

**G. Bartkowiak, A. Dąbrowska**

### **Aktywna odzież chroniąca przed czynnikami gorącymi z elementami z pamięcią kształtu**

Na wielu stanowiskach pracy w przemyśle przede wszystkim w branżach takich, jak: hutnictwo metali i szkła, odlewnictwo, przemysł metalurgiczny, koksowniczy, ale także w zakładach piekarniczych i cukierniczych, kuchniach restauracyjnych itp. występuje ekspozycja pracowników na tzw. czynniki gorące, które mogą występować w różnych postaciach. Podstawowe czynniki zaliczane do gorących to: płomień, ciepło konwekcyjne, promieniowanie cieplne (podczerwone), małe rozpryski i duże ilości stopionego metalu, odpryski gorących metali, ciepło kontaktowe (kontakt z gorącymi przedmiotami i powierzchniami o wysokiej temperaturze). Narażenie na działanie czynników gorących dotyczy również określonych zawodów, które występują w różnych gałęziach gospodarki np. pracowników wykonujących prace spawalnicze.

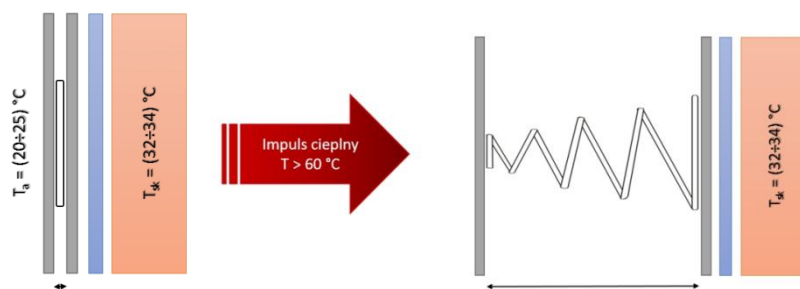
Ryzyko powstawania urazów i obrażeń ciała, wynika z różnorodności czynników gorących oraz ich zróżnicowanego natężenia i stopnia oddziaływania na stanowiskach pracy, m.in. w hutach i zakładach metalurgicznych. Pomimo wprowadzania rozwiązań organizacyjnych i technicznych zmierzających do ograniczania narażenia pracowników na działanie czynników gorących, często istnieje konieczność stosowania środków ochrony indywidualnej w celu zapobiegania poparzeniom oraz innym obrażeniom ciała. Szczęólnego znaczenia nabiera wówczas kwestia **doboru odzieży ochronnej o właściwym poziomie ochrony**.

Stosowana obecnie przez pracowników odzież ochronna charakteryzuje się jednakowymi właściwościami ochronnymi na całej powierzchni, które są dostosowane do maksymalnego poziomu działania czynników gorących (promieniowania, ciepła konwekcyjnego, rozprysków stopionych metali). Jednakże **praca w warunkach zagrożenia na te czynniki zazwyczaj wiąże się z okresową ekspozycją na ich oddziaływanie w postaci impulsów cieplnych np. podczas prac kontrolnych. Czynniki gorące nie działają też na pracownika jednakowo na całe ciało, lecz tylko na jego określone części** (np. przedramiona, przód tułowia). Na takich stanowiskach pracy może znaleźć zastosowanie odzież inteligentna z materiałami z pamięcią kształtu, dostosowująca swoje właściwości ochronne do poziomu zagrożenia czynnikami gorącymi (Bartkowiak, et al., 2010).

Funkcjonalizacja odzieży ochronnej poprzez aplikację materiałów inteligentnych, łączących w jednej strukturze funkcje sensoryczne i wykonawcze, to najnowszy kierunek badań podejmowanych przez naukowców z wiodących europejskich jednostek badawczych

z zakresu inżynierii materiałowej (Dąbrowska, et al., 2014). W tym zakresie, szczególne zainteresowanie w ostatnich latach budzą właśnie materiały z pamięcią kształtu (z ang. Shape Memory Materials - SMM). Materiały te są zdolne do zmiany kształtu, rozmiaru lub wewnętrznej struktury pod wpływem określonego bodźca, np. zmiany temperatury, wilgotności względnej, pH, wpływu pola elektrycznego, magnetycznego, promieniowania, czy też działania substancji chemicznej (Cho, 2010). Wśród nich materiałami o najszerszym obecnie potencjale badawczym i komercyjnym znajdują się stopy z pamięcią kształtu (z ang. Shape Memory Alloys – SMA), które znalazły zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu (Sun i inni, 2012), w tym również – w tekstyliach i odzieży.

