

**Centrum Výzkumu Konstrukce Tvářecích Strojů
při ZČU v Plzni**

Název zprávy:

Průběžná zpráva o činnosti CVTS k 20.9.2008

Počet stran: 4

Datum vydání zprávy: 21.9.2008

Vedoucí skupiny: Doc. Ing. Milan Čechura,CSc.

Vypracoval: Doc. Ing. Milan Čechura,CSc.

Plán prací projektu „Výzkum tvářecích strojů 2008“ (3. a 4. čtvrtletí)

Garant témat: Doc. Ing. Milan Čechura, CSc.

1. Tématický okruh č.1: Virtuální modelování a prototypování strojů, jejich uzlů a komponent.

Hlavní dlouhodobý cíl: Cílem je vybudování know-how pro vytváření věrohodných a spolehlivých simulačních modelů nosných a pohybových struktur, konstrukčních skupin a komponent tvářecích strojů.

Úvod

Virtuální modelování v současnosti vytlačilo ostatní konstrukční přístupy k návrhu nového stroje na vedlejší kolej. Hlavním přínosem je především rychlost a finanční úspora. Virtuální model, tedy model připravený pouze v prostředí počítačového programu, přináší prakticky neomezené možnosti co do topologické optimalizace stroje. Pomocí virtuální simulace lze získat představu o využití materiálu, tuhosti stroje, nebo dynamických vlastnostech dílce či celého zařízení.

Právě pro neomezené možnosti virtuálního modelu je nutné, více než kdykoliv dříve, dbát na základní konstrukční poučky, sledovat technologické možnosti vyrobitelnosti a i samotnou technologii na stroji provozovanou.

Protože u virtuálního modelu často dochází k zjednodušením, která mají za cíl úsporu výpočetních časů, je znalost pracovních podmínek zařízení nezbytnou podmínkou. Zjednodušení je často prováděno zadáním okrajových podmínek výpočtu. Právě při jejich přípravě dochází nejčastěji k chybě, která následně vede k chybným závěrům. Správná příprava okrajových podmínek je podmíněna značnou zkušeností z využití virtuálních modelů a současně zkušeností z konstrukce strojů.

1.1. Modelování nosných struktur tvářecích strojů, jejich uzlů a komponent

Vedoucí: Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., (Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.)

úkol roku 2008:

1.1.1. Rešerše dosud uveřejněných výzkumných poznatků v oblasti modelování nosných struktur tvářecích strojů, jejich uzlů a komponent

Rešeršní průzkum pro oblast konstrukce tvářecích strojů byl v prvním kroku proveden ve vlastních zdrojích pracoviště. V archivech pracoviště se nacházejí práce realizované od osmdesátých let minulého století.

Proveden byl rovněž průzkum externích zdrojů, v národních, ale i světových databázích vědeckých výsledků. Vyhledávána byla tato klíčová slova:

- tvářecí stroje
- forming machine
- machine simulation

Prohledáno a čerpáno bylo ze zdrojů:

- vlastní archiv pracoviště (KKS - FST - ZČU v Plzni)

- knihovna ZČU v Plzni (www.knihovna.zcu.cz)
- knihovna ČVUT Praha (aleph.cvut.cz)
- knihovna TU v Liberci (knihovna.tul.cz)
- knihovna VUT Brno (aleph.lib.vutbr.cz)
- Knihovna VŠB-TU Ostrava (knihovna.vsb.cz)
- Studijní a vědecká knihovna Plzeňského kraje (www.svkpl.cz)
- informační systém výzkumu a vývoje (aplikace.isvav.cvut.cz)
- informační systém Elsevier (www.elsevier.com)
- informační systém Science Direct (www.sciencedirect.com)

Vývojové práce pro zvýšení parametrů kovacího lisu CKVJ 2650

Autoři: Čechura, M.; Dejmal, V.; Krátký, J.

Datum: Plzeň 1998

Práce pojednává o:

Posouzení schopnosti stávající konstrukce hydraulického kovacího lisu CKVJ 2650 pracujícího při tlaku hydraulického média 20 MPa přechodu na tlak zvýšený na 25 MPa, tedy navýšení pracovní síly na 33 MN.

Podmínky pro výpočet rámu:

- Protože je rám i jeho zatížení symetrické podle podélné osy, je řešena polovina rámu
- V modelu rámu nejsou uvažovány vůle a styky mezi pohyblivými elementy
- V modelu rámu nejsou uvažovány předepjetí ve spojovacích elementech
- Traverzy jsou modelovány jako kombinace plošných a prostorových elementů, sloupy z prostorových elementů
- Nejsou namodelovány úkosy
- Jsou namodelovány nejmenší tloušťky stěn
- Spodní traverza je namodelována jednodušší jako symetrická, nejsou uvažovány otvory ve spodní desce
- Výsledné napjatosti a posuvy v rámu jsou brány jako výchozí pro výpočet jeho jednotlivých částí (horní, střední traverzy a sloupů)
- Rám leží přes patky na základě, posuvy v patkách jsou uvolněny, svislé zakázány

Podmínky pro výpočet horní traverzy:

- Zatížení od válců je uvažováno jako spojitě rovnoměrné na ploše přírub válců
- Spojení mezi traverzou a sloupy je uvažováno bez vůlí a vlivu styků, jako pevné a nepředepjaté
- Zatížení traverzy je odvozeno z celkového výpočtu rámu lisu (např. zatížení ohybovými momenty a posouvajícími silami od excentricky působící síly je přenášeno na traverzu sloupy)
- Nebylo uvažováno zatížení od vlastní hmotnosti - je zanedbatelné

Podmínky pro výpočet plungerové traverzy:

- Zatížení traverzy je odvozeno z celkového výpočtu rámu lisu

- Zatěžovací plocha je uvažována excentricky, proti té působí zatížení od tří stejně velikých sil hydraulických válců, tyto síly jsou přenášeny přes plochu vložek čoček
- Momenty a síly vzniklé od excentricity technologické síly a symetričnosti síly od hydraulických pohonů jsou zachyceny sloupy rámu, spojení mezi sloupy a traverzou je uvažováno jako pevné

Podmínky pro výpočet sloupů:

- Zatížení sloupů je odvozeno od zatížení, které vyplynulo jako výsledek při výpočtu rámu, v nepředepjaté části sloupů je napětí totožné s napětím, které vychází z výpočtu rámu
- Předepjatá část sloupů je uvažována s vyvozeným předepjetím 100 MPa
- Řešení oblasti kolem závitu je úloha uvažována jako rotačně symetrická

Podmínky pro výpočet hydraulického válce:

- Válec je po celé vnitřní ploše zatížen přetlakem 25 MPa
- Válec je opřen za přírubu, takže je uvažován nulový posuv ve směru osy válce
- Výpočet proveden jako rotačně symetrická úloha
- Neuvažováno tření v ucpávkách a vedení

Vyhodnocení výsledku výpočtu rámu lisu:

- Lokální špička napětí částečně způsobena nenamodelováním skutečných rádiusů a přechodů stěn, předpoklad podstatně nižšího skutečného napětí
- Horní traverza je v místě vložení válců zeslabena - ohyb způsobuje značné namáhání
- Míra bezpečnosti k mezi kluzu použitého materiálu je pouze 1,28, což je málo

Vyhodnocení výsledku výpočtu střední traverzy:

- Její namáhání je především způsobeno excentricky působící technologickou silou, kdy tato traverza musí zachytit a přenést momenty vzniklé od tohoto zatížení

Vyhodnocení výsledku výpočtu sloupů:

- Přenáší technologickou sílu mezi spodní a horní traverzou
- Jsou velice nepříznivě namáhány při excentrickém zatížení silami vzniklými od excentricky působící zátěžné síly

Rozbor a pojednání o výsledcích

- Rám byl počítán jako celek, z tohoto řešení vyplynulo zatížení a namáhání jednotlivých částí ve vzájemných souvislostech
- Výpočet celku vyloučil teoretické definování okrajových podmínek, které jsou často rozporné, toto vede ke kompaktnosti okrajových podmínek aplikovaných na jednotlivé díly stroje

Odborné posouzení technických parametrů odlitého a svařovaného rámu stroje ULS a jejich porovnání

Autoři: Čechura, M.; Dejmal, V.; Kučerová, M.; Bouda, M.

Datum: Plzeň 2000

Práce pojednává o:

Práce se zabývá možností náhrady rámu odlitého rámem svařovaným a jejich vzájemným porovnáním s využitím MKP software.

Silový rozbor vnějšího zatížení rámu:

- Moment na klíce bez uvažování pasivních odporů
- Moment na klíce s uvažováním pasivních odporů
- Výpočet při excentrickém zatížení beranu
- Stanovení sil působících od pohonného ústrojí

Počítačové modely:

- nemodelovány malé úkosy
- nemodelovány malé rádiusy
- modelovány nejmenší tloušťky
- nemodelovány sváry, celý svařenec je brán jako homogenní materiál

Síťový model:

- kombinace prostorových a plošných elementů
- modelovány fiktivní prvky (náhrada hřídele) pro zadání okrajových podmínek

Okrajové podmínky:

- síly od hřídelí pohonu - získány z výpočtu ozubení, přeneseny pomocí fiktivních hřídelí
- síly do vedení beranu - získány z analýzy klikového mechanismu, na celou délku vedení
- síly do pracovního stolu - spojitě zatížení, na polovinu plochy stolu
- ukotvení rámu - všechny patky nulový posun ve směru působení pracovní síly, jediné patce nulový posun do všech směrů

Posunutí bylo sledováno:

- bod s největším posunutím na horní traverze - důležité posunutí pro funkci lisu
- body na svislé ose uvnitř rámu
- body v horních rozích pracovního prostoru
- body v ložiskových tělesech klikových hřídelí

Přepočet redukováného napětí ve stěně válce hydromotoru

Autoři: Čechura, M.; Staněk, J.; Čontoš, V.

Datum: Plzeň 2000

Práce pojednává o:

Práce se týká pevnostní kontroly hydraulického válce hydraulického lisu CKV 1500 při provozním tlaku 50 MPa.

Podmínky řešení:

- válec řešen jako rotačně symetrická úloha
- válec vetknutý do horní traverzy za čelo

Provedené výpočty:

- Válec je v horní části vetknut do horní traverzy za čelo, povoleny nulové posuvy a natočení ve všech osách
- Válec je v horní části vetknut do horní traverzy za čelo, povolen nulový posuv ve směru pracovní síly a směru tangenciálním, nulové natočení ve všech osách, ale v radiálním směru posuvy povoleny

Zhodnocení výsledků:

- Maximální napjatost v místě přechodu dna do stěny válce (velmi malý přechodový radius). Vetknutí způsobilo v horní části válce vysoké napětí
- Přechod dna do stěny vychází obdobně jako u variant "a". Vlivem změněných okrajových podmínek došlo ke zvýšení redukovaného napětí v místě vedení plunžru

Klikový lis LMZ 8000

Autoři: Čechura, M.; Dejmal, V.; Kučerová, M.

Datum: Plzeň 2000

Práce pojednává o:

Práce pojednává o návrhu rámu klikové lisu pro pracovní sílu 8000×10^4 N se zaměřením na vysokou tuhost při současné nízké hmotnosti.

Rozsah práce:

- Výpočet a rozbor silových účinků od vnějšího zatížení
- Příprava modelu celého rámu a jednotlivých jeho komponent v provedení 3D
- Stanovení a zadání okrajových podmínek pro výpočet rámu včetně výpočtu
- Odborné posouzení získaných výsledků s případnými dalšími návrhy na konstrukční úpravy za účelem zlepšení technických parametrů

Výpočet a rozbor silových a momentových účinků od vnějšího zatížení na rám lisu:

- výpočet jednotlivých sil a momentů od daného zatížení na klikovém mechanismu s ohledem na tření
- stanovení sil a momentů působících na rám od poháněného ústrojí

Počítačový model rámu a jeho jednotlivých částí pro klikový lis LMZ 8000 v provedení 3D:

- Návrh rámu vychází z podobnosti s rámem lisu LMZ 6500 s rozdílem v technologii (navrhován svařenec)
- Rám je konstruovaný jako předepnutý pomocí čtyř kotev
- Analytický výpočet návrhu horní traverzy
- Analytický výpočet návrhu stojin včetně předepínacích kotev

Výpočet deformací a napětí v navrženém rámu lisu:

- Užita kombinace prostorových a plošných prvků spojených přeplátováním (plošné prvky byly použity pro stojiny a žebra, objemové pak pro spodní a horní traverzu)
- Byly namodelovány fiktivní prvky k nahrazení působení hřídelí
- Stanovení okrajových podmínek:
- Síly od hřídelů - získány z výpočtu ozubení

- Síly ve vedení - z analýzy klikového mechanismu
- Síla působící na pracovní stůl stroje - spojité zatížení na polovinu plochy stolu
- Maximální síla v kotvách - stanovena předepínací síla
- Ukotvení rámu - jedna patka uchycena ve všech směrech, zbylé pouze ve směru vertikálním

Sloupy rámy pro hydraulický lis ŠKODA CKVJ 2500

Autoři: Čechura, M.; Hlaváč, J.

Datum: Plzeň 2004

Práce pojednává o:

- Kontrolní výpočet opotřebovaných starých sloupů rámu lisu a jejich zhodnocení pro možnost jejich dalšího používání.

