

ძაბვათა კონცენტრაციის შესწავლა განსხვავებული სიხისტის ელემენტების შეერთების უბანში

სერგო ტეფნაძე¹, სოფიო ბლიაძე²

^{1,2} საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი

თბილისი, ქეთევან დედოფლის გამზირი № 16, 0103 საქართველო

რეზიუმე: თანამედროვე საავიაციო კონსტრუქციებში მასის მინიმიზაციის მოთხოვნა ხშირად იწვევს ელემენტების სისქისა და სიხისტის ცვლილებას, რაც ძაბვათა თავმოყრის ძირითად წყაროს წარმოადგენს. ასეთი უბნები განსაკუთრებით კრიტიკულია თვითმფრინავის ფრთისა და გარსაცმის ელემენტებში, სადაც კონცენტრირებული ძაბვები მნიშვნელოვნად ამცირებს სტრუქტურის გამძლეობასა და საიმედოობას.

ნაშრომში განხილულია განსხვავებული სისქის ფოლადის ფირფიტების შეერთებისას წარმოქმნილი ძაბვათა კონცენტრაციის შემთხვევა, რომელიც გამოკვლეულია სასრული ელემენტების მეთოდით (ANSYS Workbench). მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ სისქეთა მკვეთრი გადასვლები იწვევს ძაბვათა მნიშვნელოვან ზრდას, ხოლო გეომეტრიული გარდამავლობის სოლისებრი ფორმა ეფექტურად ამცირებს კონცენტრაციას.

კვლევის შედეგად დასტურდება, რომ ელემენტთა შეერთების გეომეტრიული ოპტიმიზაცია წარმოადგენს ეფექტურ საშუალებას ძაბვათა თავმოყრის შემცირებისა და კონსტრუქციის მას-სიმტკიცის ოპტიმალური ბალანსის მისაღწევად.

საკვანძო სიტყვები: ძაბვათა კონცენტრაცია, სისქის გარდამავალი უბანი, მასის მინიმიზაცია, სასრული ელემენტების მეთოდი, სტრუქტურული სიმტკიცე.

შესავალი

თანამედროვე საინჟინრო კონსტრუქციების გამძლეობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ელემენტებში წარმოქმნილი ძაბვათა განაწილების ერთგვაროვნებაზე. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება იმ უბნებს, სადაც კონსტრუქციის გეომეტრია ან მასალა იცვლება — მსგავსი უბნები წარმოადგენს ძაბვათა თავმოყრის (კონცენტრაციის) პოტენციურ წყაროს.[1] აღნიშნული ეფექტი განსაკუთრებით აქტუალურია საავიაციო სფეროში, სადაც მასის მინიმიზაციისა და სიმტკიცის მოთხოვნების კომბინაცია კონსტრუქციულად რთულ ამოცანებს აჩენს.

საავიაციო კონსტრუქციების დამახასიათებელი თავისებურებაა ელემენტების მოქლონებითა და ჭანჭიკებით შეერთება, აგრეთვე მასის შემცირების მიზნით შესრულებული ნახვრეტები და სისქის ცვლილებები. სწორედ ასეთი უბნები წარმოადგენს ძაბვათა კონცენტრაციის კლასიკურ ადგილებს, რომლებიც დროთა განმავლობაში იწვევს მიკრობზარების გაჩენას და სტრუქტურული მდგრადობის დაკარგვას. ამდენად, ძაბვათა თავმოყრის

