

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ КРАЕВОГО РЕЗОНАНСА
КОНЕЧНОЙ НЕОДНОРОДНОЙ ТЕРМОУПРУГОЙ ОБЛАСТИ

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ

„Донецкий национальный технический университет”

Горловка, Кирова 51

В данной работе был проведён численный анализ зависимости собственных частот термоупругой прямоугольной области от коэффициента температурного расширения области а также от модуля сдвига области. Рассматривается зависимость явления краевого резонанса от данных физических характеристик прямоугольника.

Ключевые слова: термоупругая прямоугольная область; краевой резонанс; собственные частоты.

Элементы конструкций современной техники при их изготовлении и эксплуатации часто испытывают высокотемпературное влияние окружающей среды при одновременном действии на них силовой нагрузки. Правильное прогнозирование последствий такого нагружения элементов конструкций с точки зрения обеспечения их прочности и надежности является ключевой проблемой в различных отраслях промышленности, в частности, машиностроении.

Существующие модели не всегда точно и полно описывают реальные процессы распространения тепла и вызванное соответствующим распределением температуры напряженно-деформированное состояние, и во многих случаях не удовлетворяют современным требованиям практики. Поэтому очевидна необходимость разработки методов определения и исследования напряженно-деформированного состояния тел, моделирующих элементы конструкций, при их нагреве.

Основанием для проведенных в данной работе исследований являются модели и методы классической термоупругости, предусматривающие независимость тепловых и механических характеристик материала от температуры. Сформулированная в работе задача термоупругости является

связанной, и построение ее решения сводится к определению напряженно-деформированного состояния тела с учётом температурного поля тела и приложенными к нему силовыми нагрузками.

Как показывают результаты экспериментальных исследований [1,2], наиболее уязвимыми в плане прочности участками составных областей являются границы соединений составных частей области, обладающих различными термомеханическими свойствами. Аналитические расчёты и численное моделирование показывают, что напряжения (энергия), возникающие в этих участках напрямую зависят также и от геометрических характеристик составных частей области, а также термической нагрузки [3,4].

Величиной, определяющей меру прочности, некоторые авторы, занимающиеся вопросами термоупругости предлагают считать энергию термоупругой деформации в материале. Считается, что минимальная энергия, обусловленная напряжениями, соответствует максимальной прочности составной области [1,2].

Исследуем зависимость значений собственных частот термоупругой области G от коэффициента температурного расширения «центральной» области $G^{(1)}$. Исходная область представлена сочетанием материалов $(Pb, G^{(2)})-(St, G^{(1)})-(Pb, G^{(2)})$, $L = 3$. Изменим коэффициент линейного теплового расширения «центральной» области $G^{(1)}$ от $4,50e-06/^\circ C$ (вольфрам) до $5,30e-05/^\circ C$ (свинец), оставляя неизменными остальные свойства материала.

При значительном увеличении коэффициент температурного расширения значения частот очень незначительно уменьшаются. Следовательно, коэффициент линейного теплового расширения не оказывает значительного влияния на собственные частоты исследуемой области (таб.1).

Таблица 1 Зависимость собственных частот термоупругой области от коэффициента температурного расширения области $G^{(1)}$

Коэффициент линейного теплового расширения, $\alpha/^\circ C$

№ ω	вольфра м 4,5e-06	молибде н 5e-06	титан 8,15e-06	ванадий 8,3e-06	кобальт 1,2e-05	сталь 1,8e-05	медь 2,4e-05	свинец 5,3e-05
3	0,02595	0,02591	0,02560	0,02559	0,02522	0,02461	0,02397	0,02038
4	0,03954	0,03946	0,03897	0,03895	0,03836	0,03737	0,03634	0,03065
5	0,07801	0,07801	0,07806	0,07806	0,07811	0,07819	0,07826	0,07793
6	0,07984	0,07982	0,07971	0,07970	0,07957	0,07935	0,07912	0,07858
7	0,08422	0,08421	0,08414	0,08414	0,08406	0,08393	0,08380	0,08308
8	0,08535	0,08534	0,08528	0,08528	0,08522	0,08511	0,08501	0,08447
9	0,09989	0,09987	0,09973	0,09973	0,09957	0,09931	0,09905	0,09778
10	0,11382	0,11380	0,11366	0,11365	0,11350	0,11324	0,11298	0,11165

Графически, данный вывод подтверждает зависимость безразмерных частот от величины, равной α/α_{St} (α_{St} -коэффициент температурного расширения стали), которая изображена на рис.1.

