

ОТПОРНОСТ МАТЕРИЈАЛА МАШИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА

ДР ДРАГАН Б. ЈОВАНОВИЋ
ДР ЈУЛИЈАНА СИМОНОВИЋ

...Материја је методички изложена и у потпуности покрива садржај студијских програма предмета којима је намењена. У домаћој литератури има дела, која обрађују дату материју, али су се аутори потрудили да својим објашњењима дају печат у циљу што лакшег приближавања ове тешке материје читаоцима којима је намењена, али и шире стручњацима из инжењерске праксе....Ова обимна материја је изложена на математички јасан и прецизан начин са детаљним објашњењима, како у теоријском делу тако и у примерима и у потпуности покрива предвиђени програм предмета Отпорност материјала и Отпорност конструкција на Машинском факултету у Нишу, а такође и програме предмета сличних назива на техничким факултетима...

*др Драган Милосављевић, редовни професор у пензији
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу*

...Опсежна материја која се обрађује у рукопису је јасно и прегледно представљена. Материјал је конципиран концизно, са пратећим сликама и изразима, који студентима дају јасну представу о изложеном садржају и омогућују лако разумевање и усвајање градива...Овај уџбеник третира широк спектар тематике из области деформабилног тела....Поред студената Машинске струке, материјал ће бити користан као уџбених и студентима других инжењерских струка које обрађују ову проблематику...Рукопис предстаља изузетно значајан материјал јер на сажет, јасан и једноставан начин уводи читаоца у сваку подобласт. Његов значај се огледа у томе што ће студентима, а и широј инжењерској популацији, помоћи као одличан основ за разумевање темељних знања, која су потребна за даље усавршавање на вишем и сложенијем математичком нивоу...

*др Марина Трајковић Миленковић, доцент
Грађевинско-архитектонски факултет Универзитета у Нишу*



9 788660 551681

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

ДР ДРАГАН Б. ЈОВАНОВИЋ
ДР ЈУЛИЈАНА СИМОНОВИЋ

ОТПОРНОСТ МАТЕРИЈАЛА МАШИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА

НИШ, 2023

ДР ДРАГАН Б. ЈОВАНОВИЋ
ДР ЈУЛИЈАНА СИМОНОВИЋ
ОТПОРНОСТ МАТЕРИЈАЛА МАШИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ

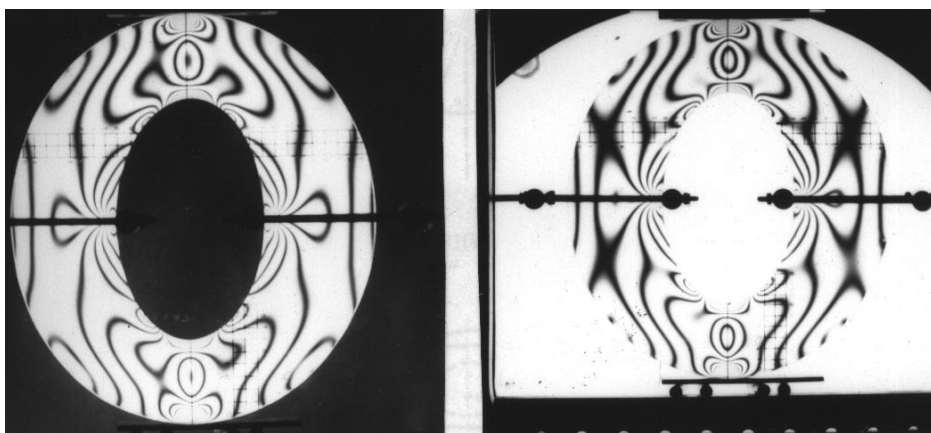
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ



Др Драган Б. Јовановић

Др Јулијана Симоновић

ОТПОРНОСТ МАТЕРИЈАЛА МАШИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА



2023

Ниш

Аутори: Др Драган Б. Јовановић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу
Др Јулијана Симоновић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу

ОТПОРНОСТ МАТЕРИЈАЛА МАШИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА

Прво издање 2023. год.

Рецензенти:

др Драган Милосављевић, ред. проф. у пензији Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу

др Марина Трајковић Миленковић, доцент, Грађевинско-архитектонски
факултет Универзитета у Нишу

Техничка припрема:

Проф. др Драган Б. Јовановић, проф. др Јулијана Симоновић

Слика на насловној страни: **Фотоеластични приказ напрезања у елиптичном
прстену у монохроматској светлости**

Рецензије су усвојене одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у
Нишу број 612-237-4/2023 од 31. маја 2023. год. Одобрено за штампу одлуком
Наставно-научног већа Машинског факултета у Нишу број 612-237-4-1/2023 од 31.
маја 2023. год.

