

Doktorant:

**mgr inż. Andrzej Penkul**

Zakład Mechaniki i Technik Uzbrojenia, IMiP, WIP PW

**Opiekun naukowy:**

prof. dr hab. inż. Mieczysław Kaczorowski

**Opiekun pomocniczy:**

dr inż. Paweł Skoczylas

## **Tytuł rozprawy**

### ***Rola renu w kształtowaniu struktury i właściwości użytkowych wolframowych stopów ciężkich o przeznaczeniu specjalnym***

#### **Streszczenie**

Rozprawa doktorska dotyczy wolframowych stopów ciężkich przeznaczonych na rdzenie pocisków podkalibrowych. Pociski podkalibrowe są stosowane od połowy ubiegłego wieku, a ich działanie polega na wykorzystaniu ogromnej energii kinetycznej i dlatego są często nazywane penetratorami kinetycznymi - KEP (ang. Kinetic Energy Penetrators). Stąd też jednym z głównych wymagań, obok prędkości, jest stosowanie na rdzenie materiału o możliwie dużej gęstości. Jeszcze do niedawna powszechnie stosowane były rdzenie ze zubożonego uranu - DU (ang. Depleted Uranium) jednak ze względu na ich radioaktywność są one zastępowane przez wolframowe stopy ciężkie - WSC. Bardzo wysoka temperatura topnienia wolframu wynosząca 3420°C powoduje, iż są one wytwarzane metodą metalurgii proszków. W tym wypadku otrzymuje się materiał, w którym ziarna czystego wolframu o geometrii sferoidalnej i wielkości 30-40µm są rozmieszczone równomiernie w osnowie będącej najczęściej roztworem stałym wolframu i innych pierwiastków w niklu. Ze względu na tę specyficzną mikrostrukturę WSC są nazywane często kompozytami wolframowymi. Kolejną przewagą pocisków podkalibrowych z rdzeniem z DU jest ich większa skuteczność objawiająca się większą głębokością penetracji płyty przy tej samej prędkości uderzenia niż rdzeni z WSC. Wynika ona ze zjawiska samoostrzenia rdzenia podczas penetracji, które dokonuje się dzięki odkształcaniu za pośrednictwem tzw. adiabatycznych pasm ścinania - ASB (ang. Adiabatic Shear Bands). Stąd też od wielu lat są prowadzone intensywne badania nad sposobami zwiększenia częstości tworzenia takich pasm ścinania w WSC. W literaturze można spotkać wiele prac, w których są przedstawiane różne sposoby ułatwienia inicjacji ASB. Są wśród nich takie, jak: zmiana składu chemicznego osnowy, wytwarzanie rdzeni czysto wolframowych w postaci monokryształów o określonej orientacji krystalograficznej, rozdrobnienie ziaren wolframu w stopach ciężkich aż po stopy o strukturze UFG (ang. Ultra Fine Grain), a nawet amorficzne. Ze względu na ograniczenia technologiczne jak również ekonomiczne, najbardziej perspektywiczną jest metoda polegająca na rozdrobieniu ziaren wolframu. W literaturze można znaleźć informacje, iż pierwiastkiem sprzyjającym rozdrobieniu ziaren wolframu jest ren (Re). Ren ma gęstość nawet nieco większą niż wolfram i rozpuszcza się w wolframie tworząc roztwór stały. Jest to bardzo korzystne, ponieważ pierwiastek ten może być wprowadzany kosztem zmniejszenia zawartości wolframu nie zmniejszając gęstości stopu. Dzięki temu nie maleje udział osnowy, co jest korzystne ze względu na zachowanie wartości, tzw. parametru spójności - CTG (ang. Contiguity).

Analiza geometrii (przebiegu) pasm ścinania obserwowanych w WSC umożliwia postawienie tezy, która brzmi:

***Rozdrobnienie ziaren wolframu powinno ułatwiać przebieg odkształcania plastycznego WSC w wyniku "prostowania" ścieżek rozwoju procesu płynięcia materiału osnowy.***

Celem pracy jest przeprowadzenie badań, które umożliwią weryfikację postawionej tezy. W szczególności są przewidziane:

1. Wytypowanie do badań wolframowych stopów ciężkich o zmiennej zawartości renu.
2. Wytworzenie materiału do badań w identycznych warunkach.
3. Przeprowadzenie badań:
  - a. gęstości stopów
  - b. właściwości mechanicznych celem wyznaczenia wartości:  $R_m$ ,  $R_{p\ 0,2}$ ,  $A_5$ , HV i ewentualnie KC,
  - c. strukturalnych:
    - metalograficznych,
    - fraktograficznych,
    - składu chemicznego w mikroobszarach.
  - d. balistycznych.

Praca doktorska jest związane częściowo z badaniami prowadzonymi podczas realizacji projektu rozwojowego NCBiR nr DOB-BIO8/05/01/2016 zatytułowanego:

**Opracowanie i wykonanie demonstratorów technologii krytycznych elementów do nowej generacji amunicji czolgowej 120mm pk. „B I Z M U T”.**

Dotychczas przeprowadzono badania właściwości mechanicznych oraz mikrostruktury 3 wolframowych stopów ciężkich o zawartości renu: 0,8, 1,55 oraz 2,4% wag. Re. Na podstawie obserwacji zglądów metalograficznych dokonano oceny pomiarów wielkości ziaren wolframu, a także zmierzono ich twardość jak również twardość osnowy. Ponadto, wykonano badania wstępne składu chemicznego stopów z dodatkiem renu.