

**BỘ GIÁO DỤC
VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



NGUYỄN MINH TUẤN

**NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO NÓN XUYÊN TRONG THIẾT BỊ
NỔ LỖM BẰNG ĐỒNG KIM LOẠI VÀ COMPOSITE W-Cu
CÓ CẤU TRÚC SIÊU MỊN**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KIM LOẠI HỌC

Mã số: 9.44.01.29

Hà Nội - 2024

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

1. Người hướng dẫn 1: PGS.TS. Đoàn Đình Phương
2. Người hướng dẫn 2: PGS.TS. Nguyễn Văn Tích

Phản biện 1:.....

Phản biện 2:.....

Phản biện 3:.....

L luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi giờ, ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Thiết bị nổ lõm (shaped charge) là cơ cấu nổ, tập trung năng lượng của khối thuốc nổ hình lõm, làm biến dạng phễu lót đặt áp vào mặt lõm của khối thuốc nổ, tạo thành dòng kim loại ở trạng thái rắn, di chuyển với vận tốc cực cao, xuyên thủng các loại giáp thép, bê tông, đá... Thiết bị nổ lõm được sử dụng trong nhiều lĩnh vực công nghiệp như trong ngành khai thác dầu khí, giao thông vận tải, khai khoáng hay trong lĩnh vực quốc phòng. Trong quân sự, nguyên lý nổ lõm với phễu lót kim loại được ứng dụng để chế tạo các loại đạn chống tăng thiết giáp khác nhau, cỡ từ 30 đến 150 mm như: đạn pháo, súng phóng lựu, các tên lửa chống tăng có điều khiển, các phần tử đạn chùm dùng cho bom không quân và đạn pháo phản lực bắn loạt. Hiệu ứng nổ lõm còn được sử dụng trong phần chiến đấu của các loại vũ khí cỡ lớn như: tên lửa hành trình chống tàu, ngư lôi, các loại mìn chống tàu ngầm ở độ sâu lớn, các loại mìn thả trên biển và trên sông.

Tại Việt Nam, Bộ Quốc phòng đã triển khai nhiều đề tài, nhiệm vụ nghiên cứu, chế thử, sản xuất các loại đạn chống tăng. Nhiều sản phẩm đã được đưa vào trang bị cho Quân đội như: Đạn B41M, PG-9, đạn xuyên lõm 40 mm... Tuy nhiên, trong quá trình chế tạo vẫn còn một số hạn chế, tồn tại như: độ xuyên thép không ổn định và không bằng so với sản phẩm cùng loại của nước ngoài. Qua phân tích xác định, nguyên nhân chủ yếu vẫn ở khâu chế tạo phễu lót. Vì vậy, nghiên cứu sinh lựa chọn là ***“Nghiên cứu chế tạo nón xuyên trong thiết bị nổ lõm bằng đồng kim loại và composite W-Cu có cấu trúc siêu mịn”*** với mục tiêu chế tạo được nón xuyên có khả năng xuyên lớn hơn, ứng dụng trong quốc phòng.

2. Mục tiêu của luận án

- Chế tạo và khảo sát được cấu trúc, tính chất của vật liệu đồng kim loại và composite W-Cu có cấu trúc siêu mịn.
- Chế tạo nón xuyên từ vật liệu đồng và composite W-Cu cấu trúc siêu mịn và thử nghiệm nổ lõm, đánh giá đặc tính xuyên của hai loại vật liệu trên.

3. Nội dung của luận án

- Nghiên cứu chế tạo nón xuyên bằng đồng kim loại theo 4 phương pháp gia công khác nhau: dập nguội, dập nguội và gia công miết, luyện kim bột thiêu kết bằng SPS, luyện kim bột thiêu kết bằng SPS sau đó gia công miết. Khảo sát tính chất đặc trưng, cấu trúc và đánh giá, so sánh khả năng xuyên của 4 loại nón xuyên chế tạo được thông qua thử nổ.

- Nghiên cứu chế tạo nón xuyên từ vật liệu composite đồng + vonfram bằng phương pháp luyện kim bột thiêu kết SPS, thiêu kết SPS sau đó gia công miết. Khảo sát tính chất đặc trưng, cấu trúc và đánh giá khả năng xuyên của 2 loại nón xuyên composite chế tạo được thông qua thử nổ.

Các kết quả chính và đóng góp mới của luận án đạt được

- Đã xây dựng được quy trình công nghệ và chế tạo thành công nón xuyên cho thiết bị nổ lõm bằng phương pháp luyện kim bột kết hợp thiêu kết xung plasma và miết cơ học bằng vật liệu đồng kim loại hoặc composite W-Cu có cấu trúc siêu mịn.

- Đã nghiên cứu mô phỏng và thử nghiệm nổ lõm trong đánh giá khả năng xuyên sâu của nón xuyên được chế tạo. Đã chỉ ra tỷ lệ khối lượng tối ưu cho vật liệu nón xuyên bằng composite W-Cu là 50%Cu và 50%W, chiều sâu xuyên tăng khoảng 10% so với nón xuyên bằng đồng kim loại (100% Cu).

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

- Trình bày lịch sử hình thành và cấu tạo cũng như nguyên lý của thiết bị nổ lõm.

- Một số yếu tố ảnh hưởng đến tính năng của thiết bị nổ lõm như: hình dạng nón xuyên, lượng thuốc nổ, cấu trúc thiết bị nổ lõm, tiêu cự nổ và dung sai gia công chi tiết trong quá trình lắp ghép được đưa ra.

- Tổng quan một số loại vật liệu làm nón xuyên. Cho đến nay, đã có rất nhiều vật liệu khác nhau đã được thử nghiệm ứng dụng làm nón xuyên. Đồng kim loại và các hợp kim của nó là một trong những loại vật liệu được dùng phổ biến nhất theo những nguyên tắc về khối lượng riêng và khả năng biến dạng dẻo. Bên cạnh sự ảnh hưởng của vật liệu thì các yếu tố khác như ảnh hưởng của kích thước hạt cấu trúc đến chiều sâu xuyên cũng được tổng quan chi tiết. Cấu trúc của vật liệu nón kim loại có ảnh hưởng quan trọng đến hiệu suất làm việc của lượng nổ lõm. Cùng khối vật liệu chế tạo nón, kích thước hạt càng nhỏ thì hiệu suất của lượng nổ lõm càng cao.