Rozsah práce:

- Analýza velikosti a způsobu zatížení sloupů
- Stanovení okrajových podmínek pro výpočet sloupu
- Zjištění napětí ve sloupu v neopotřebovaném provedení
- Určení velikosti deformací u použitého sloupu
- Analýza výsledků a závěrečná doporučení

Předpoklady výpočtu:

- Sloup je uvažován za tlakovou nádobu s vnitřním přetlakem
- Sloup je namáhán 1/4 pracovní síly zvětšené o vliv excentricity kombinovaným napětím (tah a ohyb), proto byly vytvořeny i modely traverz
- Pohyblivá traverza se nachází ve spodní poloze, kde obvykle stroj vyvozuje maximální sílu
- Omezeny vruby, především vynecháním závitů

Analýza výsledků:

- Reálného rozložení zatížení sloupu bylo dosaženo využitím modelu sloupu spolu s částí traverz
- Předpokládá se, že v místech ve kterých napětí překročí mez kluzu dojde k elasticko-plastickému stavu, a tedy že dojde k roznešení zatížení do okolí spočtené napjatostní špičky
- Předpokládá se, že kvůli přesnosti MKP výpočtů lze akceptovat i nižší mez bezpečnosti, než jaká by byla akceptována při konvenčním výpočtu

Vliv konstrukce hydraulického lisu na jeho účinnost

Autoři: Horák, J. (disertační práce, školitel J. Staněk)

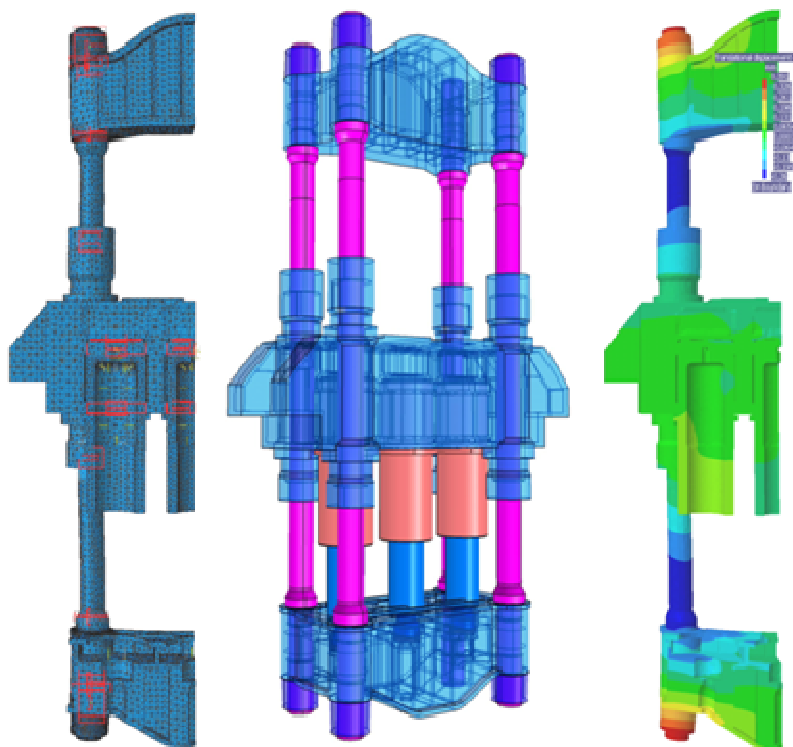
Datum: Plzeň 2004

Práce pojednává o:

- Práce pojednává o hydraulických kovacíh lisech, konkrétně o jejich energetické účinnosti se zaměřením na ztráty způsobené pružnou deformací stroje. Práce analyzuje energetickou účinnost lisů se zanedbáním periferií (hydraulický okruh)

Virtuální modelování lisu:

- Model tvořen horní, spodní a pohyblivou traverzou, hydromotory, sloupy a jejich maticemi
- Zanedbány zpětné válce
- Nejvýznamnější změna byla provedena na střední traverze, bylo upuštěno od modelování šroubového spojení obou polovin odlitku
- Zaoblení vnitřních a vnějších hran (většinou R 5) byla nahrazena ostrými rohy, neboť síť v těchto místech stejně nemůže být dost jemná
- V modelu dále nebyly vytvořeny díry po licích jádrech
- Modifikace sloupu a předepínacích matic spočívá v nahrazení závitů válcovými plochami
- Místo kompletních hydromotorů byly do modelu rámu dosazeny pouze válce



Obr. 1-1 Virtuální model lisu CKW 100 s pevnostní kontrolou

Podmínky výpočtu:

- Předpoklad symetrického zatížení - výpočet proveden pouze na čtvrtině lisu

Okrajové podmínky:

- Zjišťována deformační charakteristika rámu, proto byl model fixován ve svislém směru na oblast pracovního prostoru - zafixovány dosedací plochy nástrojů na střední a horní traverze
- Došlo k zafixování plochy vzniklé řezem v rovinách symetrie v normálním směru
- Model 1/4 lisu obsahuje osmnáct kontaktů, z toho dva předepnuté spoje

Vliv předepjatých spojů na deformaci rámu:

- Nezatížený rám lisu a některé jeho části jsou namáhány předpětím, jež vyvozují předepínací matice na sloupech

Další zdroje

z RCMT

89. Rybář, P., Salva, M., Müller, V.: Studie čtyřsloupového ostřihovacího lisu, Sborník konference STČ 2006

26. Lašová, V., Kosnar, M.: Kontrola návrhu kaširovacího lisu s celkovou silou 700 kN, [Výzkumná zpráva V-07-039], 2007

z knihovna.zcu.cz

Kosnar, Martin Lašová, Václava, : Mechanické vlastnosti lisu CKV 7200 při lisovací síle 105 MN - stávající řešení a nové úpravy [výzkumná zpráva] /Praha : 2008 (http://josef.uk.zcu.cz/F/N6PDYPTCKY93FIEJGK6VHH2XEL4L3Y4Q7RCKPCBGETXUJ JNL7V-01223?func=full-set-set&set_number=002998&set_entry=000001&format=999)

z RIV:

Jiříčný, D., Šefrna, V.: Analýza dynamických modelů mechanických tvářecích strojů, ČVUT Praha, TRANSFER 2001 ISBN 80-88914-46-9, Trenčín (The paper deals with analysis basic types mechanical forming machines. Based on the analysis there are machine dynamic models described. The models represent the operation characteristics. The models are presented in mathematical form together with finite element method results.)

Vedral, K., Krannich, T., Mañas, S.: Integrovaný návrh tvářecích strojů s využitím CAE/CAD systémů, ČVUT Praha, Transfer 2003, ISBN 80-8075-001-7 (This article undertake with the changes of usage of the computers in the integrated development of production machines and equipments. In this article we would like to show the checking of the critical place of forming machine by CAD/CAE systems. We applied the finite element analysis on this part of the assembly with usage of contact connection between the parts. This assembly include the thread witch is simplify as the rings.)

Hovorka, J., Mañas, S.: Zvyšování tuhosti otevřených stojanů tvářecích strojů, ČVUT Praha, 2007, Transfer 2007 - Využívání nových poznatků v strojářské praxi, ISBN 978-80-8075-236-1 (Konstrukce tvářecích strojů s využitím software pro FEM analýzy vede k nalezení kritických míst zásadně ovlivňujících tuhost stojanu. Znalosti této problematiky lze využít pro určení závislosti jednotlivých parametru a tím snížení deformace stojanu.)

1.1.2. Závěry provedené rešerše

Výsledky provedené rešerše na téma konstrukce tvářecích strojů jednoznačně ukazují na to, že pracoviště ZČU v Plzni se jako jediné v České republice soustavně věnuje problematice. Proč nebyly ve větší míře nalezeny relevantní odkazy ani ve světových databázích je minimálně zarážející, například v Německu prokazatelně existuje silný svaz výrobců tvářecích strojů.

1.1.3. Vytipování vhodných výpočetních programů pro možnost modelování nosných struktur tvářecích strojů a zvládnutí vhodného výpočetního programu

Rešeršní práce byly provedeny převážně na vlastních zdrojích pracoviště ZČU v Plzni. Použité výpočetní systémy byly tyto:

Unigraphic

- dostatečné modelářské i výpočtové prostředí
- v současnosti nahrazen skupinou produktů NX

I-DEAS

- dostatečné modelářské i výpočtové prostředí
- v současnosti postupně nahrazován skupinou produktů NX

NX

- silné modelářské prostředí, v současné verzi slabší výpočtové prostředí
- jedná se o nástupce software Unigraphics a I-DEAS, snaha o implementaci osvědčených modulů

ANSYS

- silné výpočtové prostředí, slabé modelářské prostředí (obvykle nutnost importu geometrie z jiného software)

MARC

- silné výpočtové prostředí, slabé modelářské prostředí (obvykle nutnost importu geometrie z jiného software)

CATIA

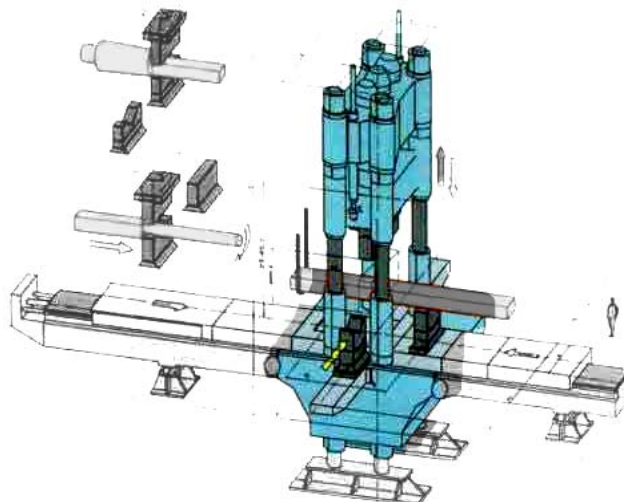
- silné modelářské prostředí, slabé výpočtové prostředí

Skupina sdružená pod názvem “Centrum výzkumu konstrukce tvářecích strojů” při ZČU v Plzni má v současné době nejširší zkušenosti s využitím software I-DEAS (aktuální verze 13), proto se předpokládá setrvání u tohoto produktu. Protože je software I-DEAS v současnosti nahrazován skupinou produktů NX, je nutné postupně členy skupiny přeskolit na nový software - pravděpodobně se jím stane právě NX.

Výhledově do budoucnosti bude nutné přejít na software podporující 64-bitový operační systém, důvodem je využití operační paměti, a víceprocesorové sestavy. Software I-DEAS v současné době nepodporuje ani jednu technologii a vzhledem k jeho plánovanému ukončení asi ani nebude.

1.1.4. Vytipování základních nosných elementů tvářecích strojů a jejich komponent pro provedení příkladů aplikace

Tvářecí stroje, jak z názvu vyplývá, slouží k tváření tvařitelných materiálů. Tváření materiálu nastává při překročení přetvárné pevnosti. Samotné tváření můžeme rozdělit na tváření za studena a za tepla. Technologie tváření je vždy spojena s poměrně značnými silami, což se odráží v konstrukci strojů. Samozřejmě je nutné rozlišovat mezi stroji určenými pro tváření drobných součástí a naopak tváření rozměrných kusů, kde se velikosti tvářecích sil i jejich frekvence výrazně liší.



Obr. 1-2 Rám hydraulického kovacího lisu (Škoda)

Tvářecí síla je u tvářecích strojů přenášena rámem stroje, výjimku tvoří buchary, kde se tvářecí síla vybíjí mezi horním a spodním kovádem vlivem rázu. Protože je tvářecí síla přenášena rámem, jsou na rám kladeny vysoké požadavky. Rám stroje musí zajišťovat nejenom dostatečnou pevnost, což obvykle problémem nebývá, ale musí zajišťovat i dostatečnou tuhost. Tuhost rámu je důležitá s ohledem na výrobní přesnost stroje, životnost nástrojů, ale i energetickou náročnost provozu zařízení.

Základním nosným elementem je tedy RÁM stroje.

Protože existuje několik základních skupin tvářecích strojů, je vhodné se jednotlivým věnovat samostatně.

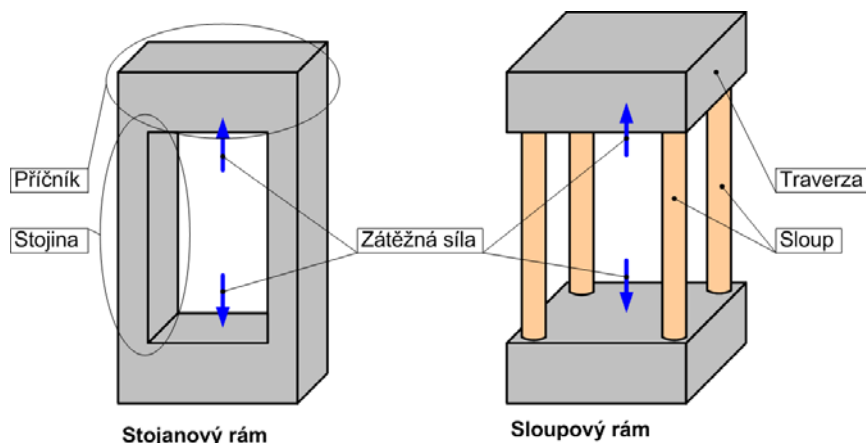
Lisy

Lisy, lze dle způsobu pohonu rozdělit do dvou základních skupin na lisy s hydraulickým pohonem a lisy s mechanickým pohonem. Zásadní rozdíl mezi hydraulickým a mechanickým pohonem je v působení jmenovité síly. Mechanické lisy vyvozují jmenovitou sílu při jasně definovaném zdvihu, kdežto hydraulické lisy jsou schopny vyvodit jmenovitou sílu v jakémkoliv místě zdvihu. Také možnost přetížení, tedy i namáhání rámu, je rozdílná. Teoreticky je větší pravděpodobnost přetížení u mechanických lisů, ve skutečnosti se proti přetížení používají různé způsoby ochrany.

Síla použitá pro provedení technologické operace je vyvozena a přenášena rámem. Úkolem rámu je poté zajištění přenosu síly jak z pohledu pevnosti rámu, tak i s ohledem na tuhost. Tuhost rámu stroje je důležitý faktor který přímo ovlivňuje energetickou náročnost a výrobní přesnost.

Rámy lisů:

- Stojinový rám
- Sloupový rám

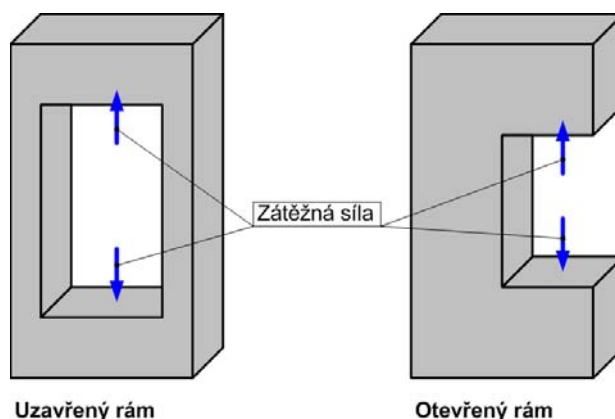


Obr. 1-3 Typy rámu lisů

Stojinový rám může být vytvořen z jednoho kusu materiálu, jako monolit, odlitím nebo svařením. Existuje i varianta, kdy je rám složen z více dílů, takovýto rám se nazývá skládaný nebo také kotvený. Stojinový rám se používá pro lisy mechanické i hydraulické. Sloupový rám je používán pro lisy hydraulické, existuje konstrukce standardní nebo s předepjatými sloupy. Sloupový rám je vhodný pro zatížení v ose technologické síly, pro síly působící kolmo na sloupy (ohyb a stříh) je vhodnější rám stojinový.

