

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Aktywne układy materiałów z elementami z dwukierunkowym efektem pamięci kształtu przeznaczone na odzież ciepłochronną”

Odzież ciepłochronna, charakteryzująca się stałą izolacyjnością cieplną, nie zapewnia odpowiedniego poziomu ochrony osobom zatrudnionym w warunkach zmiennej temperatury otoczenia lub wykonującym pracę o zróżnicowanym poziomie aktywności fizycznej w środowisku zimnym. W związku z powyższym, podjęto się przeprowadzenia prac badawczych ukierunkowanych na wykorzystanie materiałów inteligentnych (stopów z pamięcią kształtu - SMA) do aktywnej regulacji właściwości termoizolacyjnych układów materiałów przeznaczonych na odzież ciepłochronną w celu ograniczenia dyskomfortu cieplnego osób wykonujących pracę w zmiennych warunkach temperaturowych w środowisku zimnym.

Przeprowadzona analiza stanu wiedzy wykazała, iż dotychczasowe próby rozwiązania tego zagadnienia dotyczyły bardziej łagodnych warunków, tj. środowiska chłodnego. Nieznane są natomiast doniesienia literaturowe, w których elementy aktywne z SMA wykorzystano do regulacji grubości wysokosprężystej warstwy termoizolacyjnej celem ograniczenia konwekcyjnych strat ciepła i zwiększenia oporu cieplnego aktywnego układu materiałów. Analiza literatury wykazała także, iż nie została dotychczas poruszona problematyka wpływu liczby i sposobu rozmieszczenia elementów aktywnych z SMA w konstrukcji układu materiałów w kontekście kształtowania jego właściwości termoizolacyjnych.

W związku z powyższym, celem rozprawy doktorskiej była weryfikacja słuszności następującej tezy: **„Aktywne układy materiałów przeznaczone na odzież ciepłochronną dzięki zastosowaniu odpowiednio przygotowanych i rozmieszczonych elementów z efektem dwukierunkowej pamięci kształtu w wysokosprężystej warstwie puchu charakteryzują się samoistną regulacją swoich właściwości termoizolacyjnych w założonych warunkach temperaturowych w środowisku zimnym.”**

Przeprowadzone w celu udowodnienia powyższej tezy prace badawcze uwzględniały kształtowanie właściwości termoizolacyjnych układów materiałów z wysokosprężystą warstwą puchu, numeryczne modelowanie rozkładu pola temperatury w obszarze aktywnego układu materiałów, kształtowanie właściwości fizycznych elementów aktywnych z SMA, opracowanie i walidację programu przygotowania elementów aktywnych z SMA charakteryzujących się dwukierunkowym efektem pamięci kształtu oraz opracowanie aktywnych układów materiałów i przeprowadzenie badań dynamicznych zmian ich właściwości.

Stwierdzono, iż wraz ze wzrostem masy objętościowej puchu zastosowanego w układzie materiałów maleje jego przewodność cieplna. Na podstawie otrzymanych wyników badań dokonano wyboru ilości puchu do zastosowania w aktywnym układzie materiałów. Jak wykazano, wybrany układ materiałów z puchem charakteryzował się wyższym poziomem oporu cieplnego oraz szerszym zakresem jego zmian niż układ materiałów z pustą komorą powietrzną bez puchu.

W wyniku numerycznego modelowania rozkładu pola temperatury w obszarze aktywnego układu materiałów z wykorzystaniem metody elementów skończonych oszacowano wartości temperatury, w których powinno dojść do zmiany kształtu elementów

aktywnych z SMA przeznaczonych do zastosowania w układzie materiałów z puchem, odpowiednio: 3 °C – w przypadku fazy niskotemperaturowej oraz 6 °C – w przypadku fazy wysokotemperaturowej.

Analiza wpływu procesów formowania (średnicy drutu, średnicy sprężyny, prześwitu pomiędzy zwojami sprężyny), wygrzewania (temperatury wygrzewania) i obróbki termomechanicznej (sposobu prowadzenia obróbki) elementów aktywnych z SMA na ich wybrane właściwości cieplne i mechaniczne pozwoliła na opracowanie programu przygotowania elementów aktywnych z SMA przeznaczonych do zastosowania w opracowanym układzie materiałów z puchem. Program ten umożliwił wykonanie elementów aktywnych z SMA, charakteryzujących się trwałym i powtarzalnym dwukierunkowym efektem pamięci kształtu z samoistnym odkształceniem na poziomie ok. 60 % na skutek założonej zmiany temperatury.

W wyniku przeprowadzonych badań opracowano 3 warianty aktywnych układów materiałów z puchem: AUP6, AUP12 i AUP18, odpowiednio z 6, 12 i 18 elementami aktywnymi z SMA rozmieszczonymi na powierzchni 30 cm x 35 cm. W celu oceny dynamicznych zmian właściwości termoizolacyjnych i maksymalnej grubości aktywnych układów materiałów przeprowadzono modyfikację stanowiska pn. „model skóry”. Modyfikacja ta umożliwiła prowadzenie badań układów materiałów charakteryzujących się zmienną grubością w środowisku zimnym o temperaturze (-20) °C z ciągłą rejestracją danych pomiarowych. Opracowano metodykę badań, pozwalającą na odwzorowanie warunków rzeczywistego użytkowania aktywnych układów materiałów w odzieży ciepłochronnej przeznaczonej do pracy w mroźni. Metodyka ta uwzględniała pomiar zmian właściwości termoizolacyjnych i maksymalnej grubości oraz temperatury nad i pod aktywnym układem materiałów w warunkach zmiennej temperatury otoczenia (tj. przy zmianie temperatury z +20 °C do -20 °C) oraz zmiennej temperatury płyty pomiarowej imitującej skórę człowieka (tj. przy stopniowej zmianie temperatury z 31 °C do 29 °C). Badania laboratoryjne w komorze klimatycznej na zmodyfikowanym stanowisku „model skóry” prowadzono na zestawach materiałów odwzorowujących poszczególne warstwy ubioru stosowanego podczas pracy w mroźni począwszy od bielizny po wierzchnią odzież ochronną, na którą przeznaczone są opracowane aktywne układy materiałów. W badaniach dodatkowo uwzględniono dwa warianty referencyjne: AUBP18 – z 18 elementami aktywnymi z SMA bez puchu oraz BUP – bez elementów aktywnych z puchem. Przeprowadzone badania wykazały, iż w przypadku aktywnych układów materiałów z większą liczbą elementów z SMA (tj. AUP12 i AUP18) zaobserwowano przyrost oporu cieplnego towarzyszący określonej zmianie warunków temperaturowych na niższym poziomie niż w przypadku wariantu AUP6 z 6 elementami aktywnymi z SMA. Wszystkie opracowane aktywne układy materiałów charakteryzują się zdolnością do samoistnej zmiany swoich właściwości termoizolacyjnych, przy czym aktywny układ materiałów AUP6 charakteryzuje się największym zakresem możliwych do osiągnięcia zmian. Wariant ten zapewnia większy o ok. 0,184 m<sup>2</sup>×K/W przyrost oporu cieplnego w założonych warunkach temperaturowych w środowisku zimnym w porównaniu do układu materiałów z puchem bez elementów aktywnych z SMA.

Otrzymane wyniki badań pozwoliły na potwierdzenie słuszności przyjętej w rozprawie tezy, gdyż opracowane aktywne układy materiałów z elementami z dwukierunkowym efektem pamięci kształtu przeznaczone na odzież ciepłochronną charakteryzują się samoistną regulacją swoich właściwości termoizolacyjnych w założonych warunkach temperaturowych w środowisku zimnym.