- Các phương pháp chế tạo nón kim loại gồm: gồm đập và cán đi từ vật liệu kim loại và hợp kim dạng khối. Tuy nhiên, phương pháp luyện kim bột cho thấy các ưu điểm đặc biệt khi chế tạo các nón composite kim loại có các thành phần là kim loại có nhiệt độ nóng chảy và khối lượng riêng khác nhau. Vì vậy hiện nay, một số phương pháp thiêu kết tiên tiến được áp dụng để nâng cao độ xít chặt của sản phẩm như thiêu kết bằng sóng vi ba, ép nóng hay thiêu kết dòng xung plasma (SPS).

- Các ứng dụng của thiết bị nổ lõm trong thực tế được tóm lược như trong các vũ khí, trang bị nhẹ của lục quân: trong kíp nổ, bom, mìn, lựu đạn và đặc biệt là trong các loại đạn pháo, tên lửa...

CHƯƠNG 2. CÁC PHƯƠNG PHÁP CHẾ TẠO VẬT LIỆU VÀ NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

2.1.1. Đồng tấm

Đồng tấm được sử dụng trong luận án là loại đồng đỏ mác C10100 (hình 2.1), với độ sạch 99,97 %, chiều dày 1,5 mm, được sử dụng để chế tạo nón xuyên bằng 2 phương pháp khác nhau là dập nguội và miết sau dập nguội.

2.1.2. Bột đồng

Bột đồng được chế tạo bằng phương pháp điện phân, có dạng nhánh cây và có độ sạch 99,5%, kích thước hạt khoảng 44-74 μm .

2.1.3. Bột vonfram (W)

Bột W có độ tinh khiết là 99,9%, hình dạng gần cầu, kích thước hạt trong khoảng 44-74 μm , được trộn với bột Cu tạo thành hỗn hợp bột Cu-W dùng để chế tạo nón xuyên composite có kích thước theo yêu cầu của sản phẩm.

2.1.4. Vật tư và hóa chất khác

- Khí: có 2 loại khí được sử dụng trong luận án: khí hydro (H_2) với độ sạch 99,99 % dùng để làm khí hoàn nguyên và khí argon (Ar) với độ sạch 99,99 % dùng làm khí bảo vệ.

- Các vật tư và hóa chất khác được sử dụng trong quá trình chế tạo mẫu và làm sạch mẫu bao gồm: Cồn, acetone, n-hexan, parafin...

2.2. Phương pháp chế tạo mẫu nghiên cứu

2.2.1. Mẫu vật liệu dạng khối

Mẫu được chế tạo theo phương pháp luyện kim bột, bao gồm cả mẫu 100% đồng kim loại và mẫu composite W-Cu. Mẫu được chế tạo theo các công đoạn kết tiếp nhau lần lượt là: nghiền trộn, ép tạo hình, thiêu kết sơ bộ, thiêu kết bằng xung điện plasma.

2.2.2. Mẫu nón xuyên

Nón xuyên bằng composite W-Cu được chế tạo hoàn toàn theo phương pháp luyện kim bột, sử dụng kỹ thuật thiêu kết bằng xung plasma. Nón xuyên bằng 100% đồng kim loại được chế tạo theo cả 2 phương pháp: đập nguội và luyện kim bột.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Nghiên cứu cấu trúc của vật liệu

2.3.1.1. Phương pháp hiển vi quang học (OM) và hiển vi điện tử quét (SEM)

Mẫu được lấy từ vị trí giữa của nón xuyên, sau đó mẫu được mài, tẩm thực bằng dung dịch FeCl_3 (5g) + HCl (10mL) + H₂O (100mL). Cấu trúc của vật liệu được nghiên cứu trên các thiết bị hiển vi quang học (Axiovert 40 MAT, Đức), hiển vi điện tử quét SEM (Hitachi S4800, Nhật Bản) và hiển vi điện tử truyền qua HR-TEM (JEOL JEM 2100, Nhật Bản), tất cả tại Viện Khoa học vật liệu.

2.3.1.2. Phương pháp chụp ảnh TEM

Mẫu được cắt từ nón xuyên với đường kính ϕ 3 mm và chiều dày 0,5 mm bằng thiết bị cắt dây tia lửa điện. Mẫu sau khi mài mỏng được kiểm tra sơ bộ trên kính quang học. Sau đó, mẫu tiếp tục được ăn mòn điện hóa trong dung dịch H₃PO₄ (Electrolite D2) trên thiết bị TenuPol-5 (Struers, USA) để đảm bảo chùm điện tử có thể xuyên qua được mẫu.

2.3.2. Phương pháp xác định cơ lý tính của vật liệu

2.3.2.1. Phương pháp xác định khối lượng riêng

Khối lượng riêng của mẫu nón xuyên được đo bằng phương pháp Archimedes trên thiết bị AND GR-202 của Nhật Bản đặt tại Viện Khoa học vật liệu.

2.3.2.2. Phương pháp đo độ cứng tế vi

Độ cứng tế vi của mẫu nón xuyên được đo trên máy đo độ cứng tế vi (IndentaMet 1106, Buehler USA) tại Viện Khoa học vật liệu.

2.3.3. Phương pháp xác định khả năng đâm xuyên của vật liệu

2.3.3.1. Phương pháp mô phỏng sử dụng phần mềm ANSYS AUTODYN.

- Giới thiệu phần mềm ANSYS AUTODYN

- Các bước thực hành mô phỏng

Bước 1: Tạo file lưu dữ liệu và chọn kiểu bài toán mô phỏng.

Bước 2: Xây dựng mô hình vật liệu và các thông số của vật liệu.

Bước 3: Chọn điều kiện biên

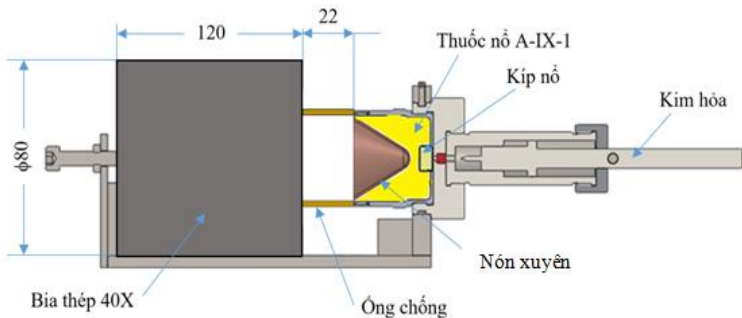
Bước 4: Xây dựng mô hình hình học (chọn kiểu phần tử, kiểu lưới, xây dựng mô hình hình học...) Công việc này được tiến hành trực tiếp trong môi trường làm việc của Ansys AutoDYN -2D

Bước 5: Đặt điều kiện đầu, điều kiện tương tác.

Bước 6: Tiến hành giải, lấy kết quả và phân tích.