Z rozporu mezi tuhostí a přístupností pracovního prostoru vznikly dvě skupiny rámu:

- Otevřený rám
- Uzavřený rám



Obr. 1-4 Typy rámu lisů

Obecnou výhodou uzavřeného rámu je jeho vyšší tuhost oproti rámu otevřenému, naopak rám otevřený má přístupnější pracovní prostor.

1.1.5. Vytvoření metodického postupu pro vytváření výpočtových modelů nosných struktur, uzlů a komponent tvářecích strojů

1.1.6. Definování obecných vztahů a souvislostí pro stanovování okrajových podmínek pro vytváření matematických modelů

1.2. Modelování pohyblivých funkčních částí tvářecích strojů

Vedoucí: Ing. Jan Hlaváč, Ph.D.

úkol roku 2008:

- 1.2.1. Rešerše dosud uveřejněných výzkumných poznatků v oblasti modelování nosných struktur tvářecích strojů, jejich uzlů a komponent**
- 1.2.2. Vytipování vhodných výpočetních programů pro možnost modelování nosných struktur tvářecích strojů a zvládnutí vhodného výpočetního programu**
- 1.2.3. Vytvoření metodického postupu pro vytváření výpočtových modelů nosných struktur, uzlů a komponent tvářecích strojů**
- 1.2.4. Definování obecných vztahů a souvislostí pro stanovování okrajových podmínek pro vytváření matematických modelů.**
- 1.2.5. Vytipování základních pohyblivých funkčních elementů tvářecích strojů a jejich komponent pro provedení příkladů aplikace.**

1.3. Modelování modálních vlastností tvářecích strojů

Vedoucí: Ing. Jan Hlaváč, Ph.D., (Ing. Václav Kubec, Ph.D.)

úkol roku 2008:

- 1.3.1. Rešerše prací zabývající se modální analýzou výrobních strojů**
 - 1.3.2. Možnosti sestavení modálního modelu, vhodný software**
 - 1.3.3. Stanovení dynamických procesů vytipovaného představitele hydraulických lisů**
 - 1.3.4. Sestavení modálního modelu vytipovaného lisu**
- ### **1.4. Matematické modelování tepelných stavů na tvářecích strojích a jejich vlivů na ně, prediktivní výpočty jejich tepelných deformací**

Vedoucí: Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc., (Ing. Zdeněk Chval)

úkol roku 2008:

1.4.1. Rešerše dosud uveřejněných výzkumných poznatků v oblasti modelování tepelných stavů na tvářecích strojích

Chceme-li, aby se na tvářecích strojích mohly vyrábět přesnější a kvalitnější výrobky, musíme provést analýzu celého výrobního procesu, abychom zjistili, jaké vlivy nám mohou kvalitu výrobku ovlivnit.

Mezi vlivy, které přichází v úvahu patří i tepelné zatěžování tvářecího stroje.

S touto okolností je třeba již počítat při navrhování stroje, a proto při konstrukci tvářecího stroje je důležité provést důkladnou analýzu možného teplotního ovlivnění konstrukce, neboť tvářecí stroj je především při tváření za tepla ovlivňován i teplotně.

Zdroje tepla, které se vyskytují na tvářecích strojích, lze rozdělit do 3 skupin:

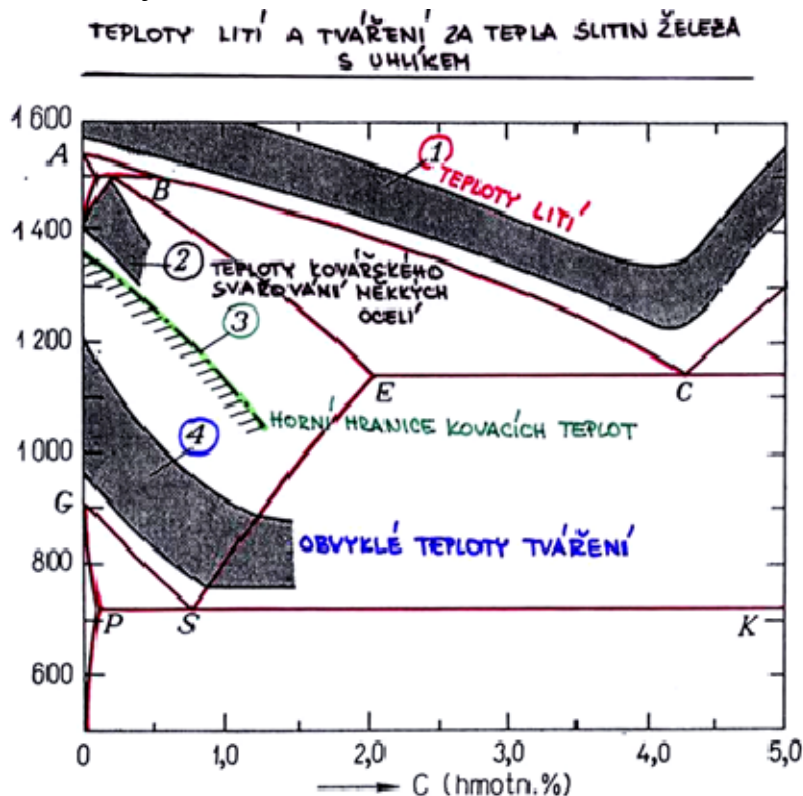
- teplo pocházející z technologického procesu tváření

- teplo vznikající v tvářecím stroji (tření mezi pohybujícími se členy – vedení pohybujících se částí, škrcení (expanze) pracovní kapaliny, třecí spojky a brzdy atd.)
- teplo které je přenášeno z okolí

Teplo pocházející z technologického procesu tváření

Zvláště při tváření za tepla dosahuje teplota tvářeného polotovaru vysokých hodnot (viz. obr. 0). Přibližná teplota tvářeného kusu může běžně dosahovat až 1200 °C.

Je nutné proto vytipovat oblasti, kde dochází k maximálnímu ovlivnění (teplotním dilatacím) základních částí tvářecího stroje a vytipovat jejich vliv na konstrukci a tím i na požadovanou přesnost stroje.



Obr. 1-5 Teploty lití a tváření za tepla slitin železa s uhlíkem

U tvářecích strojů je nejčastěji teplem ovlivňován pracovní prostor stroje, který často má největší vliv na přesnost výroby a stroje.

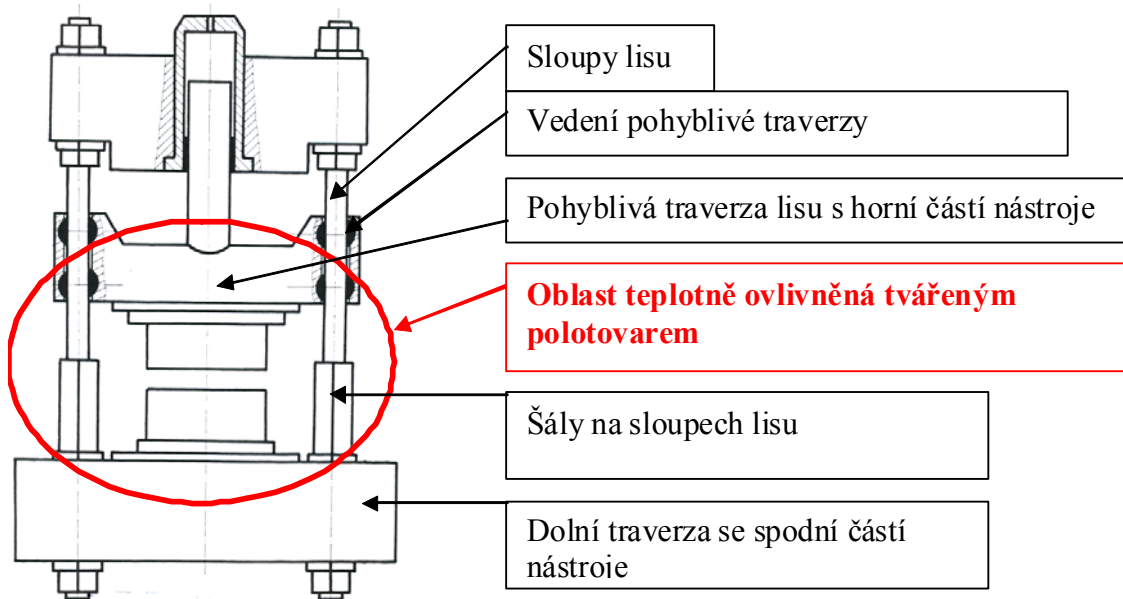
Každý typ tvářecího stroje je svým způsobem specifický, s proto je třeba provádět analýzu vlivu tepla na každý typ stroje zvlášť

Lisy

U lisů dochází hlavně k tepelnému ovlivnění pracovního prostoru stroje (části, které přicházejí do styku s tvářeným polotovarem).

Tepelně zatěžované části stroje:

- sloupy (stojiny) lisu
- vedení beranu (pohyblivé traverzy)
- beran (pohyblivá traverza) s nástrojem
- stůl se spodním nástrojem
- možné ovlivnění pohonu a zpětných válců u hydraulických kovacích lisů



Obr. 1-6 Hydraulický kovací lis s horním pohonem

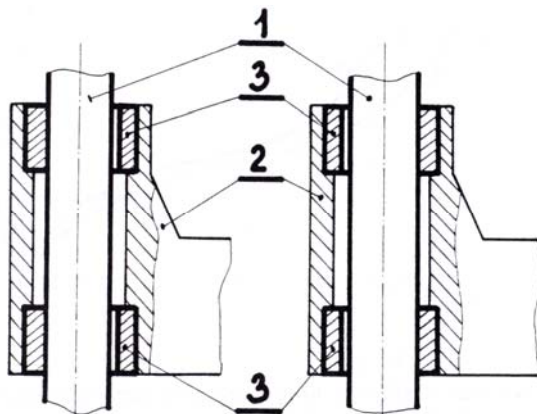
Např. při návrhu rámu lisu je používána na traverzy ocel na odlitky: 422641, 422642, 422643 kde $Re = 230 - 260$ [MPa], $Rm = 450 - 550$ [MPa]

Při výpočtu klasickou pružností a pevností je bráno:

- dovolené namáhání dolní traverzy:
50 - 70 [MPa] (zohledněn vliv teploty polotovaru na mechanické vlastnosti traverzy)
- dovolené namáhání horní traverzy:
60 - 80 [MPa] (zohledněn vliv teploty polotovaru na mechanické vlastnosti traverzy)

Sloupy lisu jsou v místě pracovního prostoru (v blízkosti tvářeného polotovaru) teplotně ovlivněny. Konstrukčně se řeší zakrytím „šálami“ na sloupech, které zároveň slouží i jako ochrana proti mechanickému poškození, a jako dorazy pro pohyblivou traverzu.

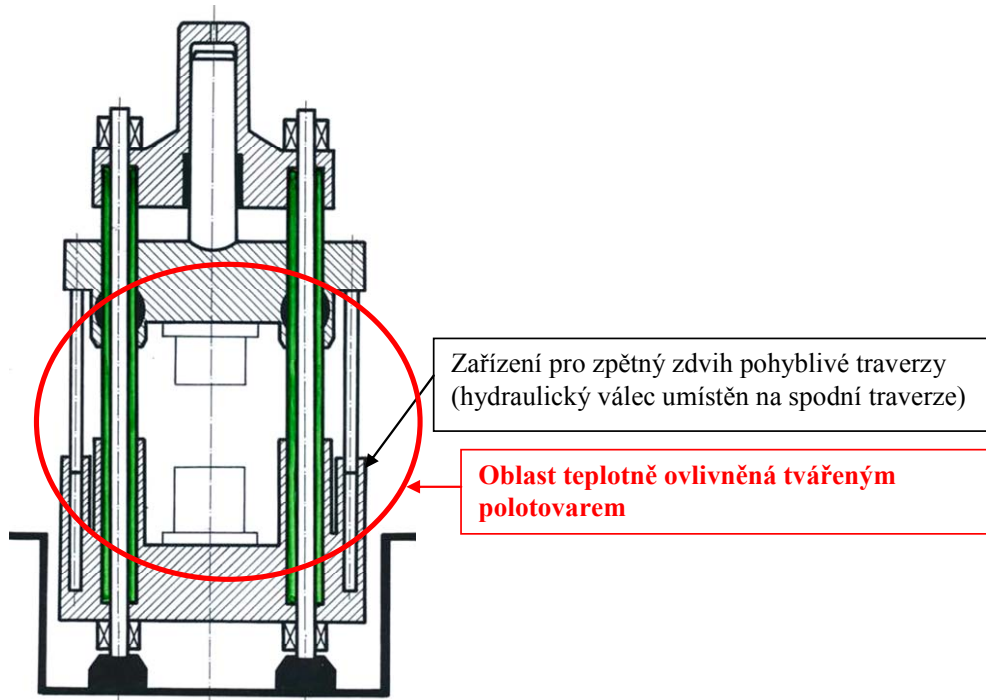
Při tepelném zatížení pohyblivé traverzy bylo především řešeno vedení pohyblivé traverzy, a to vhodnými úpravami při vymezování vůlí, které mají eliminovat tepelné dilatace traverzy, ke kterým dojde při kování za tepla.



Obr. 1-7 1) sloup lisu, 2) pohyblivá traverza lisu CKV, 3) vodící pouzdra

Na obrázku Obr. 1-7 je naznačeno vymezení vůlí ve vedení na začátku kování a po tepelném ovlivnění kovaným materiálem (Pro ocel je horní kovací teplota cca. 1200 °C a spodní kovací teplota cca. 800 °C).

