

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 41/2013

Радисав Д. Величковић

Испитивање тачности и статичке крутости CNC

глодалице

-завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Слободан Митровић - ментор
2. Проф. др Богдан Недић
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру завршног рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о тачности машина алатки. Посебну пажњу посветити тачности глодалица и испитивању статичке крутости машина, као и извршити експериментално испитивање статичке крутости CNC глодалице *HAAS Toolroom Mill TM-1*. На крају рада дати резултате испитивања.

Препоручена литература:

- [1] Станковић, П., Машине алатке 1 – концепцијска и експлоатацијска анализа, Машински факултет, Београд, 1968.
- [2] Захар, С., Машине алатке 1, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 1933.
- [3] Национални стандарди.

Крагујевац, октобар, 2016. год.

ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК

Проф. др Богдан Недић

Проф. др Слободан Митровић

Резиме рада:

Овај завршни рад посвећен је испитивању тачности машина алатки, пре свега испитивању тачности глодалица. Извршено је дефинисање тачности главних делова машина алатки, као и испитивање тачности појединих машина. Такође је дат начин испитивања статичке крутости код машина, као и утицај температуре и температурне деформације на радну тачност машине. У последњем делу рада извршено је одређивање статичке крутости на глодалици *HAAS Toolroom Mill TM-1* и представљени резултати испитивања.

Кључне речи: машине алатке, геометријска тачност, статичка крутост, *HAAS Toolroom Mill TM-1*,

Abstract:

This final work is devoted to examination of the machine tools accuracy, primarily, testing the accuracy of the milling machines. The accuracy of the main parts of machine tools, as well as the testing of some machines accuracy are also defined. The static rigidity of machines has also been tested, as well as the influence of temperature and heat distortion on the working accuracy of the machine. In the last part of the paper, the determination of the static rigidity of the Milling *HAAS Toolroom Mill TM-1* is determined and the results of the tests are presented.

Key words: machine tools, accuracy, static rigidity, *HAAS Toolroom Mill TM-1*

САДРЖАЈ

1. Уводна разматрања.....	1
2. Тачност машина алатки.....	2
2.1 Концепцијски утицаји.....	2
2.2 Мерни ланци.....	3
2.3 Тачност израде машина.....	4
2.4 Кинематска тачност.....	4
2.5 Геометријска тачност.....	5
2.6 Радна тачност.....	10
2.7 Експлоатацијски утицаји.....	10
2.8 Топлотни утицаји.....	11
3. Испитивање тачности хоризонталних и универзалних глодалица.....	13
3.1 Геометријска проверавања.....	14
4. Статичка крутост.....	29
4.1 Статичка крутост елемената машине.....	29
4.2 Експериментално одређивање статичке крутости.....	33
5. Испитивање статичке крутости CNC глодалице <i>HAAS Toolroom Mill TM-1</i>.....	36
5.1 Опис техничког система на коме је вршено испитивање.....	37
5.2 Одређивање статичке крутости.....	39
6. Закључак.....	44
7. Литература.....	45

1. Уводна разматрања

Да би машина алатка у потпуности испунила постављени производни задатак, у данашњим условима, она мора да задовољи, у мањој или већој мери, основне критеријуме квалитета: тачност, производност, економичност, технологичност, сигурност у руковању, поузданост, приступачну цену и сл.

Развој савремене индустрије машина алатки стреми ка што је могуће већој производности, у условима који обезбеђују неопходну и довољну тачност обрађених предмета, као и довољном квалитету обрађене површине. У данашње време је све то у великој мери олакшано и достигнуто применом савремених, компијутерски управљаних, машина.

Пред сваку машину алатку поставља се одређена тачност коју она мора да задовољи, односно прописују се максимална дозвољена одступања од тачности свих појединачних делова машине па и саме машине. С обзиром да се елементи машина хабају током свог радног века, ова дозвољена одступања проверавају се на новим и репарираним машинама алаткама.

Тачност машине одређује у којој мери одређене грешке машине утичу на тачност и квалитет обрађене површине предмета обраде.

У другом поглављу, након уводних разматрања, обрађени су управо фактори који утичу на тачност машина алатки и то фактори везани за: концепцију машине, конструкцију машине, израду машине, експлоатацију машине и топлотне утицаје.

Треће поглавље је посвећено испитивању тачности хоризонталних и универзалних глодалица, као и стандарду који дефинише начин њиховог испитивања, при чему су за сваку врсту испитивања дате скице начина испитивања и вредности дозвољених одступања.

У четвртом поглављу дефинисана је статичка крутост машина алатки као и начини експерименталног испитивања статичке крутости машина алатки.

У петом поглављу речено је нешто више о цнц машинама, самој машини на којој је вршено испитивање статичке крутости, као и представљени резултати поменутог испитивања. Уз резултате описан је и начин на који је извршено испитивање.

На крају рада дат је закључак и преглед коришћене литературе.

2. Тачност машина алатки

Тачност предмета обраде, израђених на машинама алаткама, у великој мери зависи од тачности израде саме машине. Зато је потребно сваку машину алатку подвргнути испитивању у циљу проверавања њене тачности у склопљеном стању. Посебно се дефинише провера тачности израде машине у неоптерећеном стању и под оптерећењем (при финој обради), где се поред тачности проверава и крутост машине.

Основу за испитивање машина алатки поставио је проф. **dr Schlesinger** чије методе служе као прописи за квалитативни пријем машина алатки. Методе мерења за различите врсте машина су различите, као и дозвољена одступања, али су принципи мерења у већини случајева заједнички [2].

При испитивању тачности машина користе се различити прибори, као што су:

- Либеле
- Компаратери
- Мерни штапови
- Лењири
- Угаоници

Тачност обраде представља комплексан проблем који се може расчланити посматрањем појединих фактора везаних за алат, радни предмет, машину, режим обраде и сл.

Главни узроци нетачности, везани за саму машину, могу се поделити на следеће групе: концепцијски утицаји, конструктивни утицаји, тачност израде машине, експлоатацијски утицаји и топлотни утицаји. При оваквој подели, статичка и динамичка крутост представљају факторе који могу учествовати у већини наведених група нетачности.

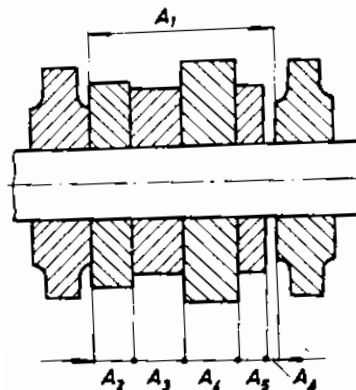
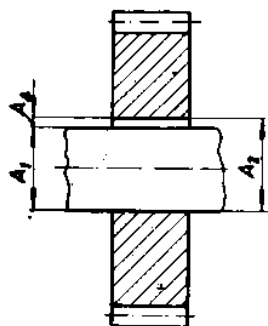
2.1 Концепцијски утицаји

У зависности од улоге коју поједини елементи машина имају у извођењу основних кретања при обради, тј. у зависности од тога како се поједина релативна кретања између алата обављају и материјала остварују, могу се реализовати различити концепцијски системи машина са различитом тачношћу обраде. При овоме се крајња тачност огледа у величини међусобног одступања између алата и материјала. У појединим варијантама остварују се иста релативна кретања на различите начине, при чему ће крајња тачност, односно крајња грешка која се огледа у међусобном одступању између алата и материјала, бити различита при истој укупној статичкој крутости машине. При томе ће овде од главног утицаја бити зазори између елемената склопова на крајње померање сечива алата у односу на радни предмет. Решавању оваквих проблема допринеће основи теорије мерних ланаца, о којима ће бити речи у следећем поглављу.

На повећање тачности машине може се утицати избором управљачког система, а посебан утицај на тачност имају статичка и динамичка крутост [1].

2.2 Мерни ланци

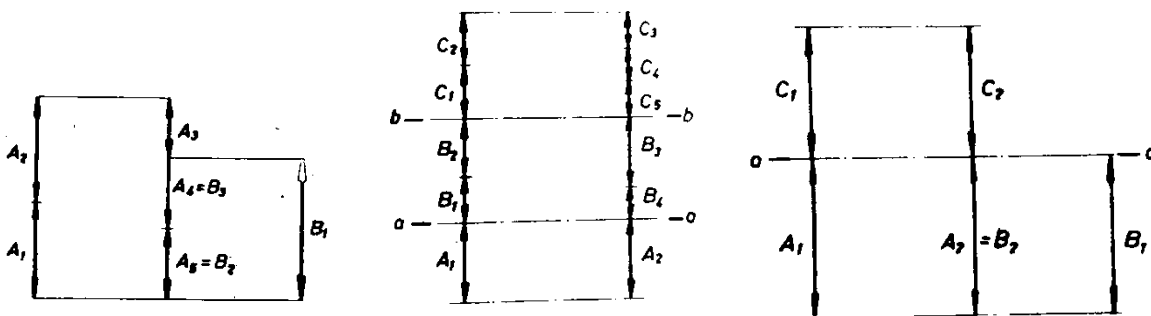
Под мерним ланцем подразумева се низ оних мера, које се у одређеном редоследу непрекидно нижу а односе се на неку почетну базу у виду површине, ивице, осе или сл. Најједноставнији мерни ланац са дужинским мерама приказан је на слици 1, где се ланац састоји из мера A_1 , A_2 , A_Δ , при чему A_Δ представља зазор између оба елемента и назива се завршним чланом мерног ланца. Мерни ланац са више чланова приказан је на слици 2, где A_1 представља укупну меру а $A_2 \div A_5$ мере појединих елемената. Зазор A_Δ , као и у претходном случају, представља завршни члан мерног ланца.



Слика 1. Једноставан мерни ланац [1] Слика 2. Мерни ланац са више чланова [1]

Завршни члан мерног ланца може имати различита значења као: зазор између два елемента, толеранцију, грешку и сл.

Уместо једног мерног ланца често се појављују и два и више мерних ланаца у једном склопу. Тада између тих појединих ланаца постоји одређена веза. У зависности од тога како су поједини мерни ланци међусобно повезани, разликују се три врсте веза и то: паралелне, редне и комбиноване везе (слика 3).



Слика 3. Паралелна, редна и комбинована веза [1]

2.3 Тачност израде машина

Грешке које се јављају при изради елемената машина, као и при њиховом склапању и монтажи, могу утицати на кинематску и на геометријску тачност, па самим тим и на радну тачност машина [1].

2.4 Кинематска тачност

Под кинематском тачношћу подразумева се тачност одржавања задатих брзина кретања извршних органа машине, при чему кинематска грешка настаје као последица грешака у појединим елементима унутрашњих кинематских ланаца машине. Кинематска тачност је од нарочитог значаја код машина од којих се захтева строга зависост између главног и помоћних кретања, као код машина за резање завојница, зупчаника и др [1].

Код машина за израду зупчаника резањем, односи између грешака кретања посебно су сложени. При томе се под грешкама кретања подразумевају одступања од равномерног релативног кретања између алата и материјала.