2.3.3.2. Phương pháp thử nghiệm nổ lõm

Thiết bị nổ lõm gồm thân làm bằng thép, phía trong có gắn nón xuyên và 38±1 gam thuốc nổ A-IX-1 như chỉ ra trên hình 2.16.

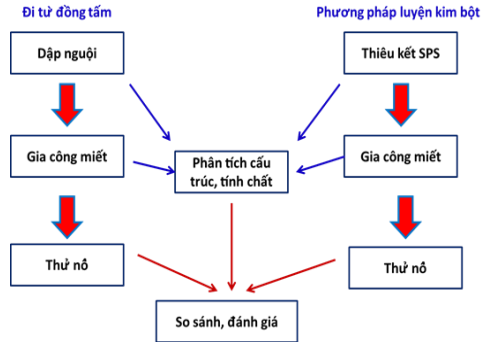


Hình 2.16. Sơ đồ hệ thống thử nghiệm nổ lõm.

CHƯƠNG 3. CHẾ TẠO, TÍNH CHẤT VÀ ĐẶC TÍNH XUYÊN NỖ LỖM CỦA ĐỒNG KIM LOẠI CẤU TRÚC SIÊU MỊN

3.1. Chế tạo nón xuyên kim loại có cấu trúc siêu mịn

Để chế tạo nón xuyên kim loại, luận án sử dụng hai phương pháp sau đây: (i) Chế tạo nón xuyên kim loại từ đồng tấm bằng phương pháp dập nguội; (ii) Chế tạo nón xuyên kim loại từ bột đồng bằng phương pháp thiêu kết dòng xung plasma. Sơ đồ khối các công đoạn chế tạo nón xuyên theo cả hai phương pháp được trình bày tại hình 3.1.



Hình 3.1. Sơ đồ khối các công đoạn chế tạo nón xuyên theo hai phương pháp.

3.1.1. Chế tạo nón xuyên bằng phương pháp dập nguội

Quy trình chế tạo nón xuyên từ đồng tấm bằng phương pháp dập nguội đã được mô tả trong Mục 2.2.2 Chương 2.

3.1.2. Chế tạo nón xuyên bằng phương pháp thiêu kết SPS

Nón xuyên chế tạo bằng phương pháp luyện kim bột sử dụng kỹ thuật thiêu kết bằng xung điện plasma được mô tả tại Mục 2.2.2, Chương 2.

3.1.3. Chế tạo nón xuyên bằng phương pháp miết sau khi dập nguội và sau thiêu kết SPS

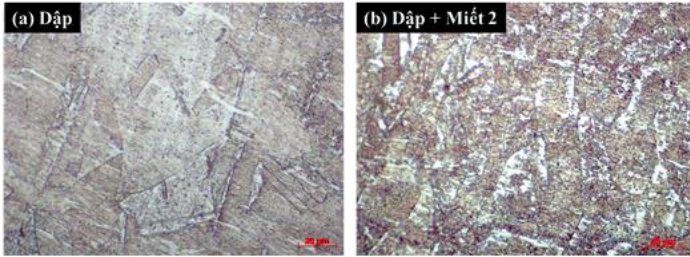
Để có vật liệu nón đồng với cấu trúc hạt nhỏ mịn, nón xuyên sau dập nguội hoặc sau khi thiêu kết bằng SPS được gia công miết đã được mô tả trong Mục 2.2.2 Chương 2.

3.2. Cấu trúc và tính chất đặc trưng của vật liệu nón xuyên chế tạo bằng phương pháp dập nguội và thiêu kết xung điện plasma

3.2.1. Cấu trúc và tính chất đặc trưng của vật liệu nón xuyên chế tạo bằng phương pháp dập nguội

3.2.1.1. Cấu trúc của vật liệu nón xuyên dập nguội

Trên hình 3.8 quan sát ảnh hiển vi quang học (OM) cấu trúc của mẫu nón xuyên dập nguội và mẫu nón xuyên dập nguội kết hợp với miết sau khi ủ thực. Cấu trúc gồm các hạt đa tinh thể có kích thước từ vài chục đến hàng trăm μm , hình dạng đa cạnh với kích thước khác nhau (hình 3.8a). Tuy nhiên, trên hình 3.8b có thể thấy, các hạt cấu trúc có xu hướng phát triển kích thước theo một chiều và giảm kích thước chiều còn lại.

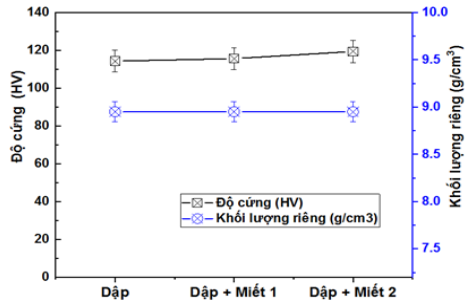


Hình 3.8. Ảnh hiển vi quang học mẫu nón xuyên dập nguội (a) và mẫu nón xuyên dập nguội kết hợp với miết (b).

3.2.1.2. Cơ-lý tính của vật liệu nón xuyên dập nguội

Kết quả đo độ cứng và khối lượng riêng của mẫu nón xuyên dập và biến dạng miết được trình bày trên hình 3.10. Kết quả cho thấy, với phương pháp dập, độ cứng của mẫu thu được 114,3 HV, sau khi mẫu được miết lần 1 độ cứng tăng lên 116,6 HV và tiếp tục

tăng lên và đạt giá trị 119,4 HV đối với miết lần 2. Trong khi đó, khối lượng riêng của mẫu đồng gần như không thay đổi.

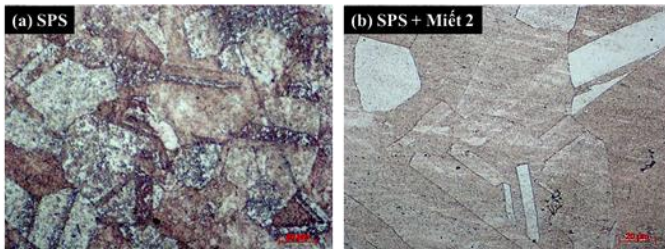


Hình 3.10. Sự thay đổi độ cứng và khối lượng riêng của mẫu nón xuyên dập và sau khi biến dạng miết.