Při zahájení práce na lisu je střední pohyblivá traverza vedena po sloupech vnějšími stranami vodících pouzder. Po jejím zahřátí od kovaného materiálu dojde k odlehnutí na vnější straně sloupů a traverza je vedena vnitřními částmi pouzder.



Obr. 1-8 Konstrukce lisu, kde jsou sloupy umístěny v rozpěrných trubkách

Nutno řešit vedení pohyblivé traverzy – především vymezení vůlí (například eliptická pouzdra apod.)



Obr. 1-9 ŽŽAS, a.s. - Kování dlouhé hřídele na kovacím lisu CKW



Obr. 1-10 Dvoulouповý kovací lis CKVX - Kování dlouhé hřídele

Buchary

Tepelně zatěžované části stroje:

- sloupy (stojiny) bucharu
- beran s nástrojem
- expanze vzduchu v pracovním válci (např. pneumaticko hydraulický buchar KJH)

Při konstrukci je snaha o nízký stupeň komprese (stupeň komprese se volí přibližně:

$$V_2 / V_1 = 1,2 \text{ až } 1,25$$

A to především z důvodů:

- přesné regulace
- malého poklesu teploty (vlivem expanze vzduchu dojde ke značnému ochlazení)

Příklad je uveden u pneumaticko hydraulického bucharu KJH

Při počáteční teplotě tlakového vzduchu $t_1 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ a tlaku $p_{1\max} = 0,7 \text{ [MPa]}$ bude potom hodnota $p_{1\min} = 0,54 \text{ [MPa]}$

$$\frac{p_{1\min}}{p_{1\max}} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa}$$

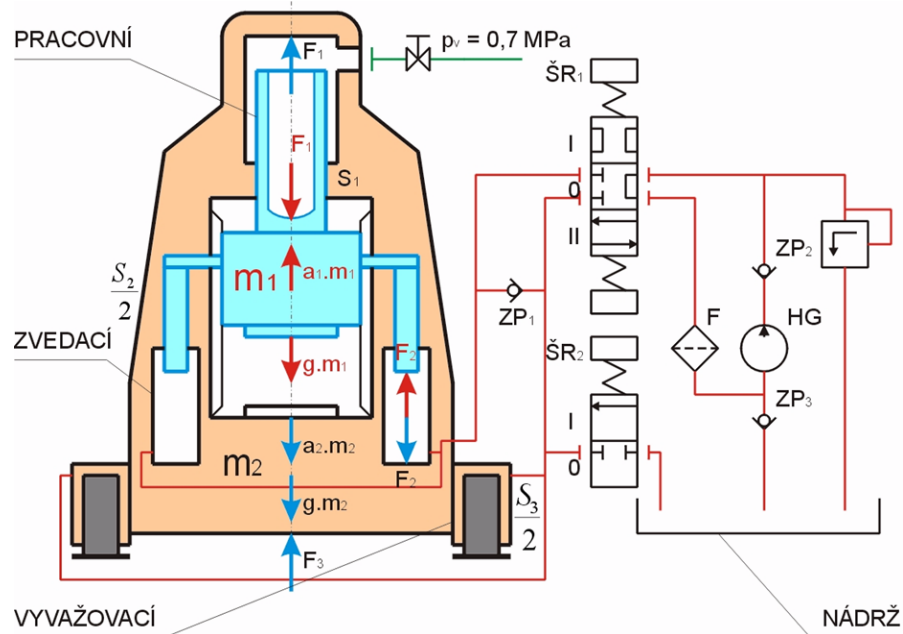
$$p_{1\min} = 0,7 \cdot \left(\frac{1}{1,2} \right)^{1,4} = 0,54 \text{ [MPa]}$$

a teplota vzduchu po úderu:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\kappa-1}$$

$$T_2 = 293 \cdot \left(\frac{1}{1,2}\right)^{0,4} = 272,4 [^{\circ}K] = -0,6 [^{\circ}C]$$

Z výše uvedeného je patrné, že v tomto případě je nutné řešit zamrznání potrubí s pracovním médiem.

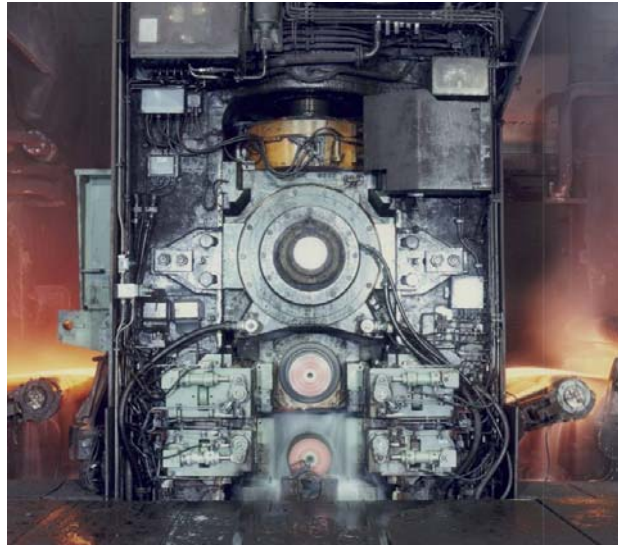


Obr. 1-11 Kinematické schéma bucharu KJH

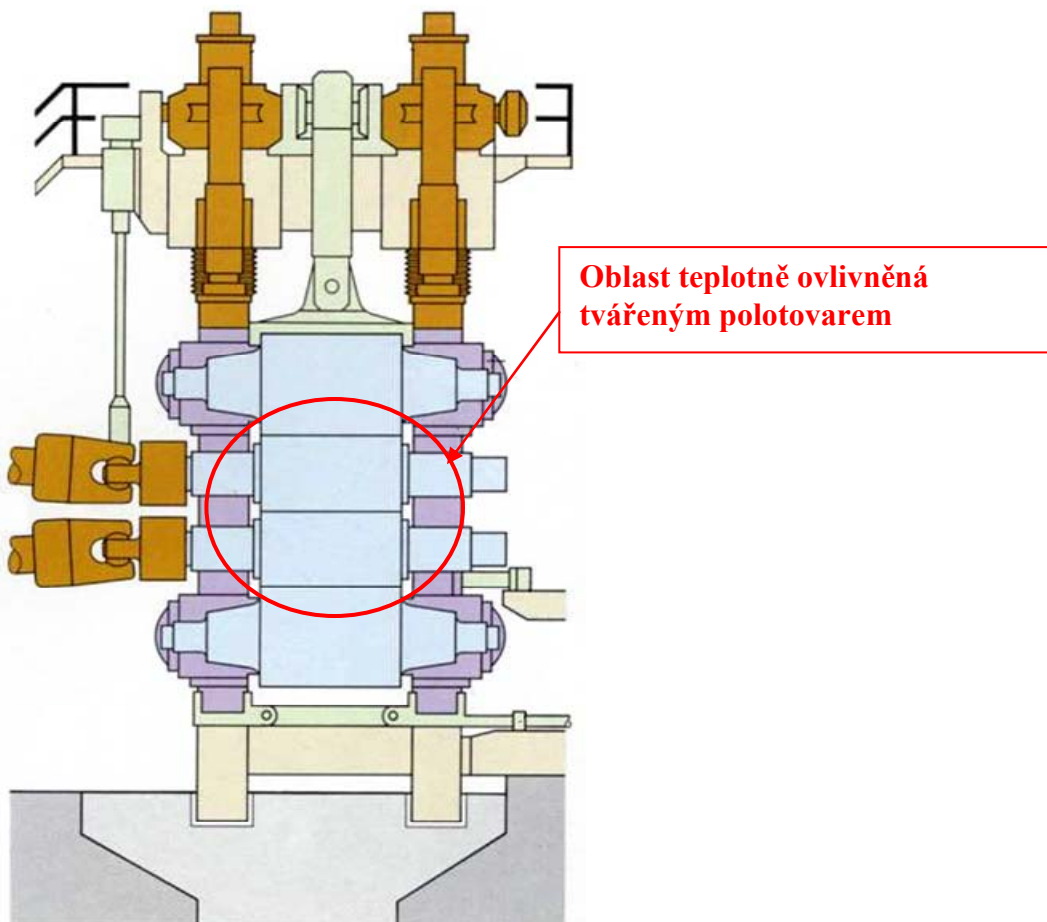
Válcovny

Tepelně zatěžované části stroje:

- válce pracovní,
- válce opěrné
- uložení válců ve stojanech
- stojan
- stavění válců



Obr. 1-12 Čtyřválcová stolice



Obr. 1-13 Válcovací stolice kvarto

U válcovací stolice (viz Obr. 1-13) jsou při válcování za tepla teplotně ovlivněny především pracovní válce a jejich uložení v ložiskových tělesech. Nutno zde počítat při řešení uložení válce s jeho tepelnými dilatacemi.

U válcovacích stolic pracujících za tepla musí konstruktér již při jejich konstrukčním návrhu počítat se zavedením některého ze způsobů chlazení pracovního prostoru (např. vodní sprchou). Jinak by zvláště při kontinuálním válcování docházelo především k poškození válců a jejich uložení.

Vliv tepelného namáhání tvářecího stroje na jeho přesnost

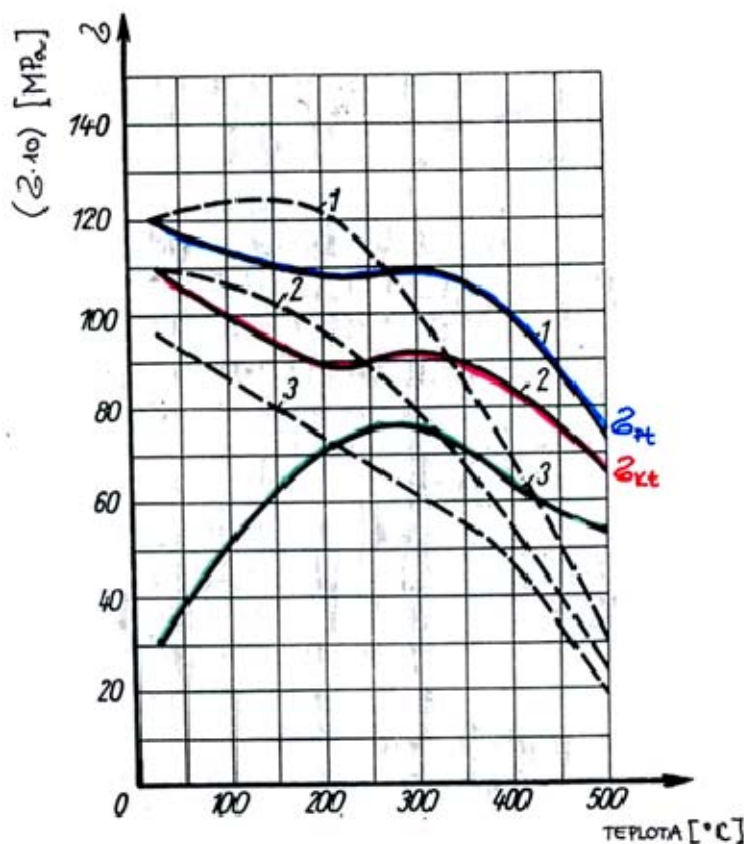
PŘESNOST PRÁCE TVÁŘECÍCH STROJŮ: rozsah přesností: (0,003) 0,05 – 10 (mm)

Na přesnost tvářecího stroje má vliv:

- konstrukce vlastního stroje
- nástroje
- tvářený polotovár

Konstrukce vlastního stroje

a) jednotlivé dílčí tuhosti tvářecího stroje



Obr. 1-14 Závislost meze pevnosti, meze kluzu a meze úměrnosti materiálu na teplotě

Kde ----- je uhlíková ocel a plná čára představuje nerezovou ocel

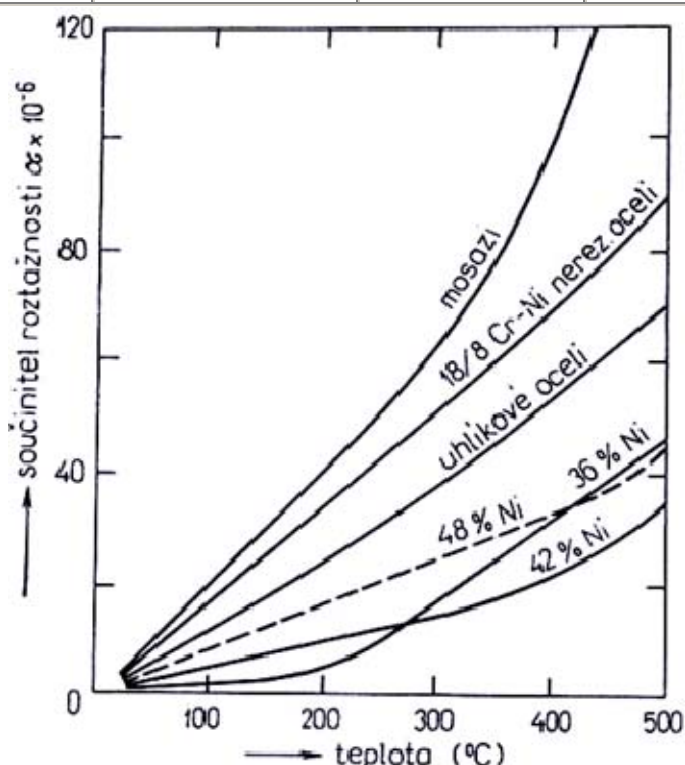
Tuhost stroje je možno vyjádřit:

$$k = \frac{\alpha \cdot E \cdot J}{l^3}$$

kde E je modul pružnosti v tahu neboli Youngův modul. Modul pružnosti závisí již pouze na vlastnostech materiálu tělesa, a nikoli na jeho rozměrech. Modul pružnosti je závislý na teplotě - s rostoucí teplotou klesá.