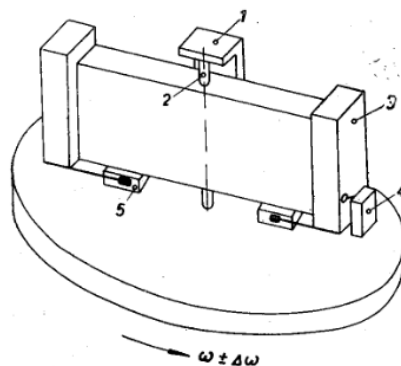
При глодању нпр. по методи „Пфаутер“, између броја обрта стола са радним предметом и броја обрта алата постоји следећи преносни однос:

$$i_o = \frac{z_r}{z_a},$$

где је z_r – број зубаца радног предмета, а z_a – број ходова завојнице алата пужастог глодача. Овај преносни однос, који треба да је константан, једнак је производу појединачних преносних односа: $i_o = i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_k = \text{const.}$

Постоје различите методе за испитивање кинематске нетачности. Једна од њих, која омогућује постизање велике тачности, заснива се на сеизмичком принципу и развијена је на Техничкој високој школи у Ахену. Шематски приказ уређаја дат је на слици 4, где је са 1 обележен ослонац за који је стегнута осетљива торзиона опруга 2 која носи већу масу 3. Цео уређај поставља се на сто машине. При равномерно окретању стола не мења се положај масе у односу на ослонац. Међутим, при кинематској грешци биће поремећено равномерно обртање стола и тада ће услед дејства инерцијалних сила настати обртање масе у односу на ослонац. Одговарајућа померања се мере помоћу примача 4, конструисаног на индуктивном или неком другом принципу. Пригушивање осцилације постиже се помоћу магнета 5. Приказани сеизмички инструмент, од којих се један поставља на вретена алата а други на сто машине, омогућује мерење грешке при обртању од 0,1 угаоне секунде, тј. скретање од $1\mu\text{m}$ на пречнику од 4m, док је најмања фреквенција

која се оваквим апаратом још може мерити 0.1 Hz.



Слика 4. Сеизмички инструмент за мерење кинематске тачности [2]

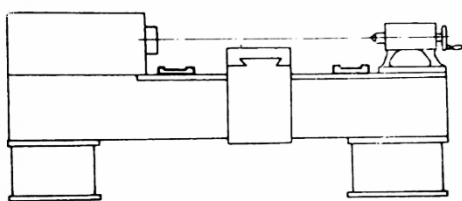
2.5 Геометријска тачност

Завршно испитивање тачности израде, састоји се у испитивању геометријске тачности монтиране машине и то углавном у неоптерећеном стању, поред изесног ограниченог испитивања машина под оптерећењем (испитивање радне тачности).

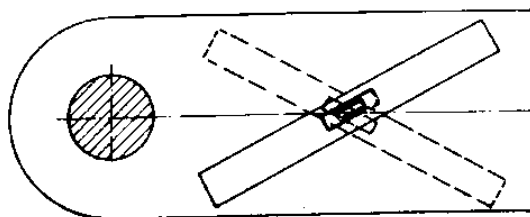
Постоји више метода за испитивање појединих врста машина алатки, које су дефинисане стандардима који прописују одговарајућа максимално дозвољена одступања. Неки од важнијих принципа и метода испитивања базираним на поменутим стандардима биће изнети у даљем тексту.

Припрема машине за испитивање. Пре сваког испитивања потребно је да се машина постави у хоризонталан положај помоћу осетљиве либеле. При постављању машине у хоризонталан положај поставља се либела преко призме са жлебом на тачно обрађене површине вођица у уздужном а затим и у попречном правцу.

Слика 5, приказује шему изравнавања машине у циљу постављања у хоризонталан положај. Слика 5а, односи се на струг, а слика 5б на радијалну бушилицу.



Слика 5а. Постављање струга у хоризонталан положај [1]



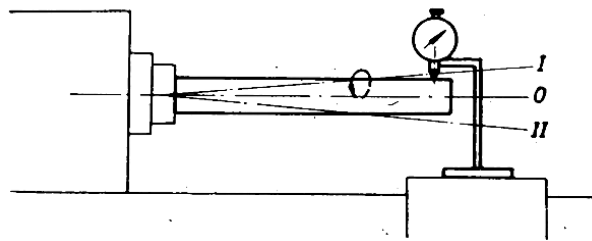
Слика 5б. Постављање глодалице у хоризонталан положај [1]

У оквиру припреме машине за испитивање тачности спада и довођење машине у стационарно температурно стање. Пошто се при раду машина загрева, различити услови одвођења топлоте за поједине елементе, посебно за главна вретена, утичу на међусобан положај тих елемената, што значи да ће тачност рада машине да се разликује за хладну и

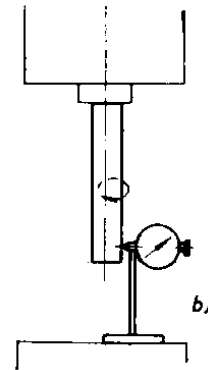
загрејану машину. Стога се предвиђа испитивање тачности израде машине тек пошто она достигне одређену температуру.

Испитивање тачности главних вретена. Као прибор, код испитивања тачности главних вретена, користе се компаратор са подељцима од 1 до 100mm, и мерни штап.

При испитивању *центричности осе конуса главног вретена* поставља се мерни штап у конус главног вретена (нпр. струга, слика 6а), док се мерни пипак компаратера, чији сталак стоји на носачу ачата, поставља на крај мерног штапа. Главно вретено са мерним штапом окреће се за један обрт, при чему се мери скретање казаљке компаратера. При испитивању машина са вертикалним главним вретеном (бушилице, вертикалне глодалнице и сл.) поступак је истоветан као за хоризонтална вретена (слика 6б).

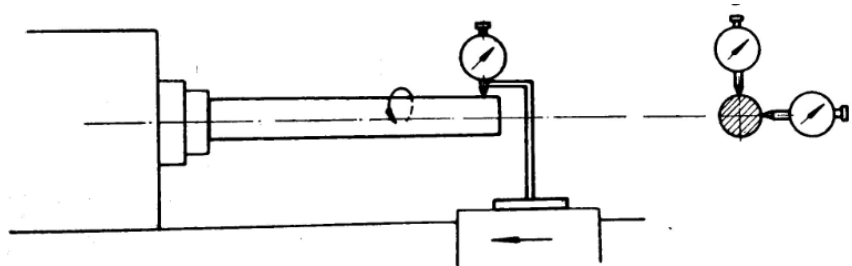


Слика 6а. Испитивање хоризонталних вретена [1]



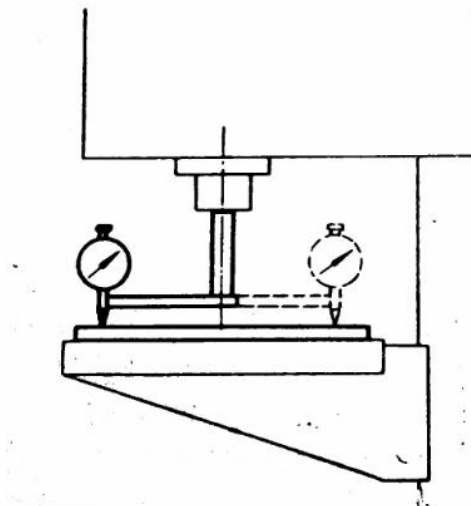
Слика 6б. Испитивање вертикалних вретена [1]

Испитивање *паралелности осе главног вретена са правцем кретања носача алата*. Прибор за мерење је исти као у малопређашњем случају, само се сада компаратер заједно са носачем алата креће, тако да мерни пипак компаратера клизи по изводници мерног штапа (слика 7). Да би се при овом мерењу искључила грешка центричности, поставља се главно вретено са мерним штапом у средњи положај грешке центричности.



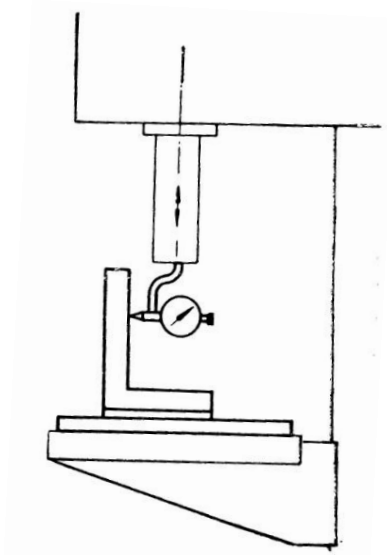
Слика 7. Испитивање паралелности осе главног вретена са правцем кретања носача алата [1]

Испитивање *управности осе главног вретена према столу*. Ово испитивање, које долази у обзир код бушилаца, вертикалних глодалица и сл., врши се помоћу компаратера и металног планерног лењира (слика 8). Савијени носач компаратера поставља се у конус главног вретена, при чему се мерни пипак компаратера преко лењира наслања на два за 180° размакнута положаја стола и то у равни симетрије машине а затим у равни управној на ту раван.



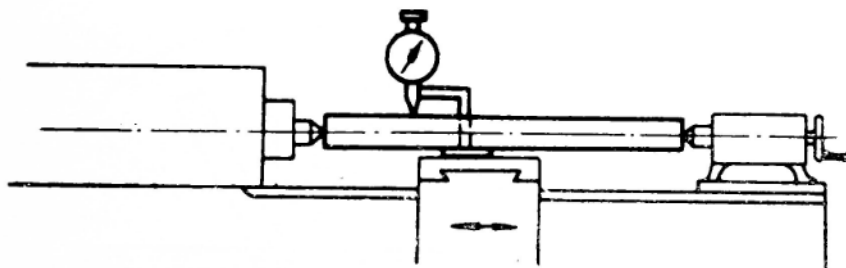
Слика 8. Испитивање управности осе главног вретена према столу [1]

Испитивање *управности правца кретања главног вретена према столу*, врши се помоћу компаратера, постављеног у конус главног вретена, и угаоника постављеног преко металног лењира на радни сто (слика 9). Мерење се врши у равни симетрије а затим и у попречној равни.



Слика 9. Испитивање управности кретања главног вретена према столу [1]

Испитивање тачности радне осе. Испитивање паралелности главне осе (спојне линије између шиљака) са правцем кретања носача алата врши се помоћу компаратера и мерног штапа. За стругове дужине до 3 метра употребљава се цилиндрични мерни штап са гнездима за стежање између шиљака. Мерни штап се поставља између шиљака (слика 10) док се мерни пипак компаратера поставља на мерни штап и помера заједно са носачем алата. Мерење се врши у вертикалној и хоризонталној равни, при томе што се у вертикалној равни врши мерење дуж целог штапа, док се у хоризонталној равни врши мерење само на левом и десном крају мерног штапа.

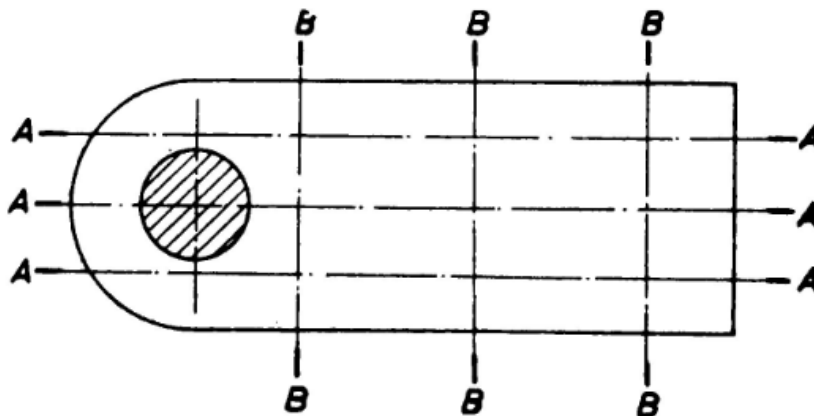


Слика 10. Испитивање паралелности главне осе са правцем кретања носача алата [7]

Испитивање тачности постоља. Поред проверавања хоризонталности машине, односно њеног исправљања мерењем положаја вођица, потребно је посебно испитати и одступање од праволинијског облика, као и одступање од уравњености.