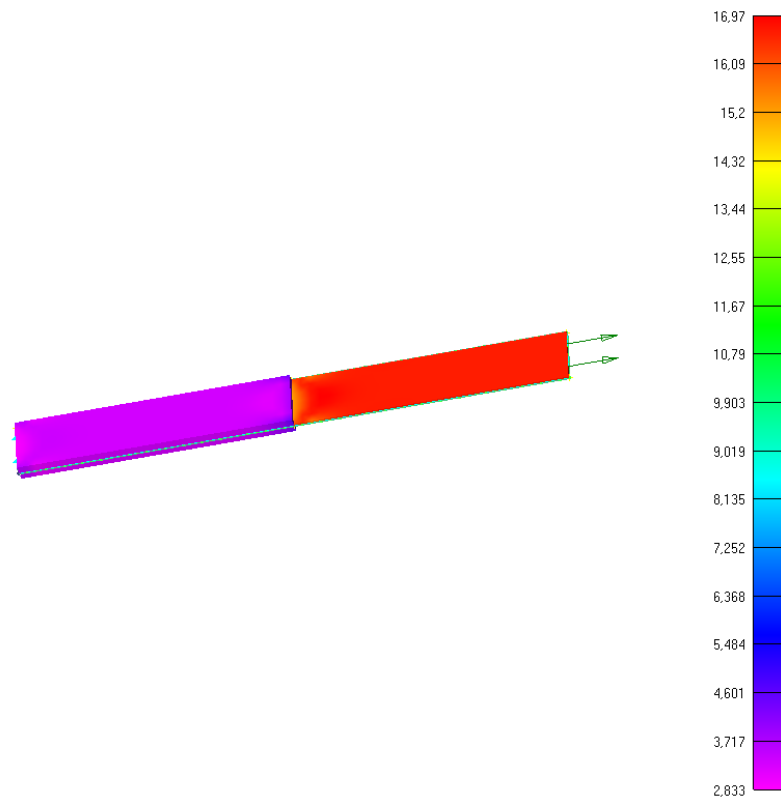
მექანიზმების შესწავლა და მათი შემცირების ეფექტური გზების პოვნა წარმოადგენს ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებას საავიაციო ინჟინერიაში.

ნაშრომში განხილულია განსხვავებული სისქის ფოლადის ფირფიტების შეერთებისას წარმოქმნილი ძაბვათა კონცენტრაციის შემთხვევა.[2] ანალიზი შესრულებულია სასრული ელემენტების მეთოდზე (FEM) დაფუძნებული პროგრამული პაკეტით *ANSYS Workbench*-ში, რომლის მეშვეობითაც გამოკვლეულია ძაბვათა განაწილება სხვადასხვა შეერთების კონფიგურაციაში. მიღებული შედეგები იძლევა მნიშვნელოვან ინფორმაციას სიხისტეთა სხვაობით გამოწვეული კონცენტრაციის შესახებ და აჩვენებს შესაძლო მეთოდს ასეთი უბნების განტვირთვისთვის.

ძირითადი ნაწილი

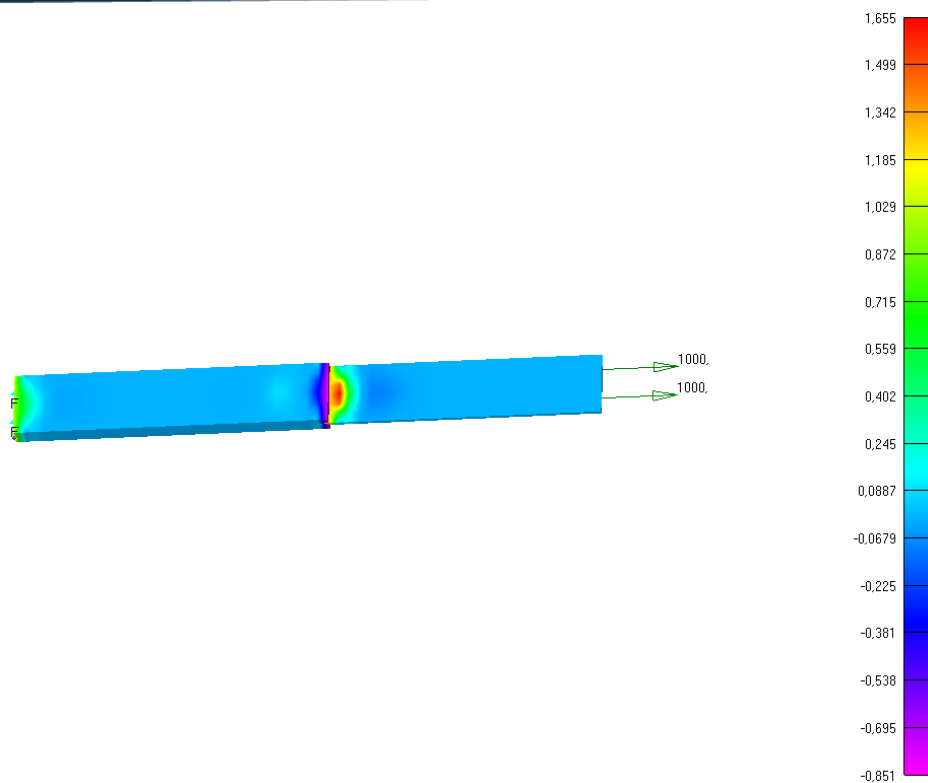
ანალიზის სწორად წარმართვის მიზნით განხილულია სამი მაგალითი:

