

FEM ANALYSIS OF WORKPIECE EXCHANGE MANIPULATION SYSTEM OF VERTICAL TURNING CENTRE

L. Novotný*, J. Marek**

Summary: A workpiece manipulation assembly includes two main parts. A base is permanently connected to a spindle. A pallet is manipulated of a rotary manipulation table from working place to setting place vice versa. The paper FEM analysis of workpiece exchange manipulation system of vertical turning centre deals with stress and deformation of an assembly that is composed of the base, the palette and the other parts. The assembly is rotating around the spindle axe. As requirements of customers go up steady, revolutions of workpieces increase. It leads to increase of load of parts.

1. Úvod

Obráběcí stroje jsou stavebním kamenem strojírenství, přičemž svislá obráběcí centra na rotační součásti slouží pro výrobu součástí o průměru několika centimetrů až několika metrů. Paletizace je jedním z prostředků, jak minimalizovat nevýrobní časy, a tak dosáhnout vyšší produktivity výroby. Paletizace sestává z řady součástí na sebe navazujících, které vytváří komplikovanou technickou soustavu. V závislosti na funkčním uspořádání a technologických požadavcích se vždy nedaří rozmístit součásti symetricky okolo osy otáčení desky stolu. Samotné nosné díly jsou tvarově složité a je obtížné zachovat jejich symetričnost k více než jedné rovině. Navíc tvar součástí je značně členitý, což způsobuje jejich prostorovou nevyváženost. Dalším způsobem jak zvýšit produktivitu, je růst řezné rychlosti. U svislých obráběcích center je hlavní pohybem otáčivý pohyb obrobku, který je unášen paletou, na které je upnut.

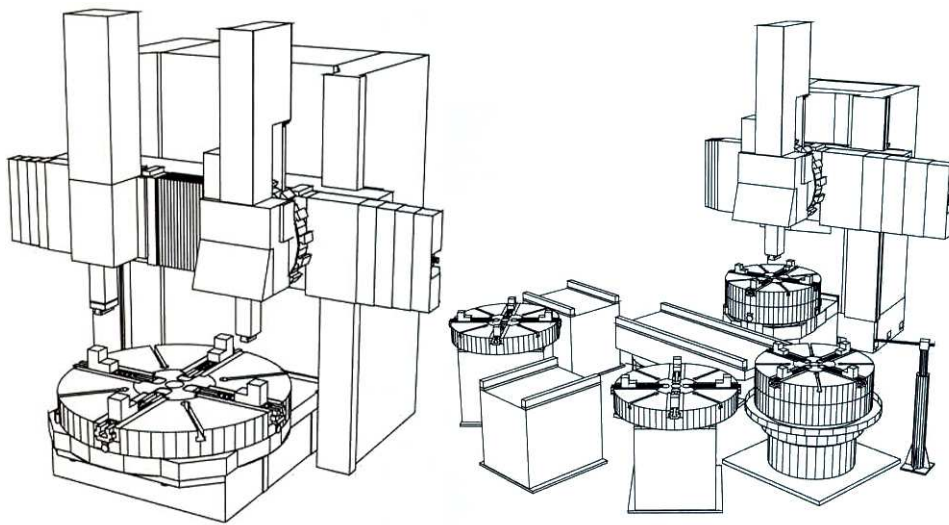
* Ing. Lubomír Novotný: Detašované pracoviště TOSHULIN a.s.; Čechyňská 18; 602 00 Brno; tel.: +420.543 255 093; e-mail: lubomir.novotny@toshulin.cz, nolub@post.cz

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

2. Paletizace u svislých soustružnických obráběcích center

Svislá soustružnická obráběcí centra jsou obráběcí stroje, které mohou být vybaveny i dvěma suporty (obrázek 1 vlevo), jenž významným způsobem eliminují ztrátové časy, pokud obrábíme oběma současně. Obráběcím centrem rozumíme stroj na třískové obrábění, který mimo jiné umožňuje obrábět více druhů technologických operací (vrtání, frézování, závitování apod.). Z těchto důvodů bývá pravý suport vybaven jak soustružnickými tak i rotačními nástroji. Levý suport je zpravidla vybaven pouze soustružnickými nástroji.

