

Nghiên cứu chế độ nhiệt luyện hợp kim đồng ứng dụng trong gia công chi tiết đặc thù

Nguyễn Văn Bằng*, Ngô Minh Tiến, Phùng Khắc Nam Hồ, Nguyễn Thị Hoài Phương

Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: vbnguyenhh@gmail.com

Nhận bài: 01/02/2023; Hoàn thiện: 15/3/2023; Chấp nhận đăng: 20/3/2023; Xuất bản: 25/6/2023.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.88.2023.109-114>

TÓM TẮT

Bài báo đã nghiên cứu ảnh hưởng của các chế độ nhiệt luyện khác nhau tới tổ chức tế vi và cơ tính của vật liệu hợp kim đồng ứng dụng trong gia công chi tiết đặc thù. Tổ chức tế vi của vật liệu được đánh giá bằng phương pháp hiển vi quang học trên thiết bị Axiovert 40MAT. Ảnh hưởng của tổ chức tới cơ tính của hợp kim được đánh giá thông qua độ cứng. Kết quả nghiên cứu cho thấy chế độ ủ ảnh hưởng nhiều đến tổ chức, tính chất của vật liệu trong quá trình chế tạo phôi lót. Nhiệt độ ủ tùy vào giai đoạn gia công biến dạng được giữ ở khoảng 280 °C ÷ 400 °C bảo đảm cho kích thước hạt nhỏ, đạt cấp hạt lớn hơn 8.

Từ khóa: Đồng M1; Nhiệt luyện; Độ cứng; Tổ chức tế vi.

1. MỞ ĐẦU

Phôi lót trong các loại đạn chống tăng HEAT (High Explosive Anti Tank) giữ vai trò quan trọng, là một trong những yếu tố quyết định khả năng xuyên thủng mục tiêu của đạn [1]. Đạn HEAT sử dụng nguyên lý nổ lõm, xếp khối thuốc nổ thành hình phễu, khi nổ, năng lượng vụ nổ thay vì phát tán ra khắp các hướng như những quả bom hay đạn bình thường, thì lại tập trung về một hướng duy nhất do nguyên lý nổ lõm, luồng năng lượng cực nóng và mạnh này đâm xuyên qua kim loại và phun vào trong xe tăng, tiêu diệt tổ lái. Chính vì sử dụng năng lượng xuyên là chất nổ định hướng nên sức xuyên của đạn HEAT không đổi ở mọi khoảng cách [2, 3]. Các đạn xuyên lõm thông thường có khả năng xuyên thép khoảng 4 lần cỡ, trong khi đó, các loại đạn hệ mới có khả năng đâm xuyên tốt hơn lên tới 7 lần cỡ trở lên. Yếu tố quan trọng quyết định chiều sâu xuyên là chất lượng phôi lót, thuốc nổ nhồi trong đạn và công nghệ nhồi ép thuốc nổ đảm bảo mật độ, độ chính xác cao.

Công nghệ chế tạo phôi lót cần phải giải quyết được sao cho phôi lót có độ sai lệch chiều dày thành theo mặt cắt ngang ở từng tiết diện và theo đường sinh là nhỏ nhất có thể. Đồng thời vật liệu chế tạo phôi lót phải có cỡ hạt tinh thể nhỏ và đều. Trong phôi lót thông thường kim loại được sử dụng ở trạng thái đẳng hướng (hạt mịn) hoặc trạng thái dị hướng (tinh thể lớn, tinh thể có định hướng) [4]. Trong trường hợp thứ 2 vật liệu của phôi lót sử dụng là kim loại hoặc hợp kim với sự hình thành chủ yếu cùng một định hướng tinh thể học của các tinh thể có cấu trúc dạng cột, được bố trí theo pháp tuyến với sự hình thành bề mặt của phôi lót và khi đó chủ yếu lựa chọn định hướng tinh thể của tinh thể có độ dẻo tối đa [5]. Vật liệu M1 là một trong những lựa chọn cho việc chế tạo chi tiết này.

