

ISSUES AT TOOL CLAMPING SYSTEMS

L. Novotný*, J. Marek**

Summary: *Various types of tooling clamping systems are used at design of machine tools. The typical representatives of clamping systems are CAPTO, ISO, UTS, HSK and other ones. Their design type execution, clamping principles and tool centring are different ones. Disadvantages can be seen most of all only during the machine operation. It can happen under usual operation conditions, but even more often under specific operation conditions, that e. g. the tool can be removed from the machine tool spindle only with big difficulties. This matter can be prevented by modification of operation conditions, by modification of applied design type execution at machine spindles, by adaptation of the tool part being clamped, etc. Whether the proposed modifications and adaptations are useful and which contribution they bring, this can be best evaluated on the basis of the problem analysis, using the technical calculations and tests. Properties and behaviors of the mechanical system, i. e. of the tool clamping device can be manifested by calculation modelling. This contribution describes numerical analysis of the ISO tool shank in the machine tool spindle without load and under operation load.*

1. Úvod

Úlohou vřetena je zaručit obrobku (u soustruhů) nebo nástroji (u frézky, vrtačky, brusky) přesný otáčivý pohyb, tj. takový, při němž se dráhy jednotlivých bodů obrobků nebo nástroje liší od kružnice jen v přípustných mezích. Funkce vřetena je zde shodná s funkcí kruhového vedení a vřeteno se od něho liší pouze tvarem. Vřeteno je u CNC obráběcích strojů ukládáno z 99 % do valivých ložisek. Zbývající 1 % vřeten je ukládáno do rotačních hydrostatických ložisek. Vřeteno obráběcího stroje je většinou uloženo ve dvou radiálních a v jednom nebo dvou axiálních ložiskách. Konec vřetena, který vyčnívá ze skříně vřeteníku, se nazývá přední konec; je vhodně upraven pro nasazení nebo upnutí obrobku či nástroje. Úprava předního konce vřetena závisí na druhu stroje a je normalizována. Ložisko bližší přednímu konci vřetena se nazývá přední nebo hlavní a má rozhodující vliv na přesnost otáčivého pohybu vřetena.

* Ing. Lubomír Novotný, Ph.D.: Detašované pracoviště TOSHULIN, a.s., Čechyňská 18, 602 00 Brno; tel.: +420.543 255 093; e-mail: lubomir.novotny@toshulin.cz,

** Doc. Dr. Ing. Jiří Marek: TOSHULIN, a.s., Wolkerova 845, 768 24 Hulín; tel.: +420.573 327 202; e-mail: jiri.marek@toshulin.cz

Vřeteno představuje velmi důležitý prvek ve skladbě obráběcích strojů a proto jsou na konstrukční provedení kladeny náročné požadavky:

- přesnost chodu – je určena velikost tzv. radiálního a axiálního házení,
- dokonalé vedení – vřeteno nesmí měnit polohu v prostoru, mění-li jeho zatížení směr a smysl,
- v uložení vřetena musí být možno vymezovat vůli vzniklou opotřebením,
- ztráty v uložení vřetena musí být co nejmenší (účinnost, oteplování a tepelné dilatace, změna polohy a funkce),
- vřeteno musí být tuhé – jeho deformace spolu s přesností chodu má rozhodující vliv na přesnost práce obráběcího stroje.

2. Nástrojové upínací systémy

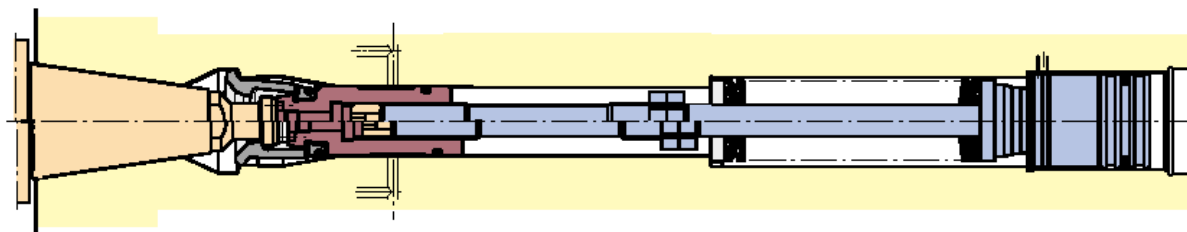
Pracovní přesnost je vedle výrobnosti hlavním parametrickým ukazatelem kvality obráběcího stroje. Tato je potom v rozhodující míře ovlivněna zejména pracovní přesností vřetena – jeho přesností chodu (radiální a axiální), tuhostí statickou i dynamickou a teplotními vlastnostmi během pracovního provozu.

