

Vliv vyložení nástroje na řezné síly a jakost obrobeného povrchu při frézování austenitické oceli

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

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

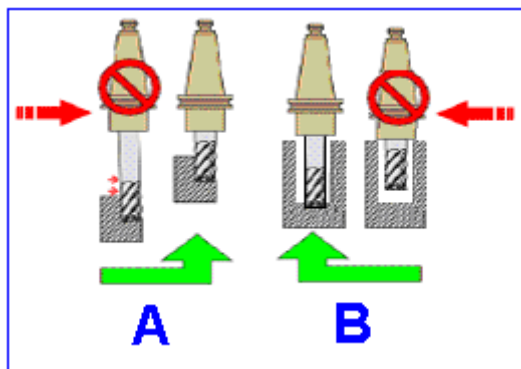
Řehoř Jan, Ing., Ph.D., Katedra technologie obrábění, Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 22, 306 14 Plzeň, +420377638500, rehor4@kto.zcu.cz ;

Jedním ze základních doporučení pro upínání nástrojů je pravidlo volit co možná nejmenší vyložení nástroje. Mohou nastat případy, například při obrábění hlubších dutin obrobků, kdy je nutné nástroj více vyložit. V takovém případě však může dojít k ovlivnění řezného procesu a tím i k ovlivnění konečných parametrů výsledné plochy. Tento článek se proto zabývá právě vlivem vyložení nástroje na jakost obrobeného povrchu při frézování austenitické korozivzdorné oceli.

→ Klíčová slova: vyložení nástroje, jakost obrobeného povrchu, frézování

1 Úvod

Výrobci a dodavatelé nástrojů svorně doporučují používat vždy co nejmenší možné vyložení nástroje. Při takových podmínkách poté zaručují největší trvanlivost nástroje a nejlepší možné dosažené kvalitativní parametry obrobeného povrchu. Každý nástroj i nástrojový upínač samozřejmě umožňují měnit vyložení nástroje v určitém intervalu, vždy je však přesně dána hodnota minimální délky upnutí. V praxi často existují situace, kdy je potřeba nástroj vyložit na větší hodnotu, např. při frézování úzkých a hlubokých dutin obrobku. A tak uživatelé nemohou tato doporučení výrobců plně respektovat. Názorně lze tuto situaci naznačit pomocí obr.1. Úpravou původního obrázku (obr.1A [1]) vznikne situace, kdy je nejjednodušší cestou k řešení právě větší vyložení nástroje (obr.1B). Velmi důležitým parametrem z hlediska vyložení nástroje je poměr délky nástroje k jeho průměru (L:D). Tento poměr je důležitý zejména z důvodu snižování síly, potřebné k odklonění nástroje od osy vřetene. Tato síla se snižuje kubicky s velikostí vyložení nástroje. Jestliže je tedy nástroj vyložen na délku dvou svých průměrů, klesne odpor proti odklonění nástroje osmkrát. Toto by měl být dostatečný důvod pro to, aby nástroj byl vyložen co nejméně, podle doporučení výrobců. Velikost vyložení je samozřejmě závislá, kromě vlastní konstrukce nástroje, také zejména na použitém druhu upínače. [1],[2]



Obr. 1 Vyložení nástroje v praxi, doporučení (A [1]), častá realita (B)

Fig.1: Tool overhang in industrial applications, recommendation (A), common reality (B)

Pokud je nástroj minimálně vyložen, jsou zaručeny následující výhody:

- snížení chvění
- zvýšení životnosti nástroje
- zlepšení obrobeného povrchu
- možnost zvýšení rychlosti a posuvu
- zvýšení produktivity

Jak již bylo uvedeno výše, výrobci nástrojů a upínačů doporučují pouze co možná nejmenší vyložení nástroje. Úkolem tohoto příspěvku bylo sledování vlivu vyložení nástroje na řezný proces. Hodnoty vyložení se samozřejmě pohybovaly v bezpečném intervalu mezi maximální upínací délkou upínače a minimální potřebnou upínací délkou nástroje.