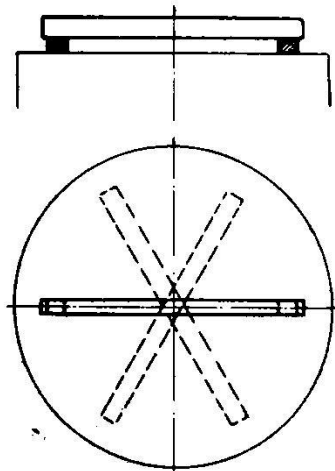
За испитивање праволинијског облика вођица код струга је прибор исти као и за постављање машине у хоризонталан положај.

Уравњеност постољних плоча већих машина, као нпр. радијалних и хоризонталних бушилица, испитује се помоћу либеле 200 до 300 mm, која се поставља у радну површину плоче, прво у три уздужна паралелна правца А-А, а затим у три попречна паралелна правца В-В. Растојања у једном правцу мерења износе 300 до 500 mm (слик 11).



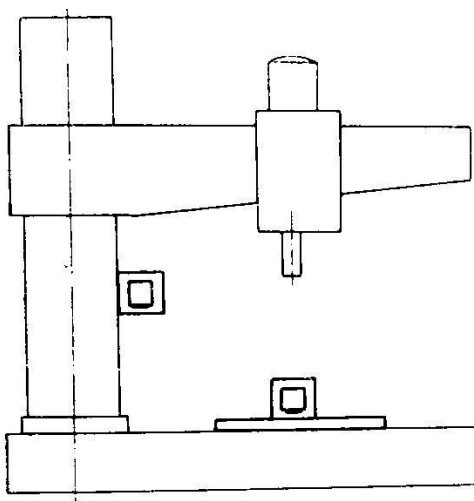
Слика 11. Испитивање уравњености постољних плоча [1]

Управљеност плоче за стезање испитује се помоћу металног лењира постављеног на ослонаце од два гранична мерила исте дебљине (слика 12). Помоћу граничних мерила разних дебљина, између ослонаца треба измерити одстојање плоче од лењира на разним тачкама дуж лењира. Највећа разлика у дебљини уметнутих и крајњих мерила даје тражено одступање.



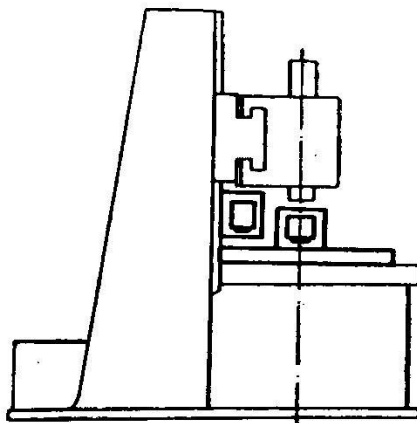
Слика 12. Испитивање управности плоче за стезање [1]

Управност стуба према радној површини постолне плоче код радијалних бушилица испитује се помоћу либеле и металног лењира дужине 1m. Код овог мерења, конзола као и носач главног вретена стављају се у средњи положај. Лењир се поставља на радну површину плоче у равни симетрије (слика 13) и на њега поставља оквирна либела. Затим се либела наслања на цилиндричну површину стуба у истој равни. Из разлике оба мерења добија се одступање од правог угла. Иста се мерења понављају постављањем лењира са либелом на средину плоче у равни управној на раван симетрије а затим наслањањем либеле бочно на стуб.



Слика 13. Испитивање управности стуба према постолној плочи [4]

Управност стуба према обртном столу код вертикалних стругова (слика 14) испитује се помоћу либеле и металног лењира. Лењир се поставља преко калибрираних плочица на сто у равни симетрије машине и на лењир поставља либела. Затим се либела наслања на стуб у истој или паралелној равни и поново веши мерење. Разлика између оба читања даје одступање од управности.



Слика 14. Испитивање управности стуба према обртном столу [1]

2.6 Радна тачност

Испитивања радне тачности обухватају израду пробних узорака одређених димензија у циљу утврђивања тачности машине под радним оптерећењем. Резултати оваквих практичних испитивања могу да се користе или као самостални или у виду допуне при испитивању геометријске тачности машине.

2.7 Експлоатацијски утицаји

Од експлоатацијских утицаја на тачност рада машина појављују се на првом месту режимски утицаји. Ако се обрада врши при оптималном режиму уз пуно искоришћење снаге машине, пресека струготине, као и осталих главних карактеристика машине које одговарају том оптималном режиму, биће у том случају и дозвољене еластичне деформације машине, па самим тим и тачност која одговара том режиму достигнути. Стога је важно да се режими обраде ограниче на оптималне, односно граничне, да предвиђена тачност не би била прекорачена.

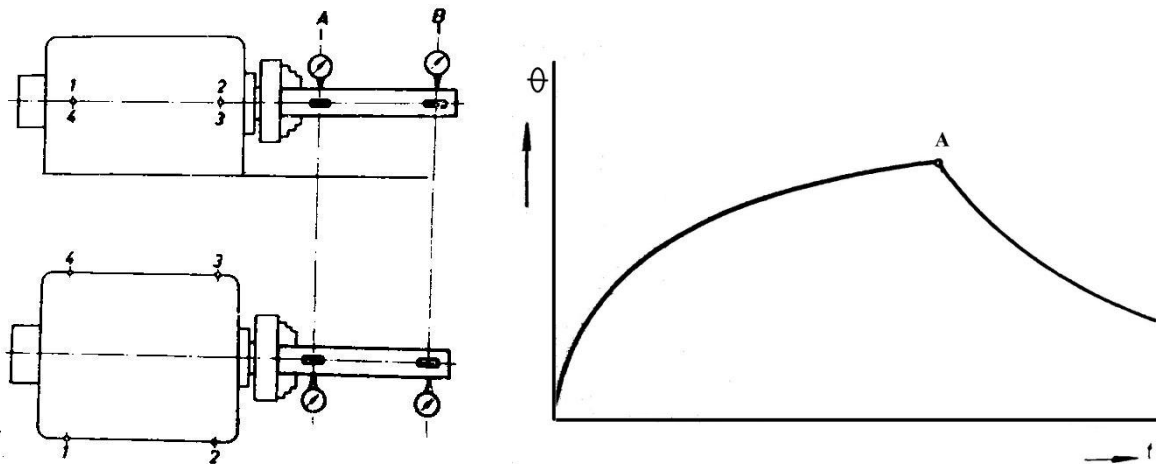
У вези са режимским искоришћењем машина, па самим тим и у вези са статичким и динамичким оптерећењем појединих елемената јавља се као утицајан фактор и хабање делова, који може у значајној мери утицати на одржавање тачности машине. Хабање представља истовремено и конструктивни и експлоатацијски фактор, пошто се погодним избором материјала и погодним димензионисањем одговарајућих парова додирних елемената може хабање свести на економичну меру.

2.8 Топлотни утицаји

При пуштању хладне машине у рад настаће постепено повећање температуре појединих покретних делова машине, услед чега се јављају одговарајуће температурне дилатације елемената машине. Топлота се углавном развија услед трења у лежиштима, између зупчаника и у другим покретним елементима. Један део топлоте може прећи и са алата и радног предмета на машину. Од елемената машине највише се загрева носач главног вретена заједно са преносником, док се остали делови машине загревају само незначително.

Промена температуре у зависности од времена рада машине може се измерити постављањем, односно прислањањем термометра или термоелемената на карактеристична места машине и регистровањем промене, при чему се посматрање машине врши при празном ходу, без оптерећења. На слици 15, приказана је шема мерења температуре за 4 мерна места на примеру универзалног струга. Термоелементи се прислањају уз кућиште преносника за главно кретање на висини осе главног вретена и то са предње и задње стране кућишта (мерна места су обележена са 1÷4), тако да места мерења одговарају положајима лежишта главног вретена.

Дијаграм зависности температуре θ од времена загревања t , за струг, приказан је на слици 15. Са дијаграма се може видети да је пораст температуре на у почетној фази брз а затим се успорава. Крива до тачке А одговара зависности при загревању, док удесно од тачке А хлађењу машине после заустављања.



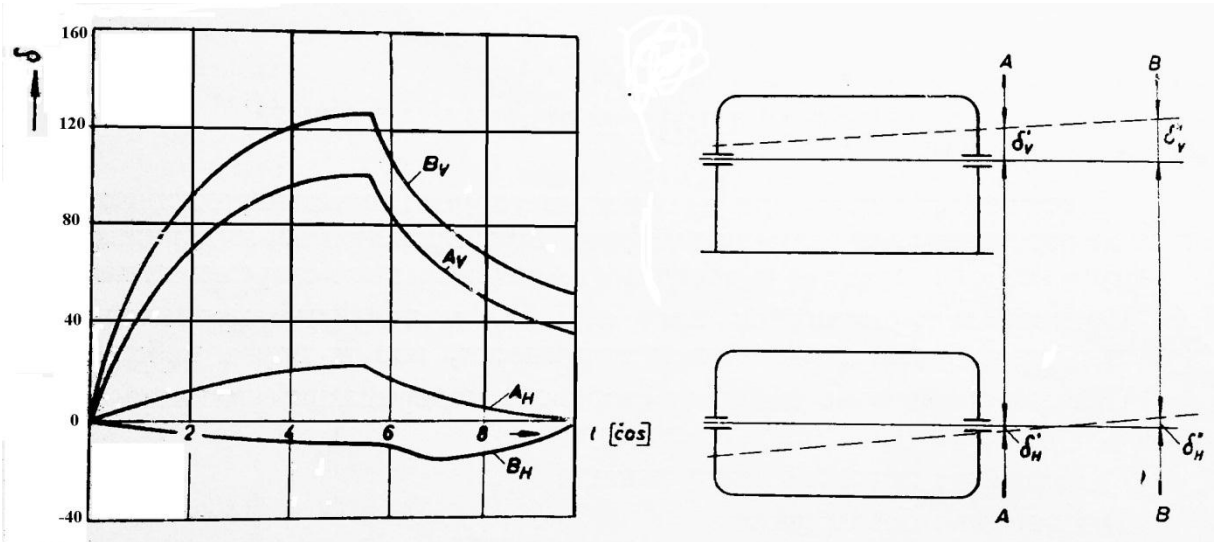
Слика 15. Мерење температурних промена и дијаграм зависности температуре θ код струга [1]

У тачки А може бити достигнута знатна температура (око 40°C), што може изазвати знатнија померања положаја главног вретена услед неравномерних топлотних дилатација и неравномерног одвођења топлоте са лежишта и осталих суседних елемената.

Са мерењем температуре, истовремено се могу мерити и деформације, односно померање главног вретена услед загревања. У ту сврху се у стезач стеже цилиндрични

штап, док се деформације периодично мере помоћу прецизних компаратера-миниметара са подељцима скале од 0,002 mm. Мерења се врше у два паралелним равнина А и В, на међусобном одстојању од 300 mm (слика16).

Дијаграм зависности померања главног вретена у равнина А и В, од температуре, приказан је на слици 16, где су приказане криве одступања у равнина А и В у хоризонталном и вертикалном положају. Померања осе главног вретена на препусту у вертикалној равни знатно су већа него у хоризонталној равни, што је шематски приказано такође на слици 16.



Слика 16. Дијаграм зависности померања главног вретена и померање у вертикалној и хоризонталној равни услед загревања [1]

3. Испитивање тачности хоризонталних и универзалних глодалица

Сва испитивања, која се врше на машинама алаткама, дефинисана су одређеним стандардима. Стандард који дефинише испитивање тачности хоризонталних и универзалних глодалица, настао је ревизијом стандарда *JUS M.G0.140*.