3.2.2. Cấu trúc và tính chất đặc trưng của vật liệu nón xuyên chế tạo bằng phương pháp thiêu kết xung điện plasma

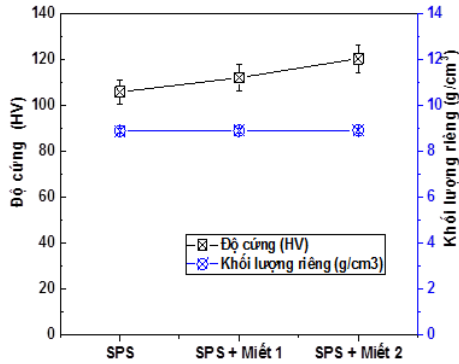
3.2.2.1. Cấu trúc của nón xuyên chế tạo bằng phương pháp thiêu kết SPS

Các mẫu nón xuyên thiêu kết SPS và mẫu thiêu kết SPS kết hợp với gia công miết được quan sát trên kính hiển vi quang học (hình 3.11). Cấu trúc của mẫu chế tạo bằng thiêu kết SPS cũng là các hạt đa tinh thể. Còn với mẫu đồng thiêu kết SPS kết hợp với miết, ảnh OM cho thấy cấu trúc gồm các hạt có dạng dẹt và dài.



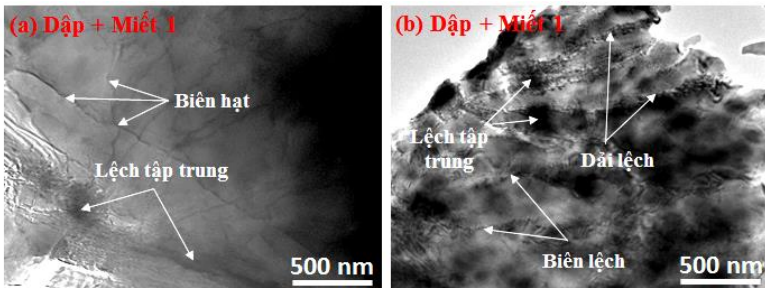
Hình 3.11. Ảnh OM mẫu nón xuyên thiêu kết SPS (a) và mẫu nón xuyên thiêu kết SPS kết hợp với miết (b).

3.2.2.2. Cơ-lý tính của nón xuyên thấu kết SPS



Hình 3.13. Khối lượng riêng và độ cứng Vickers của mẫu nón xuyên thấu kết SPS và sau khi biến dạng miết.

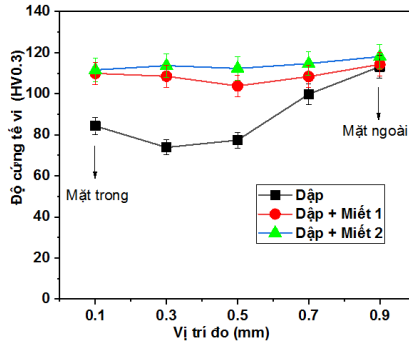
Trên hình 3.13 trình bày kết quả đo độ cứng Vickers và khối lượng riêng các mẫu đồng xuyên thấu kết SPS và sau miết lần 1 và miết lần 2. Kết quả đo độ cứng Vickers của mẫu nón xuyên thu được giống xu hướng kết quả đo khối lượng riêng, giá trị độ cứng tăng sau các lần miết biến dạng.



Hình 3.12. Ảnh TEM mẫu nón xuyên dập sau miết lần 1 (a) và miết lần 2 (b).

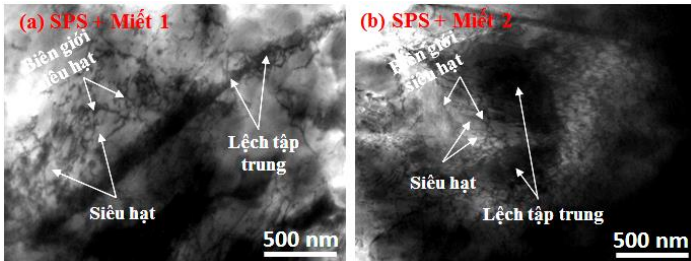
Kết quả chụp TEM mẫu cấu trúc nón xuyên dập, sau đó miết biến dạng lần 1 và lần 2 được trình bày trên hình 3.12. Đối với mẫu

nón xuyên dập sau miết lần 1 đã thấy sự xuất hiện của các lệch, tuy nhiên vẫn còn thấy sự tồn tại của các biên hạt (hình 3.12 a). Khi tiếp tục biến dạng bằng miết lần 2, đã thấy xuất hiện nhiều các dải lệch và có sự tập trung của lệch nhiều hơn (hình 3.12 b). Hay nói cách khác, mật độ lệch sau khi miết lần 2 được tăng lên.



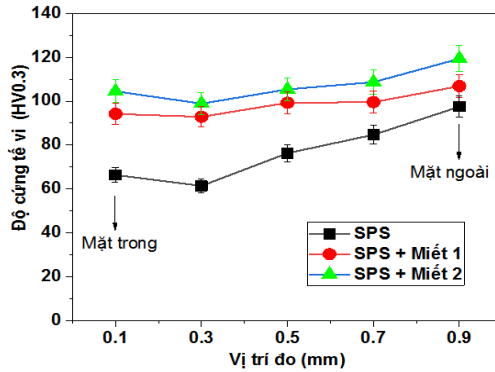
Hình 3.13. Độ cứng tế vi của mẫu nón xuyên dập và sau khi miết biến dạng tại các vị trí khác nhau.

Hình 3.13 cho thấy, độ cứng tế vi của mẫu nón xuyên dập có sự chênh lệch lớn tại các vị trí đo. Tại các vị trí đo gần mặt trong và mặt ngoài đều có giá trị độ cứng cao hơn các vị trí liền kề, điều này có thể là do đã có sự biến dạng nhất định đối với bề mặt của mẫu nón xuyên ở cả 2 mặt của mẫu nón.



Hình 3.14. Ảnh TEM mẫu nón xuyên thiêu kết SPS sau miết lần 1 (a) và miết lần 2 (b).

Kết quả ảnh TEM mẫu nón xuyên thiêu kết SPS sau khi miết lần 1 và sau khi miết lần 2 được đưa ra trên hình 3.14. Quan sát trên mẫu thiêu kết SPS kết hợp với miết lần 1 (hình 3.14a) đã thấy xuất hiện biên giới siêu hạt cùng với các siêu hạt (subgrain) với kích thước khoảng vài chục đến vài trăm nm. Khi mẫu nón xuyên tiếp tục được miết biến dạng lần 2, biên giới siêu hạt và các siêu hạt với kích thước nhỏ hơn so với mẫu miết lần 1 được hình thành và xuất hiện nhiều vùng tập trung các lệch (hình 3.14 b).



Hình 3.15. Độ cứng tế vi của mẫu nón xuyên thiêu kết SPS và sau khi miết biến dạng tại các vị trí khác nhau.

