



**МЛАДЕЖКИ ФОРУМ
„НАУКА, ТЕХНОЛОГИИ,
ИНОВАЦИИ, БИЗНЕС“
*2025 пролет***

***YOUTH FORUMS
„SCIENCE, TECHNOLOGY,
INNOVATION, BUSINESS“ 2025***

**23-25 април 2025 година
Дом на науката и техниката – Пловдив**

СБОРНИК ДОКЛАДИ

ПЛОВДИВ

ISSN 2367-8569

Публикувано на:

<http://hst.bg/bulgarian/conference.htm>

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА НАПРЕЖЕНИЕТО МЕЖДУ БУТАЛО ОТ СТОМАНЕНА СПЛАВ И БУТАЛО ОТ АЛУМИНИЕВА СПЛАВ, ИЗПОЛЗВАНИ В АВТОТРАКТОРНИ ДВИГАТЕЛИ

ЙОРДАН СТОЯНОВ

Технически университет – София, филиал Пловдив
Катедра “Транспортна и авиационна техника и технологии”
4000 гр. Пловдив, ул. “Цанко Дюстabanов”, № 25
E-mail: yordan.stoyanov@tu-plovdiv.bg

Резюме: Целта на статията е да се изследва и анализира разпределението на напрежението по фон Мизес (von Mises) на буталото при процеса горене и разширение на гориво-въздушната смес в горивната камера. Параметрите използвани при извършване на симулацията са работното налягане на газа от 20 МПа симулиращо изгаряне на гориво-въздушната смес. Извършеният статичен анализ на буталата от двете сплави при налягане от 20 МПа показва задоволителни резултати, близки до границата на провлачване, при което Факторът на безопасност по фон Мизес (von Mises) е от 0.5 до 0.6. При извършен повторен анализ при налягане от 6.67 МПа, факторът на безопасност по фон Мизес (von Mises) е от 1.5 до 1.9. т.е. безопасна работа на буталата от двете сплави се наблюдава при налягане върху челото на буталото до около 10 МПа.

Ключови думи: автотракторно бутало, фон Мизес, разпределение на напреженията, алуминиева сплав, стоманена сплав.

COMPARATIVE STRESS ANALYSIS BETWEEN A STEEL ALLOY PISTON AND AN ALUMINUM ALLOY PISTON USED IN AUTOTRACTOR ENGINES.

YORDAN STOYANOV

Technical University of Sofia, Plovdiv Branch
Department of Transport and Aircraft Equipment and Technologies
25, Tsanko Dyustabanov Str., Plovdiv 4000, Bulgaria
E-mail: yordan.stoyanov@tu-plovdiv.bg

Abstract: The objective of the article is to investigate and analyze the von Mises stress distribution on the piston during the combustion and expansion process of the fuel-air mixture in the combustion chamber. The parameters used in the simulation include a working gas pressure of 20 MPa, simulating the combustion of the fuel-air mixture. The static analysis performed on pistons made from two different alloys under a pressure of 20 MPa shows satisfactory results, with stress levels close to the yield limit. The von Mises safety factor (FOS) in this case ranges from 0.5 to 0.6. A repeated analysis conducted at a pressure of 6.67 MPa shows an improved von Mises safety factor (FOS), ranging from 1.5 to 1.9. This indicates that safe operation of the pistons made from both alloys can be expected at pressures up to approximately 10 MPa.

Keywords: tractor piston, von Mises, stress distribution, aluminium alloy, steel alloy.

1. Въведение

Търсенето на енергия нараства с всеки изминал ден. Светът е зависим най-вече от фосилните горива, за да посрещне енергийните си нужди. Увеличаването на стандарта на живот изисква по-добър начин на транспорт в сфери, включващи земеделие, строителство, транспорт и други. Това води до увеличаване производството на транспортните и превозни средства от страна на компаниите, по-голямо количество на вредните емисии, отделяни от двигателите с вътрешно горене, както и по-голямо натоварване на елементите на двигателите с цел по-висока ефективност. С оглед намаляване на вредните емисии, получени от работата на двигателите с вътрешно горене и увеличаване на КПД се налага търсене и внедряване на нови материали и сплави за производство на коляно-мотовилковия механизъм и акцент върху буталото. При процеса горене и изгаряне на гориво-въздушната смес в горивната камера на двигателя се наблюдават механични деформации на буталото, които водят до намаляване на работоспособността му [6].

