

ANALIZA DOŚWIADCZALNA, NUMERYCZNA I TEORETYCZNA SKRĘCANYCH STATYCZNIE PANELI WARSTWOWYCH O SZTYWNYCH OKŁADZINACH I PODATNYM RDZENIU

Streszczenie

Panele warstwowe zakwalifikować można do szeroko pojętej grupy wyrobów kompozytowych. Dwie, relatywnie cienkie, zewnętrzne okładziny, które wykonane są z materiału o wysokiej wytrzymałości, połączone są ze sobą za pomocą relatywnie grubego rdzenia, który zazwyczaj jest wykonany z materiału o niskiej gęstości. W rezultacie otrzymany jest element konstrukcyjny o doskonałej izolacyjności termicznej oraz wysokiej wytrzymałości, przy zachowaniu stosunkowo niskiej masy. W niniejszej rozprawie poddano rozważaniom stosowane powszechnie w budownictwie panele warstwowe o stalowych okładzinach i rdzeniu z pianki poliizocyanurowej (PIR).

W pracy szczegółowo opisano budowę, właściwości oraz zastosowanie paneli warstwowych. Wyraźnie wskazano przypadki pojawiającego się obciążenia skręcającego panele warstwowe. Przedstawiono również znane teorie opisujące zachowanie paneli warstwowych poddanych tego typu obciążeniu. Podstawowym celem niniejszej rozprawy doktorskiej jest doświadczalna i numeryczna analiza paneli warstwowych poddanych skręcaniu oraz weryfikacja poprawności istniejących teorii opartych na prostych modelach belkowych (jednowymiarowych) opisujących odpowiedź mechaniczną (pola przemieszczeń i rozkład naprężeń wewnętrznych) skręcanych paneli warstwowych. Problem skręcania jest wciąż aktualny ze względu na duże różnice pomiędzy wynikami badań prezentowanymi w literaturze.

W rozprawie przedstawiono wyprowadzenia równań opisujących zachowanie skręcanych swobodnie i skrępowanie paneli warstwowych oraz wyznaczono wartości ich sztywności skrętej GI_T i sztywności giętno-skrętej EL_0 . W celu weryfikacji poprawności teorii opartych na modelach belkowych opisujących odpowiedź mechaniczną skręcanych paneli warstwowych, wykonano badania laboratoryjne skręcania swobodnego oraz skrępowanego elementów. Skonstruowano autorskie

stanowisko badawcze do skręcania paneli warstwowych, za pomocą którego wyznaczono sztywność skrętną paneli warstwowych. W próbie skręcania mierzono względne przyrosty kąta obrotu na długości badanego elementu w odniesieniu do względnego przyrostu siły generującej obrót. W przeprowadzonych próbach skręcania skrzepowanego do blokady deplanacji podporowego przekroju poprzecznego zastosowano łączniki mechaniczne. W badaniach sprawdzano poziom blokady deplanacji stosując tego typu zamocowanie.

Wykonane badania materiałowe posłużyły do zbudowania odpowiednich modeli materiałowych opisujących zachowanie okładzin i rdzenia. Otrzymane z badań parametry materiałowe zostały wykorzystane do odzwierciedlenia pracy skręcanych paneli warstwowych za pomocą trójwymiarowych, bryłowo-powłokowych modeli numerycznych. Modele numeryczne skręcania swobodnego paneli warstwowych, pozwoliły wskazać teorię najlepiej opisującą to zjawisko. Modele numeryczne skręcania skrzepowanego z zastosowaniem laboratoryjnych warunków podparcia wykazały niepełne ograniczenie możliwości spaczenia przekroju podporowego. W celu weryfikacji zachowania paneli warstwowych z pełną blokadą deplanacji przekroju poprzecznego wykonano analizy numeryczne, wprowadzając powierzchniowe warunki brzegowe w pełni ograniczające możliwość spaczenia przekroju podporowego. W przypadku tych modeli, w bliskim sąsiedztwie skrzepowanego przekroju podporowego, zaobserwowano wyraźny wzrost wartości naprężeń normalnych i stycznych w okładzinach oraz spadek wartości naprężeń stycznych w rdzeniu skrzepanego panelu warstwowego.

Wyniki przeprowadzonych analiz pozwalają na wiarygodną ocenę stanu elementu warstwowego poddanego skręcaniu. Wiedza ta może być przydatna podczas projektowania lub diagnostyki paneli warstwowych.

15.06.2022

Szymon Hojciechowski

EXPERIMENTAL, NUMERICAL AND THEORETICAL ANALYSIS OF STATICALLY TWISTED SANDWICH PANELS WITH RIGID FACINGS AND DEFORMABLE CORE

Abstract

Sandwich panels can be classified as a broadly defined group of composite products. Two, relatively thin, outer facings, which are made of a high-strength material, are connected to each other by a relatively thick core, that is usually made of a low-density material. As a result, a structural element with excellent thermal insulation and high strength is obtained, while maintaining a relatively low weight. This dissertation discusses sandwich panels, commonly used in civil engineering, with steel facings and a polyisocyanurate (PIR) foam core.

The work describes in detail the structure, properties and application of sandwich panels. The cases of an occurring torsional load in sandwich structures are clearly indicated. Known theories describing the behavior of sandwich panels subjected to this type of load are also presented. The main goal of this dissertation is the experimental and numerical analysis of sandwich panels subjected to torsion and the validation of the existing theories based on simple beam models (one-dimensional) describing the mechanical response (displacement fields and internal stress distribution) of the twisted sandwich panels. The problem of torsion is still topical due to the significant discrepancies while comparing the various research results presented in the literature.

The dissertation presents the derivation of equations describing the behavior of sandwich panels subjected to free torsion and warping torsion. The values of their torsional stiffness GI_T and bending-torsional stiffness EL_ω were determined. In order to verify the accuracy of the theories based on beam models characterizing the mechanical response of the twisted sandwich panels, laboratory tests of free torsion and warping torsion of elements were performed. An original test stand for the torsion of sandwich panels was constructed which allowed the determination of the torsional stiffness of sandwich panels. In the torsion test, the relative increase of the angle of rotation along the length of the element was measured in relation to the relative increase of the force generating rotation. In the performed tests of warping torsion, mechanical connectors

were used to block the deplanation of the support cross-section. The tests verified the level of deplanation blockade while applying this type of support elements.

The performed material tests were used to build appropriate material models describing the behavior of the facings and the core. The material parameters obtained from the tests were employed to reflect the work of the twisted sandwich panels while using three-dimensional, solid-shell numerical models. The numerical models of free torsion of sandwich panels allowed to indicate the theory that best describes this phenomenon. The numerical models of warping torsion, with the laboratory support conditions, showed that there is a limited possibility of the support cross-section warping. In order to verify the behavior of sandwich panels with full cross-section deplanation blockade, numerical analyzes were performed, introducing surface boundary conditions, fully limiting the possibility of warping of the support cross-section. In the case of these models, in close proximity to the restrained support cross-section, a significant increase in the values of normal and shear stresses in the facings and a decrease in the value of shear stresses in the core of the twisted sandwich panel were observed.

The results of the analyzes carried out allow for a reliable assessment of the condition of the sandwich element subjected to torsion. This knowledge could be useful when designing or diagnosing the sandwich panels.

15.06.2022

Szymon Hojciechowski