Овај стандард прописује методе проверавања тачности хоризонталних и универзалних глодалица путем геометријских проверавања и практичног испитивања према дефиницијама *JUS M.G0.100*.

Стандард садржи опис поступака, списак мерног прибора и скицу диспозиције мерења за сва геометријска проверавања као и највећа дозвољена одступања од идеалних геометријских односа за свако појединачно мерење.

За испитивање хоризонталних и универзалних глодалица сем одредаба овог стандарда важе још и одредбе стандарда *JUS M.G0.101*.

За детаље појединих поступака важе одредбе стандарда који се односе на проверавање појединих геометријских односа и то:

- за проверавање правости..... *JUS M.G0.102*
- за проверавање равности..... *JUS M.G0.103*
- за проверавање паралелности..... *JUS M.G0.104*
- за проверавање управности..... *JUS M.G0.105*
- за проверавање правилности обртања..... *JUS M.G0.106*
- за практична испитивања..... *JUS M.G0.110 [3]*

Мерни прибор који се употребљава за мерење по овом стандарду мора у погледу тачности и других услова задовољити одредбе односног стандарда и то:

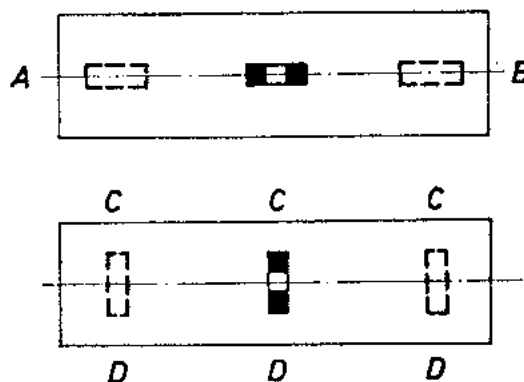
- лењери *JUS M.G0.301*
- мерни трнови *JUS M.G0.302*
- мерни угаиници *JUS M.G0.304*
- либеле *JUS M.G0.305*
- мерни сатови(компаратери) *JUS M.G0.306 [3]*

3.1 Геометријска проверавања

1. Водоравност радног стола

Мерење је вршено:

- у уздужном правцу А – В,
- у попречном правцу С – D.



Слика 17. Скица мерења водоравности радног стола [3]

Мерни прибор:

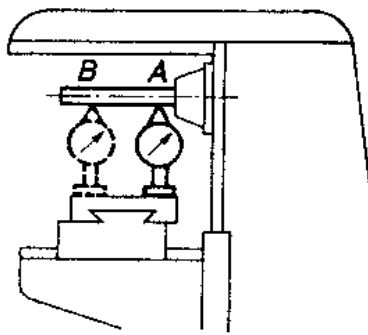
- либела дужине 200 до 300 mm.

Поступак мерења:

Конзолу притегнути против вертикалног померања. Радни сто довести у уздужном и попречном правцу у средину. Поставити либелу на средину стола уздужно (правац А-В), затим попречно (правац С-D) и при томе подесити водоравност машине. Затим постављати либелу на оба краја стола у правцу А – В и С – D и читати одступања.

Дозвољена одступања: $\pm 0,04 \text{ mm/m}$ [3].

2. Центричност унутрашњег конуса радног вретена:



Слика 18. Скица мерења центричности унутрашњег конуса радног вретена [3]

Мерни прибор:

- мерни трн са коничном дршком, део за мерење дужине 300 mm,
- мерни сат

Поступак мерења:

Мерни трн поставити у конус радног вретена. Мерни сат поставити непокретно, а његов пипак прислонити на мерни трн у тачки А. Обртати радно вретено и читати одступање на мерном сату. Поновити исто у положају В, на одстојању 300 mm од положаја А [3].

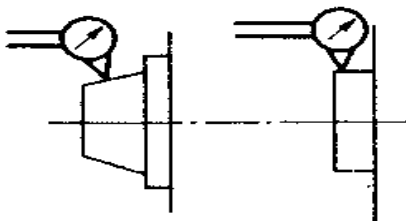
Дозвољена одступања:

- а) положај А: 0,01 mm,
- б) положај Б: 0,02 mm.

3. Центричност спољњег конуса, односно цилиндра радног вретена

Мерено је:

- а) у хоризонталној равни,
- б) у вертикалној равни.



Слика 19. Скица мерења центричности спољњег конуса [3]

Мерни прибор:

- мерни сат.

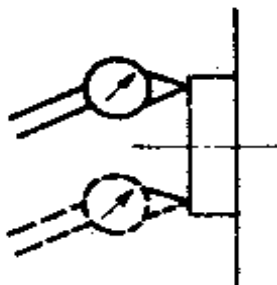
Поступак мерења:

Мерни сат поставити на радни сто, а његов пипак наслонити на спољни конус, односно цилиндар радног вретена. Обртати радно вретено и читати одступање на мерном сату. Мерити у хоризонталној и вертикалној равни. Дозвољено одступање: 0,01 mm [3].

4. Аксијално одступање радног вретена и тачност његове чеоне површине:

Мерни прибор

- мерни сат.



Слика 20. Скица мерења аксијалног одступања мирноће радног вретена [3]

Поступак мерења:

Мерни сат поставити на радни сто, а његов пипак наслонити на чеону површину венца радног вретена. Обртати радно вретено, аксијално оптерећено у правцу лежишта и читати одступање на мерном сату. Мерити у два супротна положаја [3].

Дозвољена одступања:

- а) за машине са унутрашњим пречником предњег лежаја до 50 mm: 0,015 mm,
- б) за машине са унутрашњим пречником предњег лежаја преко 50 mm: 0,025 mm.

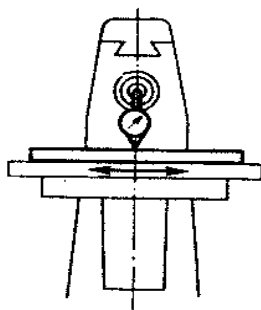
5. Паралелност површине радног стола са правцем његовог уздужног померања:

Мерни прибор:

- мерни сат на угаоном краку са конусом за углављивање у радно вретено,
- лењир чија дужина одговара дужини радног стола.

Поступак мерења:

Лењир поставити на радни сто. Углавити мерни сат у конус радног вретена, а његов пипак наслонити на лењир. Померати радни сто у уздужном правцу и читати одступање на мерном сату [3].



Слика 21. паралелност површине радног стола са правцем његовог уздужног померања [3]

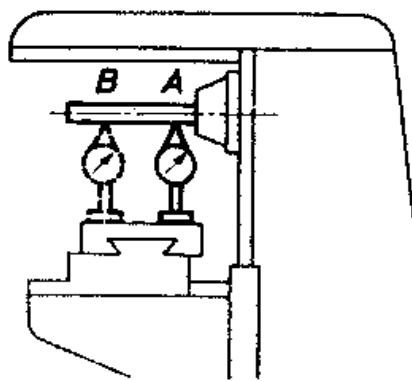
Дозвољена одступања:

- а) за машине са померањем стола до 500 mm: 0,02 mm на целокупно уздужно померање,
- б) за машине преко 500 mm: дозвољено одступање се повећава за по 0,01 mm на сваких даљих 500 mm.

6. Паралелност површине радног стола са осом радног вретена:

Мерни прибор:

- мерни сат са подножјем дугим најмање 200 mm,
- мерни трн са коничном дршком и цилиндричним делом



Слика 22. Скица мерења паралелности површине радног стола са осом радног вретена [3]

Поступак мерења:

Радни сто поставити у средњи положај у уздужном правцу и у крајњи унутрашњи положај у попречном правцу. Притегнути конзолу против вертикалног померања. Мерни трн углавити у конус радног вретена. Мерни сат поставити на радни сто, а његов пипак наслонити на трн одоздо у тачки А. Мерни трн довести у средњи положај избочености обртања у вертикалној равни. Извршити мерење у положају А, а затим у положају В, на одстојању 300 mm од положаја А, не померајући радни сто. Проверити одступање у средини између тачака А и В [3].

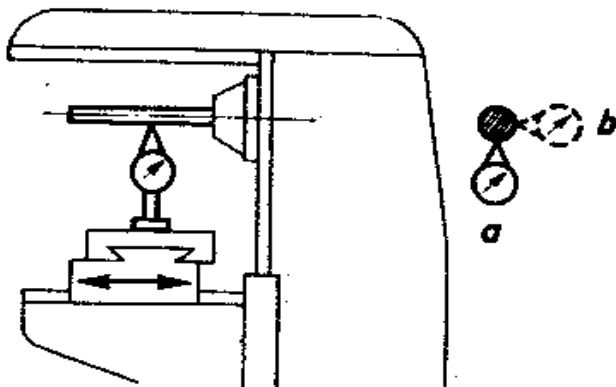
Дозвољено одступање:

- 0,02 mm на 300 mm, с'тим да слободни крај трна сме бити нагнут само према радном столу.

7. Паралелност правца попречног померања радног стола са осом радног вретена

мерено:

- у вертикалној равни,
- у хоризонталној равни



Слика 23. Скица мерења паралелности правца попречног померања радног стола са осом радног вретена [3]

Мерни прибор:

- мерни сат,
- мерни сат са коничном дршком и цилиндричним делом за мерење дужине 300 mm.

Поступак мерења:

Радни сто поставити у средњи положај у уздужном правцу и осигурати га против вертикалног померања. Мерни трн углавити у конус радног вретена и проверавањем као под редним бројем два довести га у средњи положај грешке избочености обртања у вертикалној равни, за проверавање под a , односно у хоризонталној равни, за проверавање под b . Мерни сат поставити на радни сто, а његов пипак наклонити на трн:

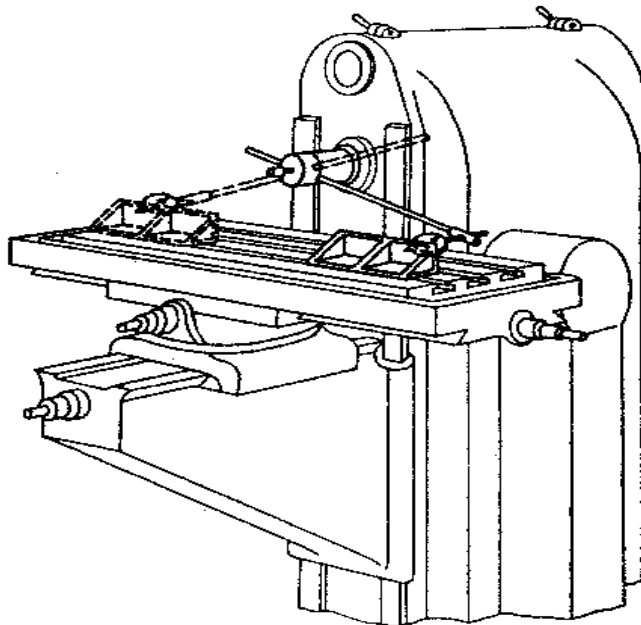
- а) одоздо,
- б) са стране.

У оба случаја прочитати показивање мерног сата, померати радни сто у попречном правцу и читати одступање [3].

Дозвољена одступања:

- а) 0,02 mm на 300 mm,
- б) 0,02 mm на 300 mm.

