

FLOATING SYSTEM IN THE MACHINE TOOLS DRIVES

L. Novotný*

Summary: *This text describes the utilization of the new principle (called floating) in the machine tools construction. In the conventional driven axis there is also reaction force generated during acceleration. This reaction is caught by the machine frame. The utilization of the floating principle allows (in the axis of application) elimination of this force impulse and moreover increasing relative acceleration of the mass. In the result we have an axis with smooth running and higher value of possible acceleration.*

1. Úvod

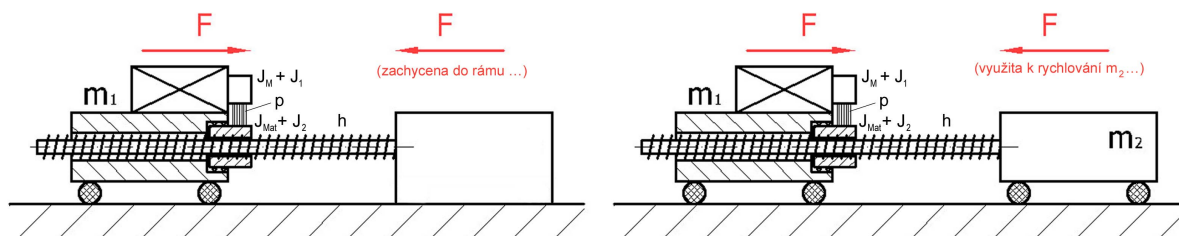
S nástupem technologie vysokorychlostního obrábění (HSC), tedy obrábění při vysokých hodnotách rezné rychlosti, rostou požadavky na vyšší hodnoty posuvových rychlostí a zrychlení, bez jehož dostatečné hodnoty nelze žádaných posuvových rychlostí dosáhnout na krátké dráze. Klasické koncepce obráběcích strojů nejsou zpravidla schopny těmto požadavkům vyhovět. Výzkum v oboru obráběcích strojů se proto zaměřuje na vývoj koncepcí nových, které budou schopny rostoucím nárokům na dynamiku pohonu čelit. Jednou z těchto nových alternativ je koncepce, využívající tzv. plovoucí princip.

2. Plovoucí princip

U klasického uspořádání pohonů NC os působí pohon na hnaný člen akční silou, jejíž stejně velká síla reakční, působící v opačném směru, je zachytávána do rámu stroje a způsobuje silové rázy, které mohou mít vliv na kvalitu obrábění. Myšlenka plovoucích posuvových systémů je založena na využití této reakce k urychlování protiběžné hmoty. Rozdíl mezi těmito dvěma koncepcemi je dobře patrný z obrázku 1, kde je schématicky naznačen pohon pohybové osy se stojícím kuličkovým šroubem a rotující maticí s vloženým převodem. V levé části je klasická koncepce uplatňovaná (nejen) ve stavbě obráběcích strojů, vpravo je koncepce plovoucí. V případě plovoucího principu jsou oba stoly volně uloženy na lineárním vedení, takže odpadá jakákoliv pevná vazba vůči loži. Díky tomu se reakční síla nemůže „zmařit“ zachycením do rámu, ale je využita k urychlení uvolněného stolu. Výsledné

* Ing. Lukáš Novotný: Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní; Horská 3; 128 00 Praha 2; tel.: +420.221 990 916, fax: +420.221 990 999; e-mail: L.Novotny@rcmt.cvut.cz