Přesnost chodu vřetena se kontroluje na předním konci vřetena na té ploše, která má přímý vliv na přesnost otáčení obrobku (upínací kužel pro soustružnický hrot; plocha pro upevnění upínací desky či sklíčidla apod.), nebo nástroje. Tuhost vřetena má značný vliv na přesnost práce i na dynamickou stabilitu obráběcího stroje. Obvykle se udává tuhost vřetena na jeho předním konci, na něhož se upevňuje upínací zařízení s obrobkem nebo nástroj, neboť deformace v tomto místě má přímý vliv na jakost práce. Z těchto důvodů má přímý vliv na výše uvedené vlastnosti i tuhost upnutí nástroje, která je předmětem dalšího zkoumání autorů.

Podle dutiny vřetena, která je umístěna na pracovní straně užíváme následující nástrojové držáky:

- kuželová stopka ISO (kuželovitost 7:24),
- krátká kuželová stopka HSK (kuželovitost 1:10),
- válcová stopka (méně často),
- speciální profil např. trojúhelníkový Sandvik COROMANT CAPTO,
- BIG Plus (v podstatě jako ISO sedící na čele).

Základní rozdíl mezi ISO stopkou a HSK stopkou je v tom, že ISO stopka má při upnutí vůli mezi čelem vřetena a stopkou, na rozdíl od HSK stopky, která dosedá na čelo vřetena.



Obrázek1 Řez upínací soustavou kužele ISO (OTT Jakob)

Upnutí je provedeno svazkem talířových pružin přes kuličky, které vtahují nástrojový držák (ISO) do dutiny vřetena přes upínací šroub našroubovaný do zadní části nástrojového

držáku. HSK kužel je upínán za vnitřní dutinu táhly a předepjatými talířovými pružinami (Obrázek1). Uvolnění v obou případech je pomocí hydraulického válce, který stlačí sloupec talířových pružin.

Válec, který stlačuje svazek upínacích talířových pružin, může být konstruován jako vestavěný nebo nástavný v tzv. uvolňovací jednotce. Kromě přívodu oleje musí uvolňovací jednotka umožňovat přívod chladicí (řezné) kapaliny, čistícího a kontrolního vzduchu. Upínací kleštiny mají v sobě integrovaný i mechanický násobič síly, aby svazek pružin nevycházel neúměrně velký.

Nevýhodou ISO je poměrně velká délka kužele, proto je pro výměnu nástroje potřeba velký zdvih nástrojového manipulátoru (vřetene). Plný materiál zvětšuje hmotnost nástroje, a tím rostou odstředivé síly s růstem rychlostí manipulace s nástrojem. Dlouhá pojezdová dráha, omezená rychlost výměny vlivem přípustné hodnoty odstředivých sil, ale i samotná koncepce ustavení nástroje ve vřetenu jsou důvodem, že ISO kužel není využíván u vysokorychlostních obráběcích center.

Tuhost upnutí nástroje a chování nástroje není doposud uspokojivě vyřešena zejména pak u kužele ISO, který jak bylo uvedeno výše nesedí na čele vřetene. Je-li konstrukční provedení vřetene omezeno restrikcemi (rozměry, tlak hydrauliky...), které nelze měnit, je modelování jeden ze způsobů nalezení řešených problémů. Autoři nastíní v dalším dosažené výsledky při výpočtu upínání nástroje pomocí MKP u svislého obráběcího centra.

3. MKP analýza nástrojové upínací soustavy

Upínání nástrojů pomocí ISO stopky je poměrně starý způsob. Kuželová stopka, kuželová dutina, rozměrové tolerance jsou popsány např. normami ČSN 22 0403, ČSN 22 0432, ČSN 22 0433, ČSN 22 0434, ČSN 22 0451, ČSN ISO 9270, DIN 69 871, ISO 7388. Rozborem těchto norem byly vykypovány geometrické stavy, které mohou při reálném provozu vřetene svislého obráběcího centra nastat. Nástrojová stopka a dutina se vyrábí v několika stupních přesnosti. Na přesných strojích, jakými jsou svislá soustružnická centra se využívá přesnost IT4, tj. o dva až tři řády přísnější, než je přesnost na stroji vyráběných dílců. Přehled řešených geometrických variant (V1 až V6):