8. Управност жлебова радног стола на осу радног вретена:



Слика 24. Скица мерења управности жлебова радног стола на осу радног вретена [3]

Мерни прибор:

- мерни сат на обртном краку за углављивање у конус радног вретена, дужина крака равна најмање $1/4$ уздужног померања радног стола,
- угаона летва са испустом за наслањање у жлебу стола дужине најмање 150 mm.

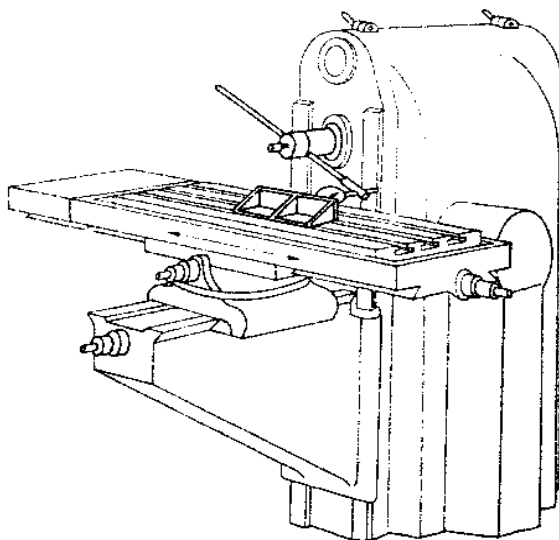
Поступак мерења:

Радни сто поставити у средњи положај у уздужном правцу. Угаону летву поставити у жлеб радног стола тако да буде притиснута уз један бочни зид жлеба. Обртни крак са мерним сатом на крају поставити у конус радног вретена, а пипак мерног сата наслонити на вертикални крак угаоне летве и прочитати показивање мерног сата. Померити угаону летву за дужину мерења, обрнути радно вретено са мерним сатом на супротну страну док његов пипак не додирне угаону летву и читати одступање [3].

Дозвољена одступања:

- а) за дужину мерења 300 mm: 0,02 mm,
- б) за дужину мерења од 300 до 450 mm: 0,03 mm,
- ц) за дужину мерења од 450 до 600 mm: 0,04 mm

9.Паралелност жлебова радног стола са правцем његовог уздужног померања:



Слика 25. Скица мерења паралелности жлебова радног стола са правцем његовог уздужног померања [3]

Мерни прибор:

- мерни сат на угаоном краку са конусом за углављивање у радно вретено,
- угаона летва са испустом за наслањање у жлебу стола дужине најмање 150 mm

Поступак мерења:

Угаону летву поставити у жлеб равног стола тако да буде притиснута ка радном вретену уз бочни зид жлеба. Мерни сат углавити у конус радног вретена, а његов пипак наслонити на вертикални крак угаоне летве. Померати радни сто у уздужном правцу, при томе држати угаону летву притиснуту уз бочни зид жлеба и читати одступање на мерном сату [3].

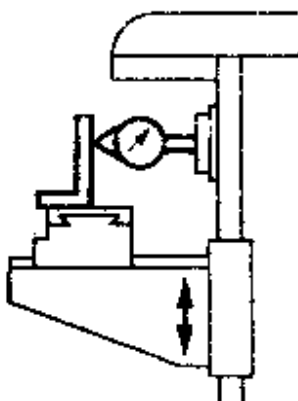
Дозвољена одступања:

- а) за уздужно померање стола до 500 mm: 0,02 mm на целокупном уздужном померању,
- б) за уздужно померање стола од 500 до 1000 mm: 0,03 mm на целокупном уздужном померању,
- ц) за уздужно померање стола преко 1000 mm: 0,04 mm на целокупном уздужном померању.

10. Управност површине радног стола на чеону површину вођице конзоле:

Мерни прибор:

- мерни сат са конусом за углављивање у радно вретено,
- угаоник чија дужина крака одговара висини померања стола.



Слика 26. Скица мерења управности површине радног стола на чеону површину вођице конзоле [3]

Поступак мерења:

Радни сто поставити у уздужном и попречном правцу у средину. Стегнути конзолу у најнижем положају. Угаоник поставити на радни сто у равни осе радног вретена. Мерни сат поставити у конус радног вретена, а његов пипак наклонити на крак угаоника и прочитати показивање. Ослободити конзолу, подићи је у највиши положај, поново стегнути и прочитати одступање на сату. Поновити цело мерење са непритегнутом конзолом [3].

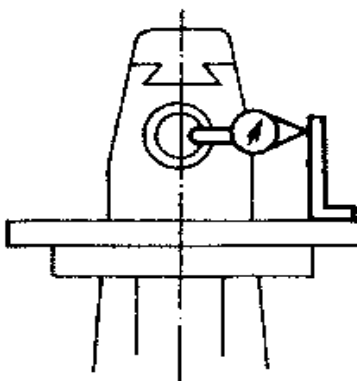
Дозвољена одступања:

- а) за машине са померањем конзоле до 300 mm: 0,02 mm,
- б) за машине са померањем конзоле преко 300 mm: 0,03 mm.

11. Управност површине радног стола на бочну површину вођице конзоле:

Мерни прибор:

- мерни сат на угаоном краку са конусом за углављивање у радно вретено,
- угаоник чија дужина крака одговара висини померања стола.



Слика 27. Скица мерења управности површине радног стола на бочну површину вођице конзоле [3]

Поступак мерења:

Радни сто поставити у уздужном и попречном правцу у средину. Стегнути конзолу у најнижем положају. Угаоник поставити на радни сто у равни управној на осу

радног вретена. Мерни сат углавити у конус радног вретена, а његов пипак наклонити на крак угаоника горе и прочитати показивање. Ослободити конзолу, подићи је у највиши положај, поново стегнути и прочитати одступања на сату. Поновити мерење са непритегнутом конзолом [3].

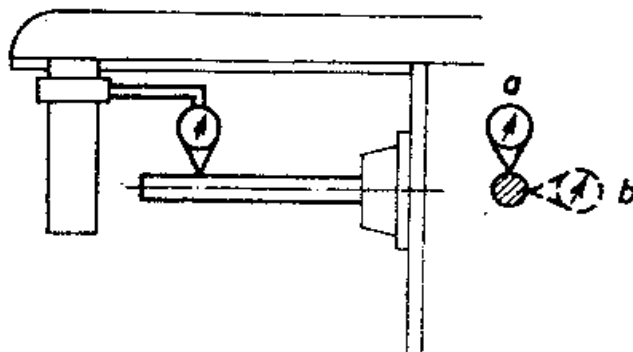
Дозвољена одступања:

- а) за машине са померањем конзоле до 300 mm: 0,02 mm,
- б) за машине са померањем конзоле преко 300 mm: 0,03 mm.

12. Паралелност вођица носача висећег лежишта са осом радног вретена

Мерење вршено:

- а) у вертикалној равни,
- б) у хоризонталној равни.



Слика 28. Скица мерења паралелности вођица носача висећег лежишта са осом радног вретена [3]

Мерни прибор:

- мерни сат,
- мерни трн са коничном дршком и цилиндричним делом за мерење дужине 300 mm.

Поступак мерења:

Носач висећег лежишта поставити у крајњи извучени положај и истегнути га. Мерни трн углавити у конус радног вретена и проверавањем као под редним бројем 2 довести га у средњи положај грешке избочености обртања. Притегнути висеће лежиште уз његов носач и на њега учврстити мерни сат. Пипак мерног сата наклонити на слободни крај трна:

- а) одозго,
- б) са стране.

У оба случаја прочитати показивање сата, ослободити носач висећег лежишта и увући га за дужину трна, затим поново притегнути и прочитати одступања на сату. Поновити мерења кад је носач висећег лежишта притегнут, а помера се висеће лежиште. У крајњим положајима висеће лежиште притегнути [3].

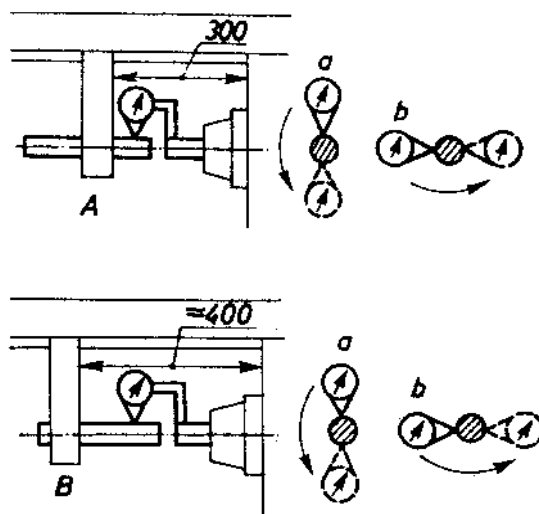
Дозвољена одступања:

- а) 0,02 mm на 300 mm,
- б) 0,02 mm на 300 mm.

13. Подударност оса висећег лежишта са осом радног вретена

Мерење вршено:

- а) у вертикалној равни,
- б) у хоризонталној равни.



Слика 60. Скица мерења подударности оса висећег лежишта са осом радног вретена [3]

Мерни прибор:

- мерни сат на угаоном краку са конусом за углављивање у радно вретено,
- мерни трн са дршком за увлачење у висеће лежиште.
-

Поступак мерења:

Висеће лежиште поставити у положај А и причврстити га. Мерни сат, подешен за довољно висок мерни притисак, углавити у конус радног вретена, а његов пипак наслонити на слободни крај трна.

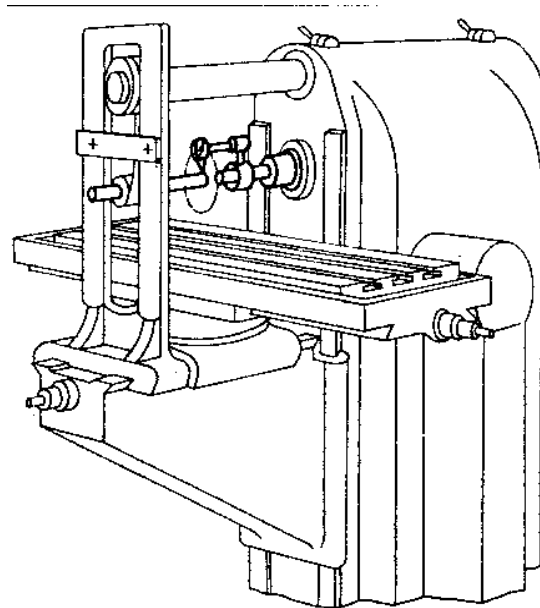
- а) у положају а,
 б) у положају б, и поновити као код претходног мерења.

У оба случаја читати показивање мерног сата. Обрнути радно вретено за 180^0 и читати показивање мерног сата. Мерење показује двоструку грешку. Преместити висеће лежиште у положај В и поновити мерења [3].

Дозвољена одступања:

- а) Положај А: а) 0,03 mm; б) 0,03 mm,
 б) Положај В: а) 0,04 mm; б) 0,04 mm.

14. Подударност осе висећег лежишта са осом радног вретена кад је висеће лежиште укрућено подупирачем:



Слика 61. Скица мерења подударности осе висећег лежишта са осом радног вретена [3]

Мерни прибор:

- мерни сат на угаоном краку са конусом за углављивање у радно вретено,
- мерни трн са дршком за углављивање у висеће лежиште.