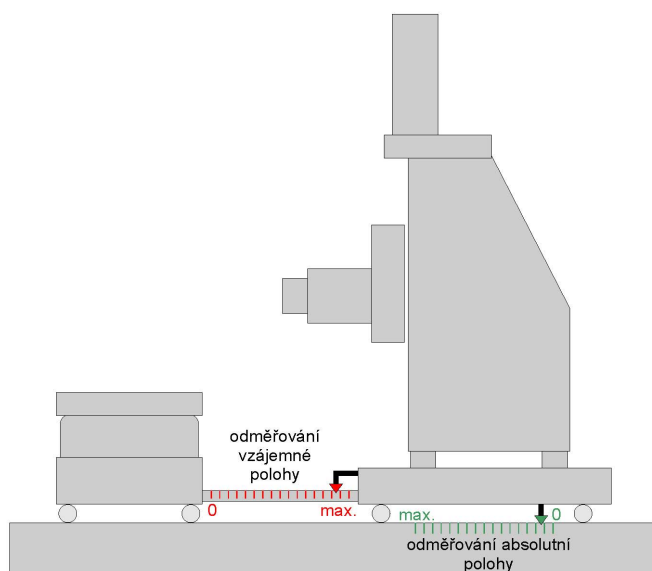
vzájemné zrychlení je pak dáno jako součet dílčích zrychlení protiběžných stolů. Použitím plovoucího principu je tedy možné nejen **omezit silové rázy do rámu stroje**, ale také dosáhnout vyšších zrychlení dané pohybové osy bez potřeby zvyšovat instalovaný výkon motoru (resp. při zachování původního zrychlení lze instalovaný výkon snížit).



Obr. 1: Schématické znázornění rozdílu mezi klasickou koncepcí pohonu (nahore) a koncepcí plovoucí (dole)

3. Udržování polohy soustavy vůči loži

Jak již bylo řečeno, u plovoucího principu neexistuje při polohování pevná vazba mezi soustavou a pevným rámem (ložem). Soustava se proto může během svého pohybu libovolně pohybovat po rámu. Z hlediska obrábění není informace o poloze soustavy vůči rámu nutná, neboť se řídí pouze vzájemná poloha protiběžných částí (poloha nástroje vůči obrobku). Při výměně nástroje nebo obrobku však vzniká potřeba polohovat s jedním nebo druhým stolem do konkrétního místa na rámu, tj. „absolutně“ (zásobník nástrojů není součástí pohyblivé soustavy). Z tohoto důvodu je navrhovaná koncepce stroje vybavena dvěma odměřovacími systémy (obr.2). První podává informaci o vzájemné poloze pohyblivých částí, druhý o poloze soustavy vůči loži.

