

FRI-1.317-1-MEMBT-07

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL PARAMETERS ON THE NATURAL FREQUENCIES OF A THIN-WALLED BEAM⁷

Assoc. Prof. Dimitar Dimitrov, PhD

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,
“Angel Kanchev” University of Ruse, Ruse, Bulgariya
Phone: 082-888 653
E-mail: ddimitrov@uni-ruse.bg

Chief Assistant Pavel Petrov, PhD

Department of Engineering Mechanics
“Angel Kanchev” University of Ruse
Phone: 082-888 653
E-mail: ppetrov@uni-ruse.bg

Abstract: *The paper presents the results obtained by using 3D modeling and a simulation study with CAD software to determine the natural frequencies of a thin-walled prismatic beam model as a function of the wall thickness and the type of material (modulus of elasticity) of the beam. The research aims to evaluate the significance of the impact of the two factors on the eigenfrequencies of the model. The obtained results and conclusions can be used in the development of technological operations for mechanical processing by cutting (for example, front plane milling) of unstable workpieces of an analogous shape, which are established according to a classical scheme of two supports in a special fixture for expert judgment on the possible need for implementation of measures to limit the risk of vibration.*

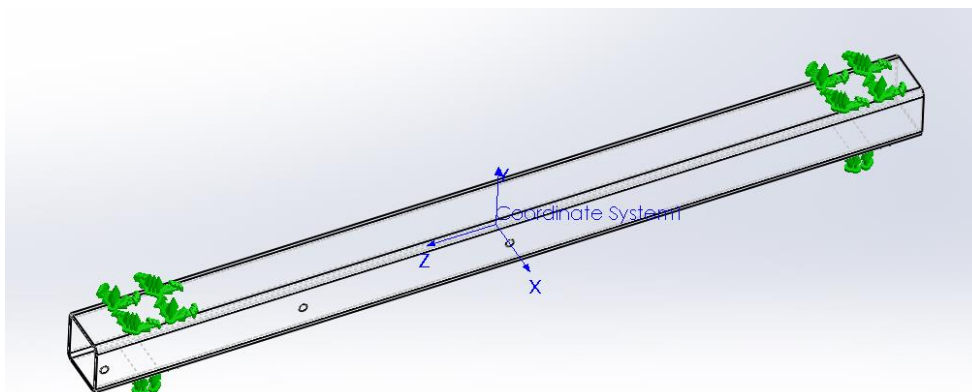
Keywords: *Vibration, processing machine parts*

ВЪВЕДЕНИЕ

Известно е, че механичното обработване на детайли в условия на недостатъчна стабилност на някой от компонентите на технологичната система машина – приспособление – инструмент – детайл е предпоставка за възникване на вибрации, които представляват неблагоприятен фактор, влошаващ ефективността на процеса (Костадинов 2020, Колева 2015, Пенчев 1995). Пример за механично обработване на детайли с ниска стабилност са стрелите на автокрановете, които конструктивно може да се класифицират като тънкостенни (най-често с правоъгълно сечение) греди. Проблемът възниква, когато генерираните от процеса принудени трептения имат в своя спектър честота, съпадаща или близка до някоя от собствените честоти на обработвания детайл. Една от възможностите за търсене на технологично решение е насочена към недопускане възникването на такива условия чрез предварителен анализ, базиран на 3D моделиране и симулационно изследване с CAD софтуер (Луканов, Ангелов, Боздуганова, Витлиемов, 1999-2023) за определяне на спектъра на собствените честоти на модел на обработвания детайл - тънкостенна призматична греда и сравняване със спектъра, генериран при механичното обработване. В случая трябва да се отчете, че реалният процес е под въздействие от съчетанието на редица технологични фактори със систематично и/или случайно проявление, които внасят неопределеност в крайния резултат. Все пак за част от тези фактори със случайно проявление има регламентирани или установими граници. Такива напр. са разсейването на дебелината на стената и вида на материала (модула на еластичност) на гредата. Представеното изследване има за цел да оцени значимостта на влиянието на тези два фактора върху собствените честоти на модела. Получените резултати и изводи могат да бъдат използвани за експертна преценка относно евентуалната необходимост от прилагане на мерки за ограничаване на риска от вибрации при

