https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N2

Determination of equivalent firing temperatures of archaeological pottery and plaster fragments from ancient Copper mining site Ai Bunar.

Daniel Ishlyamski[1], Neli Jordanova[1], Diana Jordanova[1], Bozhurka Georgieva[1]

[1] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, e-mail: bojurkageorgieva97@avb.bg

Key words: firing temperature, magnetic susceptibility, pottery, burnt clay

Abstract: The aim of the study was to establish the firing temperatures of prehistoric burnt clay and pottery materials from ancient Copper mining site from Bulgaria. Magnetic susceptibility method for determining the maximum firing temperature of pottery was used, according to Rasmussen et al. 2012. Results show that pottery firing temperatures vary in the interval 740 – 800 °C, while burned clay destructions experienced temperatures up to 740 °C.

Определяне температурите на изпичане на фрагменти от археологическа керамика и мазилка от праисторическия обект за добив на медна руда Ай Бунар

Даниел Ишлямски[1], Нели Йорданова[1], Диана Йорданова[1], Божурка Георгиева[1]

[1] Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География, БАН, e-mail: bojurkageorgieva97@abv.bg

Използване на магнитните свойства на материали от горяла глина за определяне на максималните температури на изпичане

Един от начините за възстановяване на температурите на изпичане на древните структури е използването на магнитната възприемчивост. Докато за различните видове намагнитености, използвани в палеомагнетизма, са отговорни само желязо-съдържащите минерали, магнитната възприемчивост е функция на целия минерален състав на материала.

Магнитната възприемчивост (χ) отразява способността на телата да се намагнитват в присъствието на слабо магнитно поле, каквото е земното (Thompson and Oldfield, 1986). Важно е да се отбележи, че големината на χ зависи от характеристиките на пробата, включително минералогия, концентрация, размер и форма на феромагнитните частици. Съществуват няколко основни вида магнетизъм, като феромагнетизмът се характеризира с най-силна спонтанна намагнитеност. В природата има изобилие от феромагнитни минерали, като това са предимно съединения на желязото и титана с кислорода и сярата.

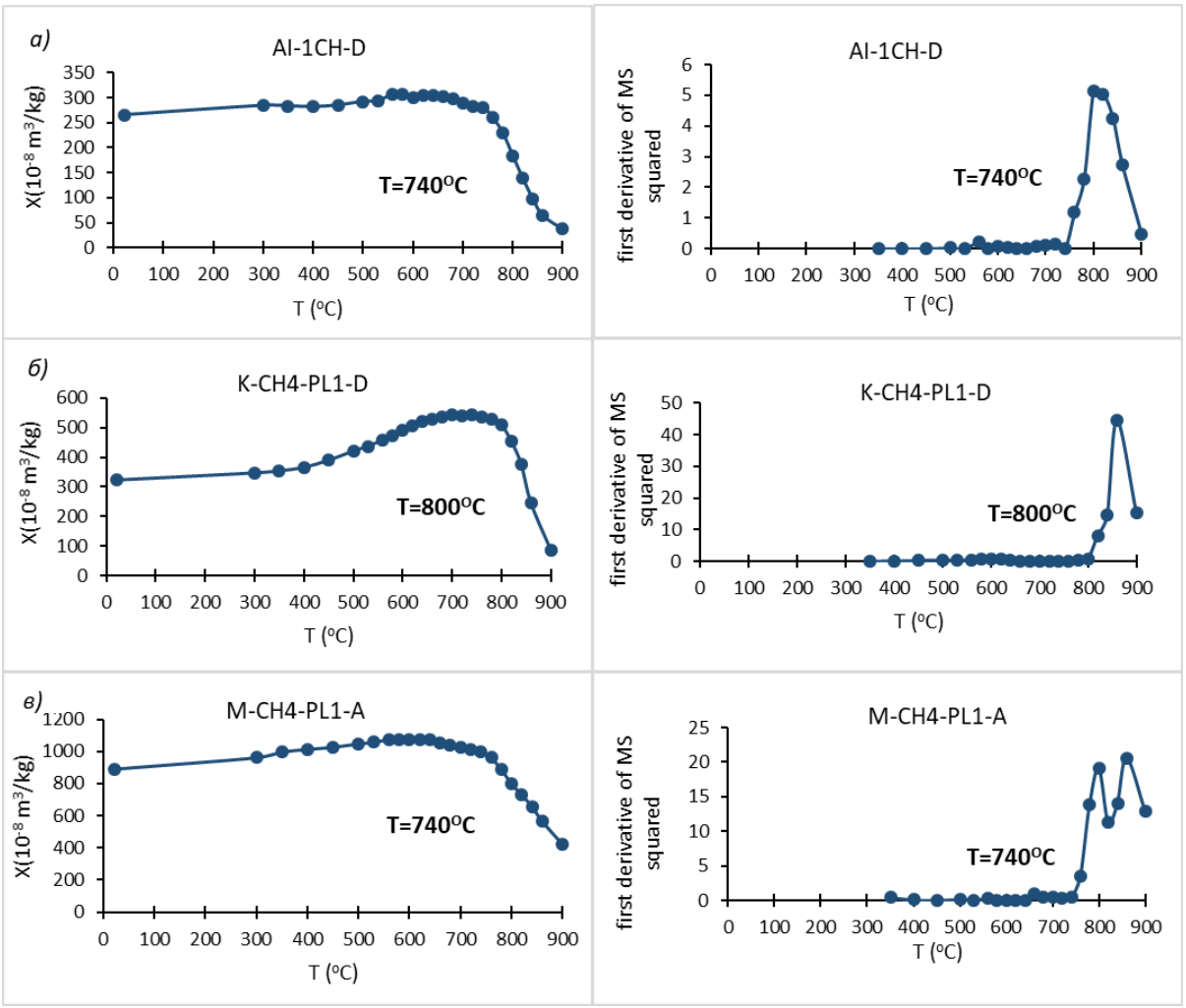
Изследваните от нас образци (фрагменти от керамика и останки от изпечена глина) също проявяват феромагнитни свойства. Основно свойство, което притежават феромагнитните минерали е това, че свойствата им силно зависят от температурата. При температури по-високи от температурата на Кюри (Tc), подреждането на магнитните моменти на атомите се нарушава. Магнитното взаимодействие се разрушава от придобитата от кристала кинетична енергия, феромагнитите губят феромагнитните си свойства и се превръщат в парамагнити.