Издавач: **Машински факултет Универзитета у Нишу**, А. Медведева 14, 18000 Ниш
ISBN 978-86-6055-168-1

Тираж: 200 примерака

Штампа: ГРАФИКА ГАЛЕБ, Ниш

CIP - Каталогизација у публикацији Народна
библиотека Србије, Београд

539.3/.4(075.8)

621.01(075.8)

ЈОВАНОВИЋ, Драган, 1958-

Отпорност материјала машинских
конструкција / Драган Б. Јовановић,
Јулијана Симоновић. - 1. изд. - Ниш :
Универзитет, Машински факултет,
2023 (Ниш : Графика Галеб). - 332 стр. :
илустр. ; 24 cm

Тираж 200. - Библиографија: стр. 323-325.

ISBN 978-86-6055-168-1

1. Симоновић, Јулијана, 1975- [autor]

а) Отпорност материјала б) Машинске
конструкције

COBISS.SR-ID 119154185

ПРЕДГОВОР

Универзитетски уџбеник ***Отпорност материјала машинских конструкција*** је намењен студентима Машинског факултета у Нишу, који похађају наставу из обавезног предмета Отпорност материјала на првој години, као и студентима треће године, који слушају предмет Отпорност конструкција из изборног блока Механика. Намера аутора је да се студентима олакша праћење и савладавање наставног садржаја из ових предмета. Садржај је прилагођен програму предмета Отпорност материјала, који се предаје у другом семестру прве године основних академских студија на Машинском факултету у Нишу, са расположивим бројем часова: 3 часа наставе и 3 часа вежби и програму предмета Отпорност конструкција, који се предаје у петом семестру треће године основних академских студија, са расположивим бројем часова: 2 часа наставе и 2 часа вежби.

Наставни садржај је изложен тако да студенти уче индуктивним путем, од посебног према општијем, од једноставнијег ка сложенијем, јер је то природни начин усвајања нових знања и учења, а таквим путем је ишао и развој науке. У том смислу, садржаји поглавља су такви да се првенствено обрађују основни и једноставнији појмови, прилагођени студентима прве године, а потом сложенији и општији намењени студентима треће године. Наслови намењени студентима треће године посебно су означени звездицама поред редног броја у наслову поглавља и такође у садржају.

Овај уџбеник је усклађен са доступним помоћним универзитетским уџбеницима: Збирка задатака из отпорности материјала и Таблице из отпорности материјала аутора др. Д. Б. Јовановића, као и другим универзитетским уџбеницима из поменутих предмета, у погледу ознака и израза везаних за објашњење појмова и величина. Материја изложена у овом уџбенику је подељена на 16 поглавља, тако да што доследније прати ток наставе на предавањима и вежбама.

Аутори су захвални рецензентима проф. др Драгану Милосављевићу и доценткињи Марини Трајковић Миленковић на корисним примедбама и саветима, који су допринели квалитету ове публикације.

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР

СПИСАК СИМБОЛА

1. РАЗВОЈ НАУКЕ О ЧВРСТОЋИ КОНСТРУКЦИЈА	5
2. УВОДНА РАЗМАТРАЊА.....	9
2.1 Задаци отпорности материјала.....	10
2.2 Основни појмови, претпоставке и принципи.....	12
2.3 Геометријски облици у моделирању конструкција	13
2.4 Врсте оптерећења	15
2.5 Унутрашње силе	17
2.6 Дефиниција напона	18
2.7 Дефиниција деформација	20
2.8 Основне врсте напрезања	20
3. АКСИЈАЛНО НАПРЕЗАЊЕ.....	23
3.1 Напони у косом пресеку код аксијално напрегнутог штапа.....	24
3.1.1 Екстремне вредности нормалних и тангенцијалних напона при аксијалном напрезању.....	25
3.2 Графички приказ: Моров круг напона	26
3.3 Деформација код аксијалног напрезања	27
3.4 Хуков закон у случају аксијалног напрезања.	28
3.5 Попречна дилатација. Пуасонов коефицијент	29
3.6 Запреминска дилатација	30
3.7 Механичке карактеристике материјала	31
3.8 Димензионисање аксијално напрегнутих штапова	33