Na obrázku 1 vpravo je znázorněno typické prostorové uspořádání paletizace svislých soustružnických obráběcích center.



Obrázek1 Příklad koncepce svislých obráběcích center firmy TOSHULIN

3. Vyvažování součástí

Vyvažování rotujících součástí snižuje silové zatížení ložisek, velikost síly budící vibrace strojů, což se celkově projevuje velmi příznivě na jeho chodu.

Rotory se dělí dle ČSN ISO 1940 na:

- 1) Rotor s jednou vyvažovací rovinou (vyvažování statické),
- 2) Rotor se dvěma vyvažovacími rovinami (vyvažování dynamické).

V závislosti na velikosti, hmotnosti a otáčkách rotoru závisí maximální velikost přípustného nevyvážku. Maximální hodnota vztahovaná na hmotnost rotoru:

$$e_p = \frac{U_p}{m} \quad (1)$$

e_p – měrný nevyvážek [μm]

U_p – přípustný nevyvážek [gmm]

m – hmotnost rotoru [kg]

Rotory jsou řazeny do stupňů podle (požadované) jakosti vyvážení.

$$e_p \cdot \omega = konst. = \text{stupeň jakosti vyvážení [mm} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_p \quad (3)$$

ω – úhlová rychlost [s^{-1}]

n_p – provozní otáčky [s^{-1}]

Stupně jakosti vyvážení jsou značeny G0,4; G1; G2,5; G16 atd. Číselná hodnota v označení je hodnotou výše uvedené konstanty. K uvedeným stupňům jsou přiřazeny typičtí představitelé z technické praxe. Běžná vřetena obráběcích strojů patří do skupiny G1 a G2,5.

Zjednodušíme-li paletizaci na jediné těleso a zanedbáme-li vlastní rotor, ložiska, převody pak, pro skupinu G2,5 a otáčky 1500 min^{-1} , hmotnost sestavy paletizace 800 kg platí:

Přípustný měrný nevyvážek e_p :

$$e_p = \frac{G2,5}{\omega} = \frac{2,5 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot 1500} = 0,015 \text{ mm} = 15 \mu\text{m} \quad (4)$$

Přípustný nevyvážek U_p :

$$U_p = m \cdot e_p = 800 \cdot 15 = 12000 \text{ gmm} \quad (5)$$



Obrázek2 Nerotační obrobek

Pro skupinu G1 bude hodnota přípustného nevyvážku ještě menší. Uvedené modelové výpočty naznačují, jaké požadavky musí vřetena i paletizace obráběcích

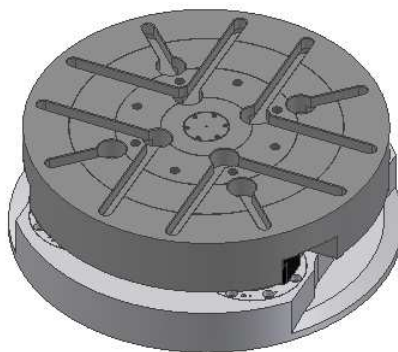
strojů splňovat. Na základě obdobných, i když složitějších, výpočtů se vřetena svislých obráběcích center dynamicky vyvažují. Reálný provoz stroje vnáší do úvah nad konstrukcí uložení vřetena velkou neurčitost. Stroje jsou navrhovány jako universální a obrobky, které jsou na strojích firmy TOSHULIN a.s. obráběny obvykle tvarově různorodé. Na obrázku 2 je ukázán na svislém soustružnickém obráběcím centru opracováváný obrobek. Tvar obrobku vytváří nevyvážek, který způsobuje nevyváhu řádově větší, než která je stanovena při dynamickém i statickém vyvažování.