მაგალითი №1. განვიხილოთ ერთმანეთთან შეერთებული ფოლადის ორი განსხვავებული სისქის ფირფიტა ზომით 150 x 30 მმ, რომელთა სისქეებია 2 მმ და 10 მმ, ამასთან, ფირფიტის მარცხენა კიდე ჩამაგრებულია ხისტად,[3] ხოლო ფირფიტის მარჯვენა კიდეზე მოდებულია თანაბარგანაწილებული ნორმალური ძალა $P=1000$ კგძ, ფირფიტები ერთმანეთთან შეერთებულია მცირე წიბოებით, დასმული ამოცანის ანალიზი ჩატარდა სასრულ ელემენტთა მეთოდზე დაფუძნებულ პროგრამულ კომპლექს *Ansys workbench*. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენი შესწავლის მიზანს არ წარმოადგენს ძაბვების განსაზღვრა ჩამაგრების ადგილებში. ფირფიტები დაყოფილია 5x5 ზომის სასრულ ელემენტებად.[4] ფირფიტათა შეერთების მარცხენა და მარჯვენა ზოლში ძაბვათა მნიშვნელობები მოცემულია სურ. 1-ზე.



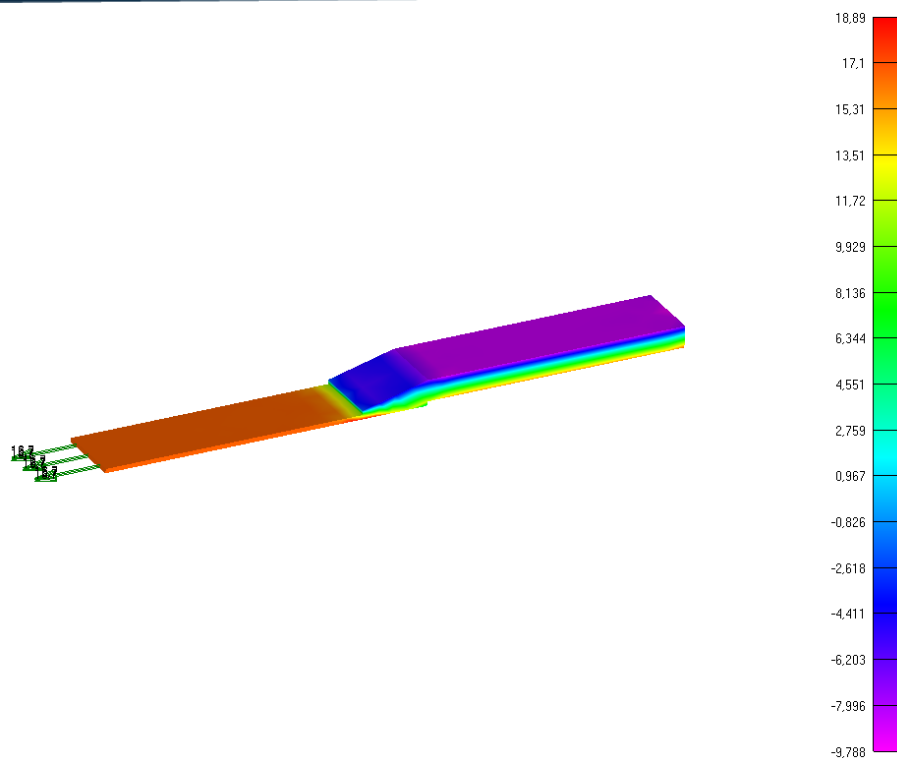
სურ. 1 ძაბვათა განაწილება №1 მაგალითისთვის