Поступак мерења:

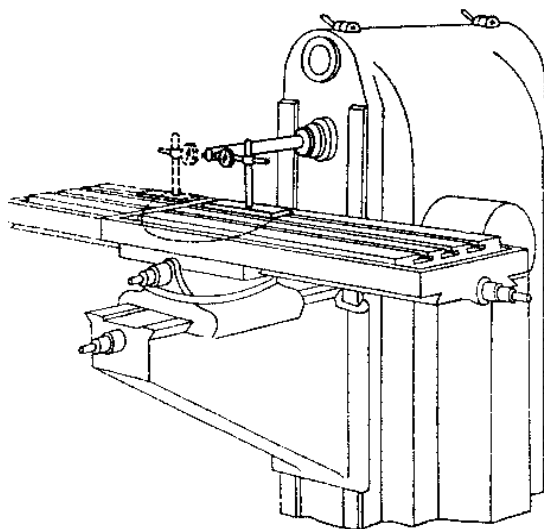
Радни сто поставити у највиши положај и стегнути га. Стегнути укрућење. Цилиндрични трн поставити у отвор висећег лежишта. Мерни сат, подешен за довољно висок притисак углавити у конус радног вретена, а његов пипак наслонити на мерни трн.

Обрнути радно вретено и читати одступање на мерном сату, које представља грешку. Поновити мерење кад је радни сто у најнижем положају. Дозвољено одступање: 0,02 mm.

15. Подударност обртне осе радног стола са осом радног вретена:

Мерни прибор:

- мерни сат,
- мерни трн са коничном дршком за углављивање у конус радног вретена.



Слика 62. Скица мерења подударности осе радног стола са осом радног вретена [4]

Поступак мерења:

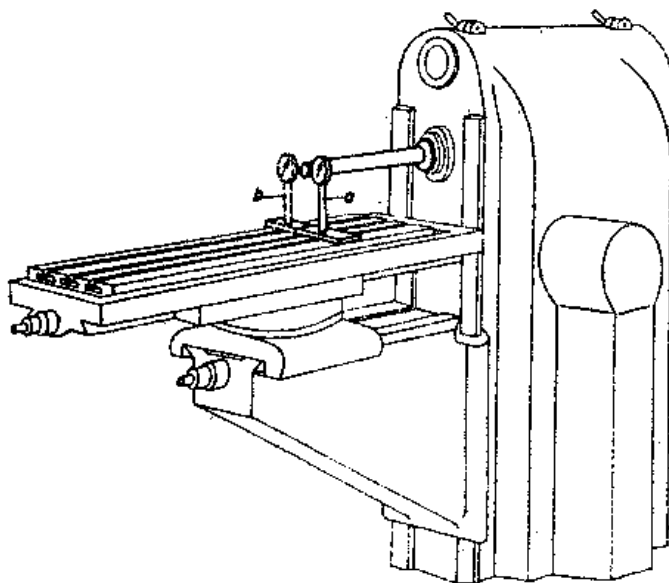
Радни сто поставити у крајњи положај у подножном правцу тако да се може обрнути за 180^0 . Мерни трн углавити у конус радног вретена и довести га у средњи положај избочености обртања проверавањем као под редним бројем 2. Мерни сат поставити на радни сто, а његов пипак на трн са стране. Обрнути радни сто за 180^0 и читати одступање на сату. Мерење показује двоструку грешку.

Дозвољено одступање: 0,05 mm.

16. Подударност осе средњег жлеба са осом радног вретена, мерено у вертикалној равни:

Мерни прибор:

- мерни сат са сталком са клином за жлеб,
- мерни трн са коничном дршком за углављивање у конус радног вретена



Слика 63. Скица мерења подударности осе средњег жлеба са осом радног вретена [3]

Поступак мерења:

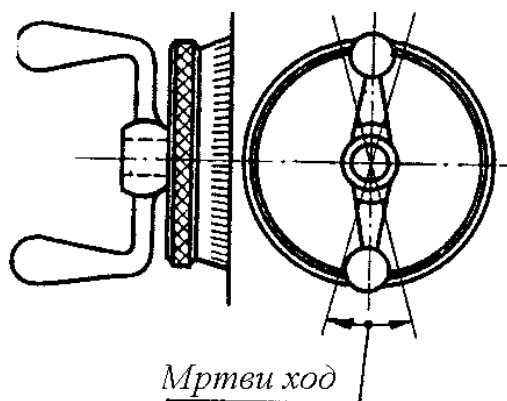
Радни сто поставити под углом од 90° и причврстити га против обртања. Мерни трн углавити у конус радног вретена. Мерни сат са сталком поставити на радни сто, тако да клин сталка упада у средњи жлеб и да буде притиснут уз један бочни зид жлеба.

Пипак мерног сата наслонити на трн:

- а) са стране, положај а и прочитати показивање мерног сата,
- б) са друге стране, положај б, окренувши претходно цео сталак са сатом за 180° и прислонивши га уз други бочни зид жлеба.

Разлика из оба читања показује двоструку грешку.

Дозвољено одступање: 0,05 mm.

17. Мртви ход на ручици за навојно вретено за помак:

Слика 29.Скица мерења мртвог хода на ручици за навојно вретено за помак [3]

Мерни прибор:

- постојећа подеона кружна скала уз ручицу, са индексом за нулти положај.

Поступак мерења:

Лагано закретати ручицу у оба правца за величину мртвог хода. Читати величину угла мртвог хода помоћу индекса и скале доведене на нулу у једном од крајњих положаја ручице.

Дозвољено одступање: 4/100 једног обртаја ручице.

4. Статичка крутост

Крутост машине алатке, као једна њена карактеристика, обухвата два појма: статичку и динамичку крутост, у зависности од тога да ли се носећи систем посматра под дејством статичког оптерећења или под дејством поериодично променљивих сила.

Као статичко оптерећење машине може се сматрати њена сопствена тежина, односно тежина њених делова, тежина радног предмета, као и силе резања при стационарном режиму.

4.1 Статичка крутост елемената машине

Пошто је већина елемената машина алатки оптерећена савијањем и увијањем, за сваки овај случај оптерећења може се посебно поставити дефиниција статичке крутости.

Елементи оптерећени савијањем: Угиб елемента оптерећеног савијањем под дејством неке силе F може се изразити у виду:

$$f = C \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot I}$$

где је:

C - коефицијент завијан од начина подупирања,

F [кр] - оптерећење,

L [cm] - слободна дужина елемената,

E [кр/cm²] - модул еластичности,

I [cm⁴] - момент инерције пресека елемената.

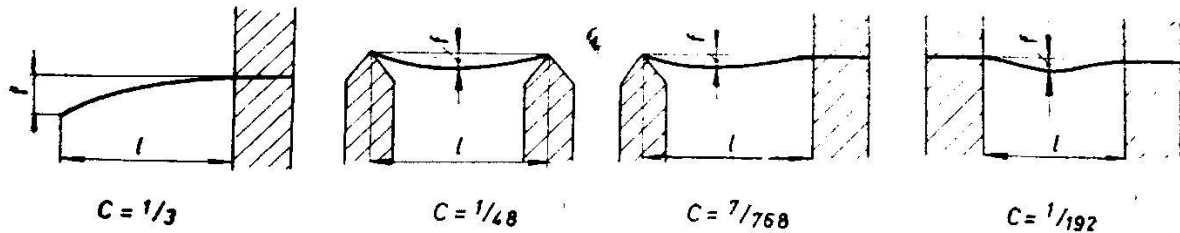
Момент инерције може се изразити општим изразом $I = K_1 \cdot b \cdot h^3$, где је b ширина и h висина у cm пресека елемента, а K_1 коефицијент завијан од облика пресека.

Ако се према Кругу уведе однос $n_s = h/l$, као степен збијености конструкције елемента, предходни израз може се написати у виду $f = K \cdot \frac{F}{b \cdot n_s^3}$ или

$$\frac{F}{f} = \frac{b \cdot n_s^3}{K}$$

Однос силе и одговарајуће деформације представља статичку крутост тога елемента. Види се да се величина статичке крутости мења кубом степена збијености и линеарно са ширином елемената одређеног пресека и начином подупирања. Ово значи да збијеност конструкције у знатној мери повећава статичку крутост а тиме обезбеђује и тачнији рад и боље искоришћење запреминске производности машине.

За елементе машина алатки долазе у обзир углавном четири начина подупирања који су приказани на слици 30, на којој су дати и одговарајуће вредности коефицијента C .



Слика 30. Начини подупирања [1]

Ако се посматра штап правоугаоног пресека подупрт са два ослоња и оптерећен силом F , угиб f се може изразити у зависности од запремине материјала $V = l \cdot b \cdot h$ тога елемента. Запремина материјала при дозвољеном максималном угибу f је:

$$V_f = \frac{F}{f} \left(\frac{l^2}{h} \right)^2 \frac{1}{E \cdot K_1}$$

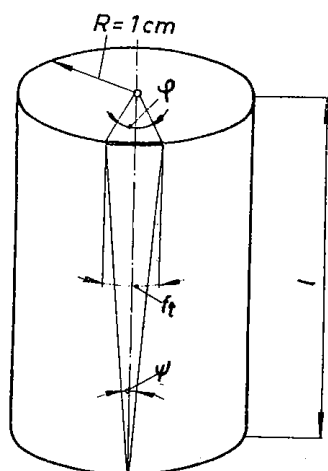
где је E модул а K_1 константа.

Запремина материјала у зависности од максималног дозвољеног напрезања при савијању је:

$$V_\sigma = \frac{F}{\sigma_f} \cdot K_2 \cdot \frac{l^2}{h}$$

где је K_2 константа.

Елементи оптерећени увијањем. Крутост елемената оптерећених увијањем дефинише се односом момената увијања M_t и деформације увијања $f_t = \psi \cdot l$, при чему је деформација увијања једнака углу увијања φ ако се деформација мери на луку полупречника l cm (слика 31).



Слика 31. Увијање елемената [6]

Лук увијања за $R=1$ cm једнак је

$$f_t = \psi \cdot l = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_o}$$

где је:

ψ – угао увијања,

M_t [кр/см] – момент увијања,

G [кр/см²] – модул клизања,

I_o [см⁴] – поларни момент инерције пресека.

Ако се поларни момент инерције изрази у општем виду $I_o = K_1(e^4 - b^4)$, где су e и b спољна, односно унутрашња димензија пресека шупљег елемента изложеног увијању, добиће се увођењем запремине елемента $V = (e^2 - b^2)K_2$

$$\frac{M_t}{t\gamma} = \frac{G \cdot K_3 \cdot V(e^2 - b^2)}{l^2}$$

Као и код елемената оптерећених савијањем, и за увијене елементе може се увести појам збијености конструкције $n_t = \frac{e}{l}$. Ако се уведе и веза између спољашњих и унутрашњих димензија пресека у виду $b = m \cdot e$, добиће се следећи израз за статичку ктутост увијених елемената:

$$\frac{M_t}{f_t} = \frac{M_t}{\varphi} = K_4 \cdot V \cdot n_t^2$$

Из овог израза произилази да је статичка крутост при увијању сразмерна квадрату степена збијености и линеарно зависи од запремине елемента. Према томе, на повећање статичке крутости се може утицати применом конструктивних елемената велике збијености. Крутост према увијању се смањује ако је елемент ослабљен отвором, онда због појачања треба предвидети реброста укрућења.

Статичка крутост машине:

Статичка крутост је број који дефинише однос између силе којом је оптерећена одговарајућа структура и померање које је изазвано том силом.

$$K = \frac{F[daN]}{f[\mu m]}$$

Да би се одредила укупна статичка крутост за целу машину, од које у крајњој линији зависи међусобно одмицање алата од материјала, потребно је пре свега уочити оне карактеристичне елементе од чијих крутости зависи крутост целе машине. Код струга нпр., на одмицање алата од радног предмета имају утицај крутост вретена, носача шиљака и носача алата.