Експериментът за определяне на температурата на изпичане на археологически материали от горяла глина се състои най-общо в стъпково лабораторно нагряване на образците и измерване на магнитната им възприемчивост при стайна температура след всяка стъпка (Rasmussen et al., 2012). Интервалът между отделните температурни стъпки се избира така, че да се получи достатъчно информация за измененията на магнитната възприемчивост. Обикновено стъпката между отделните температури е 20°C. Методът се основава на факта, че при лабораторното нагряване на неизпечена глина протичат различни минералогични трансформации, които обикновено водят до значителни промени в магнитната възприемчивост. След охлаждане процесите обикновено са необратими и минералите, които са се образували при високите температури до голяма степен се запазват във времето. В резултат на това максималната температура, която е била достигната при изпичането, може да бъде възстановена от кривата на магнитната възприемчивост, получена при стъпково нагряване на образците в лабораторията според температурата, до която χ не показва съществени изменения.

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N2

Обект и методи на изследване

Изследвана е колекция от 32 проби, събрани от археологическия обект Ай Бунар (8км северозападно от Стара Загора). Съгласно данните за химичния и изотопния състав на минерални образци от рудника Ай Бунар, публикувани в работата на Stos-Gale et. al. (2009), е показано, че Ай Бунар е една от най-древните медни мини в Европа. Този меден рудник е бил експлоатиран още в края на петото хилядолетие преди новата ера. Добивани са огромни за онази епоха количества мед, не само за задоволяване на местните нужди, но и за размяна. Събраната колекция се от 17 броя фрагменти от керамика и 15 броя фрагменти от мазилки.



Фигура 1. Примери за експериментално определяне на максималните температури на изпичане а) образец AI-1CH-D (740°C); б) образец K-CH4-PL1-D (800°C) в) образец M-CH4-PL1-A (740°C). На диаграмите отляво е показана измерената магнитна възприемчивост като функция от температурата на нагряване. Диаграмите отдясно показват квадратът на първата производна на магнитната възприемчивост. Максималните температури на изпичане се определят като първото голямо отклонение от нула на квадрата на първата производна.

За определяне на температурите на изпичане на образците е използвана муфелна пещ MF306 (NUVE, Турция) с температурен обхват до 1300 °C и точност на зададената температура ±1 °C. Серията нагрявания се състои от 23 температури от 300°C до 900°C. Магнитната възприемчивост е определена на мас-специфична основа, т.е. вземайки под внимание и изменението на теглото на образците след всяка стъпка на нагряване. Измерена е и т.нар. честотно-зависима магнитна възприемчивост, отразяваща присъствието и относителното количество на най-финитe частици от оксиди на желязото, които се образуват в процеса на изпичане на глината. Тези допълнителни параметри не са включени в

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N2

методиката на Rasmussen et al. (2012), но дават повече информация за характера на наблюдаваните изменения на магнитната възприемчивост при нагряване.
Максималните температури на изпичане са определени от зависимостта на магнитната възприемчивост от температурата, както и квадрата на първата производна на магнитната възприемчивост като функция на температурата при лабораторните нагрявания. Няколко типични примера са представени на Фиг. 1, където са указани и определените максимални температури на изпичане.