მაგალითი №2. განვიხილოთ ერთმანეთთან შეერთებული ფოლადის ორი განსხვავებული სისქის ფირფიტა, რომელთა საერთო ზომაა 280 x 30 მმ, რომლებიც ერთმანეთზე გადადებულია 20 მმ-ით და რომელთა სისქეებია 2 მმ და 10 მმ, ამასთან, ფირფიტის მარცხენა კიდე ჩამაგრებულია ხისტად, ხოლო ფირფიტის მარჯვენა კიდეზე მოდებულია თანაბარგანაწილებული ნორმალური ძალა $P=1000$ კგძ, [5] ფირფიტები ერთმანეთზე გადადებულია 20 მმ სიგრძეზე. დასმული ამოცანის ანალიზი ჩატარებულია სასრულ ელემენტთა მეთოდზე დაფუძნებულ პროგრამულ კომპლექსს Ansys workbench. ამ შემთხვევაშიც ჩვენი შესწავლის მიზანს არ წარმოადგენს ძაბვების განსაზღვრა ჩამაგრების ადგილებში. ფირფიტები დაყოფილია 5x5 ზომის სასრულ ელემენტებად. ფირფიტათა შეერთების მარცხენა და მარჯვენა ზოლში ძაბვათა მნიშვნელობები მოცემულია სურ. 2-ზე.



სურ. 2 ძაბვათა განაწილება №2 მაგალითისთვის

მაგალითი №3. განვიხილოთ ერთმანეთთან შეერთებული ფოლადის ორი განსხვავებული სისქის ფირფიტა ზომით 150 x 30 მმ, რომელთა სისქეებია 2 მმ და 10 მმ ამასთან ფირფიტის მარცხენა კიდე ჩამაგრებულია ხისტად, ხოლო ფირფიტის მარჯვენა კიდეზე მოდებულია თანაბარგანაწილებული ნორმალური ძალა $P=100$ კგ. სურ. 3-ზე ნათლად ჩანს ერთმანეთზე გადადებული ნაწილი სოლისებრია, დასმული ამოცანის ანალიზი ჩავატაროთ სასრულ ელემენტთა მეთოდზე დაფუძნებულ დაფუძნებულ პროგრამულ კომპლექსს Ansys workbench. ამ შემთხვევაშიც ჩვენი შესწავლის მიზანს არ წარმოადგენს ძაბვების განსაზღვრა ჩამაგრების ადგილებში. ფირფიტები დაყოფილია 5x5 ზომის სასრულ ელემენტებად.[6] ფირფიტათა შეერთების მარცხენა და მარჯვენა ზოლში ძაბვათა მნიშვნელობები მოცემულია სურ. 3-ზე.