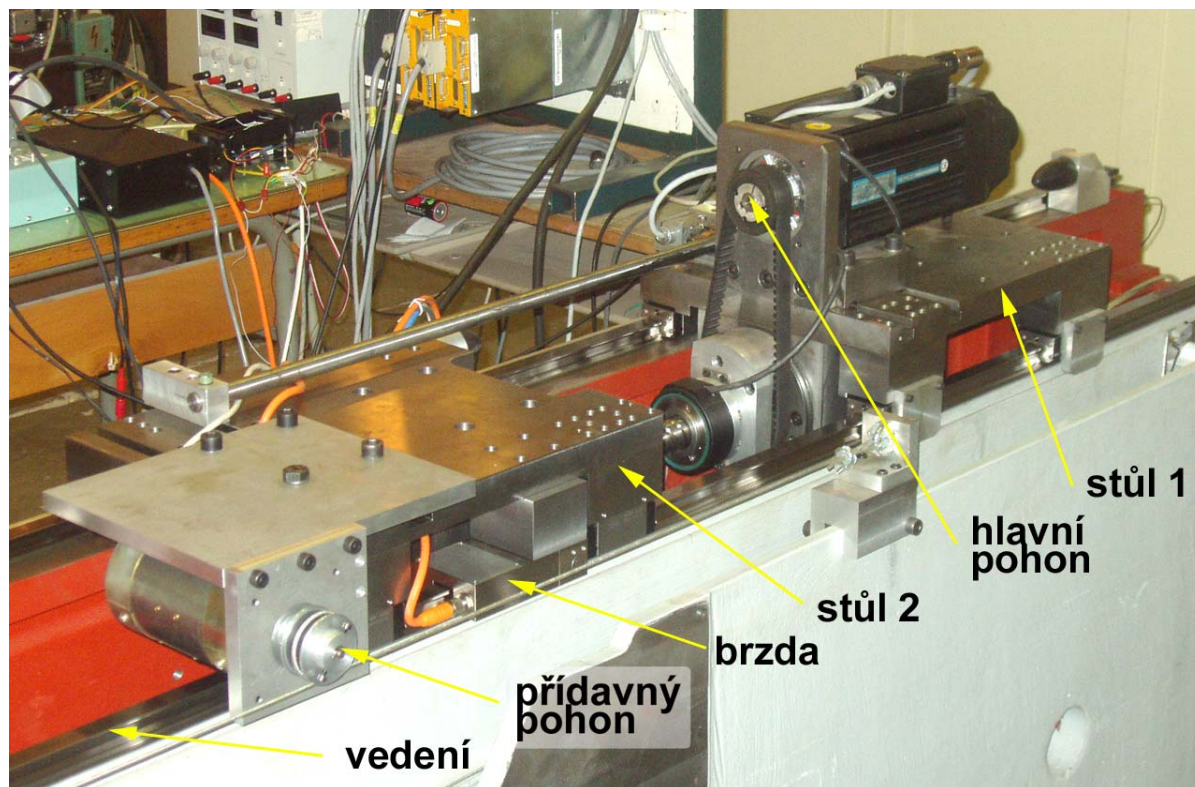


Obr. 2: Schéma odměřování u plovoucí osy horizontálního obráběcího centra

V ideálním případě, pokud by na soustavu nepůsobily žádné vnější síly, by byl poměr rychlostí protiběžných hmot v opačném poměru jejich hmotností. Reálně je však pohyb obou hmot ovlivněn třením ve vedení, tahem kabelových nosičů a pod. (řezná síla je síla vnitřní). Výsledkem je, že se soustava po vedení pohybuje náhodně. Zcela volný pohyb po loži však plovoucí soustavě povolit nelze. Nepřípustně by se totiž zvyšovaly požadavky na délku jejího vedení vůči rámu a tím i rozměry stroje. Proto je nutné polohu soustavy vůči rámu korigovat tak, aby neopustila stanovené meze.

4. Ověření plovoucího principu na experimentálním standu STD-3

STD-3 je experimentální stand (foto viz obr. 3), odpovídající svým uspořádáním schématu na obr. 1. Stůl vpravo je vybaven elektrohydraulickou svěrnou brzdou, což umožňuje přechod od plovoucí koncepce ke klasické. Tímto způsobem se rovněž ověřují způsoby přesného polohování např. při výměně nástroje.