2 Charakteristika experimentu

Veškeré experimentální testování probíhalo na tříosém frézovacím centru MCV 750A od výrobce Kovosvit a.s. Sezimovo Ústí. Pro testování byly použity tři nástrojové upínače, každý fungující na odlišném principu. Jednalo se o mechanicko-plastický, hydraulicko-mechanický a tepelný upínač. Jako nástroj byla použita stopková fréza o průměru 32mm a celkové délce 190mm se dvěma vyměnitelnými břitovými destičkami ze SK (Ø 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 tříosém dynamometru pro měření řezných sil od společnosti Kistler. K měření geometrické přesnosti byla použita dotyková analogová sonda SP2-1 RENISHAW. Během experimentu se mimo vyložení nástroje měnilo i jeho upnutí. Hodnota vyložení 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 upnutí nástroje na řezný proces však není obsahem tohoto článku, proto je zde hodnoceno pouze vyložení nástroje při použití mechanického upínače, neboť tento typ je v praxi stále ještě nejvíce rozšířen, hlavně z důvodu nenáročné použitelnosti a nízkých pořizovacích a provozních nákladů.

Tab.1 Řezné a technické podmínky

Tab.1 Cutting and technological conditions

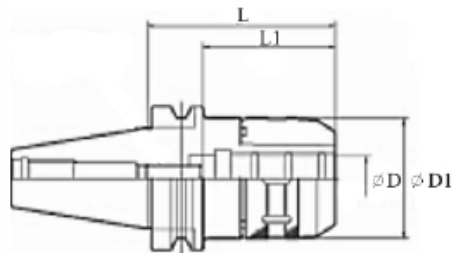
Typ záběru	obvodové frézování	Obráběcí stroj	MCV 750 A Výrobce Kovosvit a.s. Sezimovo Ústí
Ax. hloubka řezu a_p [mm]	1		
Řezná rychlost v_c [m/min]	185	Nástroj	dvoubřitá fréza ø32, 2 kruhové VBD, Sandvik
Posuv f_z [mm/zub]	0,28		
Otáčky vřetena [ot/min]	1840	Zkušební obrobek	austenitická ocel EN ISO 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		tříoskový piezoelektrický dynamometr pro frézování KISTLER 9255

2.1 Charakteristika použitého upínače

Mechanicko-plastický upínač SK40 HMC 32–105 pracuje na principu symetricky rozmístěných válečkových ložisek a vyniká vysokou přesností a vysokým přeneseným kroutícím momentem. Ve své konstrukci kombinuje příčné a podélné drážky, kdy příčné drážky zajišťují rovnoměrnou deformaci upínací dutiny

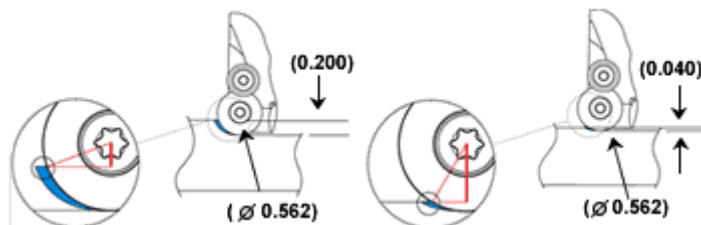
po celé délce stopky nástroje a podélné drážky zvyšují schopnost pružné deformace upínacího průměru a tím zlepšují obemknutí stopky nástroje. Povrch tělesa upínače je zakalen při teplotě -100°C a tím je z materiálu odstraněn zbytkový austenit a pouzdro tak vyniká vysokou životností. Díky vysokému přenesenému 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.