⁷ Докладът е представен на заседание на секция „Механика и машиностроителни технологии“ на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА КОНСТРУКЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ ВЪРХУ СОБСТВЕНИТЕ ЧЕСТОТИ НА ТЪНКОСТЕННИ ГРЕДИ

разработването на технологични операции за механично обработване чрез рязане (напр. челно фрезование на равнинна повърхнина) на нестабилни заготовки с аналогична форма, които се установяват по класическа схема (фиг.1) върху две опори в специално приспособление.



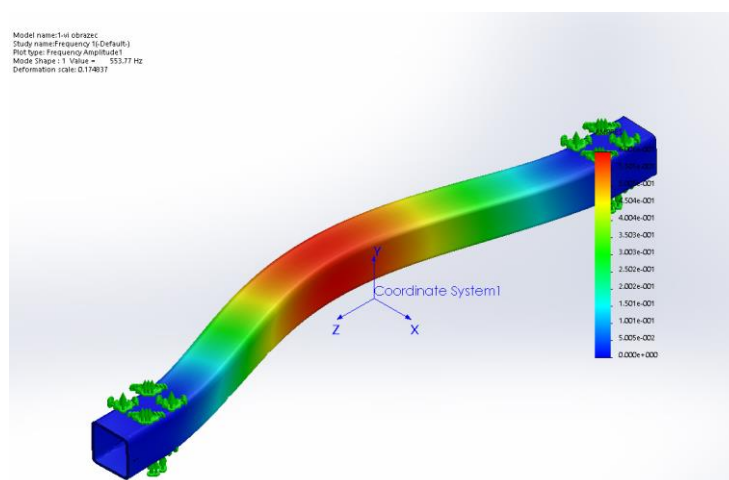
Фиг.1 Модел на класическа схема на установяване на детайла

ИЗЛОЖЕНИЕ

Последователно и еднофакторно е изследвано влиянието, което би оказало разсейването на размерите на заготовката, изменението на модула на еластичност на материала и намаляването на дебелината на една от стените ѝ в резултат на фрезование. При симулационния анализ се вземат предвид първите четири собствени честоти в ниския честотен диапазон, който се очаква да е потенциално близък като спектър до генериращите се трептения при процеса рязане (фиг.2).

Изследване влиянието на колебанието в размерите на гредата

Когато заготовките за изработване на стрелите се получават от стандартен профил, колебанието на размерите им е предварително регламентирано в границите на определен допуск. В случая трябва да се отчете, че съотношението между дължината и сечението на гредата и особено на дължината спрямо дебелината на стената ѝ е такова, че колебанието на дължината може да се пренебрегне.



Фиг.2 Първа собствена честота – 553,77 Hz.

Разглежда се модел, съответстващ на заварена тръба по стандарт EN 10216. Този стандарт допуска отклонения на дебелината на стената на тръбата в границите 3,6mm – 4.4mm. Симулирането се прилага спрямо модели с максимална, минимална и номинална дебелина на стената. а получените резултати са представени в табл. 1.

Таблица 1

Собствени честоти при дебелини на стените, равни на граничните отклонения, съгласно стандарт EN 10216					
Поредна собствена честота	t=3.6mm, [Hz]	t=3.8mm, [Hz]	Процентно съотношение между t=3.8mm и t=3.6mm	t=4.4mm, [Hz]	Процентно съотношение между t=4.4mm и t=3.6mm
1-ва	554.43	553.77	100%	550.3	99%
2-ра	579.54	579.23	100%	576.21	99%
3-та	1358.1	1360.3	100%	1361.3	100%
4-та	1385.7	1389.8	100%	1393.9	101%

Изчислените процентни съотношения показват, че промяната на дебелината на стените на заготовката в рамките на допускателно оказва пренебрежимо влияние върху спектралната характеристика.