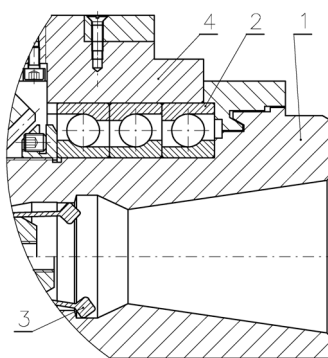
1. ISO50, dutina a kužel na jmenovitých rozměrech,
2. ISO50, dutina a kužel na jmenovitých rozměrech, vnitřní závit v ISO stopce pro upínací čep posunut o 30 mm (sledován vliv tuhosti ISO stopky),
3. ISO50, dutina a kužel na jmenovitých rozměrech, zkrácena kuželová dutina ve vřetenu (kuželová část o cca 15 mm),
4. ISO50, dutina na jmenovitých rozměrech, kužel na horní hranici tolerance (dle ČSN 22 0403),
5. ISO50, dutina na horní hranici tolerance (dle ČSN 22 0403), kužel na jmenovitých rozměrech,
6. ISO50, dutina na horní hranici tolerance (dle ČSN 22 0403), kužel na horní hranici tolerance.

Svislá obráběcí centra pro rotační součásti jsou technologicky mnohostranná výrobní zařízení. Historicky jejich konstrukce vychází z karuselů (svislé soustruhy) a jejich primární technologickou operací je soustružení. Přesto jsou na témže stroji vedle soustružení běžné

vrtání a vyvrtávání, frézování, broušení. Zatížení MKP modelu odráží reálné provozní zatížení. Sledovány jsou zátěžné stavy při prostém upnutí tak i při zatížení vlivem obráběcích operací. Převažující operací na sledovaném stroji je vrtání otvorů vrtáky velkých průměrů (do 50 mm) Uvažovány jsou zátěžné stavy:

1. Upnutí nástroje – upínací síla pružin (Tabulka1),
2. Upnutí nástroje s uvažováním tření mezi styčnými plochami kužele a kuželové dutiny. Působící síla – síla upínacích pružin,
3. Osově zatížení upnutého nástroje vlivem řezných sil působících na nástroj,
4. Stav 2 a 3 se zahrnutím předpětí ložisek,
5. Teplotní zatížení vřetene vlivem vývinu tepla při obrábění (pasivní odpory v ložiscích, vývin tepla na břitu nástroje),
6. Uvolnění nástroje.

Příspěvek nazvaný Problematika nástrojových upínacích systémů se zabývá zátěžnými stavy 1 až 4. Geometrický model je vytvořen v programu ANSYS prostřednictvím APDL. Komplettní tvorba geometrie a MKP síť je zapsána prostřednictvím APDL příkazů. Zdrojový kód je upraven tak, aby byly možné modifikace rozměrů a zatížení. FE model je vytvořen pomocí elementů z knihovny systému ANSYS. Byly použity elementy PLANE82, CONTA172, TARGE169. PLANE82 je 2D kvadratický plošný element s 8 uzly a se dvěma stupni volnosti v každém uzlu (posuvy UX, UY). CONTA172 a TARGE169 jsou 2D elementy pomocí nichž bylo modelováno kontaktní rozhraní mezi stopkou nástroje a dutinou vřetene. Kontakt mezi těmito dvěma tělesy má charakter okrajové podmínky a zároveň je sledovanou veličinou. Okrajové podmínky jsou aplikovány v místech podepření vřetene ložisky. V axiálním směru je zamezen posuv vřetene. Z důvodu dobré numerické podmíněnosti modelu je zamezen posuv čar (line) ležících na ose axiální symetrie ve směru osy x .



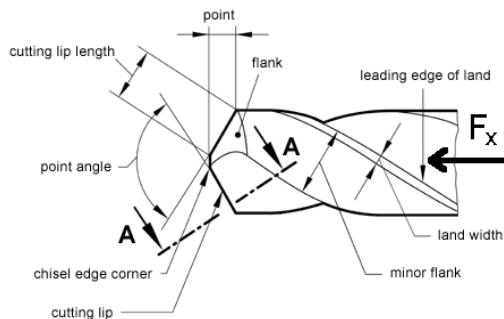
- 1...vřeteno
- 2...ložiska
- 3...upínací mechanismus
- 4...těleso vřeteníku (nástrojové hlavy)