Đồng M1 có thành phần chính là Cu, các tạp chất khác chiếm không quá 0,1% [6]. Đồng M1 có các đặc điểm vật lý rất tốt như: độ dẫn điện cao, điện trở suất thấp (0,018 $\mu\Omega$), sau khi xử lý nhiệt bằng cách ủ thì giảm thêm 2,8%. Đồng M1 là loại vật liệu dẻo, dễ biến dạng kéo, dát mỏng. Do hiện tượng biến cứng nên đòi hỏi áp lực ép tăng lên mới có thể tiếp tục biến dạng được [7]. Đồng có hai ưu điểm vượt trội hơn các nguyên liệu khác trong chế tạo phôi lót đó là: thứ nhất nó khá đặc, điều này đặc biệt hiệu quả trong việc xuyên giáp dễ dàng hơn thép (khối lượng riêng của đồng khoảng 8,9 g/cm³, trong khi thép nhẹ hơn chỉ khoảng 7,8 g/cm³); Thứ hai đồng rất dẻo, làm cho quá trình nổ hiệu quả hơn vì tiêu tốn ít năng lượng hơn cho quá trình nén nó. Đồng cũng tương đối rẻ hơn so với các chất thay thế khác như thiếc, bismuth, hoặc chì (chúng cũng rất mềm nên không chịu được quá trình xử lý và phải pha tạp) [8].

Nhiệt luyện là công nghệ nung nóng kim loại, hợp kim đến nhiệt độ xác định, giữ nhiệt tại đó một thời gian thích hợp rồi sau đó làm nguội với tốc độ nhất định để làm thay đổi tổ chức, do đó biến đổi cơ tính và các tính chất khác theo phương hướng đã chọn trước. Nhiệt luyện làm thay đổi tính chất của kim loại hay hợp kim như: độ bền, độ cứng, độ dẻo dai, tính công nghệ (rèn, dập,...) [9, 10]. Nhiệt luyện được kết hợp với các phương pháp gia công cơ khí dập, miết trong chế tạo phôi lót. Sáng chế RU2588533C1 [11] kết hợp gia công cơ khí và ủ, ủ kết tinh lại, hóa già tạo ra được phôi lót có tổ chức tế vi đồng nhất dọc theo bề mặt của nón. Sáng chế RU2457425C1 [12] kết hợp dập, miết, ủ kết tinh lại tạo ra phôi đồng đối xứng trục có độ dày khác nhau, độ dày tăng dần từ đỉnh đến đáy, phôi lót được làm từ đồng với hàm lượng oxy không quá 0,001% và có kích thước hạt là 30 - 60 μm . Sáng chế RU2425320C2 [13] kết hợp gia công cơ khí và ủ phối tạo ra phôi lót đảm bảo kích thước hạt trong cấu trúc của kim loại kết tinh lại đạt cấp 8 - 10 theo GOST 21073.1-75. Như vậy, có thể thấy phương pháp nhiệt luyện giữ vai trò quan trọng trong quá trình chế tạo phôi lót bằng phương pháp cơ nhiệt [14].

Trong bài báo này trình bày một số kết quả nghiên cứu ảnh hưởng chế độ nhiệt luyện đồng M1 đến tổ chức tế vi và cơ tính của vật liệu định hướng hỗ trợ chế tạo phôi lót cho đạn chống tăng.

2. THỰC NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất, nguyên vật liệu, thiết bị và dụng cụ

2.1.1. Hóa chất và nguyên vật liệu

Đồng mác M1; NaCl, KCl, ZnCl₂, CaCl₂, K₂Cr₂O₇, H₂SO₄, HCl (Xilong, Trung Quốc); phôi lót N₀ nhập khẩu nước ngoài; phôi lót N1 chế tạo bằng phương pháp miết; phôi lót N2 chế tạo bằng phương pháp miết và phôi lót N3 chế tạo bằng phương pháp dập được sản xuất ở cùng 1 nhà máy.

2.2.2. Thiết bị và dụng cụ

Lò nung nhiệt độ cao HT 16/18 Nabertherm, bát sứ, kẹp gấp chén nung và các dụng cụ phòng thí nghiệm khác.

