

# ИЗСЛЕДВАНЕ ДИНАМИЧНИЯ МОДУЛ НА ЛИНЕЙНИ ДЕФОРМАЦИИ НА АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ

СЪБИ СЪБЕВ, ПЛАМЕН КАСАБОВ

Технически университет София, филиал Пловдив  
sabi\_sabev@tu-plovdiv.bg, kasabov\_p@abv.bg

**Резюме:** В настоящата статия са представени количествените стойности на динамичния модул на линейни деформации (модул на Юнг) на алуминиеви сплави. Експерименталните изследвания на динамичния модул са получени по стандартен тестови метод базиран на експерименталния модален анализ.

**Ключови думи:** алуминиеви сплави, динамичен модул на линейни деформации, експериментален модален анализ.

## STUDY OF THE DYNAMIC MODULUS OF LINEAR DEFORMATION OF ALUMINUM ALLOYS

SABI SABEV, PLAMEN KASABOV

Technical University of Sofia, branch Plovdiv  
sabi\_sabev@tu-plovdiv.bg, kasabov\_p@abv.bg

**Abstract:** This paper presents the quantitative value of the dynamic module of linear deformation (Jung's module) of aluminum alloys. The experimental studies of the dynamic module were obtained by a standard test method based on the experimental modal analysis.

**Keywords:** aluminum alloys, dynamic modulus of linear deformations, experimental modal analysis.

### 1. Увод

Познаването на материалните константи на конструкционните машиностроителни материали е задължително условие при определяне якостно деформационно поведение на детайлите и структурите, произвеждани от тези материал.

В този аспект изследването и определянето на количествените стойности на еластичните характеристики (като модула на линейните деформации  $E$ , модула на ъгловите деформации  $G$ , и коефициента на Поасон  $\mu$ , които са алгебрично свързани по между си) на алуминиеви сплави предназначени за автомобилостроенето е актуална инженерна задача. Тези характеристики, както плътността, специфичния температурен коефициент, температурни разширения и др. на материала се явяват като входни данни за всеки софтуерен продукт за статичен или динамичен инженерен анализ (CAE), което в значителна степен подпомага проектантската дейност и позволява бързо получаване на надеждни резултати при симулиране на работните условия.

Приложението на този алтернативен метален конструкционен материал за производството на бутала за двигатели с вътрешно горене е иновационна дейност [6], която създава предпоставки за подобряване на технико-експлоатационни качества на произвежданите бутала като:

- ✓ динамична стабилност;
- ✓ динамична устойчивост;
- ✓ термично поведение;
- ✓ устойчивост на износване.

Предметът на изследване в настоящия труд е количественото определяне на модула на линейни деформации. За целта е приложена теорията на Тимошенко [1] за поведението на свободните вибрации на призматични греди и стандарта ASTM E1876-02.

Статията има експериментално-изследователски характер и основната и цел е: Количествено определяне на динамичния модул на линейни деформации  $E_d$  на гама алуминиеви сплави, създадени и реализирани в ТУ-София, филиал Пловдив.

## 2. Теоретични предпоставки

Определянето на динамичните модули за правоъгълни пръти чрез импулсно възбуждане ще се извърши по стандарта ASTM E1876-01 [5].

Динамичният модул на линейни деформации (модул на Юнг) се определя от следното уравнение [5]:

$$E_d = 0.9465(mf_f^2 / b)(L^3 / t^3)T_1 \quad (1)$$

където:

$E_d$  - е динамичен модул на Юнг;

$m$  - маса на гредата;

$b$  - широчина на гредата;

$L$  - дължина на гредата;

$t$  - дебелина на гредата;

$f_f$  - първата собствена честота при огъване, фиг. 1;

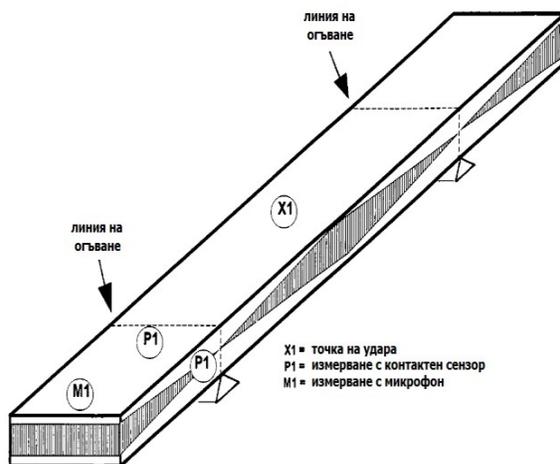
$T_1$  - геометричен корекционен коефициент.

