

Eksperimentinės Viduramžių dvirankių kalavijų gamybos technologija

Jonas Rapolas Nariūnas¹, Vitalijus Rudzinskas², Gintaras Valeika*¹

¹*Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Technikos fakultetas, Olandų g. 16, 01100 Vilnius, el. paštas g.valeika@vtdko.lt*

²*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas, Plytinės g. 25, 10105 Vilnius*

(Gauta 2024 m. kovo mėn.; atiduota spaudai 2024 m. balandžio mėn.; prieiga internete nuo 2024 m. gegužės 10 d.)

Anotacija

Šiame tyrime buvo išnagrinėta dvirankio flambergo, istorinio Europos ginklo, gamybos procesas, pabrėžiant techninės sudėtingumo, ergonomikos principų taikymo svarbą ir eksperimentinės archeologijos metodų pritaikymą. Flambergo gamyba, reikalaujanti aukštos kvalifikacijos meistrų darbo, buvo techniškai sudėtinga dėl unikalaus dizaino ir funkcinio pritaikymo, todėl šis ginklas tapo elitiniu ir prieinamu tik nedaugeliui. Ginklo rankenos ilgis, ašmenų dydis, papildomas skersinukas ir ricasso suteikė jį naudojančiam nepaprastą kertamąją galią bei manevringumą mūšio lauke. Nepaisant flambergo privalumų, jo gamybos procesas atskleidė ir tam tikrus trūkumus: sumažėjęs ašmenų standumas, didesnis svoris, tai lėmė šio ginklo populiarumo mažėjimą XVII amžiaus pabaigoje. Tyrimo metodika, apimanti eksperimentinę rekonstrukciją, dizaino ir gamybos eksperimentus, fizinio ir mechaninio efektyvumo testus bei eksperimentinės metalurgijos taikymą, leido giliau suprasti istorinės ginkluotės gamybos technologijas, medžiagų savybes bei praktinio naudojimo ergonomiką.

Tyrimo rezultatai rodo, kad ašmenų kietumo skirtumai atsirado dėl nevienodo temperatūros pasiskirstymo per ašmenis, priklausomai nuo jų masės ir storio, tai patvirtina, kad kiekviena ginklo dalis reikalauja individualaus termoapdoravimo požiūrio. Šis darbas įrodo, kad eksperimentinė archeologija ir praktinės rekonstrukcijos yra svarbios ne tik istorinių ginklų gamybos procesų atkūrimui, bet ir gilesniam istorinės kultūros supratimui skatinti.

Reikšminiai žodžiai: *dvirankis flambergas, eksperimentinė archeologija, istorinių ginklų gamyba, ergonomikos principai, kietumo testai, ginklų rekonstrukcija.*

Abstract

This study examined the manufacturing process of the two-handed flamberge, a historic European weapon, emphasizing technical complexity, the importance of applying ergonomic principles, and the application of experimental archaeology methods. Flamberge's production, which required the work of highly skilled craftsmen, was technically difficult due to its unique design and functional application, making this weapon elite and accessible to only a few. The length of the weapon's handle, the size of the blade, the additional crossbar, and the ricasso gave the wielder extraordinary cutting power and maneuverability on the battlefield. Despite the flamberge's advantages, its production process also revealed certain disadvantages, such as reduced blade stiffness and greater weight, which led to the decline in popularity of this weapon at the end of the 17th century. The research methodology, which includes experimental reconstruction, design and production experiments, physical and mechanical efficiency tests, and the application of experimental metallurgy, allowed a deeper understanding of historical weaponry production technologies, material properties, and ergonomics for practical use. The study's results show that the differences in blade hardness are due to the uneven distribution of temperature across the blade, depending on its mass and thickness, which confirms that each part of the weapon requires an individual heat treatment approach. This work proves that experimental archaeology and practical reconstructions are important not only for the reconstruction of historical weapon production processes but also for promoting a deeper understanding of historical culture.

Key words: *Two-handed flamberge, experimental archeology, production of historical weapons, principles of ergonomics, hardness tests, reconstruction of weapons*

Įvadas

Šiuolaikinėje mokslinėje ir neakademiniame diskurse eksperimentinė archeologija ir jos taikymas istorinių ginklų, ypač Viduramžių dvirankių kalavijų, gamybos technologijų rekonstrukcijai, yra plačiai nagrinėjamas ir daugialypis klausimas. Virginija Rimkutė savo straipsnyje „Eksperimentinė archeologija kaip tyrimo metodas“ pabrėžia, kad eksperimentinė archeologija suprantama įvairiai, su skirtingomis priskirtomis funkcijomis ir tikslais, atspindinti šios disciplinos teorinę ir praktinę įvairovę (Rimkutė, 2013). Rimkutė taip pat akcentuoja archeologinio objekto interpretacijos svarbą teigdama, kad asmeniniai patyrimai, bandant radinius replikuoti ar panaudoti, yra svarbūs profesionalių archeologų žinijos formavimo būdai (HEMA, 2023).



Istoriniai Europos kovos menai (HEMA), kaip gyvosios archeologijos atšaka, yra dar vienas išskirtinis eksperimentinės archeologijos taikymo pavyzdys, nagrinėjantis senųjų Europos kovos sistemų, įskaitant naudojimą su ginklais ir be jų, šarvais ar be jų, iki XX amžiaus pradžios atkūrimą. Šie kovos menai, kurių daugelis išnyko, bet buvo išsamiai aprašyti ir atvaizduoti įvairiuose šaltiniuose, dabar atgyja per HEMA judėjimą, kuris siekia ne tik atkurti, bet ir praktiškai išbandyti senąsias kovos sistemas (HEMA, 2024).