4. Popis modelu a zatížení

Příspěvek se zabývá pevnostní a deformační analýzou paletizace průmětu 800 mm za vysokých otáček. Pod pojmem paletizace, která je řešena, se rozumí technická soustava součástí plnicích činnosti jako je polohování, manipulace, zpevňování a další. V tabulce jsou uvedeny některé díly z řešené sestavy, která obsahuje více než sto součástí. U tohoto druhu výrobního zařízení a uvedeného průměru obrobkového sklíčidla (palety) lze za vysoké otáčky považovat otáčky vyšší než 1000 min^{-1} . Pro větší průměry sklíčidel se otáčky úměrně zmenšují. Konečnoprvkový výpočet byl proveden pro maximální provozní otáčky 1500 min^{-1} . Zatížení účinky odstředivých sil se jeví jako významný silový účinek, který mnohdy převažuje nad jinými.

Tabulka1 Přehled součástí paletizace

Název součásti	Velikost CAD modelu
Lišta zpevňovací	1344000 kb
Unášecí čep	254976 kb
Polohovací čep	512512 kb
Píst	381440 kb
Válec	965632 kb
Základ	1257472 kb
Čep	396288 kb
Paleta	1662464 kb
Pouzdro	225280 kb



Obrázek3 Ukázka sestavy paletizace – CAD nodel

Velikost dat (tabulka1) jednotlivých souborů přímo souvisí s jejich geometrickou složitostí. Významné geometrické zjednodušení bylo provedeno pouze u zpevňovací lišty především proto, že nebyla předmětem výpočtu. Zároveň zjednodušení muselo respektovat prostorové rozložení hmoty. U ostatních součástí byly zachovány tvary a rozměry. Na všech modelech byla zanedbána zaoblení, sražení a další detaily, které by komplikovaly tvorbu mapované sítě a jejichž vliv na výsledné deformace a napětí lze považovat za bezvýznamné.

Tabulka2 Přehled výpočtových modelů paletizace

Označení varianty výpočtu	Počet stupňů volnosti	Počet elementů	Počet uzlů
V01	89739	24239	29913
V02	178140	48478	59380
V03	177624	48183	59208
V04	89667	24114	29889
V05	127719	35659	42573
V06	154599	44027	51533
V07	162546	46313	54182
V08	267945	75931	89315
V09	100398	26523	33466
V10	516771	147608	172257
V11	522069	149627	174023
V12	182823	50937	60941
V13	177918	49297	59306
V14	519984	150193	173328
V15	526029	153823	175343
V16	183963	52927	61321
V17	519984	150193	173328

Modely sestavy paletizace jsou tvořeny z cca 96% mapovanou sítí. Modely byly vytvořeny z elementů SOLID45, SOLID95 a SOLID92. Jako podpůrné elementy pro tvorbu sítě sloužily elementy MESH200. Kontaktní plochy mezi tělesy jsou tvořeny elementy TARGE170 a CONTA174 resp. CONTA173. Velikost databází jednotlivých modelů se pohybuje v rozsahu od 109MB do 604MB. Z hlediska okrajových podmínek lze rozdělit modely na varianty s jednou rovinou symetrie nebo dvěma rovinami symetrie. Řešení bylo navíc komplikováno výrobními tolerancemi jednotlivých součástí a podmíněností některých kontaktů. Zároveň musela být paletizace uvažována jako celková sestava i jako podsestavy. Bylo řešeno přes třicet variant výpočtů, včetně ladících, ne všechny však byly zahrnuty do závěrečného hodnocení. Celková velikost řešených databází všech závěrečných variant je přibližně 5,5GB a celková velikost souborů analýzy (obsahuje výsledkové soubory, soubory řešiče a další) je více než 30GB. Tabulka 3 obsahuje část výsledků deformací palety pro různé výpočtové varianty.