Буталната група включва следните основни части: бутало, уплътнителни пръстени; маслени пръстени; бутален болт и осово осигуряване на буталния болт. Буталната група поема налягането от газовете в цилиндъра и чрез мотовилката го предава на коляновия вал.

Буталната група уплътнява горивната камера и поема част от топлината, получена при окисление на горивото.

Буталото е една от най-натоварените в термично отношение част на двигателя. Работи в условия на лошо мазане и термични и динамични натоварвания. Поради високите температури и лошите условия на мазане работната повърхност се износва механично, абразивно и корозионно. Тези условия поставят високи изисквания към конструкцията, формата и материала, от който се изработват буталата.

Към буталата се поставят следните изисквания:

1. Малка маса и висока неподатливост (за намаляване на инерционните сили и деформации).
2. Висока механична якост и изнosoустойчивост.
3. Ефективна защита от прегряване и ефективно отвеждане на топлината от силно нагнетите зони.

4. Минимални загуби от триене при малък разход на масло.

В своята конструкция буталото се състои от три основни части: чело, уплътняваща част и направляваща част.

Челото на буталото е най-натоварената част в топлинно отношение. Формата на челото се определя от вида на горивната камера и от процеса на смесообразуване.

В уплътняващата част се намират каналите, в които са разположени буталните пръстени. Уплътняването на горивната камера е на основата на салниковото и лабиритното уплътнение [3].

Буталата на съвременните автотракторни двигатели се изработват предимно от алуминиеви сплави и по рядко от чугун и стомана. Чугунените бутала имат по – голяма изнosoустойчивост, по-добри механични качества и по-малко топлинно разширение от алуминиевите, но поради по-голямата си маса създават големи инерционни сили. Чугунените бутала се използват при някои автотракторни двигатели със сравнително малка честота на въртене на коляновия вал [1].

Когато гориво-въздушната смес се възпламени, налягането от изгорелите газове се прилага върху челото на буталото, принуждавайки буталото да извършва възвратно-постъпателно движение в цилиндъра. Налягането от изгорелите газове се предава от челото на буталото към буталния болт. Тези зони се приемат за критични и причиняват огромни дефекти, които водят до увреждане и деформация на буталата [7]. Приложими са в авиационната техника [2].

2. Материал и методи

2.1. 3D модел на бутало

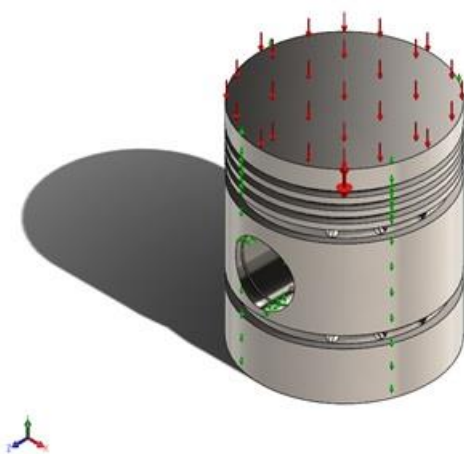
В SolidWorks среда за проектиране е изработено и изследвано автотракторно бутало с размери, показани на фиг. 1. Буталото е изработено от алуминиева сплав се използва в автотракторен двигател на марка Massey Ferguson, използващи дизелови двигатели. Изгражда се базов 3D модел по посочения чертеж в SolidWorks.

