

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego Wydział Mechatroniki, Uzbrojenia i Lotnictwa, Instytut Techniki Lotniczej

Streszczenie rozprawy doktorskiej

BADANIA WŁASNOŚCI TERMOFIZYCZNYCH STALI LUFOWYCH ORAZ SYMULACJE NUMERYCZNE WYMIANY CIEPŁA W LUFIE ARMATY WYKONANEJ Z TYCH STALI

Autor: mgr inż. Mateusz Zieliński

Promotor: prof. dr hab. inż. Piotr Koniorczyk

Dysertację poświęcono badaniom własności termofizycznych, tzn. dyfuzyjności cieplnej, przewodności cieplnej, rozszerzalności cieplnej oraz ciepła właściwego wybranych stali lufowych oraz analizie wymiany ciepła w lufie armaty o długości 3150 mm i kalibrze 35 mm. W typowych stalach lufowych, np. 30HN2MFA występuje przemiana strukturalna w temp. około 730°C, w której zachodzi skurcz materiału. Sposobem na podwyższenie trwałości luf jest zmiana rodzaju stali na taki, w którym ta przemiana nie zachodzi lub ma miejsce, ale w wyższych temperaturach. W ramach pracy wykonano badania eksperymentalne wszystkich własności termofizycznych wybranych stali lufowych, tzn. 38HMJ, 30HN2MFA, DUPLEX, WCL oraz MARAGING 350 zarówno w zakresie niskich, jak i wysokich temperatur. W ten sposób utworzono bazę danych własności termofizycznych tych stali jako dane wejściowe do wykonania obliczeń wymiany ciepła w lufach. Dla wszystkich badanych próbek wybranych stali lufowych zaproponowano wzory korelacyjne dla ciepła właściwego. Ważną częścią niniejszej dysertacji były symulacje numeryczne wymiany ciepła w lufie armaty podzielonej na 30 stref podczas serii strzałów, które ujawniły rozkład temperatury wzdłuż długości lufy oraz wzdłuż promienia ścianki lufy w różnych jej przekrojach. W ramach pracy wykonano również symulacje numeryczne wymiany ciepła w lufie armaty dla przypadku lufy bez warstwy chromu, jak i dla lufy, której wewnętrzna powierzchnia została pokryta warstwą chromu. Obliczenia wykonano dla warstwy chromu o różnej grubości. Wpływ grubości warstwy chromu na maksymalną temperaturę pików oraz minimalną temperaturę podstawy pików był szczególnie widoczny podczas pierwszych strzałów. Dla powierzchni wewnętrznej lufy bez warstwy chromu i z warstwą chromu o grubości 200 μm różnice pomiędzy maksymalną temperaturą pików były największe. Różnice tych temperatur zmniejszały się z każdym kolejnym strzałem. Odwrotna sytuacja dotyczyła minimalnej temperatury podstawy pików. Z każdym kolejnym strzałem, dla wewnętrznej powierzchni lufy bez warstwy chromu i z warstwą chromu o grubości 200 μm różnice temperatury były coraz większe. Symulacje numeryczne wymiany ciepła w lufie armaty dokonano rozwiązując problem początkowo-brzegowy niestacjonarnej wymiany ciepła w lufie armaty, w układzie osiowo-symetrycznym z uwzględnieniem zależnych od temperatury parametrów termofizycznych, tj. przewodności cieplnej, ciepła właściwego i rozszerzalności cieplnej (w zakresie RT do 1000°C) wybranej stali, tzn. stali 30HN2MFA oraz chromu. Rozpatrzono zarówno model wymiany ciepła jednowarstwowy (dla lufy wykonanej ze stali 30HN2MFA), jak i dwuwarstwowy, który uwzględnia warstwę chromu na wewnętrznej powierzchni lufy. Podział lufy na 30 stref pozwolił wyznaczyć z dużą precyzją rozkład temperatury wzdłuż długości lufy. Rozkłady minimalnej temperatury podstawy pików wzdłuż długości lufy przy różnych grubościach warstwy chromu po 10, 30 i 60 strzałach pokazały, że wraz z liczbą strzałów maksymalna temperatura wewnętrznej powierzchni lufy przesuwa się w kierunku środka lufy.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF BARREL STEELS AND
NUMERICAL SIMULATIONS OF HEAT TRANSFER IN THE BARREL OF CANNON MADE
OF THESE STEEL

Thesis author: mgr inż. Mateusz Zieliński

Thesis supervisor: prof. dr hab. inż. Piotr Koniorczyk

The dissertation was devoted to the study of thermophysical properties, i.e. thermal diffusivity, thermal conductivity, thermal expansion and specific heat of selected barrel steels, as well as the analysis of heat transfer in a 3150 mm long and 35 mm diameter cannon barrel. In typical barrel steels, e.g. 30HN2MFA, a phase transformation occurs at a temperature of about 730°C, at which material shrinkage occurs. The way to increase the durability of the barrels is to change the type of steel to one in which this phase transformation does not occur or takes place, but at higher temperatures. As part of the work, experimental studies were carried out on all thermophysical properties of selected barrel steels, i.e. 38HMJ, 30HN2MFA, DUPLEX, WCL and MARAGING 350, both in the range of low and high temperatures. In this way, a database of thermophysical properties of these steels was created as input data for heat transfer calculations in barrels. Correlation formulas for specific heat were proposed for all tested samples of selected barrel steels. An important part of the work was numerical simulations of heat transfer in the barrel of a 35 mm cannon divided into 30 zones during a series of shots, which revealed the temperature distribution along the length of the barrel and along the radius of its wall in various cross-sections. An important part of this dissertation were numerical simulations of heat transfer in the cannon barrel divided into 30 zones during a series of shots, which revealed the temperature distribution along the length of the barrel and along the radius of the barrel wall in various cross-sections. As part of the work, numerical simulations of heat transfer in the cannon barrel were also carried out for the case of a barrel without a chromium layer and a barrel whose inner surface was covered with a layer of chromium. Calculations were made for a layer of chromium of different thickness. The effect of the thickness of the chromium layer on the maximum peak temperature and minimum peak base temperature was particularly visible during the first shots. For the inner surface of the barrel without a chromium layer and with a 200 µm chromium layer, the differences between the maximum peak temperatures were the highest. With each successive shot, the differences in these temperatures decreased. The opposite situation concerned the minimum temperature of the base of the peaks. With each successive shot, for the inner surface of the barrel without the chromium layer and with the 200 µm chromium layer, the temperature differences were increasing. Numerical simulations of heat transfer in the cannon barrel were performed by solving the initial-boundary problem of non-stationary heat transfer in the gun barrel, in an axisymmetric system, taking into account temperature-dependent thermophysical parameters, i.e. thermal conductivity, specific heat and thermal expansion (in the range of RT up to 1000°C) of selected steel, i.e. 30HN2MFA steel and chromium. Both the single-layer heat transfer model (for a barrel made of 30HN2MFA steel) and the two-layer model, which takes into account the chromium layer on the inner surface of the barrel, were considered. The division of the barrel into 30 zones made it possible to precisely determine the temperature distribution along the entire length of the barrel. The distributions of the minimum temperature of the base of the peaks along the length of the barrel at different thicknesses of the chromium layer after 10, 30 and 60 shots showed that with the number of shots, the maximum temperature of the inner surface of the barrel moves towards the center of the barrel.