Ако  $L/t > 20$  - геометричните ефекти се считат за незначителни и  $T_1$  може да се изчисли директно от уравнение (1):

$$T_1 = [1.000 + 6.585(t/L)^2] \quad (2)$$

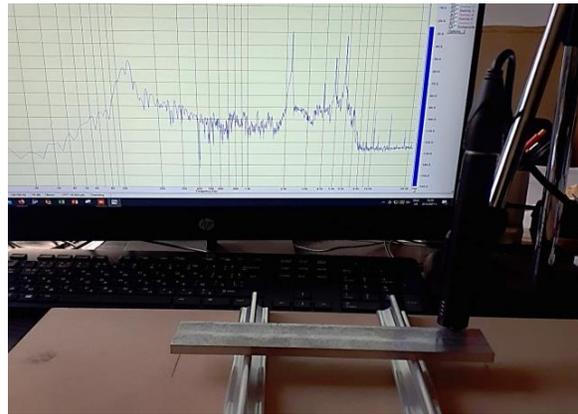
Ако  $L/t < 20$ , тогава стойността на  $T_1$  ще се пресметне по:

$$T_1 = \frac{1.000 + 6.585(1 + 0.0752\mu + 0.8109\mu^2)(t/L)^2 - 0.868(t/L)^4 - \frac{8.340(1 + 0.2023\mu + 2.173\mu^2)(t/L)^4}{1.000 + 6338(1 + 0.1408\mu + 1.536\mu^2)(t/L)^2}}{(3)}$$



Фиг. 1. Установка за изследване вибрациите при огъване на греда

Експериментални резултати за динамичните модули на линейните  $E_d$  са получени чрез импулсно възбуждане, фиг. 2 и обработени със специализирания софтуер "Spectra PLUS".



Фиг. 2. Опитна установка за определяне на  $f_f$

## 3. Методика на експеримента

Чрез импулсно (ударно) възбуждане на системата с последващ анализ на свободните затихващи трептения. Импулсният метод се реализира с неприкрепен възбудител - ударен чук. Така създадената енергия се разпределя върху широк честотен спектър и възбужда всички моди в разглеждания честотен обхват на образца [1-5].

За количественото определяне на динамичния модул на еластичност е използван следният експериментален подход: - Изпитваното пробно тяло с размери 8x40x210 от алуминиева сплав се поставя на призми, фиг. 4. В единия край на гредата се прилага импулсното динамично въздействие, а от срещуположната страна в другия край се измерва отклика с помощта на микрофон.

Метода е лесен за прилагане, и изисква само някои основни компоненти: компютър с подходяща звукова карта, микрофон и софтуер.

Комплекцията на измервателната апаратура включва:

- ✓ микрофон на фирмата "Audio-technica" - AT2031;

- ✓ звукова карта M-Audio Audiophile 192

- ✓ специализиран софтуер "Spectra PLUS".

Експериментални резултати за динамичния модул на линейните деформации  $E_d$  на образци са получени чрез импулсно възбуждане, фиг. 4 и обработени със специализирания софтуер "Spectra PLUS".

Spectra PLUS е мощен двуканален спектрален анализатор. Интерфейсите на програмата предоставят в реално време спектрален анализ. Спектралният анализатор е инструмент, използван за преобразуване на сигнал от времевата област (амплитуда-време), в честотната област (амплитуда-честота). Аудио спектралният анализатор, по дефиниция, е ограничен в обработка на сигнали в звуковата лента. Граница на анализираната честотата се

определя от възможностите на използваната звукова карта.

Софтуерът използва бързо преобразуване на Фурие (FFT), който преобразува сигнала от времевата област в честотната област.

Състава на гамата пробни тела е представен в табличен вид, табл. 1. Представение са в таблицата всички модификатори и техното количество в съответната сплав.