2.2. Статичен анализ

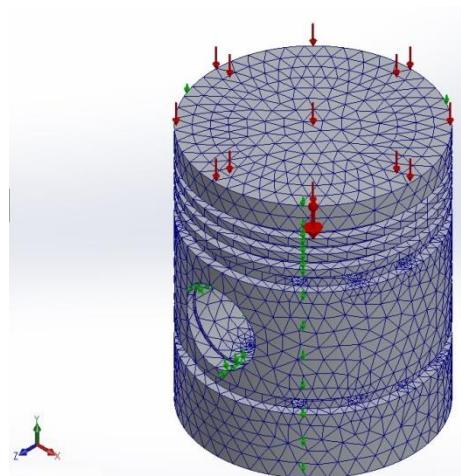
3D моделът на буталото е показан на фиг. 2, а). Статичният анализ, включващ мрежа от възли и елементи на създадения 3D модел на бутало, показан на фиг. 2, б), състоящ се от общо 95592 броя възли и 58601 броя елементи. От библиотеката на системата в SolidWorks Simulation са избрани стоманена сплав с характеристики, показани в табл. 2 и алуминиева сплав с характеристики, показани в табл. 1.

Границата на провлачване на алуминиевите сплави се приема 200 МПа [5]. Границата на провлачване на стоманените сплави се приема 400 МПа [4]. Изследването в

SolidWorks Simulation извършва при 20 МПа /200 bar/, което се равнява на 204 kgf/cm² натоварване на челото на буталото. При тестове извършени на двигатели на John Deere налягането на впръскване и възпламеняване на горивото се отчитат около 67 kgf/cm² или 6.57 МПа [8]. За да е напълно безопасно и структурно издържано използването на буталото в автотракторните двигатели, Критерият за Максимално напрежение и Коефициентът на безопасност трябва да е по-голям от 1, т.е. factor of safety (FOS) > 1 [9].



а)



б)

Фиг. 2. 3D модел и твърда мрежа на буталото

Таблица 1. Характеристики на автотракторно бутало от алуминиева сплав

Обемна плътност алуминиевата сплав, kg/m ³	2 699,92
Маса на буталото, kg	0,698352
Обем на буталото, m ³	0,000258656
Тегло на буталото, N	6,850833

Таблица 2. Характеристики на автотракторно бутало от стоманена сплав

Обемна плътност алуминиевата сплав, kg/m ³	7 699,78
Маса на буталото, kg	1,9916
Обем на буталото, m ³	0,000258656
Тегло на буталото, N	19,537596

3. Резултати и обсъждане

Резултатите от статичния анализ – разпределението на напреженията по фон

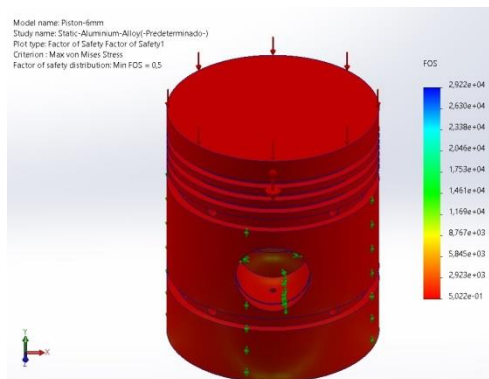
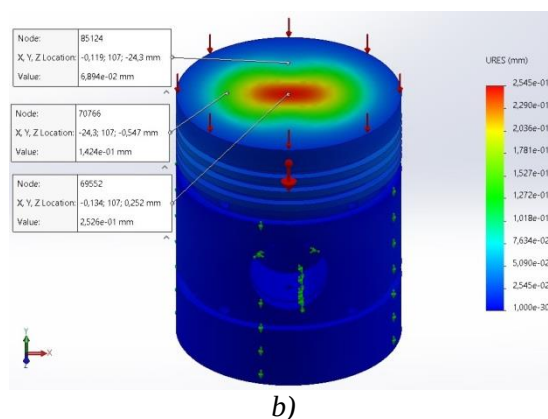
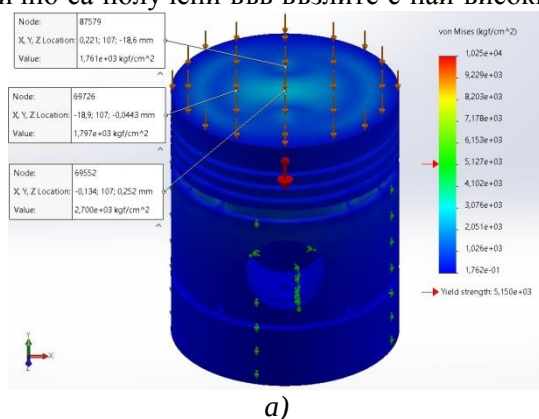
Мизес (von Mises) и резултантното пресмятане са показани на фиг. 3 а) и б). Критичните точки са показани на фиг. 3 с). Тези резултати са извършени при 20 MPa налягане.