Materiál	E [10 ⁵ MPa]	μ [1]	α [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
nikl	2,1	0,3	13
ocel	2,1	0,3	11

měď	1,15	0,36	16
hliník	0,72	0,35	23
mosaz	0,99	0,36	18
zlato	0,78	0,3	14
stříbro	0,75	0,38	20
sklo	0,7	0,25	5 - 8
litina	0,7 - 1,2	0,25 - 0,27	9



Pokud je v konstrukci na teplotně ovlivňované součást použit nekonvenční materiál, jako například kompozit nebo konstrukční beton, je nutné potom počítat s velmi malou tepelnou vodivostí této komponenty a přizpůsobit tomuto konstrukci (umístění ventilátorů apod.).

Fyzikální vlastnosti jednotlivých materiálů :

materiál	modul pružnosti (E)-Pa	měrná hmotnost N/dm ³	tepelná kapacita J/(gK)	tepelná vodivost W/(mK)	pevnost v tahu Pa	koeficient útlumu -
ocel	2,1.10 ⁵	78,5	0,45	14-52	400-1300	0,0023
litina GGG	1,6-1,85.10 ⁵	74,0	0,63	29	400-700	—
šedá litina	0,8-1,4.10 ⁵	72,0	0,46	54	100-300	0,0045
konstr.beton	0,4.10 ⁵	23,0.	0,9-1,1	1,5	10-15	0,02

Geometrická přesnost vedení výstupních členů tvářecího stroje

Vlivem nerovnoměrného ohřívání pracovního prostoru dochází k jeho nerovnoměrné deformaci a tedy i k deformaci vodicích ploch.

Tím se zhoršuje přesnost vyráběných výrobků

Vůle ve vedení pohyblivých částí (výstupních částí) tvářecího stroje

Tepelné dilatace jednotlivých částí tvářecích strojů nám mohou měnit nastavené vůle ve vedení a to jak je zvětšovat, tak je zmenšovat.

Obojí je nežádoucí.

Zvětšená vůle má za následek horší vedení nástrojů proti sobě, zmenšená vůle může způsobit zadření částí navzájem

Tepelné dilatace jednotlivých komponent tvářecího stroje

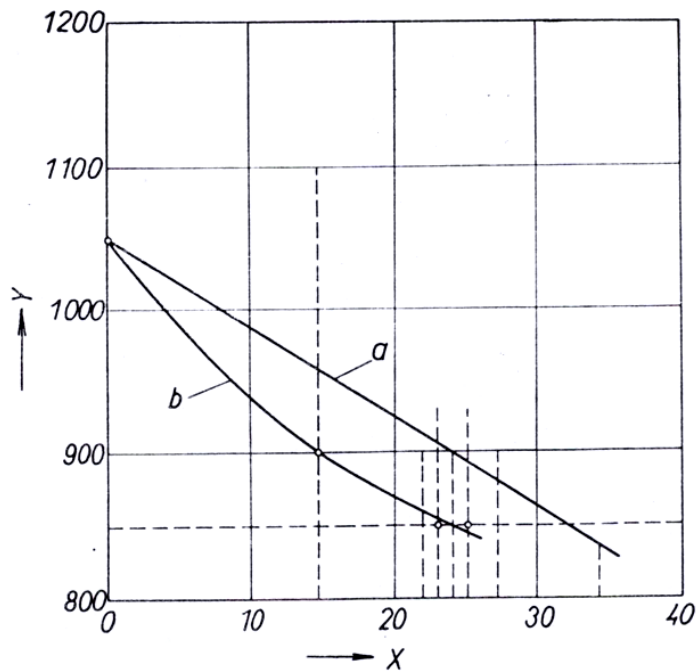
Tepelné dilatace nutno brát v úvahu při stanovení celkového potřebného zdvihu na realizaci příslušné technologické operace

Nástroje

- přesnost rozměrů a tvaru nástroje (nutno počítat s teplotními dilatacemi)
- přesnost ustavení nástroje v pracovním prostoru stroje
- tuhost nástroje
- opotřebení nástroje (změna jeho tvaru)

Tvářený polotovár

- Teplota polotovaru (nestejně chlazení, ohřátí ..) – generuje excentrické zatížení pracovního prostoru stroje



Obr. 1-15 Závislost poklesu teploty na čase u plechu
HÝSEK, R. *Tvářecí stroje*. Praha: SNTL, 1980

Čím větší plocha tvářeného plechu, tím rychlejší ochlazování. S klesající teplotou roste přetvárný odpor tvářeného materiálu a tím dochází k růstu tvářecí síly.

Možné způsoby řešení vlivu tepelného zatěžování stroje

- chlazení zdrojů tepla
- klimatizace prostředí
- teplotně vyvážená konstrukce (správná volba materiálů apod.)

1.4.2. Vytipování vhodných výpočetních programů pro možnost modelování tepelných stavů na tvářecích strojích

1.4.3. Vytvoření metodického postupu pro vytváření výpočtových modelů a stanovení okrajových podmínek pro modelování tepelných stavů na tvářecích strojích

1.4.4. Vytipování základních elementů tvářecích strojů a jejich komponent pro provedení příkladů aplikace

2. Tématický okruh č.2: Optimalizace konstrukce tvářecích strojů

Hlavní cíl: Snižovat hmotnost strojů při zachování, nebo zlepšení jeho užitných vlastností, návrhy optimalizačních úprav při rekonstrukcích a opravách tvářecích strojů. Topologická optimalizace nosných struktur i pohyblivých dílů TS.

Vedoucí: Ing. Václav Kubec, Ph.D.

úkol roku 2008:

2.1.1. Specifikace pojmu optimalizace konstrukce a rešerše dosud uveřejněných výzkumných poznatků v oblasti optimalizace tvářecích strojů

Optimalizace jako pojem

Optimalizace je obecně postup vedoucí k výběru nejlepší varianty při zachování vymezených podmínek. Definujeme-li pojem optimalizace z hlediska matematiky, je definice takováto:

Optimalizace je matematická disciplína, ve které hledáme minimum (resp. maximum) dané funkce $f(x)$ na dané množině M . Tato funkce se nazývá účelová či cílová. Množina (nazývá se množina přípustných řešení) bývá typicky popsána nějakými omezeními (soustavou rovnic, nerovnic apod.).

Občas se můžete setkat s pojmem matematické programování, které znamená optimalizaci na konečně-rozměrných prostorech a kdy množina M je popsána konečným systémem omezení. Optimalizace představuje teoretický základ pro operační výzkum.

Obecné značení úlohy optimalizace (x je proměnná):

$$\min_{x \in M} f(x)$$

Optimalizační úlohu někdy pomáhají řešit tzv. podmínky optimality

Podmínky optimality se používají v optimalizaci. Jsou to podmínky, které platí pro optimální řešení, a slouží k redukci množiny přípustných řešení.

Rozdělujeme dva typy podmínek optimality:

- nutné: podmínky, které musí splňovat každé optimální řešení dané úlohy (častěji se používají)
- postačující: podmínky, že když je nějaký přípustný bod splňuje, tak je automaticky optimálním řešením

V konstrukční praxi je optimalizace běžným pracovním postupem. Každou konstrukci je potřeba navrhnout tak, aby vyhověla mnohým požadavkům, které jsou na ni kladeny. Mezi základní požadavky patří například pevnost a tuhost, proti těmto požadavkům stojí hmotnost nebo poddajnost. Některé tyto požadavky bývají sdružovány do jednoho kritéria tzv. optimální využití materiálu.

Základní metodou optimalizace je metoda pokusů a omylů, která je založena především na zkušenostech, a nazývá se také tzv. evoluční konstruování. Většinou je ale optimalizace používána k úpravě konstrukce, která již byla řešena nebo byly řešeny její části. Nově vzniklá konstrukce je potom kombinací stávajících a nových řešení. Tento postup se nazývá syntéza.

Metodu optimalizace nelze z návrhu konstrukce vyloučit, protože není vždy v lidských silách vytvořit v prvním návrhu dokonalou konstrukci, která pamatuje na všechny způsoby

zatížení, využívání atd. Rozšíření podpory CAD-FEM systémů při navrhování konstrukcí umožnilo rychlejší návrh jednotlivých variant, tím se zvýšila možnost zohlednit více hledisek při návrhu a tím se více přiblížit k optimu, kterého se vždy snažíme dosáhnout.

Konstrukční optimalizace

Konstrukční optimalizace sestává z několika základních kroků. Prvním z nich je první návrh konstrukce, dále následují analýzy a testování zaměřené na odhalení nedostatků. Nyní následují změny a návrhy, které by měly směřovat k lepšímu. Po tomto kroku by měla přijít další analýza, kde se pomocí vhodných otázek snažíme odhalit, zdali změny provedené v předchozím kroku byly správné a vhodné. V tomto duchu by měly práce pokračovat až do chvíle, kdy se postupnými iteracemi dopracujeme k optimálnímu řešení dané konstrukce.

Optimální řešení konstrukce tzv. optimum můžeme definovat také následujícím způsobem:

Optimální řešení konstrukce – její topologie, tvar a rozměry aj. – je takové uspořádání, které je dle určitého (námi zvoleného) hlediska (tj. kritéria určení optima) to nejlepší ze všech uspořádání, která jsou přijatelná při daných vedlejších podmínkách pro splnění daného účelu.

Samotný proces optimalizace se skládá z několika fází, které zahrnují poznání vnějších podmínek. První fází návrhového procesu je specifikace formy. Tato fáze návrhového procesu je z hlediska aplikování analytického postupu snad nejobtížnější. Hledání dokonalé formy konstrukce je nekončícím rysem konstruování a nelze doufat v uzavření analytického postupu. Poté, co je vybrána forma konstrukce a napsán její matematický model, je nutné provést volbu návrhových podmínek. Souběžně s předchozími fázemi probíhá stanovení vedlejších podmínek. Na toto místo patří například pevnostní podmínky, podmínky maximální povolené deformace (tzv. podmínka tuhosti), geometrické podmínky apod.

Všechny výše uvedené fáze představují technickou formulaci konstrukčních cílů a sestavení matematického modelu fyzikálně zjednodušené technické úlohy. Poté následuje vlastní optimalizace, která sestává ze tří základních kroků, kterými jsou: volba vhodné matematické optimalizační metody, formalizace extrémální úlohy ve vhodném tvaru, matematické řešení formalizované extrémální úlohy. Když konečně získáme řešení úlohy, je nutné provést technickou interpretaci získaného řešení.

V rámci konstrukční praxe se můžeme setkat navíc ještě s pojmy topologická a parametrická optimalizace.

Topologická optimalizace:

Parametrická optimalizace:

Metodický postup konstrukční optimalizace

Na základě předcházejícího můžeme definovat obsah základních kroků, které jsou nedílnou součástí konstrukční optimalizace:

1. Technická formulace konstrukčních cílů

- a) poznání vnějších podmínek
- b) stanovení kritérií určení optima
- c) specifikace formy a volba návrhových proměnných
- d) stanovení vedlejších podmínek

2. Vlastní optimalizace

- a) výběr vhodné matematické optimalizační metody a formalizace extrémální úlohy
- b) matematické řešení formalizované extrémální úlohy

3. Technická interpretace získaného řešení

Závěrečná, ale ze své podstaty nejdůležitější část celého procesu. Při nevhodné, neúplné nebo špatné interpretaci výsledků optimalizace může dojít k značným škodám i přesto, že součástí tohoto kroku je zpětná analýza, která kontroluje správnost konečného řešení konstrukce.

2.1.2. Vytipování vhodných programů využitelných pro možnosti optimalizace konstrukce

ANSYS

I-Deas

OptiStruct

TOSCA

Catia

2.1.3. Vytipování základních a podstatných optimalizačních kritérií platných v konstrukci tvářecích strojů – tvarová optimalizace, materiálová optimalizace atd.

Optimalizační kritéria v konstrukci tvářecích strojů

Obecně uznávaná optimalizační kritéria:

- technologické využití
- maximální tuhost pracovního prostoru
- dostatečná pevnost stojanu popř. rámu, beranu a dalších částí
- přesnost stroje
- energetická bilance
- co nejnižší celková hmotnost
- minimální rozměry stroje
- technologičnost konstrukce

Všechny tyto obecně platná optimalizační kritéria je potřeba specifikovat na konkrétní typ stroje, protože tvářecí stroje zahrnují nepřehledné množství zcela odlišných typů. Přesto jsme se pokusili na tato kritéria ještě více specifikovat na jednotlivé skupiny tvářecích strojů. Skupiny tvářecích strojů byly zvoleny na základě odlišných způsobů zatěžování základních konstrukčních celků.

Mechanické lisy

Hydraulické lisy

Buchary

Ostatní tvářecí stroje (např. válcovací stolice, automatické kovací stroje, redukovačky)

3. Tématický okruh č.3: Energetická analýza tvářecích strojů a návrhy na snižování energetické náročnosti tvářecích strojů

Hlavní cíl: Zvyšovat účinnost tvářecích strojů a úspory energie při provozování tvářecích strojů.

Vedoucí: Ing.Milan Círek,PhD

úkol roku 2008:

3.1.1. Úvod

Světové zásoby nerostných surovin a tím i energetické zásoby se postupně vyčerpávají. V souvislosti s tím, že se energie postupně stávají nedostatkovým zbožím, značně roste a v budoucnosti dále poroste jejich cena. Ve všech činnostech společnosti je tedy nutné zamezit jejímu plýtvání, ba naopak nastolit otázku šetření energií jako pravidlo pro další udržitelný, ekologický a ekonomický rozvoj společnosti.

Také v moderních výrobních závodech, kde je kladen důraz na ekonomičnost výroby, se dere do popředí požadavek na nové, ekologické a výkonné stroje. Rozhodující v tržním hospodářství jsou požadavky zákazníka na splnění požadovaných technických parametrů s co nejmenšími výrobními náklady. Při dnešním nárůstu cen energií se tedy velikost spotřeby energie dostává do popředí. Snižováním energetické náročnosti procesů dojde ke zlepšení jak ekonomické náročnosti (menší náklady spojené s nákupem energie pro výrobu), tak i ekologické zátěže (menší spotřeba energie, která je často vyráběna z vyčerpávacích zdrojů).

Tvářecí stroje mohou přísné energetické požadavky na výrobu téměř beze zbytku splnit. Na mnoha místech mohou i nahradit a doplnit ostatní typy strojů a to proto, že technologie tváření mívá oproti ostatním menší energetické nároky.