Tabulka3 Maximální posuvy palety ve směru osy z

Varianta modelu	ΔUZ max	Varianta modelu	ΔUZ max
V12	0,172	V11	0,060
V13	0,102	V14	0,044
V16	0,106	V15	0,041

Existence modelu umožnila zjistit síly, které musí přenášet spojovací materiál (zejména šrouby a kolíky). V dalších odstavcích je uvedeno srovnání sil z analytických výpočtů a výsledky z programu ANSYS na vybraných součástech. V případech, u kterých lze provést analyticky výpočet, vykazuje FEM s těmito výsledky dobrou shodu.

Odstředivá síla působící na upínací válec a píst byla zjištěna jako suma sil v kontaktní ploše. Síly jsou uvedeny vzhledem k globálnímu souřadnému systému.

Válec – základ:

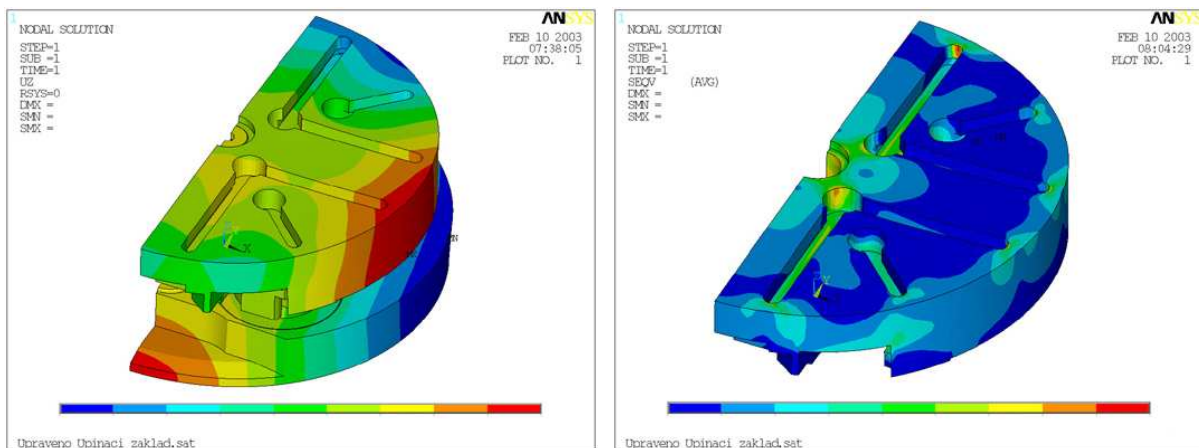
Analyticky zjištěná odstředivá síla (bodové těleso): 138258,35N

Síla zjištěná z FEM výpočtu (model reálného tělesa): 162297,97N

Píst – lišta zpevňovací:

Analyticky zjištěná odstředivá síla (bodové těleso): 90306,88N

Síla zjištěná z FEM výpočtu (model reálného tělesa): 92270,32N



Obrázek4 Posuvy ve směru osy z sestavy a redukována napětí palety

5. Závěr

FEM hraje v konstrukci svislých soustružnických obráběcích center významnou roli. Jak je patrné z předchozích odstavců je odstředivá síla dominantní silou při vysokých otáčkách strojů s paletizací. Nutno zdůraznit fakt, že se podařilo pomocí analýzy

FEM eliminovat případné nežádoucí efekty po vyrobení a smontování paletizace a taktéž technologicky optimalizovat tvar palety a upínacího základu.

Překvapující byla pro autory míra shody analytického výpočtu v porovnání s výpočtem pomocí FEM. Tím se potvrzuje staré konstruktérské pravidlo, že při návrhu je možné mnohdy provést v první fázi analytický výpočet a posléze zpřesnit pomocí FEM.

6. Literatura

ANSYS 6.1 (2002) Documentation

Borský V. (1991) Základy stavby obráběcích strojů, VUT v Brně, Brno

Norma ČSN ISO 1940

Weck. M. (1979) Werkzeugmaschinen – Band I. VDI Verlag, Düsseldorf