2.2. Tiến hành thí nghiệm

Chuẩn bị 9 mẫu đồng M1 đã được cán phẳng có kích thước 80 × 30 × 2 mm (dài × rộng × dày), 8 mẫu được xử lý nhiệt ở nhiệt độ từ 280 đến 650 °C trong môi trường không khí và muối nóng chảy, giữ nhiệt trong 60 phút sau đó làm nguội trong nước (Ký hiệu M'_M, M'_{KK} ; trong đó: t là nhiệt độ ủ, M là muối, KK là không khí), mẫu còn lại không nung (KN).

Các mẫu đồng M1 và phôi lót được xác định tổ chức tế vi bằng kính hiển vi quang học Axiovert 40MAT sử dụng phương pháp ASTM E883 đối với các mẫu đồng M1 và phương pháp ASTM E1351 đối với các phôi lót. Phương pháp tầm thực ASTM E407-07. Kích thước hạt được xác định theo ASTM E112.

Độ cứng được xác định theo phương pháp Vickers sử dụng thiết bị Vickers Wolpert Wilson 432SVD.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Phân tích thành phần mẫu đồng M1 (KN) và các phôi lót chế tạo bằng các phương pháp khác nhau ở các cơ sở sản xuất trong và ngoài nước

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành phân tích thành phần hóa học các mẫu N0, N1, N2, N3 và KN bằng thiết bị quang phổ phát xạ. Kết quả phân tích và so sánh với thành phần hóa học của mác M1 theo GOST 859-2001 của Nga được thể hiện trong bảng 1.

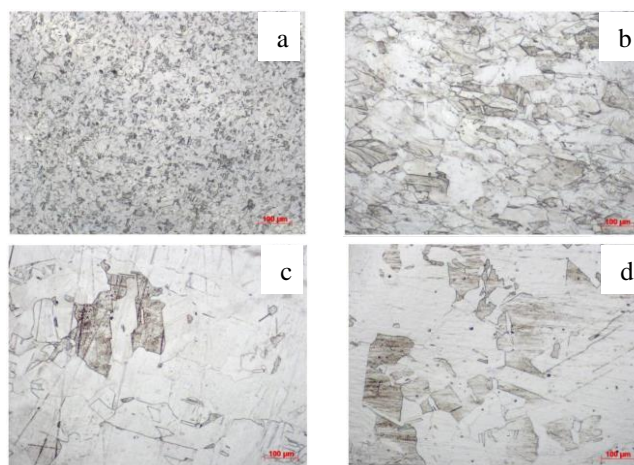
Kết quả phân tích cho thấy các phôi lót và mẫu đồng nhóm nghiên cứu thí nghiệm là đồng sạch kỹ thuật mác M1 theo GOST 859-2001 của Nga.

Bảng 1. Thành phần hóa học (% nguyên tố) các mẫu phễu lót và mẫu KN.

	Cu	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si
M1	≥99,9	≤0,004	≤0,005	≤0,002	-	-	≤0,005	≤0,002	-
N0	99,980	<0,003	<0,0005	<0,0002	0,010	0,0014	<0,0008	0,0006	<0,0008
N1	99,970	<0,003	<0,0005	<0,0002	0,015	0,0016	<0,0008	0,0004	<0,0008
N2	99,970	<0,003	<0,0005	<0,0002	0,014	0,0016	<0,0008	0,0010	<0,0008
N3	99,970	<0,003	<0,0005	<0,0002	0,016	0,0016	<0,0008	0,0010	<0,0008
KN	99,980	<0,003	<0,0005	<0,0002	0,010	0,0016	<0,0008	<0,0002	<0,0008
	Mg	Cr	As	Sb	Cd	Bi	Ag	Al	S
M1	-	-	≤0,002	≤0,002	-	≤0,001	≤0,003	-	≤0,004
N0	0,0003	0,0009	<0,0004	<0,0015	0,0025	<0,0010	0,0009	0,0025	0,0027
N1	0,0004	0,0008	<0,0004	<0,0015	0,0030	<0,0010	0,0010	0,0030	0,0026
N2	0,0005	0,0008	<0,0004	<0,0015	0,0030	<0,0010	0,0010	0,0030	0,0024
N3	0,0005	0,0008	<0,0004	<0,0015	0,0030	<0,0010	0,0010	0,0030	0,0024
KN	0,0003	0,0008	<0,0004	<0,0015	0,0030	<0,0010	0,0005	0,0025	0,0021