Současný zvyšující se zájem o moderní tvářecí stroje klade požadavek na nové koncepce jak univerzálních, tak i specializovaných strojů. V oblasti objemového tváření rostou nároky na přesnost výkovku. U zápusťového kování je tendence zvětšování velikosti výkovků, a tím i nárůstu tvářecích sil. V neposlední řadě dochází i k zvyšování počtu pracovních cyklů strojů.

Všichni výrobci navrhující nové tvářecí stroje by se měli snažit co nejvíce minimalizovat energetickou náročnost svých produktů. Protože tvářecí stroje mají dlouhou dobu životnosti je nutné se věnovat energetické náročnosti také při rekonstrukcích a repasích strojů. Pro úspěšné snížení energetické náročnosti je nezbytné se jejími aspekty zabývat již od prvních fází projektů strojů. Progresivním přístupem ke konstrukci tvářecích strojů by měla být snaha o jejich optimalizaci, kde musí být zastoupeno co největší množství optimalizačních kritérií s ohledem na dobu jejich životnosti, četnosti jejich technologického využívání, klasických požadavků na ekonomické konstruování a dalších. Znamená to vytvořit funkční závislosti jednotlivých kritérií jako základní databázi pro obecná konstrukční řešení a při konstruování je patřičně zohlednit. Toto by nám mělo pomoci vytvořit moderní konstrukce tvářecích strojů, pokud možno se zavedením množství optimalizovaných komponent, případně konstrukčních celků.

Stroje s nižší energetickou náročností mají větší šanci v konkurenčním boji o potenciální uživatele, kteří hledí na co nejnižší režijní náklady celého závodu, které se projeví na konkurenceschopnější koncové ceně svého vlastního produktu. Při výběru velmi podobných strojů si tak zákazník vybere pravděpodobněji ten s vyšší účinností (lepší energetickou bilancí).

3.1.2. Cíle

Zlepšování energetické bilance strojů je dlouhodobým procesem, jehož řešení na každém stupni vývoje bude mít nové úkoly a požadavky. Proto zlepšování energetické bilance je možno formulovat do následujících dílčích cílů, a časového rozvržení.

Energetická analýza tvářecích strojů a návrhy na snižování energetické náročnosti tvářecích strojů

oblasti koncepce nosných systémů a výstupních členů stroje

oblasti pohonů a jejich komponent

Hlavní cíl: Zvyšovat účinnost tvářecích strojů a úspory energie při provozování tvářecích strojů

Předpokládané výsledky a způsob jejich ověření:

2008: Analýza stavu energetické náročnosti vybraných tvářecích strojů dle informací od výrobce stroje. Zhodnocení provedené analýzy.

2009: Vytvoření metodiky pro provádění energetické bilance. Přepočtení energetické náročnosti na vybraných tvářecích strojích, její porovnání s údaji od výrobce. Doporučení potřebných opatření pro zlepšení energetické bilance vybraných tvářecích strojů.

2010 - 2012: Prosazování sledování energetické náročnosti nově vyráběných i repasovaných tvářecích strojů, vytvoření souhrnu doporučení pro zásady správného konstruování s ohledem na malou energetickou náročnost stroje.

Za tím účelem je třeba se nejdříve zabývat následujícími tématickými oblastmi:

Rešerše prací zabývajících se energetickou bilancí obecnou i specifickou pro tvářecí stroje

Shrnutí teorie zabývajících se energetickou bilancí

Návrh metodického postupu pro provádění energetického bilancování

Průzkum stávajících způsobů řešení a využití výsledků energetické bilance u výrobců tvářecích strojů, možnosti budoucího využití

Energetická bilance tvářecích cyklů u jednotlivých typů tvářecích strojů a způsoby jejího hodnocení a porovnávání (r. 2009)

Určení a analýza míst energetických ztrát tvářecích strojů (r. 2009)

Analýza možných úspor (r. 2009)

3.1.3. Rešerše

V rámci průzkumu řešené oblasti byla provedena rešerše prací, publikací a článků zabývajících se energetickou bilancí.

Pro vyhledání byly použity zdroje:

- obecné vyhledání na internetu (Alenka.cz)
- specializované vyhledávání: Státní technická knihovna, Knihovna ZČU, Sciencedirect, Web of Science, Evropský patentový úřad
- dotazování akademických pracovníků a odborníků z praxe.
- analýza vysokoškolských učebnic z oblasti tváření
- publikované příspěvky
- archiv pracoviště (Katedra Konstrukce Strojů - Fakulta strojní - ZČU v Plzni)

Při rešerši byly hledány texty obsahující jak obecný popis energetické bilance tak i ty, které se podrobněji zabývají určitou oblastí této problematiky.

Hledaná klíčová slova (byly vyhledávány zejména jejich vzájemné kombinace a taktéž anglické ekvivalenty):

- tvářecí stroj
- lis
- buchar
- válcovna
- energetická bilance
- účinnost
- ztráty

Učebnice - skripta

- ČECHURA, M. Pomocné texty pro cvičení konstrukce tvářecích strojů I, II, III, Ediční středisko VŠSE Plzeň, rok 1982.
- ČECHURA, M. Přednášky k předmětu: Progresivní trendy ve stavbě tvářecích strojů, Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň 2003.
- GELEJI, A. Die Berechnung der Kräfte und des Kraftbedarfs bei der Formgebung im Bildensamen zustande der Metalle. Akadémiai Kiado, Budapest, 1955. Vydáno v překladu a doplněno jako Výpočet sil a spotřeby energie při tváření kovů. SNTL Praha. 1955.
- GELEJI, A. Walzwerks und schmiedemaschinen. Veb verlag technik Berlin, 1961.
- KAMELANDR, I. Tvářecí stroje I. VÚT Brno, 1982.
- KOVÁČ, A.; JENKUT, M. Tvárnice stroje. Vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatúry Bratislava, 1978.
- RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M. Tvářecí stroje – Základy výpočtů a konstrukce. SNTL Praha, 1982.
- SCHULER. Metal forming handbook, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1998
- STANĚK, J. Základy stavby výrobních strojů. Ediční středisko ZČU Plzeň, 2001.

Vysokoškolské kvalifikační práce

- CÍREK, M. Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů optimálním řešením jejich konstrukce a pohonu s podporou modelování na PC: doktorská práce. Plzeň: Západočeská Univerzita v Plzni, 2005. 47 s.
- CÍREK, M. Zmenšování energetické náročnosti mechanických lisů: disertační práce. Plzeň: ZČU Plzeň, 2006. 100 s.

Statě ve sborníku

- CÍREK, M. Influence of used technology on efficiency of crank press energy consumption. In Sborník plných příspěvků Česko - Slovenské konference Studentské tvůrčí činnosti (STČ). Praha : ČVUT , 2004. s. 1-10.

- CÍREK, M.; ČECHURA, M. The energy consumption of the producing on forming machines. In Machine tools, automation and robotics in mechanical engineering. Praha : ČVUT, 2004. s. 57-62. ISBN 80-903421-4-0.
- CÍREK, M.; ČECHURA, M. Rozbor energetické náročnosti práce na mechanických lisech. In Technológia 2005. Bratislava : Strojnícka fakulta STU v Bratislave, 2005. s. 581-587. ISBN 80-227-2264-2.
- CÍREK, M.; ČECHURA, M. Energy losses of crank presses caused by deformations. In PhD 2004. Plzeň : Západočeská univerzita, 2004. s. 1-10. ISBN 80-7043-330-2.
- CÍREK, M.; ČECHURA, M. Vliv konstrukce stroje na energetickou bilanci technologického procesu. In Forming technology, tools and machines. Brno : Brno University of Technology, 2004. s. 7-14. ISBN 80-86607-11-9.
- CÍREK, M.; ČECHURA, M.; HLAVÁČ, J. Design of crank presses with regard to the energy consumption. In Proceedings of the 5th DAAAM international conference on advanced technologies for developing countries. Rijeka : University of Rijeka, 2006. s. 49-54. ISBN 953-6326-45-0.
- CÍREK, M.; ČECHURA, M.; HLAVÁČ, J.; KUBEC, V. Design of mechanical presses with regard to the energy consumption . In PhD 2006. Plzeň : University of West Bohemia, 2006. s. 1-8. ISBN 80-7043-486-4.
- CÍREK, M.; HLAVÁČ, J. Computation of strain energies of mechanical presses components. In PhD 2005. Plzeň : Západočeská univerzita , 2005. s. 1-10. ISBN 80-7043-414-7.
- CÍREK, M.; KUBEC, V. Analysis of energy consumption of spindle presses and influences which effect presses efficiency. In Proceedings of the 4th DAAAM international conference on advanced technologies for developing countries. Slavonski Brod : Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, 2005. s. 21-26. ISBN 953-6048-29-9.

Články z novin, časopisů

- CÍREK, M.; KUBEC, V. Analysis of energy consumption of spindle presses. In Tehnički vjesnik. 2006, sv.13, č.1-2, s.23-30, ISSN 1330-3651.

Dotazování zástupců výrobců a odborníků z oboru

Z dotazování výrobců vyplynulo, že zařízení (z pohledu energetického návrhu) vycházejí ze zkušeností s konstrukcí a provozem starších strojů, popř. jsou na základě prováděných měření realizovány úpravy pohonové soustavy. Výrobci se energetické bilance také okrajově dotknou při návrhu a dimenzování částí jejich strojů, jež jsou závislá na energetické bilanci (setrvačníky, hydraulické obvody, kontrola rámu lisu na tzv. tvrdý ráz).“

3.1.4. Teorie energetické bilance

Popis energetické bilance

Při řešení se vychází z rovnováhy energií v obecném stabilním systému .

První konkretizace tohoto vztahu - celková energie přivedená do stroje se přemění na žádané účinky (práce užitečná AU) a na ztráty (ztracená práce AZTRÁTA),

$$A_C = A_U + A_{ZTRÁTA}$$

Pro mechanický systém (stroj) se tato rovnice nechá rozepsat do vztahu

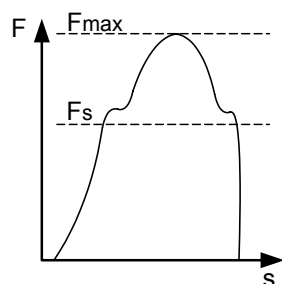
$$A_C = A_U \pm A_D + A_Z \pm A_A \pm A_G$$

Práce celková = užitečná ± na deformace + ztrátová ± zrychlujících sil ± gravitačních sil

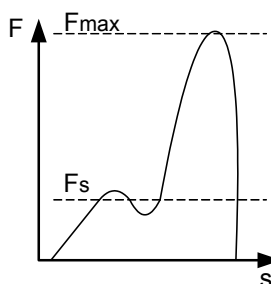
A_C – celková energie spotřebovaná strojem na technologickou operaci

A_U – užitečná práce - práce spotřebovaná na změnu tvaru materiálu. Její řešení je závislé na způsobu změny tvaru polotovaru (obrábění, tváření – tváření na lise, válcovací stolici

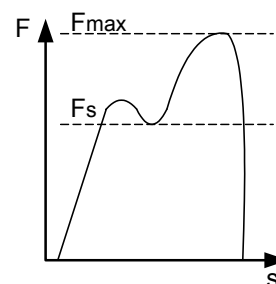
Pro tváření na strojích s přímočarým pohybem při tváření (lisy, buchary) jsou tvářecí procesy popsány tvářecími charakteristikami (závislost zdvihu a tvářecí síly).



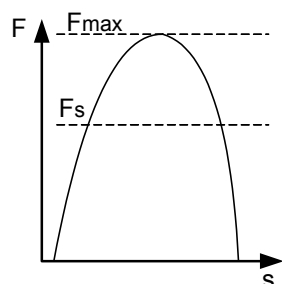
Stříhání $\kappa = 0,63$



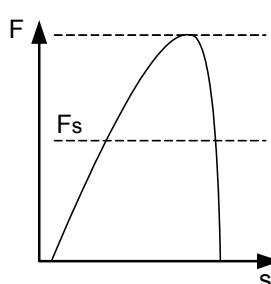
Ohýbání $\kappa = 0,32$



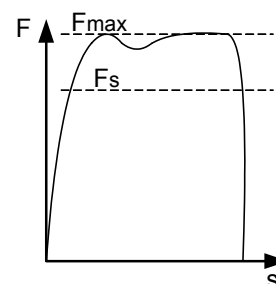
Hluboké tažení $\kappa = 0,70$



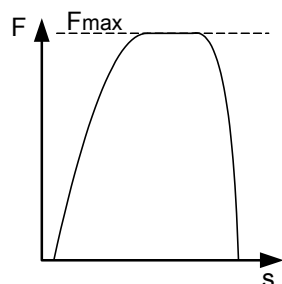
Mělké tažení $\kappa = 0,63$



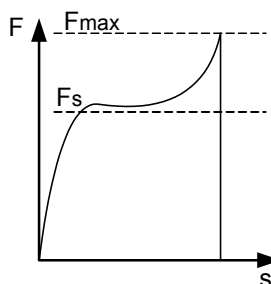
Ražení $\kappa = 0,50$



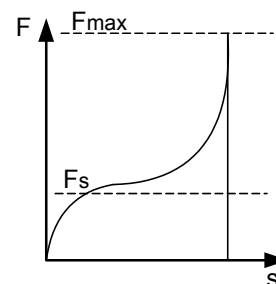
Protlačování $\kappa \leq 0,90$



Vytlačování $\kappa \leq 0,98$



Pěchování $\kappa = 0,71$

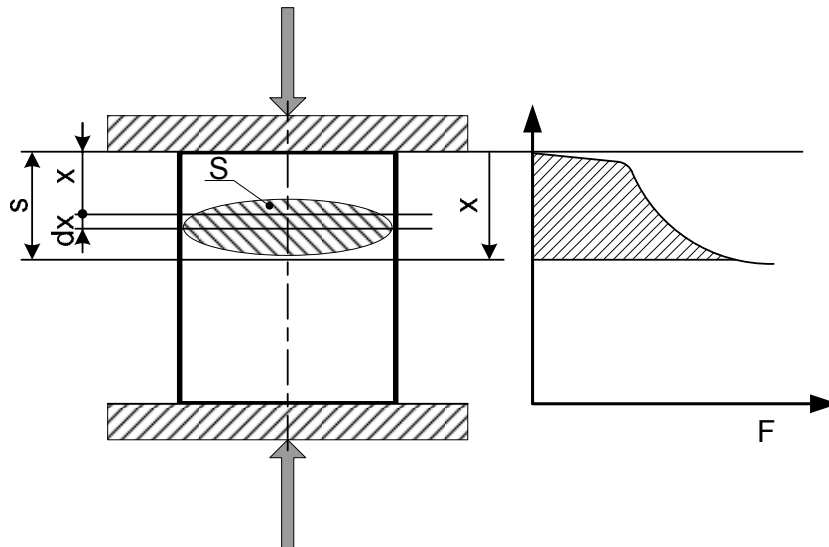


Zápust. kování $\kappa = 0,36$

Obr. 3-1 Příklady tvářecích charakteristik

Velikost užitečné práce A_U je možné stanovit z tvářecí charakteristiky (Obr. 3-1), křivkovým integrálem (plocha pod tvářecí charakteristikou) závislosti tvářecí síly na dráze tváření (Obr. 5. 2).

$$A_U = \int_0^s F(x) dx = \int_0^s \sigma S(x) dx$$



Obr. 3-2 Průběh síly v závislosti na dráze při pěchování

Zjednodušeně se nechá užitečná práce vypočítat

$$A_U = F_{MAX} \cdot h_U \cdot \kappa,$$

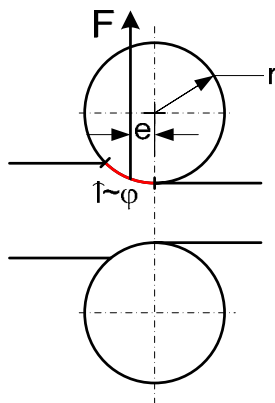
kde κ je stupeň vyplnění tvářecí charakteristiky (rozdílný pro každou tvářecí charakteristiku).