MECH.PLASTICKÝ	kužel - SK 40
Ø D	32 mm
délka L	105 mm
Ø D1	70 mm
délka L1 min	50 mm
délka L1 max	76 mm
redukce	M32



3 Vliv vyložení nástroje při použití mechanicko-plastického upínače

Při obrábění byly použity kruhové vyměnitelné destičky. Kruhový tvar ostří nástroje přesměrovává vektor řezné síly z axiálního směru blíže k radiálnímu v závislosti na zvětšující se hloubce řezu, viz. obr. 2. Znamená to, že pro větší hloubku řezu bude větší podíl řezné síly nasměrovaný kolmo k ose nástroje. To je nevýhodné z hlediska stability řezného procesu, neboť radiální síla má sklon odtlačovat nástroj od obrobku. Obzvláště se to projeví právě v případech obvodového frézování. Dá se tedy očekávat, že budou vyvozeny vyšší hodnoty řezných sil v radiálním směru a tím bude způsobeno i větší odtlačení nástroje od obrobku. Dalším předpokladem je, že velikost odtlačení nástroje, a tím i hodnota geometrické přesnosti bude závislá na velikosti vyložení nástroje, a to tak, že s větším vyložení nástroje bude také větší odklonění nástroje od obrobku. Při obvodovém frézování je radiální síla představována složkou řezné síly FN.

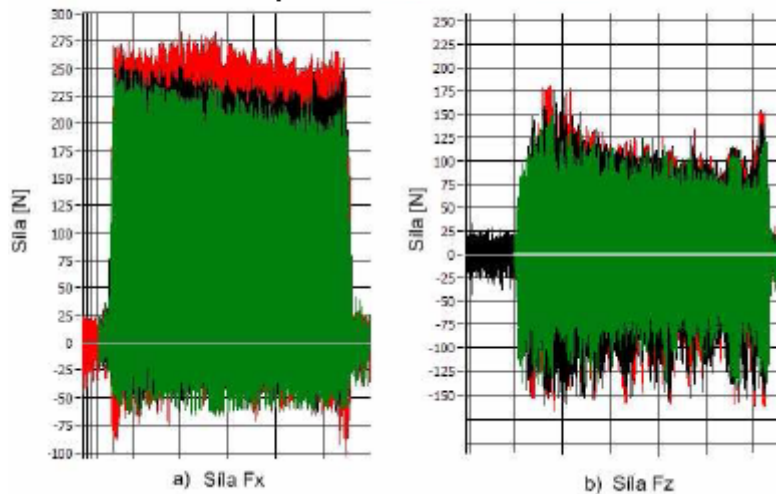


Obr. 2 S větší hloubkou řezu působí větší podíl řezné síly v rad. směru [3]
Fig.2: Higher part of cutting force in radial direction with higher depth of cut

Na obr. 3a je provedeno grafické porovnání náměrů řezných sil, získaných přímo z použitého tříšlůvkového dynamometru. Proto se zde také jedná o složky F_x a F_z . Z těchto naměřených složek byly poté vypočteny složky F_C , F_{CN} a F_N , které byly dále hodnoceny. Z obrázku je již patrný vliv vyložení nástroje na velikost řezných sil. Zajímavé je zejména porovnání získaných náměrů pro hodnotu F_z . Tato složka totiž působí v ose nástroje, a proto by se dalo očekávat, že vyložení nástroje, které se také mění v ose nástroje, by nemělo mít na tuto složku výrazný vliv. Tento předpoklad se z větší části potvrdil, avšak menší rozdíly v průbězích pro jednotlivá vyložení přeci jen patrná jsou.