3.2. Đặc trưng tổ chức tế vi và cơ tính của một số phễu lót chế tạo bằng các phương pháp khác nhau của các cơ sở sản xuất trong và ngoài nước

Hình ảnh tổ chức tế vi chụp ở mặt ngoài dọc theo đường sinh của một số phễu lót chế tạo bằng các phương pháp khác nhau được trình bày trên hình 2, kích thước và cấp hạt của chúng được thể hiện ở bảng 2.



Hình 2. Ảnh tổ chức tế vi của các phễu lót: a - Phễu lót N0, b - Phễu lót chế tạo bằng phương pháp miết N1, c và d - lần lượt là phễu lót chế tạo bằng phương pháp đập N2 và phương pháp miết N3 của cùng một nhà máy.

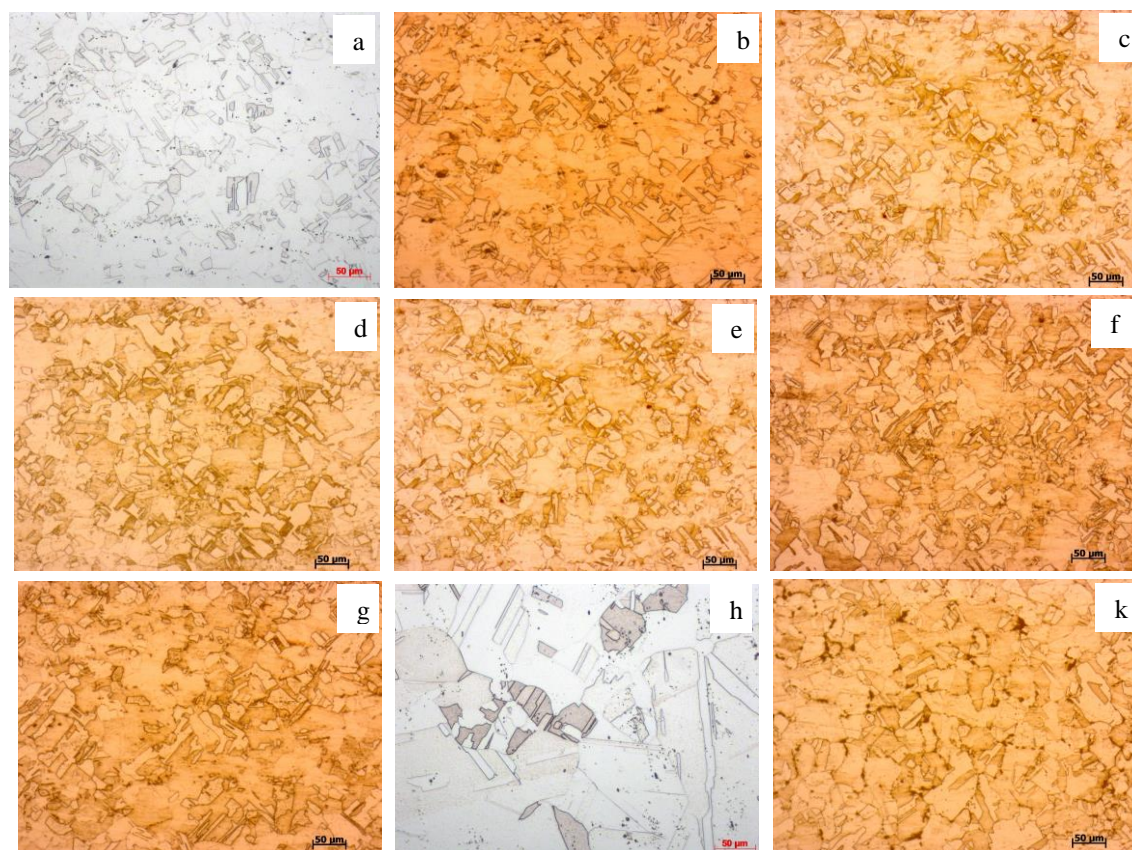
Hình 2a là ảnh chụp tổ chức tế vi của phễu lót N0. Các hạt có kích thước rất nhỏ mịn, đồng đều (12,96 μm) đạt cấp hạt 9,58, điều này góp phần làm tăng khả năng đâm xuyên cho đạn. Hình 2b là ảnh chụp tổ chức tế vi của phễu lót N1. Các hạt bị kéo dài do ảnh hưởng của quá trình miết gây ra và phương pháp xử lý nhiệt chưa khử bỏ hoàn toàn được sự biến dạng do nguyên công miết gây ra. Kích thước hạt tương đối lớn (32,28 μm) đạt cấp hạt 6,69, không đồng đều, do vậy, khả năng đâm xuyên có thể sẽ bị ảnh hưởng. Tổ chức tế vi của phễu lót được chế tạo bằng phương pháp đập N2 và miết N3 thể hiện trên hình 2c và 2d cho thấy cả hai phương pháp này đều tạo ra phễu lót có kích thước hạt gần như nhau 64,46 μm đối với phương pháp đập và 68,3 μm đối với phương pháp miết. Nếu so với mẫu N0 của nước ngoài và N1 thì các mẫu này có kích thước hạt khá lớn. Đây có thể là nguyên nhân dẫn đến làm giảm khả năng đâm xuyên lớn cho các đạn xuyên lõm.