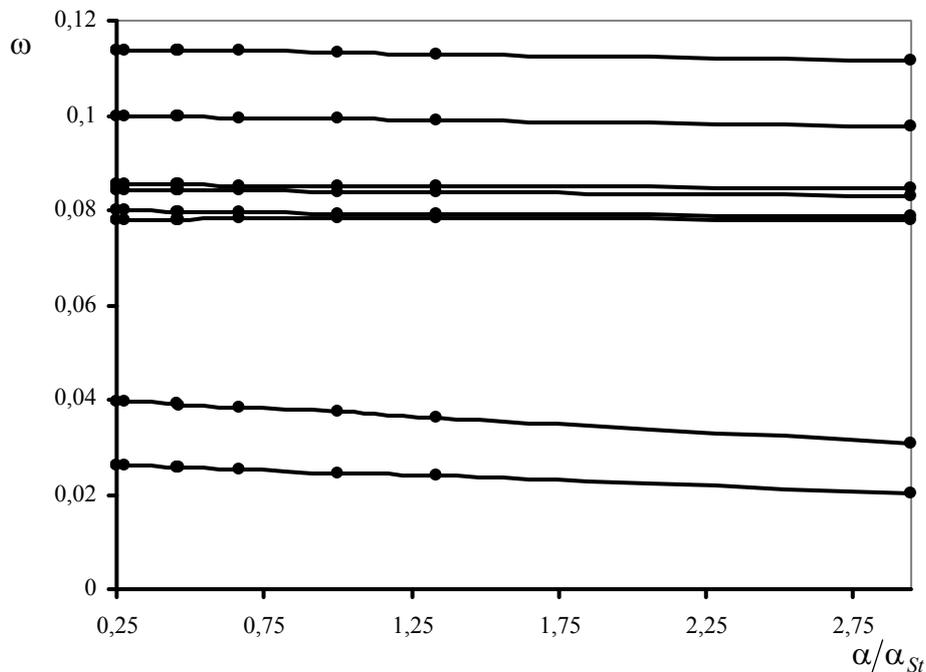


Рис. 1 Зависимость собственных частот термоупругой области от безразмерной величины α/α_{St}

Проведём аналогичное исследование зависимости значений собственных частот термоупругой области G от жёсткостей стыкуемых областей, т.е. от изменения модуля сдвига «центральной» области $G^{(1)}$. Исходная область представлена также сочетанием материалов (Pb, $G^{(2)}$)-(St, $G^{(1)}$)-(Pb, $G^{(2)}$), $L = 3$.

При изменении модуля сдвига «центральной» области $G^{(1)}$ от $2,7e+10$ н/м² (легир. алюмин.) до $1,6e+11$ н/м² (вольфрам), оставим

неизменными остальные свойства материала (стали). Результаты вычислений занесены в табл.2. Отметим, что значения собственных частот уменьшаются, причём на частотах краевого резонанса более резко (рис. 2).

Таблица 2 Зависимость собственных частот термоупругой области от модуля сдвига, μ области $G^{(1)}$

Модуль сдвига, μ н/м ²								
№ ω	лег.ал люм. 2,7e+10	латунь 3,7e+10	медь 4e+10	ванадий 5,1e+10	сталь 7,5e+10	кобальт 8,8e+10	молибден 1,2e+11	вольфрам 1,6e+11
3	0,0246	0,0254	0,0254	0,0254	0,0246	0,0238	0,0245	0,0237
4	0,0379	0,0389	0,0390	0,0388	0,0374	0,0361	0,0368	0,0350
5	0,0818	0,0835	0,0841	0,0832	0,0782	0,0750	0,0690	0,0606
6	0,0864	0,0872	0,0868	0,0851	0,0794	0,0755	0,0695	0,0609
7	0,1207	0,1098	0,1071	0,0982	0,0839	0,0783	0,0715	0,0649
8	0,1211	0,1103	0,1077	0,0988	0,0851	0,0801	0,0792	0,0737
9	0,1253	0,1223	0,1205	0,1134	0,0993	0,0930	0,0839	0,0748
10	0,1542	0,1438	0,1402	0,1294	0,1132	0,1065	0,0990	0,0896