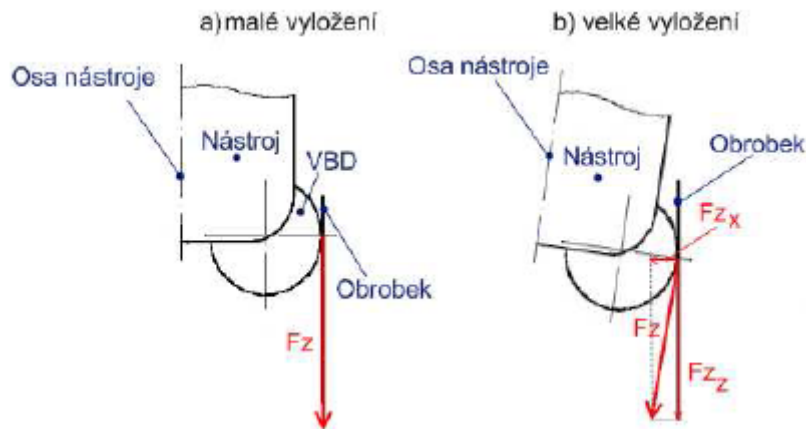
Mechanicko - plastický upínač

vyložení 128,132 a 138 mm



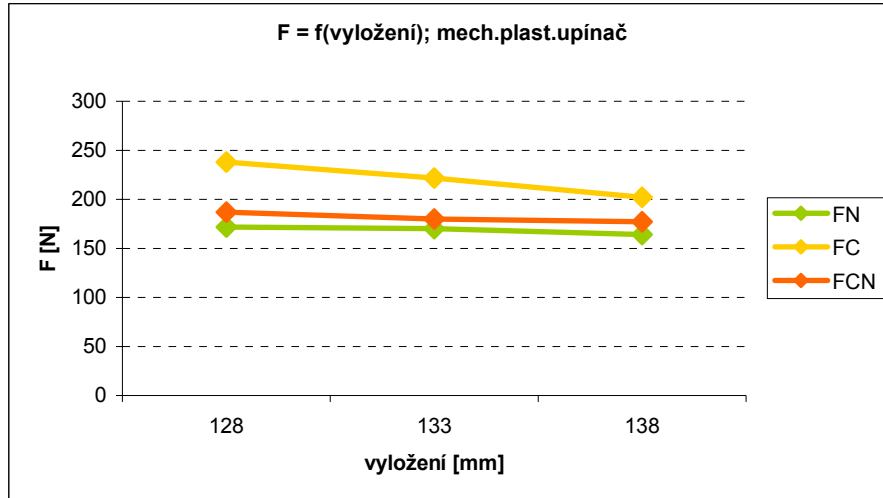
Obr. 3 Průběh složek řezných sil F_x a F_z v závislosti na obráběné délce, pro mech.-plast. upínač
Fig. 3: Behavior of component cutting force F_x and F_z in dependence on machining time for mech.-plast. tool holder

Tyto rozdíly jsou způsobeny odtlačením nástroje od obrobku. Odtlačením nástroje dojde k odklonění složky řezné síly F_z z osy z. F_z se nyní rozkládá do dvou složek ve směru osy X a Z (obr. 4). Jelikož k měření řezných sil byl použit tří-složkový piezoelektrický dynamometr, který dokáže snímat síly, působící pouze v osách X,Y,Z, jsou naměřené hodnoty složky řezné síly F_z vlastně jen její částí, které působí přímo v z-ové ose dynamometru, viz.obr. 4.



Obr. 4 Rozklad složky řezné síly F_z při odklonění nástroje [4]
Fig.4: Analysis of component cutting force F_z during deflexion of tool