Изследване влиянието на модула на еластичност (материала на гредата)

По-съществена промяна в стойността на модула на еластичност може да се получи при сравняване на заготовки от различен материал. Справката в каталог на производител показва, че модулът на еластичност, в зависимост от материала, се колебае в диапазона 190÷220GPa, Затова за симулационното изследване са подбрани три варианта в цитирания диапазон, а резултатите са представени в табл.2.

Получените стойности за трите вида заготовки са сравнени процентно, като резултатът показва малко по-голямо влияние (5÷8%) на този фактор, но все още не толкова съществено.

Таблица 2

Собствени честоти при материали с различен модул на еластичност (E = 190 ÷ 220 GPa)					
Поредна собствена честота	41CrMo4 190 GPa, [Hz]	S185JR 210 GPa, [Hz]	Процентно съотношение между S185JR 210 GPa и 41CrMo4 190 GPa	X6Cr13 220 GPa, [Hz]	Процентно съотношение между X6Cr13 220 GPa и 41CrMo4 190 GPa
1-ва	526.74	553.77	105%	570.47	108%
2-ра	550.96	579.23	105%	596.7	108%
3-та	1293.9	1360.3	105%	1401.4	108%
4-та	1322	1389.8	105%	1431.7	108%

Изследване влиянието в резултат на снемане на слой материал от стена на гредата

В табл. 3 и 4 са представени резултатите, получени при симулиране на намалена стабилност на конструкцията на гредата в резултат на предполагаемо отнемане на част от дебелината на някоя от стените, напр. в резултат на обработване чрез равнинно фрезозане.

Разгледани са варианти с фрезозане на цялата горна повърхност или на едната странична и са сравнени с изходното състояние. Вижда се, че този фактор оказва най-съществено влияние върху спектъра на собствените честоти, но под 10%.

Таблица 3

Собствени честоти при нормална или намалена с 1/2 горна повърхнина			
Собств. честота	Горна пов-на t=3.8mm, [Hz]	½ Горна пов-на t=1.9mm, [Hz]	Съотношение
1-ва	553.77	549.29	99%
2-ра	579.23	552.93	95%
3-та	1360.3	1233.6	91%
4-та	1389.8	1272.2	92%

Таблица 4

Собствени честоти при нормална или намалена с 1/2 странична повърхнина			
Собств. честота	Стр. пов-на t=3.8mm, [Hz]	½ Стр. пов-на t=1.9mm, [Hz]	Съотношение
1-ва	553.77	531.56	96%
2-ра	579.23	580.15	100%
3-та	1360.3	1246.7	92%
4-та	1389.8	1304.8	94%

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Варирането на дебелините на стените на образца, в рамките на допускателно изработването му по стандарт, не оказва съществено влияние на стойностите на първите собствени честоти, т.е. достатъчен е анализ, извършен с номинални размери.

2. Изменението на модула на еластичност (вида на материала) на образца в границите 190-220 GPa предизвиква минимална промяна в първите собствени честоти.

3. Отнемането на слой от материал от обработвания участък не оказва съществено въздействие в получените честотни характеристики, т.е. не са необходими отделни анализи при многократно обработване.

Това позволява при разработване на технологични процеси, съобразени с потенциалното негативно въздействие на вибрации за допустимо да се приеме за изследваните фактори, че имат незначително изменение и разсейване.

БЛАГОДАРНОСТИ

Докладът отразява резултати от работата по проект No 2023 - МТФ - 01, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

REFERENCES

Angelov, Yu. A. (1999) *Modeling and research of the dissipative properties of joints and gears from main translations of metal-cutting machines*. In: 5th International Conference AMTECH'99, Plovdiv, TU Plovdiv, 1999, pp. 116-122. Ангелов, Ю. А. Моделиране и изследване на дисипативните свойства на съединения (Оригинално заглавие: предавки от главни преводи на металорежещи машини. В: 5-та международна конференция AMTECH'99, Пловдив, ТУ Пловдив, 1999, стр. 116-122)

Angelov, Yu. A. (2010) *Parametric study of the vibration resistance of the main translation of a metal-cutting machine*. International virtual journal for science, technics and innovations "Machines, Technologies, Materials", 2010, issue Issue 4-5, pp. 28-31, ISSN 1313-0226. (Оригинално заглавие: Ангелов, Ю. А. Параметрично изследване на виброустойчивостта на главен превод на металорежеща машина. International virtual journal for science, technics and innovations "Machines, Technologies, Materials", 2010, брой Issue 4-5, стр. 28-31, ISSN 1313-0226.)