Статичният анализ на буталото от алуминиева сплав показано на фиг. 3 показва, че разпределението на напрежения по фон Мизес (von Mises) в най-критичните точки е със стойности по-ниски от границата на провлачване на метала. Факторът на безопасност по фон Мизес (von Mises) е 0.5, което показва, че буталото, изградено от тази сплав и подложени на тези натоварвания ще издържи структурно. Според този критерии, материалът започва да пълзи в местата, където напрежението на von Mises стане равно на граничното напрежение (разрушаващото напрежение – Stress limit). Като гранично напрежение е зададено границата на провлачване (Yield Strength).

Т.е. максималните стойности на еквивалентното напрежение по фон Мизес (von Mises) се получават под границата на провлачване, а преместване се наблюдава в средата на челото на буталото. Минималните стойности на коефициента на сигурност логично са получени във възлите с най-високи

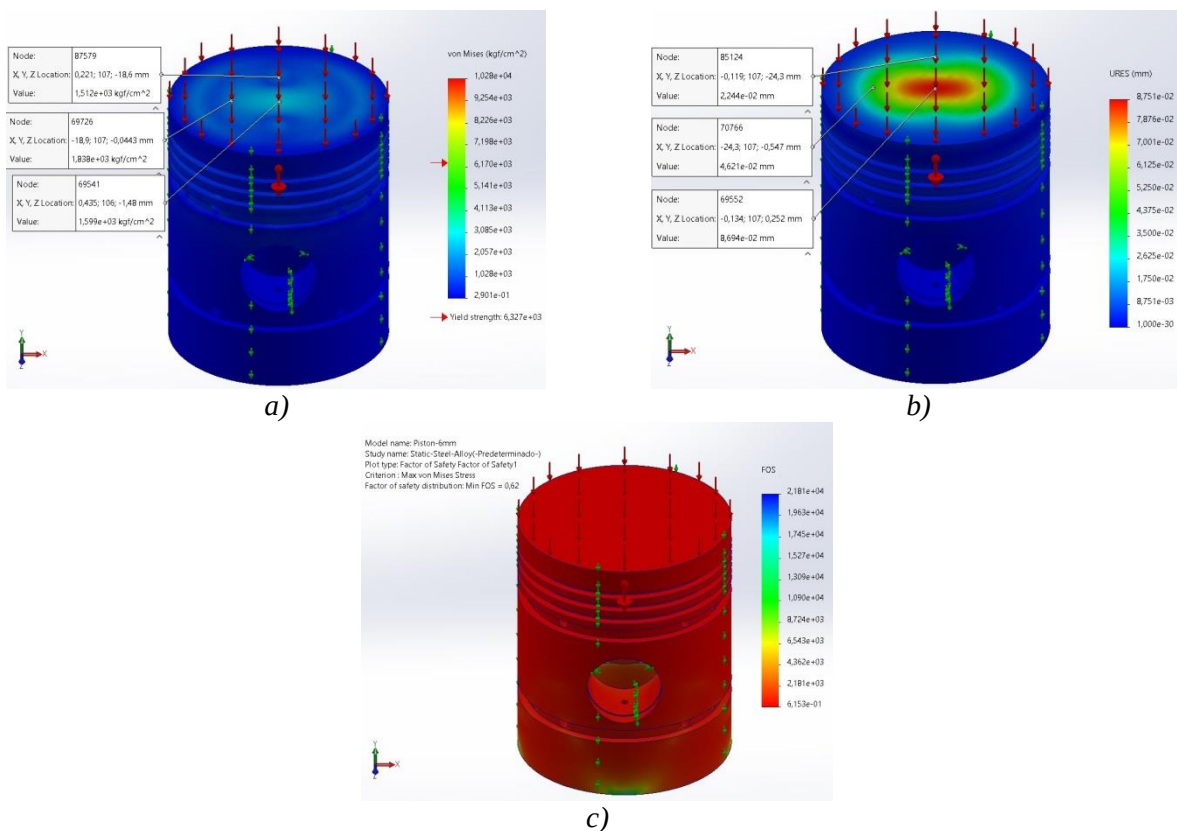
стойности на напреженията по фон Мизес (von Mises). При извършен статичен анализ с налягане 6.57 MPa, Факторът на безопасност по фон Мизес (von Mises) е 1.5, т.е. FOS = 1.5.