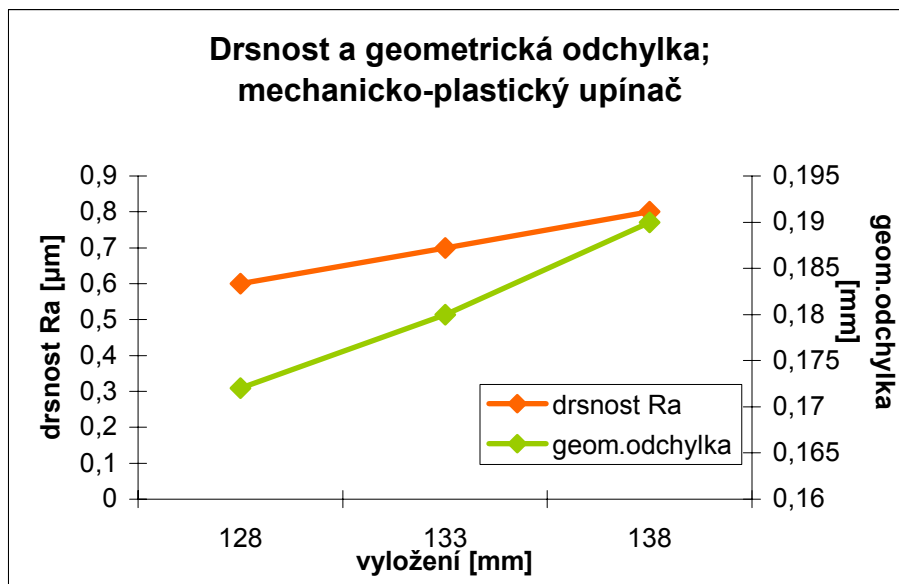
Hodnoceny byly následující složky řezné síly: F_C – tangenciální složka: ovlivňuje velikost potřebného příkonu na vřetenu P_{PE} a namáhá frézu na ohyb; F_N - radiální složka: namáhá frézu na ohyb; F_{CN} - normálová řezná složka: namáhá řezný břit v normálovém směru k složce F_C a ovlivňuje vlastnosti obrobeného povrchu.



Obr. 5 Závislost složek řezné síly na velikosti vyložení pro mech.-plast. upínač
Fig.4: Dependence of component cutting force on tool overhang for mech.-plast. tool holder

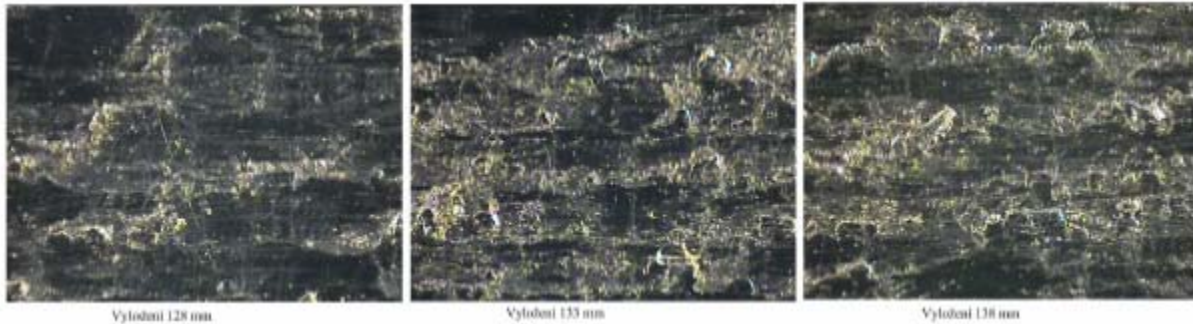
Pokles velikosti řezných sil v závislosti na zvětšujícím se vyložení, jak je patrné z grafu na obr.5, je možné vysvětlit větším odkloněním nástroje od obrobku a tím menší hloubkou řezu. Menší hloubka řezu znamená menší průřez odřezávané vrstvy. Menší průřez odřezávané vrstvy samozřejmě znamená menší řezný odpor a tím i menší řezné síly. Odklonění nástroje je potvrzeno velikostí geometrické odchylky obrobeného povrchu, která je zobrazena v grafu na obr.6.