**Таблица 1** Състав на образците

№	Сплав	Модификатори					
		P	Ti	Be	B	Sr	Sb
1	AlSi18Cu3CrMn	0,04					
2	AlSi18Cu3CrMn	0,04				0,05	
3	AlSi18Cu5Mg			0,01			
4	AlSi18Cu5Mg	0,04	0,20		0,04		
5	AlSi18Cu5Mg		0,20		0,04		
6	AlSi25						1,50
7	AlSi25	0,04				0,05	
8	AlSi25	0,04	0,20		0,04		
9	AlSi25	0,04					
10	AlSi25	0,06					
11	AlSi25					0,05	
12	AlSi25		0,20		0,04		

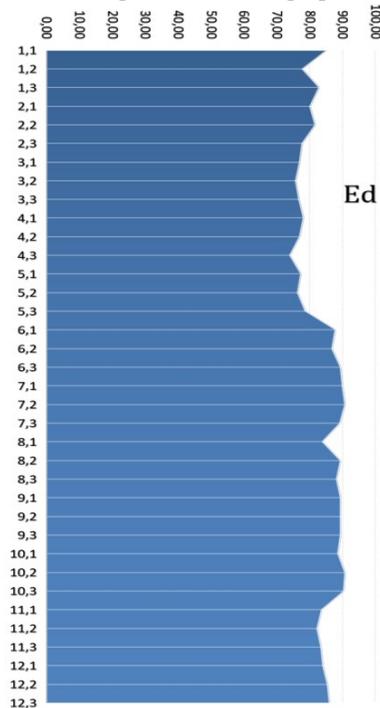
Направени са по три изследвания на всеки състав, за да се минимизират случайните грешки.

**Таблица 2** Експериментални резултати

Състав №	$f_f$ [Hz]	$E_d$ [GPa]	Състав №	$f_f$ [Hz]	$E_d$ [GPa]
1,1	1729,12	88,15	7,1	1353,58	77,31
1,2	1718,35	87,05	7,2	1343,16	76,12
1,3	1744,00	89,67	7,3	1351,06	77,02
2,1	1383,51	85,29	8,1	1503,09	88,91
2,2	1335,06	77,98	8,2	1521,09	91,05
2,3	1353,90	83,20	8,3	1518,09	90,69
3,1	1343,13	80,40	9,1	1496,56	78,41
3,2	1355,42	81,90	9,2	1486,18	77,33
3,3	1323,63	78,10	9,3	1456,42	74,26
4,1	1527,38	90,23	10,1	1372,74	83,94
4,2	1534,24	91,04	10,2	1361,44	82,57
4,3	1520,80	89,44	10,3	1370,67	83,69
5,1	1537,56	84,13	11,1	1331,58	77,59
5,2	1587,85	89,72	11,2	1324,29	76,74
5,3	1577,31	88,54	11,3	1344,35	79,08
6,1	1588,07	89,76	12,1	1438,57	84,33
6,2	1588,07	89,76	12,2	1450,80	85,78

#### 4. Експериментални резултати

Получените експериментални резултати за динамичния модулите на линейните деформации  $E_d$  са представени в Табл.2. На фиг.3 същите са представени в графичен вид.

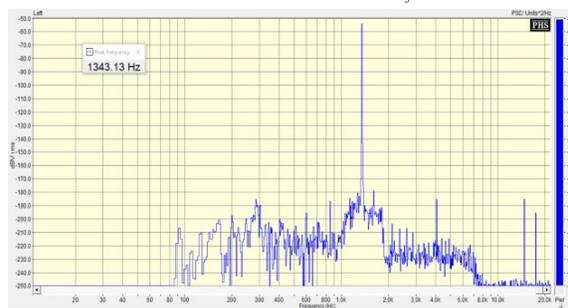


Фиг. 3. Експериментални резултати за  $E_d$

Интересуващите ни данни за стойността на първата собствена честота на експерименталните състави получаваме от автоспектралната характеристика, фиг. 4 и 5.



Фиг. 4. Честотен спектър за  $f_f$  образец 1



Фиг. 5. Честотен спектър за  $f_f$  образец 2

## 5. Обработка на експерименталните резултати

Математико-статистическата обработка е извършена с програмния продукт MINITAB19. За математическото описание на целевата функция  $\hat{y}$  - (модула на линейни деформации  $E_d$ ) е използван приведен модел от втора непълна степен от вида:

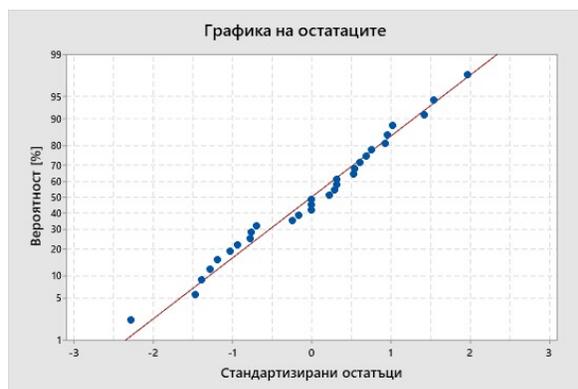
$$\hat{y} = \sum_{i=1}^q b_i x_i + \sum_{i=1}^{q-1} \sum_{j=i+1}^q b_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

Данните от табл. 2 са обработени и е получен следният регресионен модел:

$$\begin{aligned} E = & 59612226586 - 49789232323 P + 932231974 Si \\ & - 7776039401 Ti + 9610170896 Sr \\ & + 3580314311 Sb + 42435766014 Be - \\ & 2472443032940 P * P + 12790366615 P * Si \\ & - 399708321793 P * Ti + 824576748 Si * Ti \end{aligned} \quad (5)$$

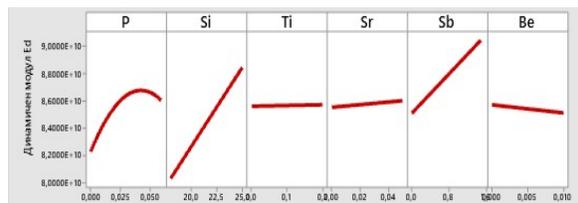
Анализът на остатъците се извършва с помощта на графиките за стандартизираните остатъци фиг. 6.

Анализът на остатъците не показва нарушаване на предпоставките на регресионния анализ. От фиг. 6 се вижда, че само един от остатъци е извън интервала  $\pm 2$ . Следователно, може да се направи изводът за отсъствие на груби грешки.

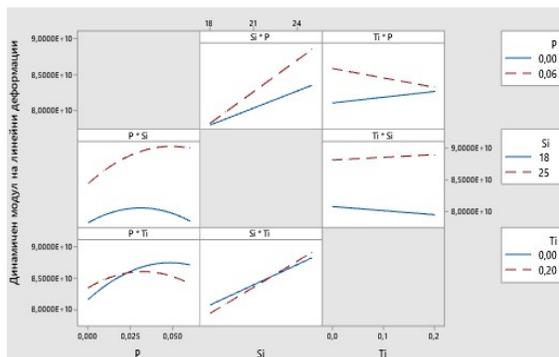


Фиг. 6. Графика на стандартизираните остатъци

Анализирано е с помощта на MINITAB19 влиянието на силиция и отделните модификатори върху динамичния модул на линейни деформации фиг. 7.



Фиг. 7. Влияние на компонентите



Фиг. 8. Двухкомпонентна зависимост

## 6. Заключение

Резултатите от настоящата работа се свеждат до:

- Експериментално са получени количествените стойности за динамичните модули на еластичност на 12 броя различни алуминиели състави.
- От алализа на влиянието на компонентите се установи, че най-голямо влияние оказва количеството на силиция върху модула.
- Приоритетно е използван методът на експерименталния модален анализ при количественото определяне на динамичния модул на еластичност.
- Динамичния модул на еластичност е определен на база динамичната реакция (отклика) на свободните затихващи трептения на импулсно възбудената динамична система на експерименталните образци.

## ЛИТЕРАТУРА

1. S. Timoshenko, D. H. Young, and W. Weaver, Jr., Vibration Problems in Engineering (4th ed.), Wiley, New York, 1974
2. Singiresu S. Rao, Mechanical Vibrations 5th Edition, University of Miami, 2011.
3. L. Klein, Transverse vibrations of non-uniform beams, Journal of Sound and Vibration, Vol. 37, 1974
4. Ulbrich H. Vibration, Control of Nonlinear Mechanism and Structure. Technical University, Munich, 2005.
5. ASTM E1876 - 02. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration.
6. Боян Дочев, Светла Иванова „Изследване влиянието на модификатор фосфор върху структурата на сплав AlSi18 и сплав AlSi18Cu5Mg“, Национален Младежки Форум „НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ, ИНОВАЦИИ, БИЗНЕС“ - есен, 2020, гр. Пловдив, стр.146-стр.149, ISSN 2367 - 8569