3.3. Kết quả thử nổ lõm của các mẫu nón xuyên chế tạo

Từ bảng thấy rằng, chiều sâu xuyên của nón chế tạo bằng phương pháp dập nguội là thấp nhất và không ổn định, chênh lệch trên 20%. Tiếp đến là chiều sâu xuyên của phễu chế tạo bằng phương pháp thiêu kết SPS, cao nhất là chiều sâu xuyên của nón chế tạo bằng phương pháp dập hoặc thiêu kết SPS sau đó kết hợp với công đoạn miết để làm nhỏ mịn hạt cấu trúc.

Bảng 3.1. Số liệu chiều sâu xuyên đo được của các loại nón xuyên khi thử.

TT	Loại mẫu	Chiều sâu xuyên lần thứ 1 (mm)	Chiều sâu xuyên lần thứ 2 (mm)	Chiều sâu xuyên trung bình (mm)
1	Nón xuyên chế tạo bằng phương pháp dập nguội	45	55	50
2	Nón xuyên chế tạo bằng phương pháp dập nguội + miết	80	81	80,5
3	Nón xuyên chế tạo bằng phương pháp thiêu kết SPS	71	70	70,5
4	Nón xuyên chế tạo bằng phương pháp thiêu kết SPS + miết	82	80	81

Chương 4: CHẾ TẠO, TÍNH CHẤT VÀ ĐẶC TÍNH XUYÊN NỔ LỖM CỦA ĐỒNG COMPOSITE W-Cu CẤU TRÚC SIÊU MỊN

4.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng W đến khả năng xuyên của nón xuyên bằng phần mềm mô phỏng

Chiều sâu xuyên P của lượng nổ lõm trên một loại bia xác định sẽ phụ thuộc vào chiều dài dòng kim loại tạo thành sau khi phản ứng nổ xảy ra và khối lượng riêng của nón kim loại theo công thức (1.3):

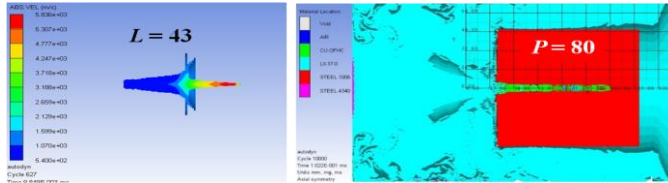
$$P \sim L(\lambda \rho_j / \rho_l)^{1/2} \quad (1.3)$$

Trong đó L là chiều dài dòng kim loại, ρ_j là khối lượng riêng của nón kim loại, ρ_l là khối lượng riêng của vật liệu làm bia và λ là hệ số liên quan đến chiều dài dòng kim loại và có giá trị nằm trong khoảng 1 đến 2.

Bảng 4.2. Tên mẫu, thành phần và khối lượng riêng lý thuyết của composite W-Cu

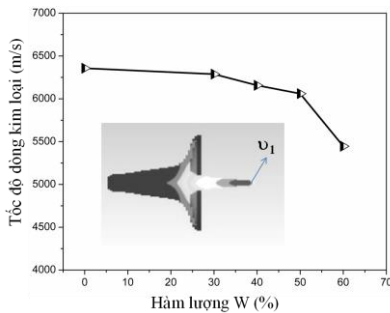
Tên mẫu	Hàm lượng Cu (% khối lượng)	Hàm lượng W (% khối lượng)	Khối lượng riêng lý thuyết (g/cm^3)
Cu	100	0	8,96
Cu70W30	70	30	10,67
Cu60W40	60	40	11,40
Cu50W50	50	50	12,23
Cu40W60	40	60	13,19

Với các tính chất của Cu và thuốc nổ A-IX-1 như trên, kết quả quá trình mô phỏng được chỉ ra trong hình 4.2.



Hình 4.2. Kết quả mô phỏng với mẫu nón Cu.

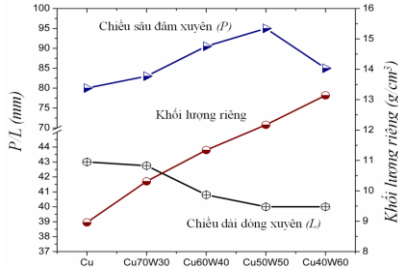
Kết quả xác định vận tốc đầu dòng kim loại v_1 như thấy trên đồ thị hình 4.3. Với hàm lượng $W = 0\%$, tức khi nón kim loại là Cu nguyên chất, vận tốc đầu dòng đạt được là 6.357 m/s, khi nón đồng được đưa thêm 30% W tương ứng compositee Cu70W30 cả vận tốc đầu dòng giảm xuống còn 6288 m/s. Khi tăng hàm lượng W lên 50%, các giá trị vận tốc tiếp tục giảm xuống và giảm mạnh khi hàm lượng W tăng lên 60%. Ở hàm lượng W là 60%, vận tốc đầu dòng lúc này chỉ đạt 5446 m/s.



Hình 4.3. Tốc độ đầu dòng của dòng kim loại với hàm lượng W khác nhau

Hình 4.8 cho thấy sự phụ thuộc chiều dài dòng kim loại L , chiều sâu xuyên P và khối lượng riêng theo tính toán lý thuyết vào hàm lượng W . Với hàm lượng W tăng lên từ 0 đến 60% khối lượng riêng của mẫu compositee tăng lên do W có khối lượng riêng cao

hơn Cu (khối lượng riêng của cao gấp 2,15 lần so với Cu). Khi tiếp tục tăng hàm lượng W lên 60 %, chiều sâu đâm xuyên P giảm nhanh xuống còn 85 mm (giảm 10,5 % so với hàm lượng W 50%), thậm chí thấp hơn khi so sánh với nón có hàm lượng W là 40 %.

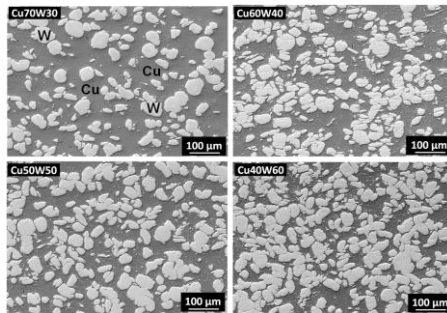


Hình 4.8. Sự phụ thuộc chiều dài dòng kim loại L, chiều sâu đâm xuyên P và khối lượng riêng vào hàm lượng W

4.2. Chế tạo và thử nghiệm thực tế nón kim loại bằng vật liệu composite W-Cu

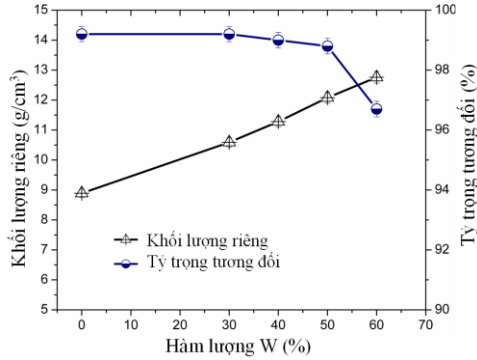
4.2.1. Ảnh hưởng của hàm lượng W đến cấu trúc và tính chất của nón W-Cu

Ảnh SEM hình 4.10 cho thấy sự phân tán khá đồng đều của các hạt W (màu trắng) trên nền Cu (màu xám).