Bảng 2. Kích thước và cấp hạt của một số phễu lót.

TT	Mẫu	Đường kính hạt trung bình (μm)	Cấp hạt
1	N3	64,46	4,94
2	N2	68,3	4,88
3	N1	32,28	6,96
4	N0	12,96	9,58

3.3. Ảnh hưởng chế độ nhiệt luyện đến đặc trưng vật liệu hợp kim đồng

Nhìn chung, chế độ xử lý nhiệt ảnh hưởng nhiều đến tổ chức, tính chất của sản phẩm sau khi gia công biến dạng. Do đó, nghiên cứu đã tiến hành đánh giá ảnh hưởng của một số chế độ xử lý nhiệt khác nhau để lựa chọn nhiệt độ phù hợp đảm bảo tổ chức tế vi (cỡ hạt, hình dáng hạt) đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của phễu lót. Hình ảnh tổ chức tế vi của các mẫu đồng M1 xử lý nhiệt ở các chế độ khác nhau được trình bày ở hình 3, kích thước và cấp hạt được thể hiện ở bảng 3.



Hình 3. Ảnh tổ chức tế vi của các mẫu đồng M1: a - KN, b - M_{KK}^{280} , c - M_M^{280} , d - M_{KK}^{400} , e - M_M^{400} , f - M_{KK}^{520} , g - M_M^{520} , h - M_{KK}^{650} , k - M_M^{650} .

Kết quả cho thấy đồng M1 khi nung đến các nhiệt độ 280 °C, 400 °C, 520 °C thì kích thước hạt tăng lên khi tăng nhiệt độ nhưng không có sự chênh lệch lớn giữa các nhiệt độ này (dao động trong khoảng từ 15,96 μm đến 18,30 μm , cấp hạt lớn hơn 8,0) và hình dáng hạt không có sự thay đổi rõ ràng. Tuy nhiên, khi nung đến nhiệt độ 650 °C thì các hạt lớn lên và kích thước hạt đã tăng lên rõ rệt (25,93 μm trong môi trường không khí và 24,69 μm trong môi trường muối nóng chảy). Đó là do khi nhiệt độ tăng các hạt có xu hướng trở lên thô đại để giảm năng lượng tự do bề mặt. Do vậy, để đảm bảo khả năng xuyên tốt thì không nên lựa chọn ủ ở nhiệt độ 650 °C.

Bảng 3. Kích thước và cấp hạt của các mẫu đồng M1.