სურ. 3 ძაბვათა განაწილება №3 მაგალითისთვის

დასკვნა

წარმოდგენილი კვლევის შედეგებმა ნათლად აჩვენა, რომ განსხვავებული სისქის ფირფიტების შეერთების ზონებში ძაბვითა მნიშვნელოვანი მნიშვნელოვნად განსხვავდება, განსაკუთრებით კი იქ, სადაც სიხისტის ცვლილება მკვეთრია. ანალიზის მიხედვით, ამ უბნებში ძაბვები ზოგ შემთხვევაში რამდენჯერმე აღემატება ფირფიტის საშუალო ძაბვებს, რაც დიდ გავლენას ახდენს კონსტრუქციის საერთო გამძლეობასა და მისი ცოცვალობის ან ბზარწარმოქმნის ტენდენციაზე.

დაკვირვებებმა დაანგარიშებულ მაგალითებში ცხადყო, რომ სისქეთა გარდამავალი უბნების გეომეტრიული გაუმჯობესება მნიშვნელოვნად ამცირებს ძაბვითა თავმოყრას. კერძოდ, მესამე მაგალითში წარმოდგენილი სოლისებრი გარდამავალი ფორმა ეფექტურად ამცირებს ძაბვითა პიკებს შეერთების ზონაში და უზრუნველყოფს უფრო თანაბარ ძაბვითა განაწილებას. აღნიშნული შედეგი ადასტურებს, რომ გეომეტრიული მოდიფიკაცია წარმოდგენს მარტივ და ეფექტურ საშუალებას ძაბვითა კონცენტრაციისგან გამოწვეული დაზიანებების პრევენციისთვის.

კვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც საავიაციო, ისე სხვა საინჟინრო დისციპლინებში, სადაც საჭიროა მსუბუქი, მაგრამ გამძლე კონსტრუქციების შექმნა. შემდგომი კვლევები მიზნად უნდა ისახავდეს სხვადასხვა მასალებისა და შეერთების ტიპების ანალიზს, აგრეთვე ექსპერიმენტული მონაცემების შედარებას რიცხვითი მოდელების შედეგებთან, რაც გაამყარებს მიღებული დასკვნების სანდოობას და შეუწყობს ხელს კონსტრუქციული ელემენტების უსაფრთხოებისა და საიმედოობის ზრდას.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. ს. ზლიაძე, ზ. სესკურია, კ. ჯაფარიძე კონსტრუქციების მოდელირება და სტრუქტურული ანალიზი MSC/NASTRAN v.4-ში. გამომცემლობა „თბილისი“, 2008 წ., 339 გვ;
2. H. Jane Helena, Theory of elasticity and plasticity PHI learning 2017y 264p;
3. P. Wriggers, Nonlinear Finite Element Methods, 2008y, 122p;
4. O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu, The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals, 2013y, p36;
5. M. Gadala, Finite Elements for Engineers with Ansys Applications, 2020y, p48;
6. I. Babuska, J. Whiteman, T. Strouboulis, Finite Elements: An Introduction to the Method and Error Estimation, 2010y, p102.

Study of Stress Concentration in the Junction Zone of Elements with Different Stiffness

Sergo Tepnadze¹, Sophio Bliadze²

^{1,2}Georgian Aviation University

16 Ketevan Dedopali Avenue, 0103 Tbilisi, Georgia

Abstract: *In modern aerospace structures, the requirement for mass minimization often leads to variations in the thickness and stiffness of structural elements, which become major sources of stress concentration. Such regions are particularly critical in aircraft wing and fuselage components, where localized stresses significantly reduce structural strength and reliability.*

This paper examines the case of stress concentration arising at the junction of steel plates with different thicknesses, analyzed using the Finite Element Method (ANSYS Workbench). The obtained results show that abrupt transitions in thickness lead to a considerable increase in stress levels, whereas a tapered geometric transition effectively reduces concentration zones.

The study demonstrates that geometric optimization of element junctions is an effective approach for mitigating stress concentration and achieving an optimal balance between mass and structural strength.

Keywords: *stress concentration, thickness transition zone, mass minimization, finite element method, structural strength.*