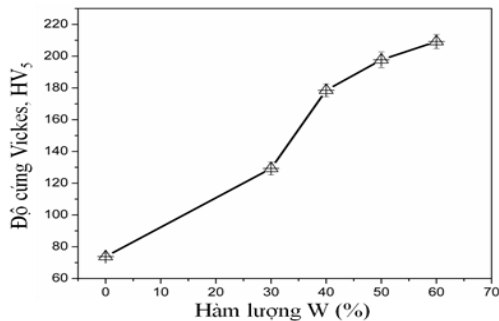
Hình 4.10. Ảnh SEM cấu trúc nón composite CuW với hàm lượng W khác nhau.

Khối lượng riêng của mẫu nón composite W-Cu tăng lên khi tăng hàm lượng W, từ 8,89 lên 12,76 g/cm³, khi tăng hàm lượng W từ 0 đến 60 %. So với khối lượng riêng theo tính toán lý thuyết thì khối lượng riêng đo được thấp hơn.



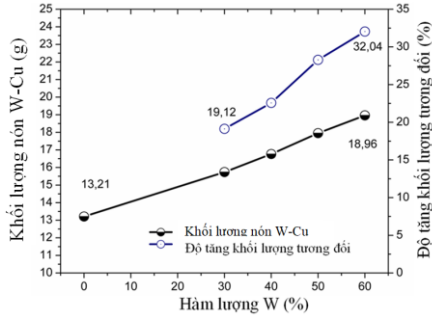
Hình 4.15. Khối lượng riêng và tỷ trọng tương đối của mẫu nón composite W-Cu sau khi thiêu kết SPS với hàm lượng W khác nhau.

Khi đưa thêm W vào để tạo composite W-Cu, do W cứng hơn so với Cu nên khi tăng hàm lượng W làm cho độ cứng của composite W-Cu tăng lên nhanh chóng, với 30 % W độ cứng bề mặt nón đạt $126,3 \pm 3,8$ (HV_{0,5}) và đạt giá trị lớn nhất $209,2 \pm 4,5$ với hàm lượng W là 60%.



Hình 4. 16. Độ cứng Vickers của nón W-Cu với hàm lượng W khác nhau.

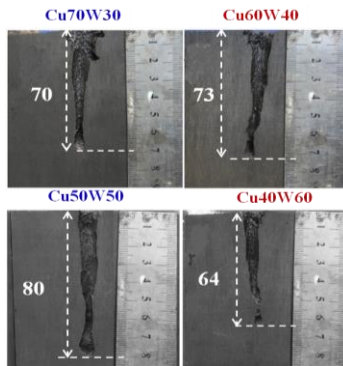
4.2.2. Thử nghiệm thử nổ lõm đối với nón composite W-Cu



Hình 4.17. Ảnh hưởng của hàm lượng W đến khối lượng nón W-Cu và độ tăng khối lượng tương đối.

Hình 4.17 cho thấy khối lượng của nón chế tạo bằng bột đồng kim loại sau khi SPS đạt 13,21g và sau đó tăng lên 18,96g với hàm lượng W đưa vào là 60 % khối lượng.

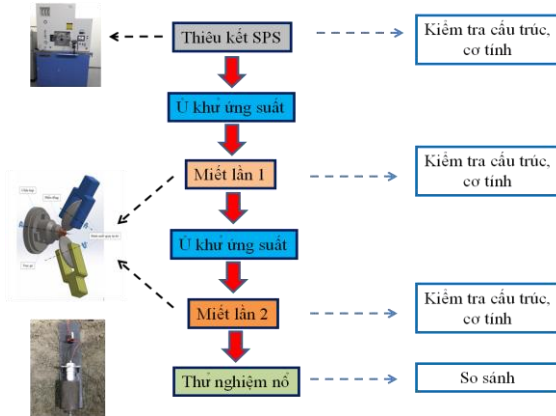
Quá trình thử nghiệm được thực hiện với các điều kiện thử nghiệm như nhau bao gồm cùng loại thuốc nổ, khối lượng thuốc nổ và thử nổ đối với bia thép 40X để so sánh chiều sâu đâm xuyên của các nón W-Cu và nón đồng nguyên chất. Trên Hình 4.18 là mặt cắt dọc theo chiều sâu đâm xuyên trên bia thép 40X.



Hình 4.18. Mặt cắt dọc theo chiều sâu đâm xuyên bia thép 40X thử nghiệm với các nón W-Cu với hàm lượng W khác nhau

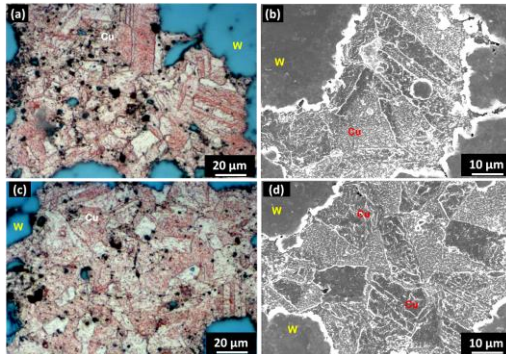
4.3. Gia công miết tạo cấu trúc siêu mịn

4.3.1. Cấu trúc tế vi mẫu nón composite Cu50W50 sau khi thiêu kết SPS



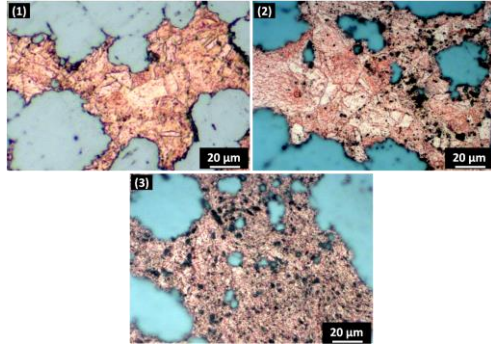
Hình 4.20. Sơ đồ chế tạo nón composite Cu50W50 cấu trúc siêu mịn

Ảnh SEM và ảnh quang học của mẫu nón Cu50W50 sau khi thiêu kết SPS được thể hiện trên hình 4.23. Cấu trúc của Cu chứa nhiều hạt kích thước vài chục đến hàng trăm μm có dạng các tấm xếp xen kẽ nhau và vẫn quan sát rất rõ biên giới giữa các hạt đa tinh thể Cu.