3.9	Утицај температуре.....	35
3.10	Затезање штапа сопственом тежином	36
3.11	Деформациони рад код аксијалног напрезања.....	37
3.12	Статички неодређени проблеми.....	41
3.12.1	Примена Вилиотовог плана померања	41
3.12.2	Принцип најмање потенцијалне енергије-теорема Менабреа	43
3.12.3	Дилатација услед промене температуре	46
4.	НАПРЕЗАЊЕ У ДВА ПРАВЦА (Раванско стање напона)	49
4.1	Нормални и тангентијални напон у косом пресеку	51
4.2	Главни нормални напони и главни правци нормалних напона	53
4.3	Највећи тангентијални напони и равни њиховог дејства	56
4.4	Моров круг напона	58
4.5	Деформације при напрезању у два правца	59
4.6	Напрезање танкозидних судова под притиском.....	60
4.6.1	Сферни суд под притиском.....	63
4.6.2	Цилиндрични суд под притиском.....	64
4.6.3	Танкозиди судови изложени дејству променљивог притиска	65
4.6.4	Конусни суд.....	66
5.	СМИЦАЊЕ	69
5.1	Основни обрасци.....	69
5.1.1	Моров круг при чистом смицању.....	70
5.1.2	Хуков закон при чистом смицању.....	72
5.1.3	Димензионисање при чистом смицању	73
5.1.4	Деформациони рад при чистом смицању	74
6.	* НАПРЕЗАЊЕ У ТРИ ПРАВЦА	77
6.1	* Стање напона у околини тачке напрегнутог тела	77
6.2	* Општи облик Хуковог закона за напрезање у три правца.....	82
6.3	* Деформације код напрезања у три правца. Запреминска дилатација.....	85
6.4	* Специфични деформациони рад код напрезања у три правца	86
6.4.1	Општи облик Кастиљанових теорема код напрезања у три правца	88
7.	МОМЕНТИ ИНЕРЦИЈЕ РАВНИХ ПОВРШИ.....	93
7.1	Опште напомене	93
7.2	Статички момент површи.....	94

7.3	Моменти инерције равних површи	95
7.4	Одређивање момената инерције (примери правоугаоника и квадрата).....	97
7.4.1	Одређивање момената инерције правоугаоника.....	98
7.5	Промена момената инерције при транслацији координатног система	100
7.6	Промена момената инерције при ротацији координатног система	104
7.7	Главни правци и главни моменти инерције.....	106
7.8	Круг, полупречник и елипса инерције.	108
7.9	Полупречник инерције и елипса инерције	109
8.	УВИЈАЊЕ (торзија).....	113
8.1	Увијање вратила кружног попречног пресека	114
8.1.1	Напони и деформације при увијању вратила кружног попречног пресека	114
8.1.2	Веза између напона и спољашњег оптерећења.....	117
8.2	Одређивање угла увијања	118
8.3	Димензионисање код увијања	121
8.3.1	Димензионисање према дозвољеном тангенцијалном напону.....	121
8.3.2	Димензионисање према дозвољеном углу увијања θd°	122
8.3.3	Димензионисање лакних трансмисионих вратила	123
8.4	Статички неодређени проблеми при увијању	127
8.5	* Деформациони рад при увијању	128
8.5.1	Кастиљанови обрасци за увијање	129
8.6	* Увијање вратила променљивог попречног пресека	130
8.7	*Торзија вратила правоугаоног и неких карактеристичних пресека	135
8.8	* Торзионе опруге.....	139
8.8.1	Цилиндричне опруге.....	139
8.8.2	Конусне опруге	141
8.8.3	Примери примене опруга као елемената конструкција.....	142
9.	САВИЈАЊЕ	145
9.1	Основни појмови.....	145
9.2	Врсте ослонаца и реакције веза носача.....	146
9.3	Напони и деформације код чистог савијања	148
9.3.1	Деформациони рад при чистом савијању	152

9.4	Нормални и смицајни напон при савијању силама	152
9.5	Распоред смицајног напона у зависности од облика попречног пресека	156
9.6	Димензионисање носача на основу дозвољеног напона савијања	158
9.7	Главни нормални напони и највећи тангенцијални напони код савијања силама	159
9.8	* Степен искоришћења попречног пресека код савијања	162
9.9	* Идеални облик носача изложених савијању.....	163
9.10	* Ојачавање носача ламелама.....	165
9.11	* Центар смицања (центар савијања).....	167
9.12	* Деформациони рад при савијању силама.....	169
10.	ЕЛАСТИЧНЕ ЛИНИЈЕ.....	171
10.1	Диференцијална једначина еластичне линије савијеног носача	171
10.2	Метода непосредног интеграљења	174
10.3	Клебшов поступак	177
10.4	Поступак суперпозиције деформација од компонентних оптерећења	179
10.4.1	Пример: Греда са препустом	180
10.5	Графоаналитичка метода	182
10.5.1	Проста греда оптерећена спрегом на средини (пример)	183
10.5.2	Конзола оптерећена силом на слободном крају (пример)	184
10.6	* Примена друге Кастиљанове теореме за одређивање угиба и нагиба (Метода деформационог рада).....	185
10.6.1	Пример одређивања нагиба применом друге Кастиљанове теореме	187
10.7	* Маквел-Морова метода	188
10.8	* Верешчагинова метода.....	190
10.9	* Теорема о узајамности померања (Утицајни коефицијенти)	193
10.10	* Савијање крволинијских носача	199
11.	СТАТИЧКИ НЕОДРЕЂЕНИ КОНТИНУАЛНИ НОСАЧИ	205
11.1	Степен статичке неодређености.....	205