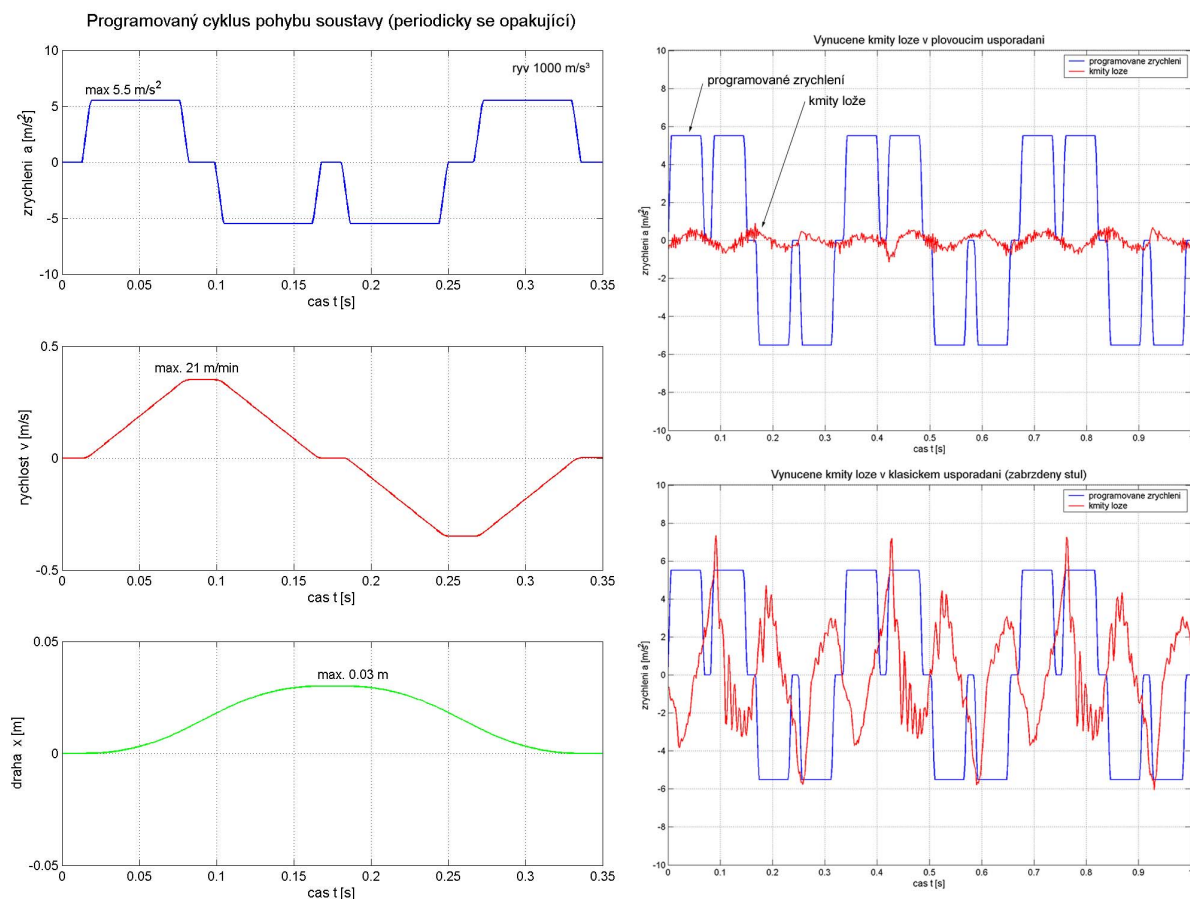


Obr. 3: Experimentální stand STD-3 pro testy plovoucího principu; Základní údaje: hmotnost stolu 1 je cca. 90 kg, stolu 2 cca. 60 kg, třecí síla pro rozjezd celé soustavy po vedení byla naměřena cca. 160 N, pasivní odpory při pohybu cca. 120 N, max. síla přídavného pohonu (v ose) cca. 20 N, max. zrychlující síla cca. 6500 N

Jedním z výsledků aplikace plovoucího principu na posuvovou osu je zklidnění jejího chodu. Na obr. 4 je ukázka měření vynucených kmitů lože v plovoucím a neplovoucím uspořádání pro dané zatěžující podmínky (vzájemné pojezdy stolů k sobě a od sebe). U plovoucího uspořádání se v ose pohybu do lože prakticky přenášejí pouze třecí síly ve vedeních (resp. jejich skoky). To má za následek podstatné zklidnění kmitů rámu stroje (srovnání grafů na obr. 4– vpravo).

Mezi další problémy, zkoumané na STD-3, patří výše zmiňované udržování plovoucí soustavy v určité definované oblasti. K tomuto účelu je zde použit přídavný pohon, který při vychýlení mimo stanovené meze začne působit silou vracející soustavu zpět. U STD-3 je maximální hodnota této síly cca. 0,3 % maximální zrychlující posuvové síly. Tato velikost kvantitativně odpovídá rozdílu vnějších sil působících na oba stoly, jenž je příčinou „odplavání“ soustavy k jedné straně a je postačující pro dostatečně přesné udržování soustavy ve stanovených mezích. Funkce plovoucího principu je tím narušena minimálně.

Při návrhu algoritmu řízení přídavného pohonu byl kladen důraz na jeho nezávislost na hlavním řídicím systému. Tímto by měla být zajištěna možnost použít pro řízení stroje s plovoucím principem standardní řídicí systém.