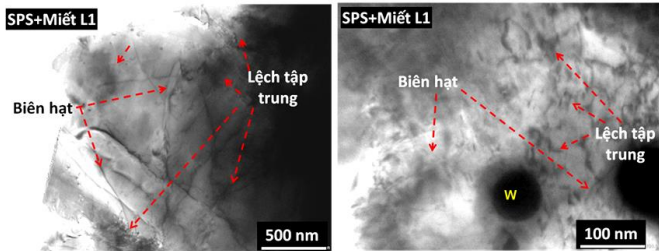
Hình 4.23. Ảnh quang học và ảnh SEM cấu trúc mẫu nón Cu50W50 sau khi thiêu kết SPS.

4.3.2 Cấu trúc tế vi mẫu nón composite Cu50W50 sau miết lần 1



Hình 4.24 .Ảnh quang học cấu trúc mẫu nón composite Cu50W50 sau khi miết lần 1: 1) Phía gần mặt trong nón, 2) phía giữa nón, và 3) Phía bề mặt ngoài nón.

Trên hình 4.24 là ảnh quang học mặt cắt thành nón sau khi mài đánh bóng và tẩm thực. Các vị trí 1, 2, 3 tương ứng với cấu trúc của mặt cắt đi từ bề mặt trong thành nón ra đến phía bề mặt ngoài nón (vị trí được tiếp xúc với con lăn của thiết bị miết).

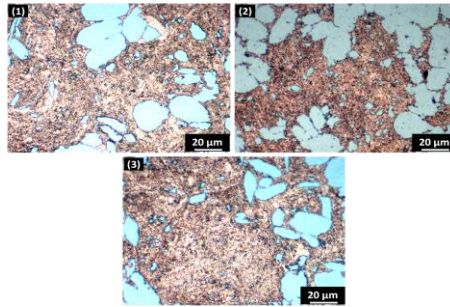


Hình 4.26 .Ảnh TEM cấu trúc tế vi khu vực bề mặt ngoài nón sau khi gia công miết lần 1.

Cấu trúc phía bề mặt ngoài thành nón được quan sát trên kính hiển vi điện tử truyền qua, hình 4.26. Cấu trúc quan sát trên ảnh TEM cho thấy rõ các siêu hạt với kích thước lớn nhất vài μm và chiều dày chỉ vài trăm nm.

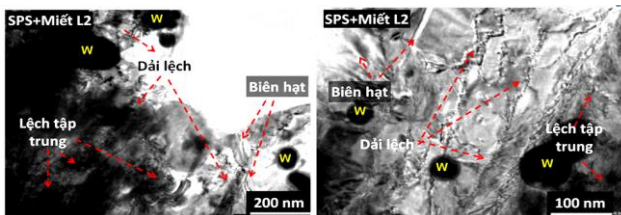
4.3.3 Cấu trúc tế vi mẫu nón composite Cu50W50 sau miết lần 2

Trên hình 4.27 là ảnh quang học bề mặt cắt ngang thành nón với các vị trí tương ứng từ trong ra ngoài thành nón tương tự như với mẫu sau khi miết lần 1. Quan sát trên ảnh quang học đối với các vị trí giàu Cu cho thấy lúc này không còn xuất hiện các hạt Cu thô trong cấu trúc từ phía thành trong ra đến thành ngoài của nón.

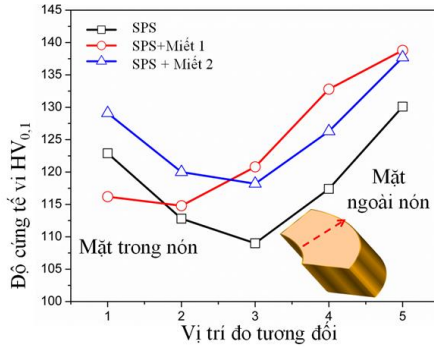


Hình 4.27. Ảnh quang học cấu trúc mẫu nón Cu₅₀W₅₀ sau miết lần 2.

Cấu trúc các siêu hạt Cu sau khi miết lần 2 cũng được quan sát trên ảnh TEM để đánh giá sự thay đổi so với miết lần 1, như thấy trên hình 4.29. Từ ảnh TEM quan sát rõ ràng được sự hình thành phân tán của các lệch mạng trong các siêu hạt. Ngoài ra cũng quan sát thấy sự hình thành mạnh mẽ và tập trung hơn của các lệch mạng tạo thành các tường lệch tại vị trí biên siêu hạt so với cấu trúc sau khi gia công miết lần 1.



Hình 4.29. Ảnh TEM cấu trúc tế vi khu vực bề mặt ngoài nón sau khi gia công miết lần 2.



Hình 4.31. Độ cứng tế vi khu vực nền Cu của các nón Cu50W50 sau khi thiêu kết SPS, miết lần 1 và miết lần 2.

Kết quả xác định độ cứng Vickers HV_{0,1} của vùng giàu đồng của các nón Cu50W50 sau khi SPS, sau khi miết lần 1 và sau khi miết lần 2 như trình bày trên đồ thị hình 4.31. Xu hướng chung quan sát được là độ cứng ở phía thành ngoài của nón sẽ có độ cứng cao hơn so với phía trong, nhưng khác so với các kết quả xác định được của nón Cu chế tạo bằng phương pháp dập nguội, dập nguội kết hợp miết, thiêu kết SPS hay thiêu kết SPS kết hợp miết.

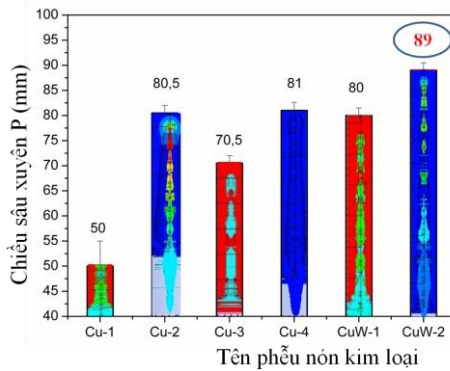
4.3.4 Thử nghiệm nổ lõm nón composite Cu50W50 sau miết lần 2



Hình 4.34. Mặt cắt dọc theo chiều sâu đâm xuyên của bia thép sau khi thử nổ.

Kết quả thử nỏ cho thấy chiều sâu đâm xuyên đã tăng lên đáng kể sau khi miết nón Cu50W50 lần 2. Chiều sâu đâm xuyên đo được trung bình là khoảng 89 mm trên bia thép 40X, hình 4.34.