Резултатите са аналогични за буталото от стоманена сплав, показано на фиг. 4. При извършен статичен анализ с налягане 6.57 MPa, Факторът на безопасност по фон Мизес (von Mises) е 1.9, т.е. FOS=1.9. При извършения статичен анализ с налягане от 20MPa се достига до гранично напрежение, което ще доведе до разрешение на материала. Автотракторното бутало от алуминиева сплав ще издържи структурно при почти три пъти по-ниско налягане, което ще гарантира Фактор на безопасното по фон Мизес по-голям от единица, т.е. FOS > 1. И в двата варианта може да бъде прилагано налягане до 10 MPa, което ще гарантира безопасната работа на буталото. Следва да се избере за нуждите на автотракторния двигател бутало от алуминиева сплав, което ще доведе до по-ниски инерционни сили и моменти върху коляномотовилковия механизъм.



c)

Фигура . 3. Статичен анализ на бутало от алуминиева сплав: а) напрежения по фон Мизес (von Mises); б) резултантно преместване – деформация; в) – фактор на сигурност.



c)

Фигура 4. Статичен анализ на бутало от стоманена сплав: а) напрежения по фон Мизес (von Mises); б) резултантно преместване – деформация; в) – фактор на сигурност.

Изводи

Извършеният сравнителен анализ на буталото от алуминиева сплав и буталото от стоманена сплав при налягане от 20 МПа показват задоволителни резултати на границата на провлачване. Факторът на безопасност по фон Мизес (FOS) е 0.5. При повторен анализ на буталата от двете сплави при налягане от 6.57 МПа, Факторът на безопасност по фон Мизес (von Mises) е от 1.5 до 1.9. Т.е. при налягане до 7 МПа следва да се приеме, че буталата и от двете сплави ще работят безопасно. Препоръчително е подбирането на сплави с висока граница на провлачване.

ЛИТЕРАТУРА

1. Велев, Н., Илиев, Л., Любенов, С., Станчев, С., Маринов, Е., Станчовски, Т. Автомобили, трактори и кари. Земиздат, София. 1983.
2. Личков Н., Бойчев Я., Нестеров К., Косев В. Изследване на амплитудно-честотните характеристики на сеизмичните сигнали, създавани от повърхностни източници. Първо, Института по металознание, съоръжения и технологии с Център по хидро-и аеродинамика „Академик А. Балевски“ – Българска академия на науките, 2021, ISBN:978-619-7466-14-0, 443.

3. Хаджиев, К., Илиев, С., Устройство на автотракторните двигатели. Русе. ISBN 978-954-712-904-7. 2023.
4. Aggen, G., et. Al. ASM Handbook, Volume 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys. ISBN 0-87170-377-7 (v.1). 2005.
5. Anderson, K. et. Al. ASM Handbook, Volume 2B, Properties and Selection of Aluminum Alloys ISBN-13: 978-1-62708-208-2, ISBN-13: 978-1-62708-209-9, ISBN-13: 978-1-62708-210-5. 2019.
6. Durkaieswarn, P. et. Al. Stress Analysis of Piston Using Pressure Load and Thermal Load. International Journal of Science Technology & Engineering | Volume 7 | Issue 11 | May 2021. ISSN (online): 2349-784X.
7. Sonar, D. K., Chattopadhyay, M., Theoretical Analysis of Stress and Design of Piston Head using CATIA & ANSYS. *International Journal of Engineering Science Invention* ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726.
8. <https://www.tractorbynet.com/forums/threads/jd-950-cylinder-pressure.342399/>.
9. https://help.solidworks.com/2024/english/SolidWorks/cworks/c_maximum_stress_criterion_2.htm.