Статичка крутост струга представља однос хоризонталне статичке силе која дејствује између носача алата и радног предмета стегнутог између шиљака, према укупном померају на месту деловања силе не узимајући у обзир деформацију радног предмета.

При дејству хоризонталне статичке силе на средини између шиљака, статичка крутост машине, односно њена реципрочна вредност која се назива попустљивошћу, $1/K_M$ израчунава се, одређивањем парцијалних статичких крутости, преко израза:

$$\frac{1}{K_M} = \frac{1}{K_{NA}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{K_V} + \frac{1}{K_S} \right)$$

где су:

K_{NA} – крутост носача алата

K_V - крутост вретена

K_S – крутост шиљака

—

Да би се добила вредност крутости система K_S , у систем машина-алат-радни предмет, треба увести и крутост алата K_A и крутост радног предмета K_R . тада је попустљивост, односно реципрочна вредност крутости система:

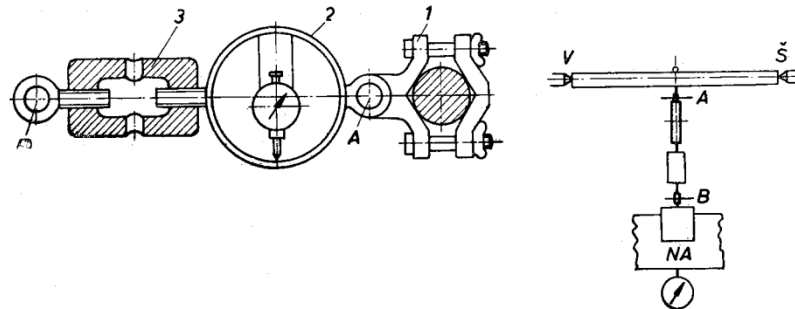
$$\frac{1}{K_S} = \frac{1}{K_M} + \frac{1}{K_A} + \frac{1}{K_R}$$

Крутост алата K_A може се занемарити уколико се ради о стабилним алатима, као што је стругарски нож, пошто је његова аксијална деформација под дејством силе незнатна.

4.2 Експериментално испитивање статичке крутости

Испитивање статичке крутости врши се под дејством неког спољњег оптерећења оствареног посебним уређајем за оптерећивање на механичком или хидрауличном принципу. Мерење силе врши се динамометром а мерење деформација компаратором или неким другим индикатором.

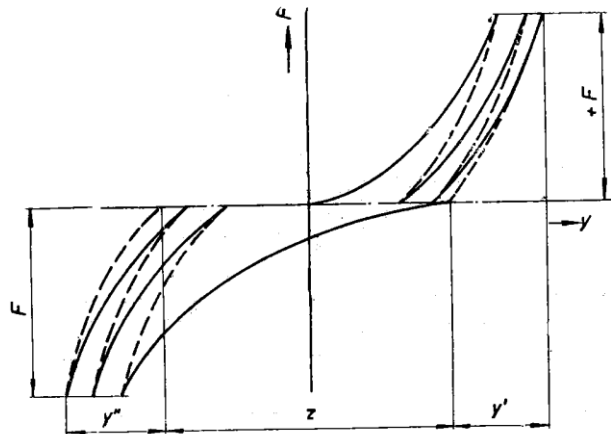
На слици 32, шематски је приказан једноставнији уређај на механичком принципу за испитивање статичке крутости струга.



Слика 32. механички уређај за испитивање статичке крутости [6]

Између шиљака вретена V и шиљака носача шиљка S' стеже се ваљак преко преко кога се оптерећење преноси. На половини дужине ваљка стеже се стезач 1 уређаја, који је преко прикључка A у вези са прстенастим динамометром 2 који је опет са своје стране преко стезача 3, са левом и десном завојницом, у вези са другим прикључком B . Оптерећивање машине се врши окретањем затезача 3, када се величина силе мери динамометром 2. Компаратори се постављају на крају вретена, на шиљак носача шиљка и на носач алата и помоћу њих се мере одговарајуће деформације.

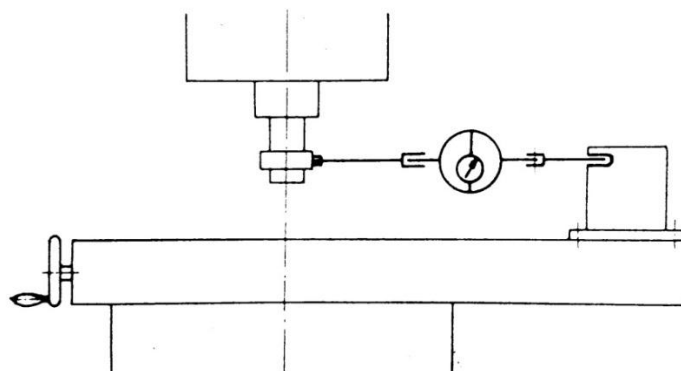
При испитивању крутости прво се врши оптерећивање постепеним повећањем силе, у смеру силе резања до одређене вредности, а онда се врши растерећивање до нуле. На слици 33 је приказан дијаграм оптерећивања и растерећивања добијен на основу мерене зависности деформација од оптерећења.



Слика33. Дијаграм испитивања статичке крутости [6]

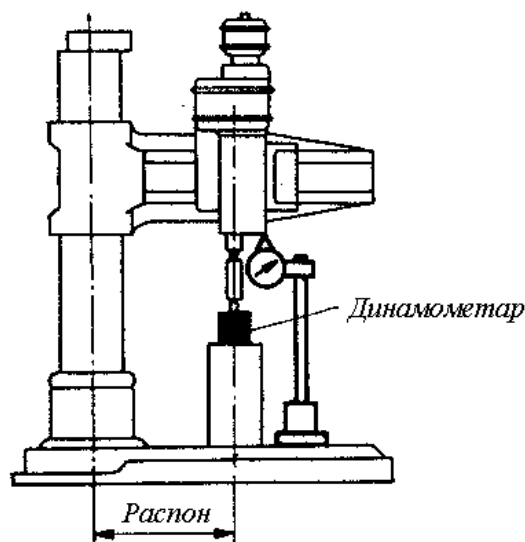
Крива растеређивања (испрекидана) не поклапа се са кривама оптерећења. То се јавља због појаве хистерезиса у материјалу и због попуњавања зазора између елемената оптерећеног склопа. При поновном оптерећевању и растеређивању биће разлика између нове полазне тачке оптерећења и повратне тачке растеређења мања, и стога се наизменично оптеређивање и растеређивање понавља неколико пута, док се полазна и повратна тачка приближно не поклопе. Даље се врши оптеређење у супротном смеру где се добија доњи леви део дијаграма. Овакав дијаграм може се конструисати за сваки елемент машине на који се оптерећење директно преноси. За струг је то крај вретена, носач шилка, као и носач алата. Крутост испитиваног елемента добиће се тада као однос силе оптерећења $+F$ и деформације Y' , која одговара последњем растеређењу. Позитивна грана дијаграма је меродавна пошто се тада смер силе резања поклапа са смером оптерећења при испитивању. Величина z представља збир свих зазора елемената склопа који се испитује и даје информацију о величини остварених толеранција нове машине а за машину у експлоатацији указује на величину похабаности елемената.

На слици 34, шематски је приказан уређај за испитивање статичке крутости вретена вертикалне глодалице. Принцип испитивања је слчан претходном принципу за струг, само се оптеређење и растеређење врши окретањем ручице клизача. Величина оптерећења се читава на динамометру а деформација на компаратору који се наслања на главно вретено.



Слика 34. Уређај за испитивање статичке крутости вертикалне глодалице [1]

На слици 35, приказана је скица испитивања крутости радијалне бушилице под статичким оптерећењем.



Слика 35. Скица мерења крутости машине под статичким оптерећењем [4]

Као мерни прибор користе се динамометар и мерни сат, односно компаратер.

Конзолу треба поставити у средњи положај, а носач радног вретена у крајњи радијалан положај.

Динамометар ставити између радног вретена и основне плоче, а мерни сат на радну површину основне плоче. Пипак мерног сата наслонити на носач радног вретена, и то на обрађено место које се не помера. Радно вретено померати ручно, док динамометар не покаже одређену силу која одговара највећој дозвољеној сили бушења. Ако је потребно, због величине силе бушења, оптерећење вршити помоћу подесног уређаја. Оптерећење вршити више пута док се не успостави уједначено показивање мерног сата. Читати разлику показивања мерног сата при растерећеном и оптерећеном стању.

Вредност највеће дозвољене силе бушења, у зависности од највећег дозвољеног пречника бушења, дате су у табели. Дозвољено одступање је 1,50 mm на 1000 mm распона.

Највећи дозвољени пречник бушења mm	Највећа дозвољена сила бушења daN
35	1 250
50	2 000
75	3 200
TT100	5 000

5. Испитивање статичке крутости CNC глодалице HAAS Toolroom Mill TM-1

Као што је назначено на почетку, тема овог рада јесте испитивање CNC глодалице, а како је у претходном делу рада било речи о тачности универзалних машина алатки, у овом делу биће нешто више речи о самим CNC машинама.

Под појмом CNC технологија подразумева се начин на који CNC машина ради тј. шта је све потребно да би машина у потпуности задовољила своју улогу у производном процесу. За разумевање рада на CNC машини потребно је знати и неке њихове главне карактеристике.

Computer Numerical Control (CNC) је процес производње машинских делова на машинама код којих компјутер управља кретањем радних органа машине. Управља се правцем, смером, величином и брзином померања. Програм за израду радног предмета је уčitан у компјутер машине (управљачку јединицу) и одатле се извршава.

CNC систем – систем рачунарског нумеричког управљања који поседују управљачки систем базиран на software-у, а представљају системе са флексибилном логиком. То практично значи да се програм може изменити у току његове реализације, ако за то постоји потреба. Овакав режим рада алатних машина је условљен развојем микроелектронике и рачунарства, почевши од 70-их година 20. века.

CNC машине алатке – машине које се састоје из погонског, кинематског, управљачког, мерног система и носеће структуре, а које представљају усавршене конструкције конвенцијалних машина алатки, јер обављају елементарне операције машинске обраде резањем, попут конвенционалних машина.

5.1 Опис техничког система на коме је вршено испитивање

У оквиру овог завршног рада разматран је технички систем *HAAS Toolroom Mill TM-1*, једновретена вертикална глодалица (слика 36), са ручном изменом алата, која је инсталирана на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Основна функција разматраног техничког система је механичка обрада делова призматичног облика мањих димензија и тежина.



Слика 36. *HAAS Toolroom Mill TM-1*
Једновретена вертикална глоалица

Суштинска функција овог техничког система је да оствари програмом задате наредбе, а технолошка функција обраде реализује се низом елемената, извршних органа, прибора, алата, итд. Извршне органе техничког система покрећу погонски системи, на основу наредби добијених од управљачке јединице. Логичан распоред захвата даје радни програм који обухвата све геометријске и технолошке информације потребне техничком

систему за обављање радног задатка. Анализом техничке документације, утврђене су основне карактеристике и подаци о разматраном техничком систему и дате су у следећој табели 1.