Резултати и дискусия

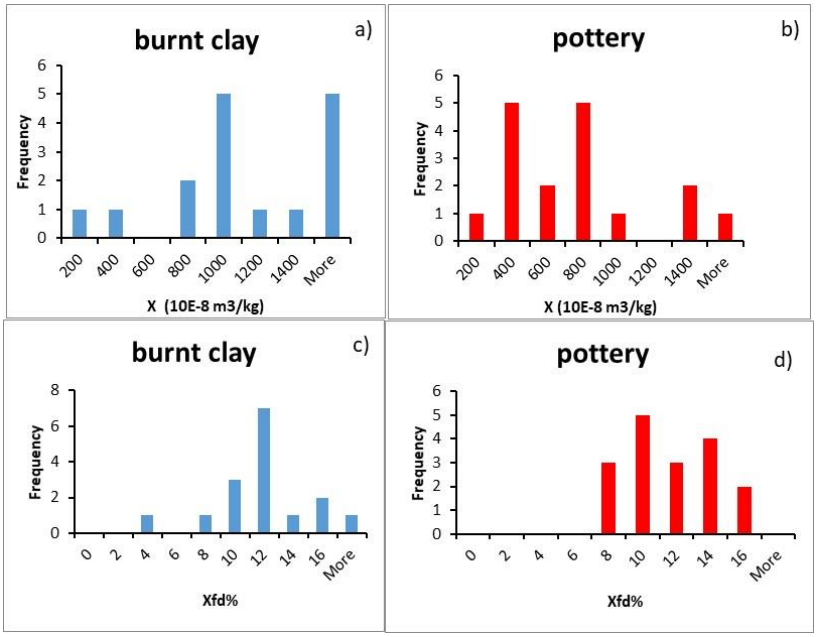
В Таблица1 са систематизирани резултатите от определянето на температурите на изпичане за изследваната колекция образци.

Проба (керамики)	T_{fire} (°C)	Проба (мазилки)	T_{fire} (°C)
K-CH2-PL2-A	760	M-CH2-PL2-A	740
K-CH2-PL2-B	780	M-CH2-PL2-B	760
K-CH2-PL2-C	740	M-CH2-PL2-C	740
K-CH2-A	740	M-CH2-PR2-A	740
K-CH2-B	800	M-CH2-PR2-B	740
K-CH2-C	760	M-CH2-PR2-C	700
		M-CH2-PR2-D	760
		M-CH2-PR2-E	760
K-CH3-PL1-A	780	M-CH3-PL1-A	740
K-CH3-PL1-B	740	M-CH3-PL1-B	740
K-CH3-PL1-C	760	M-CH3-PL1-C	720
K-CH4-PL1-A	760	M-CH4-PL1-A	740
K-CH4-PL1-B	760	M-CH4-PL1-B	740
K-CH4-PL1-C	660	M-CH4-PL1-C	780
K-CH4-PL1-D	800	M-CH4-PL1-D	740
AI-1CH-A	740		
AI-1CH-B	740		
AI-1CH-C	760		
AI-1CH-D	740		

Таблица 1 резултати от определянето на температурите на изпичане за всички образци.

Резултатите показват, че както керамиката, така и мазилките са горели в древността до относително висока температура. В повечето случаи температурата на изпичане е в диапазона (740 – 760°C), като само за 2 къса керамика (от CH2 и CH4) е определена температура на изпичане 800°C (Табл. 1). Вижда се, че керамиката от всички сондажи показва по-високи температури на изпичане от мазилките, намерени там, с изключение на CH4. В CH4 данните за керамиката са най-разхвърляни и температурите на изпичане на керамика и мазилки се припокриват напълно.

https://doi.org/10.48368/bgs-2023.1.N2



Фигура 2. Разпределение на магнитната възприемчивост (χ) и процентът честотно-зависима магнитна възприемчивост (χfd%) за образците от горяла глина (a, c) и за керамика (b, d).

Магнитната възприемчивост на материалите от горяла глина и керамика варират в сходен диапазон, но за керамиката по-голяма част от фрагментите показват χ до ~ 800 $*10^{-8}m^3/kg$, докато материалите от горели мазилки имат по-високи стойности на χ (Фиг. 2a, b). Това, заедно с факта, че за керамичните фрагменти е определена по-висока температура на изпичане, отразява по-интензивни процеси на окисление на магнетита до хематит в глината от керамика при достигане на по-високите температури. Високите стойности на параметъра χfd% (Фиг. 2 c, d) показват, че магнитната възприемчивост на пробите и от двата вида горяла глина се определя главно от най-финитe суперпарамагнитни частици. Проведените магнитни изследвания показват, че керамиката от обекта Ай Бунар е била изпичана до относително високи температури (740 – 800 °C), а откритите горели замазки също са претърпели интензивно опалване до температури от около 760 °C. Получените резултати дават информация за технологията на производство на керамика и степента на пиротехнологично усъвършенстване в древността.

Благодарности
Образците за това изследване бяха предоставени от доц. д-р Христо Попов (НАИМ – БАН)

Литература

Stos-Gale, Zofia Anna, N. H. Gale (2009) Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database 195-213.

Rasmussen, K. L., de la Fuente, G., Bond, A. D., Mathiesen, K. K., & Vera, S. D. (2012). Pottery firing temperatures: a new method for determining the firing temperature of ceramics and burnt clay. Journal of Archaeological Science, 39, 1705-1716.

Thompson, R. and F. Oldfield, 1986. Environmental Magnetism, Allen & Unwin, Winchester, MA., 21-38.