Velikost užitečné práce A_U lze ovlivnit úpravou tvářecí charakteristiky (snížení velikosti sil) důslednou péčí o tvářecí proces:

- úpravy nástrojů (střižníky – řezné úhly)
- používání maziv
- volba tvářeného kovu (po dohodě s konstruktéry)
- striktní dodržování technologických postupů a návodů
- vhodná a pravidelná údržba nástrojů
- vhodný technologický postup
- správný tepelný režim tváření

U strojů pracujících s rotačním pohybem tvářecího nástroje (válcování) je velikost užitečné práce A_u rovna ploše pod křivkou průběhu krouticího momentu M_K v závislosti na dráze nástroje $\hat{\varphi}$.

$$A_u = \int_{(\varphi)} M_K(\varphi) d\hat{\varphi}$$



Obr. 3-3 Válcování

Hnací kroutící moment je závislý na síle F (dle odporu materiálu proti tváření – úběr, materiál, průměr válce, délka válce) a rameni této odporové síly e (dle průměru válce a úběru)

Jelikož je válcování většinou stabilní proces nechá se vztah zjednodušit

$$A_u = M_k \cdot \hat{\varphi}$$

$$M_k = F \cdot e$$

(l – dráha válcování, r – poloměr válce)

A_Z – ztrátová práce – energie spotřebovaná pohonem na překonání účinků třecích sil. Tato ztráta se projevuje u tření ve vedeních, tření v závitech pohybových šroubů, vřeten, třecích momentů v čepech (klikový mechanismus), třecích momentů v ložiscích atd. Navenek se tato energie projevuje oteplováním součástí stroje, deformacemi; tření navíc způsobuje opotřebování vzájemně se pohybujících ploch. Spotřebovaná ztrátová práce často tvoří nezanedbatelný podíl z celkové energie.

Při zjišťování energií spotřebovaných na překonání pasivních účinků je možno vycházet ze základní rovnice velikosti práce ($A = F \cdot s$), pak velikost ztracené energie je ovlivněna třecí silou, resp. normálnou silou na třecí plochu, součinitelem tření a dráhou, po které se třecí účinek projevuje.

Energie spotřebovaná na překonání pasivních účinků se stanoví: $A_Z = F_T \cdot s = F_N \cdot f \cdot s$ nebo $A_Z = M_T \cdot \hat{\Psi} = M \cdot \rho \cdot f \cdot \hat{\Psi}$, kde F_T je třecí síla resp. M_T je třecí ztrátový moment a „ s “ je dráha, po které působí resp. $\hat{\Psi}$ [rad] je úhel, přes který třecí moment působí. Silové účinky způsobující ztráty energie jsou zjišťovány ze silového rozboru analyzovaného stroje.

Zjednodušeně se nechá velikost ztrátové energie stanovit pomocí součinitele, jehož stanovení vyžaduje mnoho zkušeností, měření a výpočtů. Zde se velikost ztrátové práce stanoví:

$$A_Z = \xi \cdot A_C,$$

kde ξ je součinitel ztrát, pak platí

$$A_C = A_U + A_D + A_Z = A_U + A_D + \xi \cdot A_C$$

U hydraulických lisů najdeme u jejich hydraulických obvodů taktéž energetické ztráty způsobené třením v samotné kapalině a třením kapaliny o stěny. Velikost takovéto ztrátové práce je

$$A_{Z_{HYDR}} = \Delta p_Z \cdot V$$

kde Δp_Z je součet tlakových ztrát v hydraulickém obvodu a V je objem přepouštěné hydraulické kapaliny.

Tyto ztráty jsou způsobeny třením v závislosti na délce potrubí a místními ztrátami v prvcích hydraulického obvodu. Velikost těchto ztrát je nejnázorněji vyjádřena tlakovým spádem (tlakovou ztrátou)

$$\Delta p_Z = R \cdot Q^n$$

kde R je tlakový odpor, Q průtok množství kapaliny a index n popisuje typ proudění (n = 1 pro laminární, n = 2 pro turbulentní). Celkový odpor je dán součtem tlakových ztrát v délce potrubí a všech místních (pokud je sériově řazení odporů).

$$\Delta p_Z = \sum \Delta p_L + \sum \Delta p_M$$

Odpor v délce potrubí

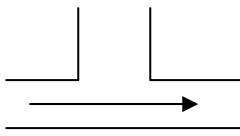
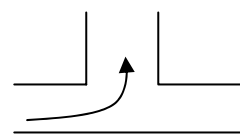
$$\Delta p_L = R \cdot Q = \frac{\rho}{2 \cdot S^2} \cdot Q \cdot \frac{l}{d} \cdot \lambda$$

d – jmenovitá světlost potrubí, l – délka potrubí, ρ - hustota hydraulické kapaliny, λ – koeficient tření

Místní hydraulické odpory (turbulentní jev)

$$\Delta p_M = R \cdot Q^2 = \frac{\rho}{2 \cdot S^2} \cdot Q^2 \cdot \xi$$

kde ξ je součinitel odporu, např.

	ξ
Rozvaděč (otevření)	1,6
Ohyb 90°	0,7 – 1,2
Ohyb 45°	0,3 – 0,6
 „T“	0,1
 „T“	1,3

AD – energie na deformace – energie spotřebovaná deformacemi součástí stroje,

Energie na deformace je při zvyšování zatěžovací síly (momentu) úměrně dle silového rozboru akumulována do rámu, pohonové soustavy a mnoha dalších součástí stroje. To se navenek projevuje hlavně deformacemi, dále kmitáním, hlukem a oteplením zatěžovaných částí. Ztrátovou deformační práci se snažíme minimalizovat pomocí vhodných konstrukčních úprav – např. zvýšení tuhostí rámu a pohonu.

U tvářecích strojů se nejvíce projevují deformace rámu, beranů, vřeten, tvářecích válců a částí pohonů (například i deformace kapaliny u hydraulických lisů). Takto spotřebovaná energie tvoří nezanedbatelný podíl z celkové, námi dodávané energie. Za určitých podmínek může být naakumulovaná energie v částech lisu vydána a využita při tváření. Při určitém úhlu pohledu pracují některé typy akumulátorů (plynové) na principu energie spotřebované na deformace.

Negativním jevem deformací např. při provozu klikového lisu je ztráta ve zdvihu mechanismu. Tato ztráta zdvihu vznikne současnou deformací částí klikového mechanismu – stlačením kliky, ojnice a beranu - což způsobí zmenšení zdvihu mechanismu a natažením rámu. Pro možnost tváření je nutno provést eliminaci dráhy deformací (např. posunem beranu pomocí prodloužení ojnice ...).

Deformace (kromě již zmíněných vlivů) způsobují nepřesnosti součástí vyráběných na strojích.

Při stanovování velikosti energie spotřebované na deformace je možno vycházet z velikostí deformací součástí nebo hodnoty tuhosti. Energie spotřebovaná na deformace se nechá zjednodušeně stanovit pro deformace

$$\text{od posunutí } Ad = \frac{1}{2} \cdot F \cdot y = \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{k} \quad \text{od natočení } Ad = \frac{1}{2} \cdot M \cdot \hat{\varphi} = \frac{1}{2} \cdot \frac{M^2}{k_\varphi}$$

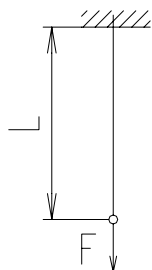
Jak je patrné z výše uvedených vztahů, ztrátová energie od deformací je závislá na velikosti síly F či momentu M působící ve směru deformace a velikosti této deformace y resp. $\hat{\varphi}$ (popř. na příslušné tuhosti součásti k resp. k_φ). Velikost pružné deformace je mimo jiné důležitým měřítkem pro volbu rozměrů a tvarů mnoha součástí tvářecích strojů.

Velikost deformace je dána velikostí zátěžné síly a tuhostí součástí. Tuhost je měřítkem odolnosti proti pružným deformacím a je definována:

$$k = \frac{F}{y} \text{ tuhost v posunutí} \quad k_n = \frac{M}{\hat{\varphi}} \text{ tuhost v natočení}$$

Tuhost k je parametr součástí (popř. skupiny součástí či stroje) ovlivněný jejím tvarem a rozměry (rozměrové a průřezové charakteristiky) a použitým materiálem (Youngův modul pružnosti v tahu E , ve smyku G).

Tahové zatížení



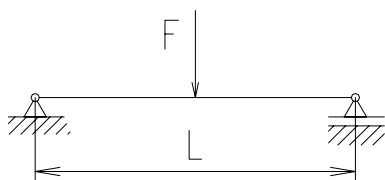
Deformace

$$y = \frac{F \cdot l}{E \cdot S}$$

tuhost

$$k = \frac{E \cdot S}{l}$$

Ohybové zatížení



Deformace

$$y = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot J}$$

tuhost

$$k = \frac{48 \cdot E \cdot J}{l^3}$$

Zatížení smykem

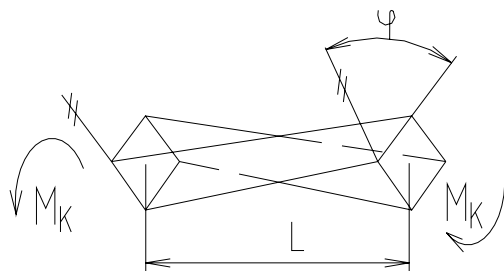
Deformace

$$y = \frac{\beta \cdot F \cdot l}{4 \cdot G \cdot S}$$

tuhost

$$k = \frac{4 \cdot G \cdot S}{\beta \cdot l}$$

Zatížení krutem



Deformace

$$\hat{\varphi} = \frac{M_K \cdot l}{G \cdot J_K}$$

tuhost

$$k = \frac{G \cdot J_K}{l}$$

Hydraulický okruh (u hydraulického lisu) je také místem, kde se projevují energetické ztráty deformacemi: pružením elementů vložených do hydraulického obvodu a hydraulické kapaliny. Za určitých podmínek je možné částečné vrácení naakumulované energie zpět do tvářecího procesu. Velikost energie spotřebovaná deformacemi

$$Ad_{HYDR} = p \cdot \Delta V$$

kde p je tlak hydraulické kapaliny, ΔV je objem kapaliny spotřebovaný na eliminaci deformací všech elementů hydraulického okruhu ΔV_i .

$$\Delta V = \sum_1^n \Delta V_i$$

Mezi mnoho objemových deformací hydraulického obvodu se počítají zejména deformace válce, kapaliny ve válci, potrubí a kapaliny v potrubí.

A_A – práce dynamických sil – energie spotřebovaná, popř. vydaná zejména při rozbězích a dobězích pohybujících se částí strojů (rozběh vřeten, energetických setrvačnicku, rozběh a brzdění klikového, šroubového mechanismu ...). Je závislá na hmotnostních parametrech součástí (m , I) a velikosti zrychlení (a , α) a dráze působení.

$$A_A = m \cdot a \cdot h \text{ nebo } A_A = I \cdot \alpha \cdot \hat{\varphi}$$

Na principu práce dynamických sil se provádí akumulace energie do tzv. energetických setrvačnicků, které se používají např. u mechanických lisů.

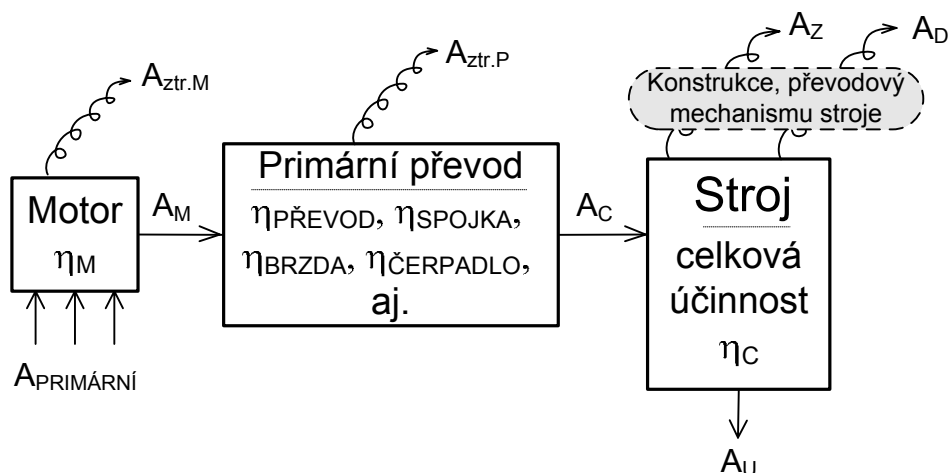
A_G – práce gravitačních sil – energie, která se projevuje pokud jakákoli složka pohybu součásti stroje má shodnou nositelku s vektorem gravitační síly. Na základě využívání energie gravitačních sil (akumulace energie pomocí gravitace) pracují například padací buchary a závažové akumulátory u hydraulických lisů. Je závislá na hmotnostních parametrech součástí (m), velikosti gravitačního zrychlení (g) a směru a dráze pohybu.

$$A_G = \text{sign}(m \cdot g \cdot h)$$

Výše zmíněné práce A_A a A_G nejsou uvažovány při trvalém běhu stroje.