TT	Mẫu	Đường kính hạt trung bình (μm)	Cấp hạt	Độ cứng trung bình (HV)
1	KN	12,83	9,63	68
2	M_{KK}^{280}	16,52	8,90	57
3	M_M^{280}	15,96	9,0	62
4	M_{KK}^{400}	17,61	8,70	55
5	M_M^{400}	17,65	8,69	53
6	M_{KK}^{520}	18,30	8,60	54
7	M_M^{520}	18,09	8,66	52
8	M_{KK}^{650}	25,93	7,63	50
9	M_M^{650}	24,69	7,75	48

Qua hình ảnh tế vi các mẫu được xử lý nhiệt ở các nhiệt độ khác nhau trong môi trường không khí và muối nóng chảy, thấy rằng tổ chức tế vi không có sự khác biệt rõ rệt về kích thước và hình dạng giữa các môi trường. Nguyên nhân do mẫu nghiên cứu có kích thước nhỏ, hình dáng không phức tạp nên mẫu vật liệu đạt nhiệt trong thời gian ngắn không bị ảnh hưởng bởi môi trường nung. Vì vậy, việc lựa chọn phương pháp ủ muối khi nung đối với phôi có kích thước nhỏ và mỏng là không cần thiết.

Đồng M1 sau khi xử lý nhiệt làm cho độ cứng giảm, nhiệt độ càng cao thì độ cứng càng giảm. Bởi vì trong quá trình xử lý nhiệt ứng suất bên trong vật liệu được loại bỏ, đồng M1 được nung nóng trên nhiệt độ kết tinh lại nhưng thấp hơn nhiệt độ nóng chảy, điều này làm cho các hạt mới hình thành mà không chịu bất kỳ sức căng nào từ trước. Khi hạt lớn lên, hạt mới phát triển đầy đủ, sự tăng trưởng này được kiểm soát bằng cách làm nguội vật liệu. Kết quả của việc này là tạo ra vật liệu có độ dẻo cao hơn và độ cứng giảm đi giúp dễ dàng gia công biến dạng phôi. Khi ủ ở các nhiệt độ 400 °C, 520 °C thì độ cứng giữa 2 nhiệt độ này chênh lệch nhau không nhiều (dao động từ 52 - 55 HV), do vậy, nếu để giảm độ cứng giúp dễ dàng gia công phôi thì không nhất thiết phải ủ đến nhiệt độ 520 °C.

Hiện nay, các quy trình công nghệ chế tạo phôi lót thường kết hợp gia công biến dạng (dập, miết) với xử lý nhiệt để tạo hình sản phẩm. Từ các kết quả phân tích trên cho thấy khi sử dụng phương pháp dập hoặc miết để chế tạo phôi lót, giai đoạn xử lý nhiệt có thể lựa chọn ủ ở nhiệt độ khoảng 280 °C khi gia công biến dạng nhỏ hoặc 400 °C khi biến dạng và khử ứng suất lớn của phôi, kích thước hạt đạt cấp hạt lớn hơn 8 đảm bảo khả năng đâm xuyên tốt. Ngoài ra, phôi đồng M1 khi chưa xử lý nhiệt có kích thước nhỏ đạt cấp hạt 9,63, do vậy, có thể lựa chọn phương pháp ít trải qua xử lý nhiệt làm kích thước hạt tăng lên để tạo ra phôi lót giữ nguyên kích thước hạt của phôi, góp phần đảm bảo khả năng đâm xuyên tốt cho đạn.

4. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu chế tạo phôi lót đảm bảo các tính năng kỹ chiến thuật cho đạn chống tăng đến hiện nay vẫn luôn được các nhà nghiên cứu và công ty sản xuất vũ khí quan tâm phát triển. Một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng lớn đến chất lượng phôi lót làm tăng khả năng đâm xuyên cho đạn đó là tổ chức tế vi của vật liệu. Nghiên cứu này đã đánh giá tổ chức tế vi của một số phôi lót chế tạo bằng các phương pháp khác nhau của các cơ sở sản xuất trong và ngoài nước. Kết quả cho thấy phôi lót N0 do nước ngoài sản xuất có kích thước hạt nhỏ và đồng đều hơn cả, đây có thể là yếu tố quan trọng giúp cho phôi lót đạt chất lượng tốt, tăng khả năng xuyên cho đạn. Đồng thời nghiên cứu cũng đã tiến hành khảo sát ảnh hưởng của chế độ nhiệt luyện đến

vật liệu chế tạo phễu lót, thấy rằng không có sự khác biệt lớn về tổ chức tế vi giữa việc ủ phôi trong môi trường không khí và muối nóng chảy. Ngoài ra, khi xử lý nhiệt phôi đồng M1 để đảm bảo kích thước hạt nhỏ, dễ dàng gia công biến dạng chế tạo phễu lót thì nên ủ phôi ở các nhiệt độ trong khoảng $280\text{ }^{\circ}\text{C} \div 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ tùy vào từng giai đoạn gia công biến dạng, khi đó, kích thước hạt sau khi ủ không bị giảm nhiều so với trước khi ủ.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu định hướng cán bộ trẻ năm 2022 cho các đơn vị nghiên cứu thuộc Viện KH-CN quân sự.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. И.А. Балаганский, Л.А. Мержиевский. “*Де́йстви́е средств поражения и боеприпасов*”. - Новосибирск: НГТУ, 408 с, (2012).
- [2]. Held M. “*Liners for shaped charges*”. Journal of. Battlefield Technology, Vol. 4, pp. 1-7, (2001).
- [3]. Held M. “*Spinning jets from shaped charges with flow turned liners*”. Presented at the 12th International Symposium on Ballistics, San Antonio, TX, (1990).
- [4]. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. “*Физика взрыва*”. / Под ред. К.П. Станюковича. М.: Наука, 800 с, (1975).
- [5]. Патент РФ 2412338С1. “*Способ и устройство (варианты) формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром*”, (2011).
- [6]. ГОСТ 859-2001. “*Медь марки*”, (2001).
- [7]. Richard Alfred Wilkins. “*Copper and copper base alloys: The physical and mechanical properties of copper and its commercial alloys in wrought form (Classic reprint)*”, 370 p, (2017).
- [8]. А. Лови, в. В. Кореньков, в. М. Базилевич, в. В. Кораблин. “*Отечественные противотанковые гранатометные комплексы*”. Пехотное оружие России, (2001).
- [9]. Palash Biswas et al. “*Effect of heat treatment on microstructure behavior and hardness of EN 8 steel*”. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 377, (2018).
- [10]. Patent US20190316242A1. “*Gradient control method for microstructure ultrafine crystallization of deep cone copper shaped charge liner*”, (2019).
- [11]. Патент РФ №2588533С1. “*Способ изготовления медной облицовки кумулятивного заряда*”, (2016).
- [12]. Патент РФ №2457425С1. “*Способ изготовления облицовки кумулятивного заряда и облицовка, изготовленная данным способом*”, (2012).
- [13]. Патент РФ №2231739С2. “*Способ изготовления облицовки кумулятивного заряда*”, (2011).
- [14]. В.И. Сакало, Ю.С. “*Гусева, Т.В. Иниакова. Влияние температуры термообработки на механические свойства меди М1*”. Вестник Брянского государственного технического университета, № 3(47), с. 94-97, (2015).

ABSTRACT

Study on heat treatment of copper alloy for fabrication of specialized copper based items

The article studied the effect of different heat treatment regimes on the microstructure and mechanical properties of copper alloy for fabrication of specialized copper based items. The microstructure of the materials was evaluated by optical microscopy on the Axiovert 40MAT instrument. The effect of microstructure on the mechanical properties of the alloy was evaluated through hardness. The results of the research showed that annealing stage greatly affected to the microstructure and properties of the material in the production process of copper cones. The annealing temperature was banded on deformation process and maintained at temperature of between $280\text{ }^{\circ}\text{C} \div 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ to ensure the small grain size, grain grade of higher than 8.

Keywords: M1 copper alloy; Heat treatment; Hardness; Microstructure.