Obrázek2 Vřeteno obráběcího stroje

Tabulka1 Parametry upínání nástrojů

Počet pružin	Upínací síla nástroje [N]	Uvolňující síla nástroje [N]
14 svazků	27 000	39 000
10 svazků	27 000	45 000
9 svazků	27 000	46 000

Vnější zatížení je stanoveno na základě znalosti technologie obrábění. Jak již bylo zmíněno, převažující technologickou operací je vrtání otvorů. Na obrázku 3 je pohled na geometrii šroubového vrtáku. Složku řezné síly F_x je nutné vyvodit posuvem suportu, smykadla apod. Upínací soustava nástroje je pak zatěžována reakční silou stejné velikosti opačně orientovanou. Pro x-ovou složku řezné síly platí:



$$F_x = K \cdot D^x \cdot s^y \quad (1)$$

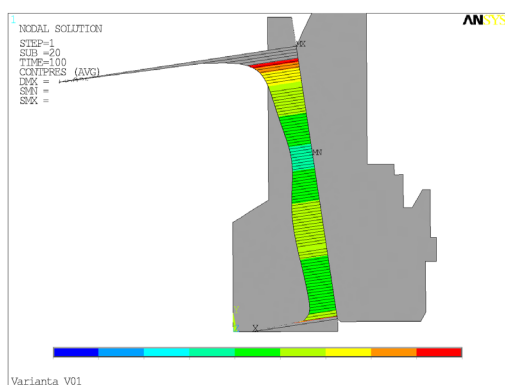
kde K je materiálová konstanta, D je průměr vrtáku a s je posuv nástroje. Exponenty x a y jsou empirické koeficienty.

$$M_k = K_s \frac{s \cdot D^2}{8} \quad (2)$$

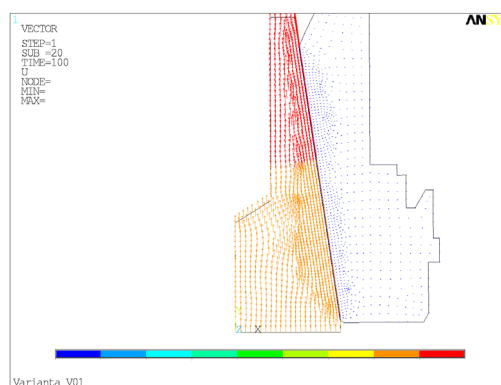
definuje potřebný krouticí moment. Tento jen zachycen unášecími kameny, proto jeho působení není potřeba uvažovat pro zatížení kužele.

Obrázek3 Osově zatížení nástroje

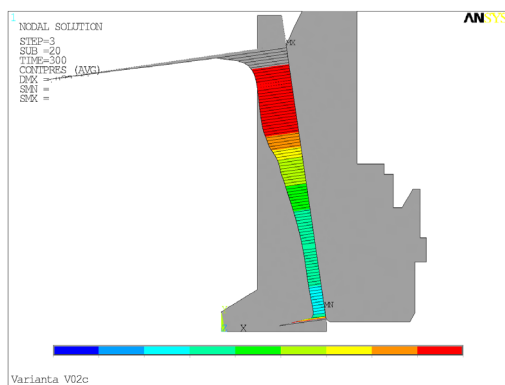
U přednesených variant, tedy 24 výpočtů, je sledován kontaktní tlak, třecí odpor, redukované napětí, posuv nástroje (zasunutí nástroje do vřetene) ve sledovaných místech. Je zřejmé, že výsledků je velmi mnoho a učinit z nich nějaké závěry je obtížné. Na následujících obrázcích jsou ukázány výsledky pro vybrané zátěžné stavy (LC) a geometrické varianty.