3.1.5. Účinnost

Vhodným měřítkem pro hodnocení energetické náročnosti strojů je jejich účinnost, resp. dílčí účinnosti. Jeden z příkladů rozdělení („rozpadu“) energií a účinností je uveden na následujícím Obr. 3-4.



Obr. 3-4 Účinnosti stroje

V oblasti lisů můžeme mluvit o několika druzích účinnosti podle šíře její aplikace.

Jednou z hlavních je účinnost stroje, která popisuje, jak je využívána elektrická energie z vnějšku přivedená stroji při přeměně na užitečnou práci.

$$\eta_{STROJE} = \frac{A_U}{A_{EL.}}$$

Pro srovnávání strojů je vhodnější používat celkovou účinnost stroje - měřítko využití energie dodané převodovému mechanismu stroje (klikový mechanismus, šroubový mechanismus, kolenový, hydraulický ...). Je-li uvažován trvalý chod tvářecího stroje, pak $A_A = 0$ a $A_G = 0$ a pro učení celkové účinnosti stroje platí:

$$\eta_C = \frac{A_U}{A_C} = \eta_Z \cdot \eta_D$$

Pracovní účinnost je měřítkem využití energie pohybujících se hmot mechanismu

$$\eta_D = \frac{A_U}{A_U + A_D} \dots \dots \dots \text{charakteristika ztrát vzniklých pružením}$$

$$\eta_D = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{k_0}}{\frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{k_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{(\sum k_i)}}$$

$$\eta_D = \frac{\frac{1}{k_0}}{\frac{1}{k_0} + \frac{1}{(\sum k_i)}} = \frac{(\sum k_i)}{(\sum k_i) + k_0}$$

k_0 tuhost tvářeného kusu

k_i tuhosti součástí lisu

Účinnost pohonu je měřítkem ztrát způsobených pasivními účinky na celkovou energii

$$A_Z = \xi \cdot A_C \quad \xi < 1 \text{ koeficient ztrát třením}$$

$$A_C = A_U + A_D + A_Z = A_U + A_D + \xi \cdot A_C$$

$$A_C \cdot (1 - \xi) = A_U + A_D$$

$$(1 - \xi) = \eta_Z = \frac{A_U + A_D}{A_C}$$

Předchozí vztah pro účinnost pohonu lze pro konkrétní lisy dále rozepsat - např. pro vřetenový lis.

Energie pohybujících se hmot vřetenového lisu > celková energie spotřebovaná lisem A_C

$$A_1 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 > A_C = A_U + A_D + A_Z$$

$$A_C = A_U + A_D + \xi \cdot A_C$$

$$A_C \cdot (1 - \xi) = A_U + A_D$$

$$A_C = \frac{A_U + A_D}{1 - \xi}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 > \frac{A_U + A_D}{1 - \xi}$$

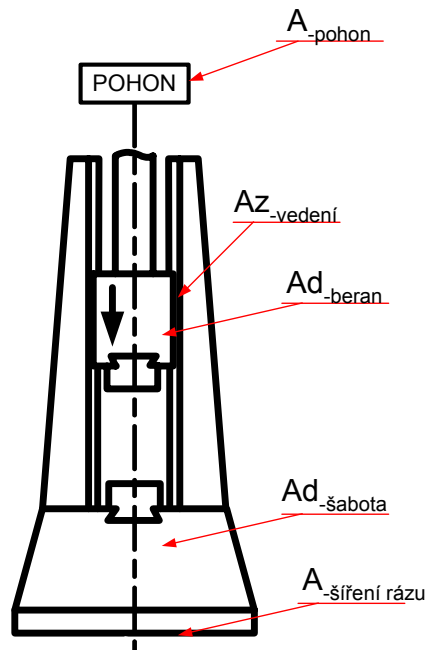
$$1 - \xi > \frac{A_U + A_D}{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2}$$

$$1 - \xi > \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{k_0} + \frac{1}{2} \cdot \frac{F^2}{(\Sigma k_i)}}{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2}$$

$$\eta_Z = 1 - \xi > \frac{F^2 \cdot \left(\frac{1}{k_0} + \frac{1}{(\Sigma k_i)} \right)}{m \cdot v^2 + I \cdot \omega^2}$$

3.1.6. Tvářecí stroje a místa energetických ztrát

Buchary



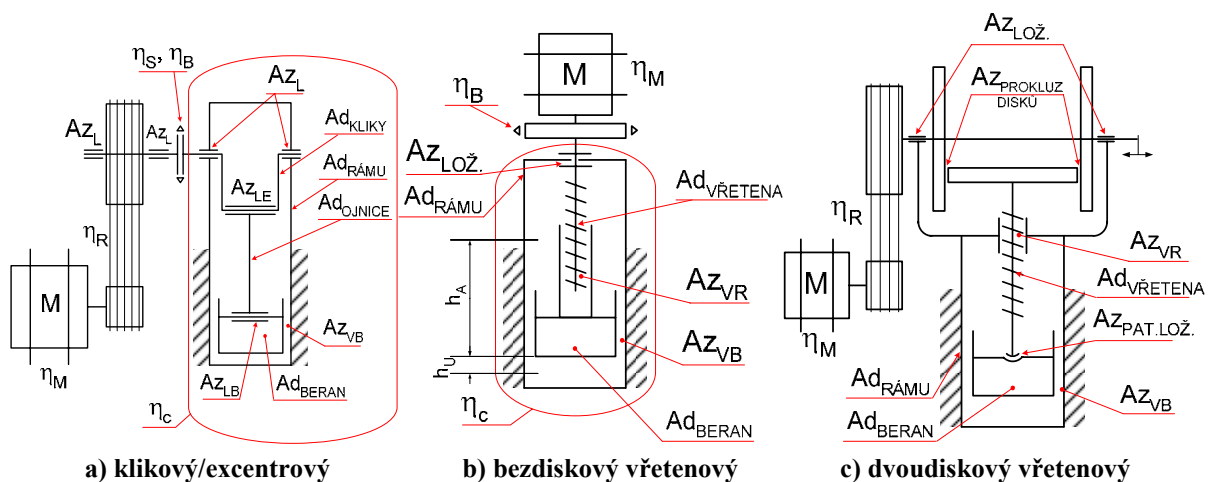
Obr. 3-5 Oblasti energetických ztrát bucharů

Energetická ztráta způsobená:

- A_{pohon} – ztráty pohonu (chladnutí páry/vzduchu, elektromotory)
- $A_{\text{d-beran}}$ - deformacemi beranu
- $A_{\text{d-šabota}}$ - deformacemi šaboty
- $A_{\text{z-vedení}}$ - třením ve vedení beranu v rámu
- $A_{\text{-šíření rázu}}$ - šíření rázu dál přes základ do okolí

Lisy

Mechanické lisy



Obr. 3-6 Oblasti energetických ztrát mechanických lisů

Energetická ztráta způsobená:

Klikový / excentrový lis	Vřetenový lis
$A_{dKLIKŮ}$ – deformacemi kliky / excentru	$A_{dVŘETENA}$ – deformacemi vřetena
$A_{dRÁMU}$ - deformacemi rámu	$A_{dRÁMU}$ – deformacemi rámu
$A_{dBERANU}$ - deformacemi beranu	$A_{dBERANU}$ - deformacemi beranu
$A_{dOJNICE}$ – deformacemi ojnice	
A_{zL} - třením v ložiscích	$A_{zPAT.LOŽ.}$ - třením v patním ložisku
A_{zLE} – třením v ložisku mezi klikou/excentrem a ojnici	$A_{zLOŽ.}$ - třením v ložiscích uložení předlohového hřídele
A_{zLB} - třením v ložisku mezi ojnici a beranem	$A_{zLOZ.}$ - třením v ložisku uložení vřetena v rámu
A_{zVB} - třením ve vedení beranu v rámu	A_{zVB} – třením ve vedení beranu v rámu
	A_{zVR} – třením v závitě vřetena
	$A_{zPROKLIZ DISKŮ}$ – tření mezi disky a setrvač. při prokluzu při rozběhu

Energetické ztráty dalších komponent

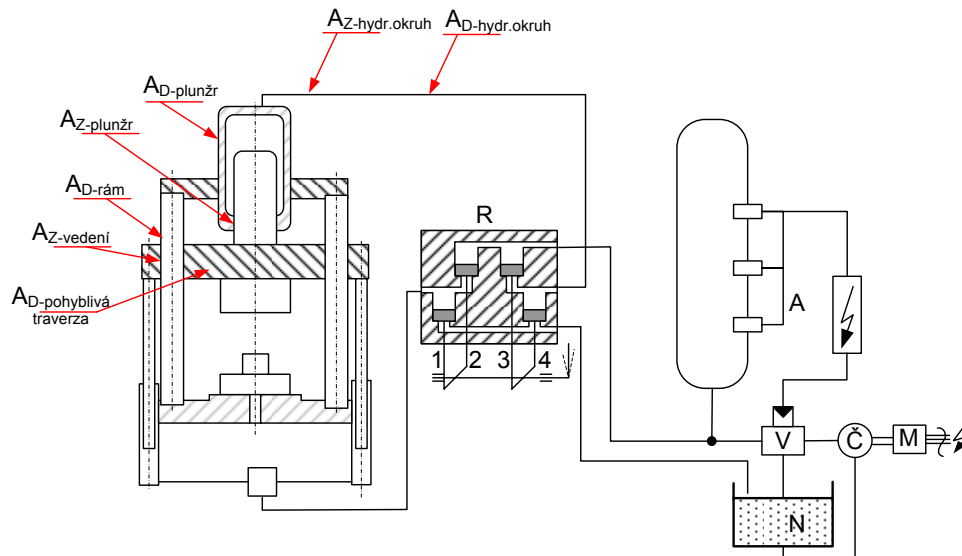
η_M – účinnost motoru

η_R – účinnost řemenového převodu

η_S – účinnost spojky

η_B – účinnost brzdy v odbržděném stavu

Hydraulické lisy



Obr. 3-7 Oblasti energetických ztrát hydraulického lisu

Energetická ztráta způsobená:

$A_{d-PLUNŽR}$ – deformacemi válce plunžru

$A_{d-RÁM}$ - deformacemi rámu

$A_{d-POHYBLIVÁ TRAVERZA}$ - deformacemi pohyblivé traverzy

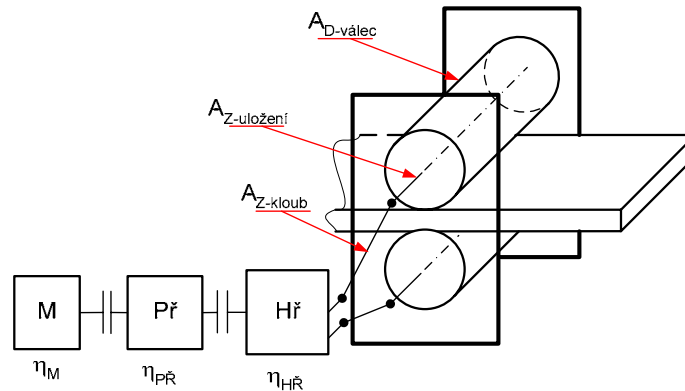
$A_{d-HYDR.OKRUH}$ – deform. hydraulické kapaliny, prvků hydraulického okruhu (potrubí ...)

$A_{z-VEDENÍ}$ - třením ve vedení beranu v rámu

$A_{z-PLUNŽR}$ - třením v ucpávce plunžru

AZ-HYDR.OKRUH - třením hydraulické kapaliny - místní ztráty (ohyby, ovládací prvky ..) a ztráty v délce potrubí

Válcovny



Obr. 3-8 Oblasti energetických ztrát válcovny

Energetická ztráta způsobená:

Ad_{válec} – deformacemi válce

AZ_{uložení} – třením v uložení válců

Ad_{kloub} - deformacemi kloubových hřídelů

AZ_{kloub} – třením v ložiscích kloubových hřídelů

Energetické ztráty dalších komponent

η_M – účinnost motoru

$\eta_{PŘ}$ – účinnost převodovky

$\eta_{HŘ}$ – účinnost hřebenovky (rozvodové převodovky)

Pozn.: U válcovny se nechají nalézt deformace (a spotřebované energie na deformace), které však nemají vliv na celkovou energetickou bilanci.

3.1.7. Výhled pro další řešení

Teorie energetická bilance pro hydraulické lisy a válcovny.

Energetická bilance tvářecích cyklů

Ve spolupráci s výrobcí provést analýzu pracovního cyklu stroje a provést energetickou bilanci.

Určit a analyzovat místa energetických ztrát tvářecích strojů.

Analyzovat možnosti úspor energie.

3.1.8. Závěr, přínosy, shrnutí

4. Seznam literatury

Čechura, M.; Dejmal, V.; Krátký, J.; Vývojové práce pro zvýšení parametrů kovacího lisu CKVJ 2650; Plzeň 1998

Čechura, M.; Dejmal, V.; Kučerová, M.; Bouda, M.; Odborné posouzení technických parametrů odlitého a svařovaného rámu stroje ULS a jejich porovnání; Plzeň 2000

Čechura, M.; Staněk, J.; Čontoš, V.; Přepočítání redukovaného napětí ve stěně válce hydromotoru; Plzeň 2000

Čechura, M.; Dejmal, V.; Kučerová: Klikový lis LMZ 800; Plzeň 2000

Čechura, M.; Hlaváč, J.; Sloupy rámy pro hydraulický lis ŠKODA CKVJ 2500; Plzeň 2004