РАДНИ ПРОСТОР	
Максимум по Х оси	762 mm
Максимум по У оси	305 mm
Максимум по Z оси	406 mm
РАДНИ СТО МАШИНЕ	
Дужина	1213 mm
Ширина	267 mm
Максимална дозвољена тежина	454 kg
Ширина Т жлеба	15,875 mm
Растојање између Т жлебова	102 mm
Број Т жлебова	3
ГЛАВНО ВРЕТЕНО	
Максимална брзина обртања	4000 о / min
Максимални обртни момент	45 на 1200 о/ min
Снага мотора главног вретена	5.6 kW
Подмазивање лежајева	Ваздушно/ уљем
Хлађење	Ваздушно
ПОМОЋНО КРЕТАЊЕ	
Максимална брзина помоћног кретања у свим правцима	5.1 m/ min
НОСАЧ АЛАТА	
Тип алата	Ct/bt/40
Максимални пречник алата	89 mm
Максимална тежина алата	5,4 kg
Тип могућег измењивача	Caorusel
ОСНОВНИ ПОДАЦИ	
Тежина машине	1315 kg
Махимальни домет по ширини	2159 kg
Махимальни домет по дубини	1626 mm
Притисак ваздуха	113 l/min на 6.9 bara
Електрично напајање	9 kba : 208 VAC на 25 A 3-

Табела 1. Карактеристике глодалице HAAS Toolroom Mill TM-1

Како не постоји систем за манипулисање предметом обраде ни систем за измену алата, неопходно је мануелним путем спровести одговарајућу процедуру. Ово не умањује значај осталих перформанси (кретање алата по комплексним контурама, понављање циклуса, коришћење уграђених циклуса, ДНЦ веза, чување великог броја програма, итд), посебно ако се има у виду да је систем намењен пре свега едукацији и малосеријској производњи.

Нуспродукти обраде, генерисани резањем, су прашина, дим и струготина, за чије се одвођење из зоне обраде предвиђа коришћење млаза ваздуха под притиском. Средство за хлађење и подмазивање се гравитационо слива у резервоар и пречишћава посредством филтера и решетки. Командна табла показује тренутна стања и евентуалне грешке обраде.

Посебним погоном врши се праволинијско померање радног стола машине у X и Y правцу (посредством низа вођица и претварача обртног у праволинијско кретање), на кога се постављају предмети обраде, који се везују помоћу стезних елемената. Након завршетка обраде вретено са носачем алата се одмиче у Z правцу, а сто машине заузима позицију која је дефинисана последњим блоковима програма. Треба још истаћи да су избегнути сви ризици од евентуалних повреда радника, низом безбедоносних баријера.

5.2 Одређивање статичке крутости

На глодалици типа *HAAS Toolroom Mill TM-1*, вршено је испитивање статичке крутости главног вретена по Z осе, под дејством оптерећења хидрауличне ручне дизалице (слика 37). Мерење задате силе вршено је помоћу прстенастог динамометра (слика 37), док је мерење деформације по Z осе вршено помоћу компаратера (слика 38).



Слика 37. Дизалица и динамометар



Слика 38. Компаратор на вретену

Радна плоча постављен је у средишњи положај, тако да радно вретено циља у средину плоче. Између радног вретена и радне плоче постављена је хидраулична дизалица са све динамометром, а потом је вретено ручно доведено у контакт са динамометром, преко цилиндричног металног штапа, који је претходно стегнут у носач алата (слика 39). Сталак компаратера постављен је такође на радну плочу док је пипак наслоњен са горње стране дела кућишта радног вретена, на страни ближе раднику, где се очекују највећа померања, као што је приказано на слици .

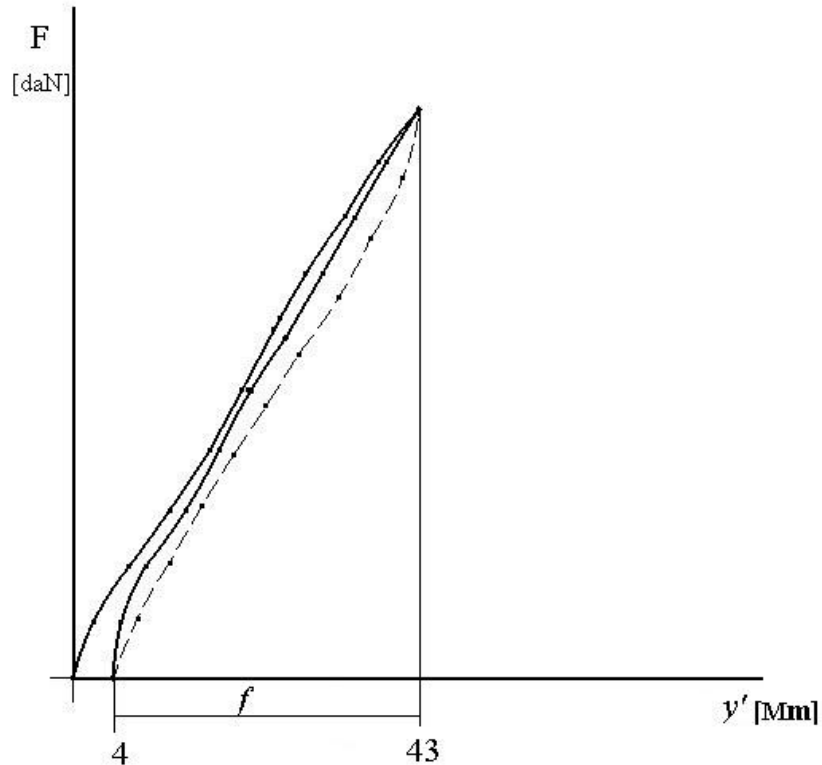


Слика 39. постављени уређаји за испитивање

Помоћу ручне хидрауличне дизалице задавано је оптерећење које је читавано на динамометру до силе од 710 daN, а затим вршено растерећење до нуле. Оптерећење и растерећење вршено је 4 пута, што је и приказано у табели 2, иако је показивање динамометра било уједначено већ после другог растерећења. Дијаграм оптерећења и растерећења приказан је испод, где је F сила у daN а f померање у μm (слика 40).

ОПТЕРЕЋЕЊЕ					
Мерење		I	II	III	IV
Пок. Дин.	F_3 (daN)	f_M	f_M	f_M	f_M
0	0	0	5	4	4
0.02	70	2,5	6	5	5
0.04	140	7	9	9	9
0.06	210	12	14	14	13
0.08	285	17	18	18	18
0.10	360	21	22	22	23
0.12	435	25	27	27	26
0.14	505	29	31	31	31
0.16	575	34	35	35	35
0.18	645	38	39	40	39
0.20	710	43	43	43	44
РАСТЕРЕЋЕЊЕ					
Мерење		I	II	III	IV
Пок. Дин.	F_3 (daN)	f_M	f_M	f_M	f_M
0.20	710	43	43	43	44
0.18	625	41	40	40	40
0.16	550	37	36	35	35
0.14	475	33	32	31	31
0.12	405	28	28	28	27
0.10	340	24	24	23	24
0.08	280	20	20	20	19
0.06	215	16	16	15	15
0.04	145	12	12	11	11
0.02	75	8	8	8	7
0	0	5	4	4	3

Табела 2. Табела оптерећења и растерећења



Слика 40. дијаграм оптерећења и растерећења глодалице

Познато је да је статичка крутост број који дефинише однос између силе којом је оптерећена одговарајућа структура и померања које је изазвано том силом, а као меродавно померање узима се оно које одговара последњем растерећењу.

$$K = \frac{F[daN]}{f[\mu m]}$$

Према томе статичка крутост испитиване глодалице била би:

$$K = \frac{710 [daN]}{39 [\mu m]} = 18,205$$

Из чега следеи да је попустљивост:

$$\frac{1}{K_M} = \frac{1}{18,205} = 0,0549$$

Што се тиче статичке крутости елемената и саме машине не постоје једнообразни прописи који дефинишу дозвољене вредности. Међутим, извесни атори (К. В. Вотинов, А. П. Соколовски, Л. А. Бодин) дали су податке у виду препоручених вредности.

Препоручене вредности статичке крутости за глодалицу дате су у табели 3.

Део машине	Оптерећење F [кр]	300
Главно вретено са клизним лежиштима	K_v [кр/мм]	10000÷12000
	z [мм]	0,03
Конзола у уздужном правцу	K_K	5000÷8000
	z	0,10
Носач главног вретена (главе) код вертикалних гло.	K_{NV}	6000÷10000
	z	0,03

Табела 3. – Препоручене вредности статичке крутости за глодалицу [1]

Из табличних вредности се види да се величине статичких крутости појединих елемената једне машине знатно разликују, што доводи до неравномерности грешке обраде. Исто тако види се на које елементе једне машине треба утицати у погледу постављања што веће крутости, како би се постигла што већа укупна крутост машине.

Такође из табеле се може видети да је за главно вретено препоручена вредност крутости 10000÷12000 кр/мм, при оптерећењу од 300 кр. Килопонд [кр], је мерна јединица за силу, дефинисана као тежина тела масе једног килограма при гравитацијском убрзању од $9,80665 \text{ m/s}^2$. Декањутн [daN] је такође јединица за силу чија се вредност може приближно заменити тежином тела масе једног килограма, тако да се ове две величине могу поистоветити.

Обзиром на претходно написано и изложено у табели, може се донети закључак о испитивању наведене глодалице.

Добијена вредност испитивања статичке крутости у daN/mm при оптерећењу од 710 daN, је 18205. С обзиром да се ради више него двоструко већем оптерећењу од 300 кр, како је дато у табели, може се претпоставити да ова глодалица задовољава оквире препоручених вредности статичке крутости.

6. Закључак

Познато нам је да тачност предмета обраде израђених на машинама алаткама, зависи од тачности израде саме машине. Из тог разлога потребно је сваку машину алатку подвргнути испитивању у циљу проверавања њене тачности у склопљеном стању. Посебно се дефинише провера тачности израде машине у неоптерећеном стању и под оптерећењем (при финој обради), где се поред тачности проверава и крутост машине

Конкретно код глодалица, испитује се статичка крутост главног вретена са клизним лежиштима, конзоле у уздужном правцу и носача главног вретена (главе), код вертикалних глодалица.

Испитивање статичке крутости врши се под дејством неког спољашњег оптерећења оствареног посебним уређајем за оптерећивање на механичком или хидрауличном принципу, где се мерење силе врши динамометром а мерење деформације компаратером.

Ако узмемо у обзир да се као статичко оптерећење машине може се сматрати њена сопствена тежина, односно сопствена тежина њених делова, тежина радног предмета, као и силе резања при стационарном режиму на једноставан начин може се приказати важност статичке крутости на целокупну тачност одређене машине.

Узмимо за пример да је одређена машина алатка лоше конструисана, где су при изради коришћени материјали недовољне крутости. При томе може се десити да машина под самом тежином својих елемената већ не буде у дозвољеним границама одступања од задате геометријске тачности, што тек не би био случај при оптерећењу силама резања.

Самим тим, може се закључити да је статичка крутост једна од примарних карактеристика које машина алатка мора да задовољи, како би испунила све остале критеријуме тачности машине, па и тачности израде обрадака.

Литература

- [1] Станковић, П., Машине алатке 1- концепцијска и експлоатацијска анализа машина за обраду резањем, Београд 1968.
- [2] Станковић, П., Машине алатке и индустријска производња машина, Београд 1961.
- [3] JUS M.G0.140, испитивање машина алатки, испитивање хоризонталних и универзалних глодалица, Југословенски стандард, 1968.
- [4] JUS M.G0.131, испитивање машина алатки, испитивање тачности радијалних бушилица, Југословенски стандард, 1968.
- [5] Милачић, В. Р., Калајџић, М., Узуновић, Р., Албијанић, Р., Испитивање алатних машина, Институт за алатне машине и алате, Београд, 1971.
- [6] Захар, С., Машине алатке 1, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац 1993.
- [7] JUS M.G0.120, испитивање машина алатки, испитивање тачности стругова са шилцима, Југословенски стандард, 1964.