W związku z powyższym, w ramach projektu realizowanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym podjęto się **opracowania aktywnej odzieży z elementami z SMA przeznaczonej do ochrony przed czynnikami gorącymi** (płomieniem, promieniowaniem cieplnym, rozpryskami stopionych metali). Cechą charakterystyczną opracowanej aktywnej odzieży ochronnej jest to, że bezpośrednio w wyniku działania czynnika gorącego, **odzież ta reaguje odwracalnym wzrostem swojej grubości i w konsekwencji – adekwatnym zwiększeniem odporności na przenikanie ciepła**. Efekt ten osiągnięty jest dzięki odpowiedniemu zastosowaniu w odzieży opracowanych elementów aktywnych z SMA w postaci stożkowych sprężyn, samoistnie zwiększających swoją wysokość podczas ekspozycji na bodziec cieplny oraz zmniejszających swoją wysokość w warunkach jego ustania. Schemat materiału przeznaczonego na aktywną odzież chroniącą przed czynnikami gorącymi przedstawiono na rys. 1



**Rys. 1.** Schemat przedstawiający efekt działania materiału aktywnego po zadziałaniu impulsu cieplnego

Oznacza to, iż w przypadku gdy na człowieka nie oddziałują czynniki gorące, elementy aktywne z SMA zastosowane w odzieży charakteryzują się minimalną wysokością. Dzięki temu **odzież ta jest ergonomiczna w warunkach, gdy pracownik przebywa poza strefą wysokiego zagrożenia czynnikami gorącymi**. Natomiast po zadziałaniu czynnika gorącego (np. płomienia, promieniowania cieplnego lub rozprysku stopionego metalu),

elementy aktywne z SMA ulegają samoistnemu rozprężeniu, tworząc dystans pomiędzy tkaninami w postaci warstwy powietrza i w konsekwencji - wzrost odporności na przenikanie ciepła układu materiałów. Aktywacja zmiany kształtu odbywa się w momencie, gdy zewnętrzna powierzchnia materiału aktywnego osiąga temperaturę na poziomie  $>60^{\circ}\text{C}$ , co **zabezpiecza ciało człowieka przed przekroczeniem temperatury skóry odpowiadającej progowi bólu**, wynoszącej  $44^{\circ}\text{C}$  (Makinen, 1991). Widok opracowanej aktywnej odzieży chroniącej przed czynnikami gorącymi z panelami zwiększającymi swoją grubość, a więc i poziom właściwości ochronnych po zadziałaniu impulsu cieplnego przedstawiono na rys. 2.



**Rys. 2.** Widok aktywnej odzieży chroniącej przed czynnikami gorącymi wraz z powiększeniem widoku paneli w stanie nieaktywnym i aktywnym

Opracowana aktywna odzież chroniąca przed czynnikami gorącymi zawierająca materiały z pamięcią kształtu powinna zastąpić dotychczas stosowaną odzież, wykonaną z układów materiałów o dużej grubości i wysokiej odporności na przenikanie ciepła, która dając przez cały czas użytkowania bardzo wysoki poziom ochrony, powoduje dodatkowe obciążenie cieplne dla jej użytkownika. Aktywna odzież ochronna wykonana jest z lżejszych materiałów niż dotychczas stosowana odzież, a stopy z pamięcią kształtu umieszczone są jedynie w wybranych miejscach odzieży, dostosowanych do przewidywanych warunków jej użytkowania w środowisku pracy. W pozostałych miejscach odzież również zapewnia ochronę przed czynnikami gorącymi, ale na poziomie niższym niż w przypadku paneli z rozprężonymi w wyniku zadziałania impulsu cieplnego elementami aktywnymi z SMA. Dzięki temu, odzież ta jest bardziej ergonomiczna niż odzież dotychczas stosowana, a przy tym zapewnia odpowiedni poziom ochrony zarówno w warunkach średniego, jak i wysokiego poziomu zagrożenia czynnikami gorącymi. Właściwości ochronne w zakresie

promieniowania cieplnego i rozprysków stopionego metalu wzrastają dwukrotnie dzięki zastosowaniu aktywnych materiałów z elementami z SMA (tabela 1).

**Tabela.1.** Właściwości materiałów tradycyjnych i materiałów aktywnych z elementami z SMA (PN-EN ISO 11612: 2015-11)

Właściwości ochronne	Materiał z tkaniny aluminizowanej		Materiał z tkaniny bawełnianej z impregnacją trudnopalną	
	nieaktywny	aktywny z SMA	nieaktywny	aktywny z SMA
Odporność na promieniowanie cieplne RHTI 24 [s]	102	224	15	35
Odporność na rozpryski roztopionego żelaza wskaźnik rozprysku żelaza [g]	>220	>400	160	220

Przykładowe stanowisko pracy, na którym może być stosowana aktywna odzież chroniąca przed czynnikami gorącymi z elementami z pamięcią kształtu przedstawiono na rys. 3.



**Rys. 3.** Stanowisko w kuźni przemysłowej matrycowej<sup>1</sup>

*Opracowano na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy*

<sup>1</sup> Źródło: [www.google.pl/search?q=kuźnie+matrycowe&client](http://www.google.pl/search?q=kuźnie+matrycowe&client)