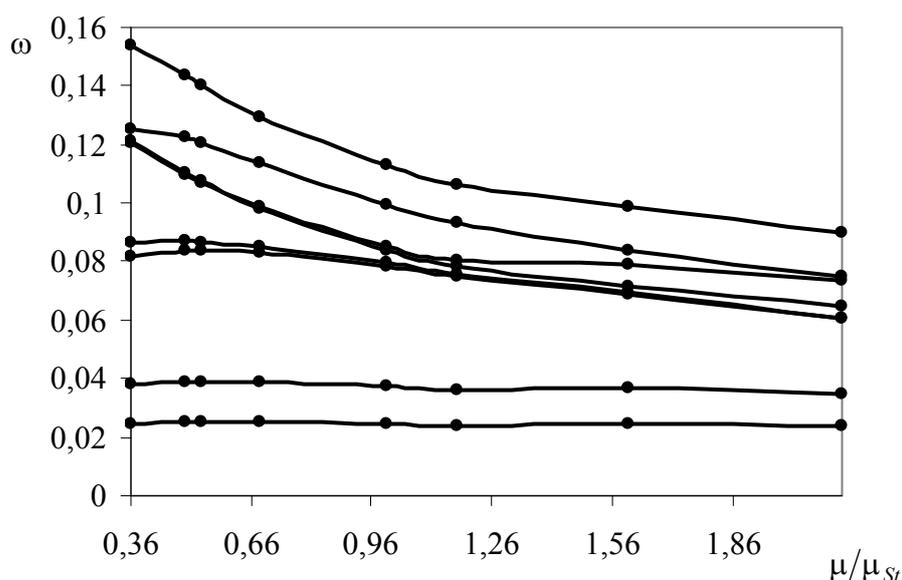


Рис. 2 Зависимость собственных частот термоупругой области от модуля сдвига, μ области $G^{(1)}$

Таким образом, анализ влияния сочетаний материалов и размеров наплавов (область $G^{(2)}$) на интенсивность тонких динамических эффектов в условиях динамических и температурных нагрузок на элементы конструкций, позволяет оптимизировать их геометрические параметры сечения с целью улучшения прочностных характеристик неоднородных деталей.

Важным направлением дальнейшей работы будет анализ распределения внутренней энергии областей с учетом локальной концентрации напряжений в окрестности нерегулярных точек границы.

Литература:

1. Белоконь А.В. Об одном методе решения задач теории упругости для тел конечных размеров // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 233. – №1. – С. 56-59.
2. Вовк Л.П., Кисіль К.С. Розв'язання крайових задач термопружних областей з негладкою границею. // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2009. – Том 14. – №4. – С.176-180.
3. Вовк Л.П., Кисель Е.С. Асимптотический метод исследования краевых задач теории термоупругости в областях с негладкой границей. – Материалы X-й Международной научно-практической конференции «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике». – 26 февраля 2010г. – Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ). – 2010. – С.4-6.
4. Соболев Б.В., Вовк Л.П., Кисель Е.С. Обобщение метода суперпозиции решения краевых задач теории термоупругости для тел с нерегулярной границей // «Инновация, экология и ресурсосберегающие технологии на предприятиях машиностроения, авиастроения, транспорта и сельского хозяйства» Труды IX Международной научно-технической конференции. – Ростов н/Д: ИЦ ДГТУ, 2010 – С. 465-469.
5. Гринченко В.Т., Мелешко В.В. Гармонические колебания и волны в упругих телах. – Киев: Наук. Думка, 1981. – 284с.
6. Вовк Л.П. Исследование динамических эффектов, возникающих при виброн нагружении стыковых паяных соединений // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2004. – №1. – С. 60-64.