Obr. 4: Ukázka měření chvění lože (ve směru posuvu) u standu STD-3 při periodicky se opakujících pojezdech – programovaný cyklus viz grafy vlevo

5. Návrh stroje s plovoucím principem

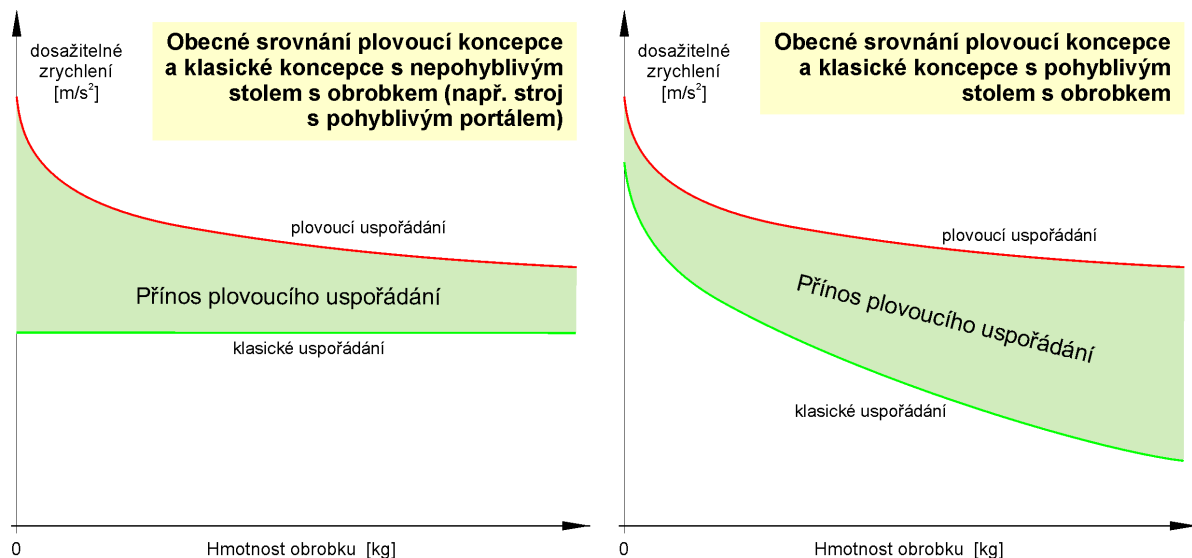
Jednou ze zásad při konstrukci klasických obráběcích strojů je pohybovat vždy tou lehčí hmotou. Pro malé hmotnosti obrobku by se měl pohybovat stůl s obrobkem, u strojů určených pro obrobky těžké by měl veškeré pohyby vůči obrobku (nehybnému) konat nástroj. Odlíšnosti těchto dvou koncepcí jsou naznačeny na obr.5 a z hlediska uplatnění plovoucího principu jsou popsány v následujícím textu.

Graf na obr. 5 vpravo ukazuje uplatnění plov. principu na koncepci s pohyblivým obrobkem (např. stroj ZPS-H40). U klasické koncepce ztrácí stroj s rostoucí hmotou obrobku poměrně rychle na dynamice. V plovoucím uspořádání se však dosažitelné zrychlení vždy zvýší o složku, představující zrychlení uvolněné skupiny (stojan s vřetenem). Při teoreticky nekonečné hmotnosti obrobku by byl veškerý pohyb v ose Z zajištěn uvolněnou skupinou stojanu (stůl by se stal nepohyblivým). V plovoucím uspořádání lze tedy i při extrémním

