosaženo při použití tepelného upínače. Zároveň je ale s tímto upínačem dosaženo nejmenší geometrické odchylky obrobeného povrchu. To svědčí o značné tuhosti upnutí, neboť oproti ostatním upínačům dochází

k nejmenšímu odchylení nástroje od povrchu. Menší odchylení nástroje od povrchu znamená větší radiální hloubku řezu a z toho vyplývá právě větší silové zatížení soustavy. Opačným způsobem lze vysvětlit také souvislost mezi silovým zatížením a geometrickou odchylkou pro mechanicko-plastický upínač. Ten je z testovaných upínačů nejméně tuhý, proto u něj dochází k největšímu odklonění nástroje od povrchu obrobku, a tím klesá silové zatížení a zvyšuje se geometrická odchylka obrobku.



Obr.5 Drsnost obrobeného povrchu v závislosti na použitém upínači  
Fig.5 Dependence of surface roughness of machined surface on used toolholder

Popsání vlivu použitého upínače na drsnost obrobeného povrchu bohužel není tak jednoznačné a zakládá se spíše na určitých teoretických předpokladech. Hodnota drsnosti obrobeného povrchu je přímým odrazem tuhosti upínače. Největší roli zde totiž hraje chvění. Čím menší tuhost upínače, tím více je soustava S-N-O náchylná ke vzniku chvění. Proto je nejlepších hodnot drsnosti dosaženo při použití tepelného upínače, který vykazuje největší tuhost, zatímco nejhorší drsnost vykazuje použití mechanicko-plastického upínače, který je ze všech tří testovaných upínačů nejméně tuhý. Předpoklad negativního vlivu chvění na drsnost obrobeného povrchu je pravděpodobně správný, což dokazuje i průběh drsnosti v závislosti na vyložení nástroje. Čím je větší vyložení nástroje, tím je větší také chvění a samozřejmě i drsnost obrobeného povrchu. Proto právě výrobci nástrojových upínačů doporučují co možná nejmenší vyložení nástroje.

#### 4 Závěr

Jako nejlepší upínač z tohoto porovnání vychází tepelný. Již ze samotného principu vyplývá, že upnutím se upínač s nástrojem stávají jedním homogenním tělesem, což se samozřejmě ve výsledku kladně projeví. Použití tepelného upínače vykazovalo největší silové zatížení, ale při nejmenší geometrické odchylce a nejlepší drsnosti obrobeného povrchu. V porovnání s ostatními testovanými upínači lze tedy jako nejlepší z hlediska jakosti obrobeného povrchu doporučit právě tepelný. Snad jedinou výjimkou by mohlo být frézování tenkostěnných obrobků, kde by vlivem vyššího silového zatížení mohlo dojít k deformaci obráběné součásti. Toto zjištění se vztahuje hlavně na oblast dokončování. V oblasti hrubovací není jakost obrobeného povrchu až tak důležitá. V dnešní době se však nedá opomíjet také hledisko ekonomické, tzn. pořizovací hodnota. Ta je vlivem potřebného upínacího zařízení v případě tepelného upínače velmi vysoká.

#### Literatura

- [1] NOVÁK, Z.: Upínací nářadí v procesu obrábění; MM Průmyslové spektrum; vydání 6, 2003
- [2] AMBROŽ, P.: Moderní systémy pro upínání stopkových nástrojů; MM Průmyslové spektrum; vydání 4, 2007
- [3] KOVÁŘ, J.: Ovlivnění kvality a jakosti obrobené plochy při frézování; MM Průmyslové spektrum; vydání 4, 2004
- [4] Tepelné upínání; online dostupný z <http://www.tepelneupinani.cz/technika.php>
- [5] Nová koncepce tepelného upínání nástrojů; MM Průmyslové spektrum; vydání 5, 2004
- [6] RABASOVÁ, M.: Studium vlivu upnutí rotačního nástroje na řezný proces a výslednou jakost obrobeného povrchu; Diplomová práce, ZČU Plzeň, 2009

## **Comparison of tool holders with a view to cutting forces and quality of finished surface during milling of austenitic steel.**

Janda, Zdeněk, Ing., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638516, zjanda@kto.zcu.cz;

Fulemová, Jaroslava, Ing., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638515, fulemova@kto.zcu.cz;

Švec, Jan, Ing., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638512, visis@kto.zcu.cz

Řehoř Jan, Ing., Ph.D., Department of machining technology, The University of West Bohemia, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638500, rehor4@kto.zcu.cz;

Currently exists quite a number of tool holders, which work on different physical principles. That is why different types of tool holders differ from each other. Difference can be in purchase price and also in quality of tool clamping. Particular, the quality of tool clamping plays the biggest role in the choice of tool holders for the desired application, because this can influence cutting process and also quality of finished surface as a consequence. This article drala with comparison of the three different types of tool holders with a view to cutting forces and a quality of finished surface during milling austenitic stainless steel.

↔ Keywords: tool clamping, cutting force, quality of machined surface, milling