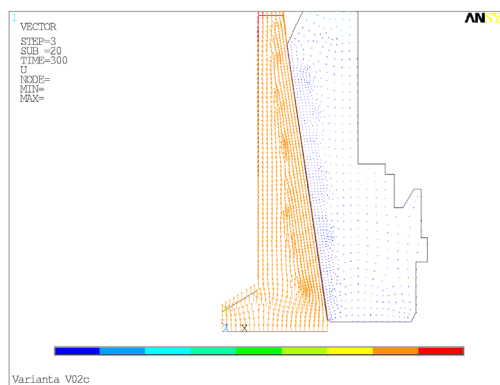
Obrázek4 Kontaktní tlak [MPa] V01, LC01



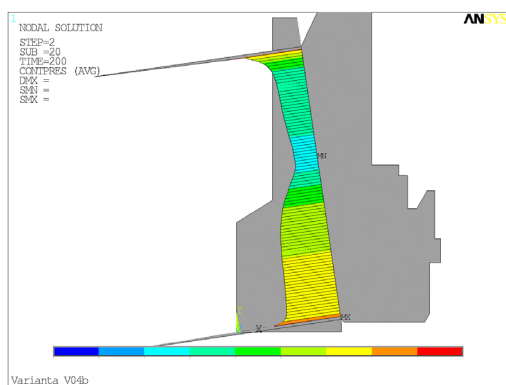
Obrázek5 Posuv UY [mm] V01, LC01



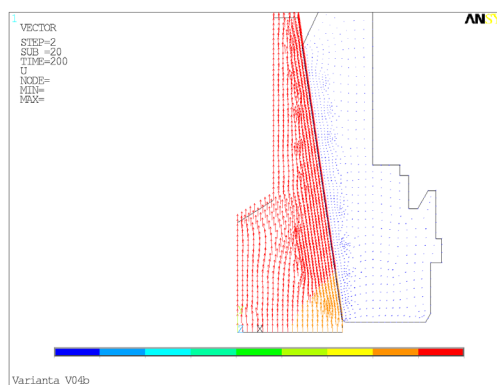
Obrázek6 Kontaktní tlak [MPa] V02, LC04



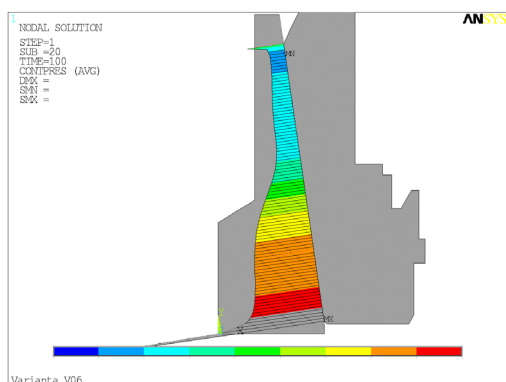
Obrázek7 Posuv UY [mm] V02, LC04



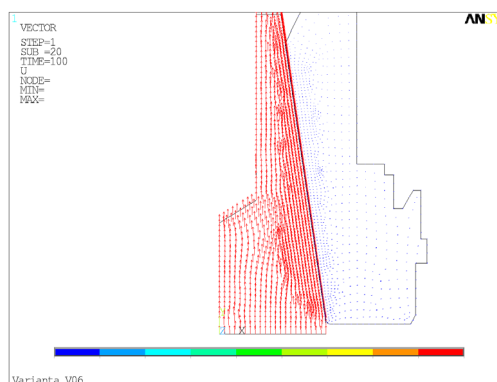
Obrázek8 Kontaktní tlak [MPa] V04, LC03



Obrázek9 Posuv UY [mm] V04, LC03



Obrázek10 Kontaktní tlak [MPa] V06, LC01



Obrázek11 Posuv UY [mm] V06, LC1

4. Závěr

Jak je vidět z malého přehledu výsledků MKP analýzy, výsledky analýzy jsou velmi pestré. Maximální hodnoty kontaktního tlaku v krajních polohách kontaktní plochy jsou důkazem věrohodnosti výsledků výpočtů (Höschl, C., Kontaktní úlohy a lisované spoje, 1985). Průběh kontaktního tlaku mezi těmito krajními polohami se liší v závislosti na geometrické a variantě a způsobu zatěžování. Ve všech případech dochází k významnému posuvu stopky ve směru osy y, který u vrtacích operací nemá zásadní vliv. U jiných operací se blíží přesnosti obrábění.

Stroje TOSHULIN jsou velmi často dodávány spolu se zpracovanou technologií. Výrobce stroje je zákazníkům nabízeno také nástrojové vybavení. Proto výsledky uvedené MKP analýzy mohou zároveň posloužit jako argument pro zákazníky, že je opodstatněné využívat nástrojové upínání modernější konstrukce, které pro navrženou technologii vyhovuje.

5. Literatura

ANSYS Inc. (2002) *User's Manual For Revision 7*, ANSYS Inc., Canonsburg

Borský, V. (1991) *Základy stavby obráběcích strojů*. Skriptum ES VUT Brno

Höschl, C. (1985) *Kontaktní úlohy a lisované spoje*. ČSVTS Praha

OTT Jakob – firemní katalog upínání nástrojů