11.2	Статички неодређени носачи са једним распоном.....	207
11.3	* Носачи (греде) са више распона.....	208
11.4	* Греде са еластичним ослонцима	212
11.5	* Укрштене греде	214
11.6	* Теорема три момената.....	215
11.7	* Метода сила	217
11.8	* Рамови	220
11.9	* Носачи променљивог попречног пресека	223
12.	КОСО САВИЈАЊЕ.....	227
12.1	Напони при косом савијању	229
12.2	Неутрална оса при косом савијању	230
12.3	Димензионисање носача изложених косом савијању.....	232
12.4	Деформације носача изложених косом савијању	233
13.	СЛОЖЕНА НАПРЕЗАЊА.....	235
13.1	* Хипотезе о разарању материјала	236
13.1.1	Хипотеза највећег нормалног напона.....	238
13.1.2	Хипотеза највеће дилатације	239
13.1.3	Хипотеза највећег тангенцијалног напона.....	239
13.1.4	Хипотеза граничног еластичног стања (Морова хипотеза)	240
13.1.5	Хипотеза највећег специфичног деформационог рада	241
13.1.6	Хипотеза највећег специфичног деформационог рада утрошеног на промену облика.....	242
13.2	Истежање и савијање услед косе силе.....	243
13.3	Истежање и савијање услед ексцентричне силе.....	244
13.4	Притисак и савијање услед ексцентричне силе.....	248
13.4.1	Језгро пресека	250
13.5	* Савијање и увијање	253
14.	ЕЛАСТИЧНА СТАБИЛНОСТ НОСАЧА.....	257
14.1	Ојлерова критична сила извијања.....	259
14.1.1	Извијање аксијално притиснутог штапа зглобно ослоњеног на оба краја (први случај ослањања).....	260
14.1.2	Извијање аксијално притиснутог једнострано уклештеног штапа (други случај ослањања).....	262
14.1.3	Извијање аксијално притиснутог обострано уклештеног штапа (трећи случај ослањања).....	263
14.1.4	Извијање аксијално притиснутог штапа уклештеног на једном крају, а на другом везаног зглобом (четврти случај ослањања)	264

14.2	* Извијање штапа у случају ексцентричне аксијалне силе.....	265
14.3	* Крива критичног напона у еластично – пластичној области	267
14.3.1	Димензионисање штапова напрегнутих на извијање.....	269
14.3.2	Метода деформационог рада за одређивање критичне силе код извијања	272
15.	* ОСНОВИ МЕХАНИКЕ ЛОМА И ОШТЕЋЕЊА.....	275
15.1	Дефиниција проблема прслине.....	275
15.1.1	Физички модели материјала	275
15.2	Физички модели напредовања врха прслине.....	277
15.2.1	Модел дискретних материјалних тачака (атомски модел)	277
15.3	Математички модели прслина.....	290
15.3.1	Модел тела са прслином према претпоставкама механике континуума.....	290
15.3.2	Поље напона у еластично-пластичном стању деформисања у околини прслине.....	292
15.3.3	Приближно одређивање области пластичне деформације на врху прслине по Е. Е. Гдоутос-у	293
15.4	Проблем прслине у класичној теорији еластичности.....	297
15.4.1	Грифитов приступ.....	297
15.4.2	Линеарно - еластична механика лоба.....	299
15.4.3	Теорија густине енергије деформације.....	300
15.4.4	Основне теоријске претпоставке.....	302
15.4.5	Стање напона и померања у околини врха прслине.....	303
16.	* ОСНОВИ МЕТОДЕ КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА.....	305
16.1	Основна једначина КЕ	309
16.2	Матрице трансформације	312
16.3	Једначина конструкције.....	314
16.4	Гранични услови.....	315
16.5	Чворна оптерећења	316
16.6	Редукована матрица крутости	317
	Списак појмова	319
	Списак литературе	323
	Садржај	327