Důležitým faktorem ovlivňujícím průběh obrábění a následnou jakost obrobené plochy je stabilita řezného nástroje. Ta se dá docílit přesným vyvážením a bezpečným upnutím rotujícího nástroje. Výrazný vliv na stabilitu nástroje má samozřejmě právě velikost vyložení nástroje. Z tohoto důvodu, jak již bylo několikrát uvedeno výše, se doporučují co možná nejmenší hodnoty vyložení nástroje. Větší vyložení znamená větší pravděpodobnost vzniku chvění, které nepříznivě ovlivňuje jakost obrobené plochy. Pokud nebude upínač dostatečně tuhý a schopný pohlcovat vzniklé kmity, dá se předpokládat, že se drsnost obrobeného povrchu se zvětšujícím se vyložení nástroje bude zhoršovat. Tento předpoklad potvrzuje i obr. 2.4.1-6 na kterém je zobrazen průběh drsnosti v závislosti na zvětšující se velikosti vyložení. Chvění nebylo v rámci tohoto experimentu měřeno, proto se jedná pouze o předpoklad.



Obr. 6 Drsnost plochy v závislosti na vyložení nástroje pro mech.-plast. Upínač
Fig.6: Surface roughness in dependence on tool overhang for mech.plast. tool holder

Zhoršující se jakost obrobeného povrchu byla pozorována i při vizuálním sledování povrchu pomocí mikroskopu Multicheck PC500 se zvětšením 75x, viz obr. 7. Pro vyložení 128 mm jsou patrná hladká místa bez poškození obrobeného povrchu. Se zvětšujícím se vyložení nástroje a předpokladem většího chvění se zhoršuje i povrch obrobku.



Obr. 7 Fotografie obrobeného povrchu v závislosti na vyložení pro mech.-plast. Upínač
Fig. 7: Photo of machined surface in dependence on tool overhang for mech.-plast- tool holder

4 Závěr

Ze zjištěných výsledků je patrné, že zvětšující se vyložení nástroje má negativní vliv na celý řezný proces včetně výsledného stavu obrobeného povrchu. Tyto výsledky byly očekávány. Úkolem experimentu ale nebylo pouhé potvrzení doporučení výrobců týkající se minimálního vyložení nástroje. Účelem bylo určité vyčíslení negativního vlivu většího vyložení nástroje. Ze zjištěných výsledků plynou některá doporučení. V případě výrobků, u kterých je požadovaná geometrická přesnost a vysoká jakost obrobeného povrchu je opravdu nutné respektovat doporučení a použít co možná nejmenší vyložení nástroje. Ale v případě výrobků, u kterých se na přesnost a jakost tolik nehledí je možné v případě potřeby zvětšit vyložení nástroje. Zde je ale samozřejmě nutné dodržet minimální délku upnutí, požadovanou upínačem.

Literatura

- [1] online dostupný z: www.niagaracutter.com/techinfo/tooloverhang.html
- [2] ZELINSKI, P.: The Overhang Effect, online dostupný z <http://www.mmsonline.com/articles/the-overhang-effect>; 2003
- [3] ZELINSKI, P., The High-Feed, High-Reliability Process; online dostupný z www.mmsonline.com
- [4] RABASOVÁ, M.: Studium vlivu upnutí rotačního nástroje na řezný proces a výslednou jakost obrobeného povrchu; Diplomová práce, ZČU Plzeň, 2009
- [5] JANDA, Z.; FULEMOVÁ, J.; ŘEHOŘ, J.: Geometrická přesnost a řezné síly při tvarovém HSC frézování v závislosti na změně záběru. In ERIN 2008. Bratislava : Strojnická Fakulta, 2008. s. 11-12. ISBN 978-80-227.

Influence of tool overhang on cutting forces and quality of machined surface during milling of austenitic steel

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

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

One of the basic recommendations for tool clamping is to choose as small as tool overhang. There can be cases, for example during cutting of deeper cavities, when there is necessary to unload the tool more. In this case though can take place to influence of cutting process thereby also to influencing of final parameters of machined final surface. This article deals with influence of tool overhang on quality of machined surface during milling of austenitic stainless steel.

➔ *Keywords: tool overhang, quality of machined surface, milling.*