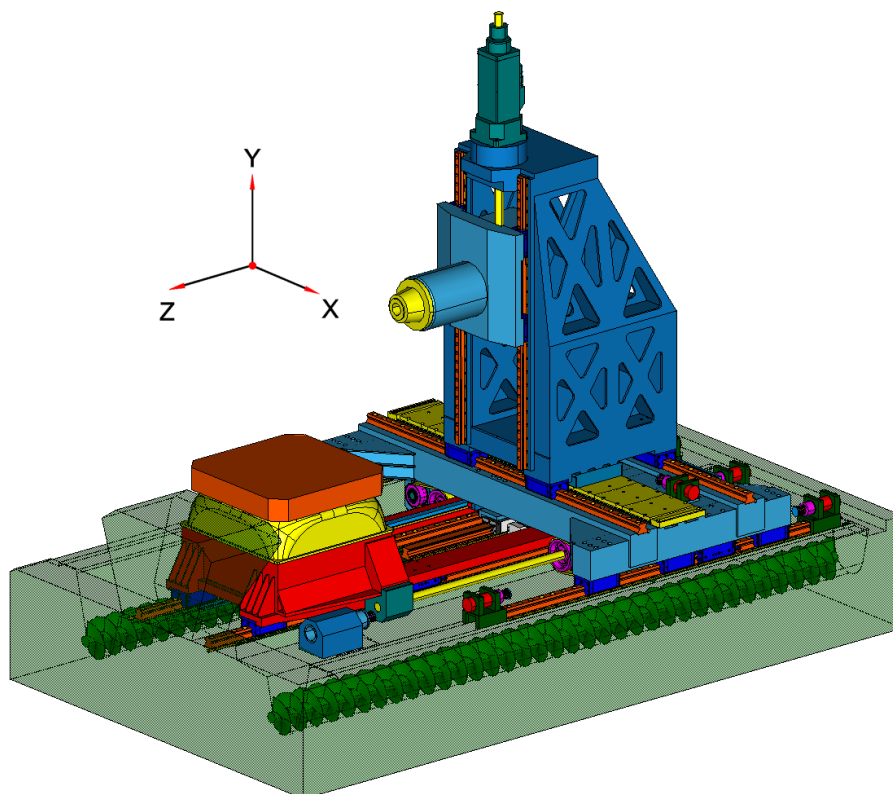
přetížení palety s obrobkem dosáhnout dobré dynamiky. U tohoto typu stroje přínos plovoucího uspořádání z hlediska dosažitelného zrychlení roste s rostoucí hmotou obrobku.

Graf na 5 vlevo ukazuje použití na stroji s pohyblivou skupinou nástroje a nepohyblivým obrobkem (např. stroje TriMill-Depocut, nebo ZPS-TurnMill 1250). V klasickém uspořádání je zrychlení soustavy nástroje konstantní, nezávislé na hmotnosti obrobku. V případě použití plovoucího principu se uvolní stůl s obrobkem. Největší přínos z hlediska dosaž. zrychlení je však, oproti předchozímu případu, pro stůl bez obrobku. S rostoucí hmotností obrobku zde přínos plovoucího principu klesá. Při teoreticky nekonečné hmotnosti obrobku by se dosažitelné zrychlení rovnalo klasické koncepci.

Grafy na obr. 5 je třeba chápat zejména takto: Aplikací plovoucího principu může v obou srovnávaných případech vzniknout kinematicky shodný stroj se dvěma pohyblivými platformami. Z pohledu výrobce je však výhodnější, uplatnit plovoucí princip na stroji, který konkurenční firmy nabízejí v uspořádání s pohyblivým obrobkem (srovnávacím kritériem může být např. velikost upínací palety). V případě dobré konstrukce je teoreticky možné na stroji s plovoucí koncepcí obrábět s dobrou dynamikou posuvů i obrobky několikanásobně těžší než u stroje v klasickém provedení ve stejné velikostní řadě.



Obr. 5: Obecné srovnání strojů s pohyblivým nástrojem a obrobkem z hlediska dosažitelného zrychlení (resp. jeho přínosu) uplatněním plovoucího principu



Obr. 6: Ukázka koncepce horizontálního frézovacího centra s plovoucí osou Z

6. Zhodnocení

Nevýhodou plovoucího uspořádání je zejména složitější konstrukce a problémy vyvstávající s potřebou absolutního polohování při výměně nástrojů a obrobků. Lze však říci, že všechny tyto problémy jsou řešitelné a plovoucí koncepce stroje by díky výše zmíněným výhodám měla mít za předpokladu, že bude správně navržena, vyšší užitnou hodnotu.

7. Poděkování

Tyto výsledky byly získány za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci podpory projektu výzkumu a vývoje LN00B128.

8. Literatura

Bubák, A. & Souček, P. & Zelený, J. (2003) New Principles for Design of Highly Dynamic Machine Tools. In: Proceedings of the international conference ICPR-17, (Michael P. Deisenroth) Virginia Tech, Blacksburg, Virginia, USA, ISBN 0-9721257-3-6.

Souček, P. & Bubák, T. (2002) Vysoce dynamické pohony posuvů obráběcích strojů. Výzkumná zpráva, VCSVTT, ČVUT FSI, Praha