Đồ thị hình 4.36 tổng kết lại chiều sâu đâm xuyên của các nón Cu kim loại và Cu50W50 được chế tạo bằng phương pháp dập nguội, thiêu kết SPS và gia công miết kết hợp. Kết quả cho thấy rõ ràng vai trò của cấu trúc siêu hạt trong cả hai nón Cu và Cu50W50.



Hình 4.36. So sánh chiều sâu xuyên của các nón khác nhau: Cu-1: Nón Cu Dập, Cu-2: Nón Cu Dập + Miết, Cu-3: Nón Cu SPS, Cu-4: Nón Cu SPS+ Miết, CuW-1: Nón Cu50W50 SPS và CuW2: Nón Cu50W50 SPS + Miết lần 2

KẾT LUẬN CHUNG

Luận án đã tập trung nghiên cứu phương pháp chế tạo vật liệu nón xuyên, cấu trúc, tính chất và khả năng xuyên thép của hai loại vật liệu nón xuyên có cấu trúc siêu mịn gồm đồng kim loại và composite W-Cu. Từ những kết quả nghiên cứu nhận được, có thể rút ra một số kết luận chính như sau:

Đối với nón xuyên chế tạo bằng 100% đồng kim loại:

1. Đã chế tạo thành công nón xuyên cho thiết bị nổ lõm bằng phương pháp luyện kim bột từ bột đồng kim loại điện phân, sử dụng kỹ thuật thiêu kết xung điện plasma để kết khối vật liệu. Vật liệu chế tạo có cấu trúc là những hạt đa tinh thể, kích thước từ 50 đến 200 μm , bên trong các hạt lớn là các hạt nhỏ kích thước khoảng 1-3 μm . Nón xuyên chế tạo từ bột đồng điện phân thiêu kết bằng xung điện plasma xuyên thép sâu hơn 41% so với nón xuyên chế tạo bằng phương pháp dập nguội thông thường.
2. Đã nghiên cứu được qui trình miết nón xuyên tạo cấu trúc siêu mịn. Cấu trúc của vật liệu phễu xuyên sau khi miết bao gồm các hạt đa tinh thể, bên trong các hạt này là các siêu hạt (subgrain) có kích thước từ 300-500 nm, dài khoảng 1-2 μm với mật độ lệch mạng tăng cao. Chiều sâu xuyên của nón xuyên sau khi miết tăng 15% so với nón xuyên chế tạo bằng phương pháp SPS, tính tổng thể tăng 60% so với phễu chế tạo bằng phương pháp dập nguội từ đồng tấm.

Đối với nón xuyên chế tạo bằng composite W-Cu:

3. Đã xác định được bằng phần mềm mô phỏng và thực nghiệm tỷ lệ khối lượng W/Cu cho để chế tạo nón xuyên với chiều sâu xuyên lớn nhất là 50% W và 50% Cu.

4. Đã chế tạo thành công nón xuyên bằng vật liệu composite 50%W+50%Cu theo phương pháp luyện kim bột, thiêu kết bằng xung điện plasma.

5. Kích thước hạt cấu trúc pha nền Cu trong composite 50W50Cu có ảnh hưởng đến chiều sâu xuyên của nón. Nón xuyên chế tạo từ vật liệu composite 50W50Cu bằng phương pháp thiêu kết SPS, sau khi được miết theo quy trình như trình bày tại điểm 2 có cấu trúc pha nền Cu siêu mịn, gồm các siêu hạt kích thước từ 100-300 nm, dài 1-3 μm . Chiều sâu xuyên của nón xuyên 50W50Cu sau khi miết tăng 11% so với nón xuyên cùng vật liệu thiêu kết bằng SPS, không qua công đoạn gia công miết.

6. Kích thước hạt (siêu hạt) và mật độ lệch của vật liệu chế tạo nón xuyên có ảnh hưởng lớn đến chiều sâu xuyên. Kích thước hạt cấu trúc nhỏ mịn, mật độ lệch cao có thể làm nón xuyên biến dạng theo nguyên lý siêu dẻo, điều này làm tăng tính liên tục của tia kim loại, từ đó làm tăng chiều sâu xuyên..

CÁC ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

- Đã xây dựng được quy trình công nghệ và chế tạo thành công nón xuyên cho thiết bị nổ lõm bằng phương pháp luyện kim bột kết hợp thiêu kết xung plasma và miết cơ học bằng vật liệu đồng kim loại hoặc composite Cu-W có cấu trúc siêu mịn.

- Đã nghiên cứu mô phỏng và thử nghiệm nổ lõm trong đánh giá khả năng xuyên sâu của nón xuyên được chế tạo. Đã chỉ ra tỷ lệ khối lượng tối ưu cho vật liệu nón xuyên bằng composite W-Cu là 50%Cu và 50%W, chiều sâu xuyên tăng khoảng 10% so với nón xuyên bằng đồng kim loại (100% Cu).

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [1]. **Nguyễn Minh Tuấn**, Trần Bảo Trung, Đoàn Đình Phương, Lương Văn Đương, Nguyễn Ngọc Linh, Nguyễn Văn Toàn “*Nghiên cứu ảnh hưởng của một số phương pháp chế tạo phễu lót đến chiều sâu xuyên thép của lượng nổ lôm*”, Tạp chí nghiên cứu KH&CN Quân sự; Số 85, 2-2023; pp. 142-151; ISSN: 1859 – 1043.
- [2]. **Nguyen Minh Tuan**, Nguyen Ngoc Linh, Nguyen Van Toan “*Effect of Heating Rate and Sintering Temperature on Mechanical Properties of W-Cu Composites Produced via Spark Plasma Sintering*”, International Journal of Engineering Research & Science (IJOER); Vol-8, Issue-10, October- 2022; pp. 1-6; ISSN: 2395-6992.
- [3]. **Nguyen Minh Tuan**, Nguyen Van Toan, Luong Van Duong, Vu Thang Long, Tran Bao Trung, Pham Van Trinh, Doan Dinh Phuong “*Microstructure and microhardness of conical shaped W-Cu composites prepared by spark plasma sintering and subsequent spinning process*”; *IEEE Access* (accepted for publication); DOI 10.1109/ACCESS.2024.3351759 (SCIE, IF = 3,9)
- [4]. **Nguyen Minh Tuan**, Nguyen Van Toan, Vu Thang Long, Luong Van Duong, Pham Van Trinh, Tran Bao Trung, Doan Dinh Phuong “*Effect of Tungsten Contents on the Jet Penetration Performance of Shaped Charge Liner Based Copper-Tungsten Composites*”; *Frontiers in Materials*; Volume 11 – 2024, [doi: 10.3389/fmats.2024.1308290](https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1308290) (SCIE, IF = 3,2)