Angelov Y., Bozduganova, V., V. G. Vitliemov, (2015) *Partial harmonic excitation of rocking with rolling (kiiking)* (Оригинално заглавие: Ангелов Ю., В. Боздуганова, В. Витлиев, Частично хармонично възбуждане на люлеене с превъртане (kiiking) ISBN: 0861-9727

Bozduganova, V., V. G. Vitliemov, Yu. A. Angelov, (2015), *Dynamics of rocking with scrolling (kiiking)* Mechanics of machines ISBN: 0861-9727 (Оригинално заглавие: Динамика на люлеене с превъртане, Боздуганова, В.С., В.Г. Витлиев, Ю.А. Ангелов, Механика на машините ISBN: 0861-9727

Enchev PT, YA Angelov. (2004) Vibration resistance of the main translation of a metal-cutting machine. *Mechanics of machines*, 2004, issue XII, book 2, pp. 92-95, ISSN 0891-9727. **(Оригинално заглавие:** Енчев П.Т., Ю.А.Ангелов. Виброустойчивост на главен превод на металоуреждаща машина. *Мех. на машините*, 2004, брой год. XII, кн. 2, стр. 92-95, ISSN 0891-9727.)

Kostadinov Ch., I. Peeva. (2020) *Features of queuing systems with queues, Discrete Production Automation Magazine*, 2/2020, ed. TU-Sofia, pp. 22-25, ISSN: 2682-9584. **(Оригинално заглавие:** Костадинов Ч., И. Пеева. Особенности на системите за масово обслужване с опашки, сп. Автоматизация на дискретн. произв., 2/2020, изд. ТУ-София, стр. 22-25, ISSN: 2682-9584.)

Koleva S. M. Enchev T. Szecsi. (2015) *The Influence of the Mechanical Deformations on the Machining Accuracy of Complex Profiles on CNC Lathes*. MESIC Manufacturing Engineering Society International Conference 2015., 2015, No 132, pp. 521-528, ISSN 1877-7058.

Loukanov I., V. G. Vitliemov. I. V. Ivanov, Y. Angelov (2018) *Vibration steering of a vibration-driven mobile robot*, 57th Annual Science Conference of Ruse University and Union of Scientists - Ruse, NEW INDUSTRIES, DIGITAL ECONOMY, SOCIETY-PROJECTIONS OF THE FUTURE, volume 57, book 2.1, pp. 9-17 ISBN: 2603-4123

Penchev M.S., I. Peeva .(1995) In Sat. '95, Sofia., p .. Study of the efficiency of a vibrating power supply device with variable spring elasticity.// *Automation and Informatics*, 1995, issue 5, pp. 397 – 400 **(Оригинално заглавие:** Пенчев М.С., И.В.Пеева .- В сб. '95, София, , стр.: . Изследване на ефективността на вибрационно захранващо устройство с променлива еластичност на ресорите.// *Автоматика и информатика*, 1995, брой 5, стр. 397 – 400

Sotirov B.; Danko T.; Svetlin P.; Miroslav K., Determining the Geometrical Elements in the Photogrammetric Method for Measuring Linear Dimensions, *Proceedings of the 32th DAAAM International Symposium* ISBN: 978-3-902734-33-4 ISSN: 1726-9679

Vitliemov V. G., V. S. Bozduganova, Yu. A. Angelov. Dynamics of mechanical systems with unconventional drive. Ruse, Ruse University Publishing Center "Angel Kanchev", 2023, p. 474, ISBN 978-619-7135-20-6 **(Оригинално заглавие:** Витлиемов В. Г., В. С. Боздуганова, Ю. А. Ангелов. Динамика на механични системи с нетрадиционно задвижване. Русе, Русенски университетски издателски център „Ангел Кънчев“, 2023, с. 474, ISBN 978-619-7135-20-6)