HEMA judėjimas, jungiantis tūkstančius entuziastų visame pasaulyje, siekia atkurti ir išbandyti senąsias Europos kovos sistemas praktikoje, įskaitant dvikovas, kuriose naudojamos tiksliai atkurtos ginklų reprodukcijos ir šiuolaikinės apsaugos priemonės. Pagrindinis HEMA tikslas – skleisti suvokimą, kad europietiški kovos menai buvo sudėtingos ir subtilios sistemos, paremtos virtuozišku ginklo valdymu ir technikų išmanymu (HEMA, 2023).

Lietuvoje veikianti HEMA.LT asociacija, vienijanti tiek klubus, tiek atskirus entuziastus, taip pat prisideda prie istorinių ginklų, įskaitant dvirankio liepsnojančio kalavijo (Zweihander flamberg) rekonstrukcijos, atkūrimo ir išbandymo realiose dvikovose (HEMA, 2024). Tai rodo, kaip eksperimentinė archeologija ir gyvoji istorija gali būti taikomos praktikoje, ne tik atkuriant praeities technologijas, bet ir skatinant gilesnį istorinės kultūros supratimą bei įtraukimą.

Flambergo, arba dvirankio liepsnojančio kalavijo, koncepcija yra svarbi Viduramžių Europos ginklų istorijoje, simbolizuodama tiek technologinius ginklų gamybos pasiekimus, tiek kariuomenės taktikų evoliuciją XV–XVII a. (Reinhardt, 2009). Šis ginklas, pasižymėjęs banguotais ašmenimis, kurie ne tik suteikė jam išskirtinę išvaizdą, bet ir funkcionalumą mūšio lauke, buvo naudojamas landsknechtų – samdytų kareivių Vokietijoje ir Šveicarijoje, kurie už meistriškumą su dvirankiu kalaviju buvo apdovanoti dvigubu atlyginimu (Flamberge, 2024).

Dvirankio flambergo ašmenų banguotumas ne tik padidino pramušamąją galią, bet ir smūgio metu sumažino paviršiaus plotą, leidžiant koncentruoti jėgą į mažą plotą, taip pagerinant prakirtimo savybes (Evangelista, 1995). Be to, dūrimo metu sukurtas „pjūklo efektas“ leido sukelti didesnes vidines žaizdas nei ašmenų plotis, padidinant mirtinų sužalojimų tikimybę (Flame, 2020).

Nepaisant savo efektyvumo mūšio lauke, flambergo žiaurumas ir sukeltos žaizdos, kurios Viduramžių sanitarijos sąlygomis dažnai baigdavosi gangrena ir amputacija, tapo legendų apie „užnuodytus kalavijus“ pagrindu (Burton, 2014). Netgi Katalikų bažnyčia prakeikė šį ginklą kaip ypač žiaurų, nepaisant jo atvaizdų religinėse graviūrose ir išsaugojimo tarnyboje su Vatikano – šveicarų gvardija (Flamberge, 2024).

Flambergo gamyba buvo techniškai sudėtinga, reikalaujanti aukštos kvalifikacijos meistrų darbo, dėl to šis ginklas tapo elitiniu ir prieinamu tik nedaugeliui. Jo rankenos ilgis ir ašmenų dydis užtikrino nepaprastą kertamąją galią, o papildomas skersinukas ir ricasso suteikė galimybę pagerinti valdymą ir efektyvumą artimoje kovoje (Fabri, 2024).

Tačiau, nepaisant flambergo privalumų, jis turėjo trūkumų, tokių kaip sumažėjęs ašmenų standumas ir didesnis svoris, o XVII amžiaus pabaigoje, su šaunamųjų ginklų ir mažesnio šarvų populiarumo atsiradimu, dvirankiai kalavijai, įskaitant flambergą, greitai pradėjo prarasti populiarumą, virsdami tik paradų ir ceremonijų atributais (ARMA, 2024).

Pagrindinis tyrimo tikslas yra ne tik istorinių ginklų fizinių ir funkcionalių savybių rekonstrukcija, bet ir gilus supratimas apie istorines gamybos technologijas, medžiagų savybes ir ginklo naudojimo praktikoje ergonomiką. Todėl šiame tyrime eksperimentinė rekonstrukcija ir praktiniai testai yra pagrindiniai metodai, leidžiantys integruoti teorines žinias su praktinės patirties įžvalgomis.

Tyrimo metodai

Pagrindinis šio tyrimo metodas – eksperimentinė rekonstrukcija, apimanti kelias sudėtines dalis:

1. **Dizaino ir gamybos eksperimentai.** Pasitelkiant aukso pjūvio dėsnius ir istorinius atitikmenis, sukuriamas dvirankio flambergo prototipas, atitinkantis ergonomikos ir



funkcionalumo reikalavimus. Šiame etape yra itin svarbus tikslus istorinių matmenų ir proporcijų atkūrimas, taip pat medžiagų – ypač plieno – pasirinkimas pagal istorines technologijas.

2. **Fiziniai ir mechaniniai testai.** Rekonstruotam ginklui atliekami įvairūs fiziniai testai, įvertinant jo manevravimo galimybes, smūgio ir dūrimo efektyvumą. Tai leidžia praktiškai įvertinti ginklo efektyvumą ir patogumą naudojant.
3. **Ekspimentinės metalurgijos taikymas.** Siekiant tiksliai nustatyti, kaip šiuolaikiniai plieno tipai ir jų apdorojimas atitinka ar skiriasi nuo istorinių ginklų gamybos metodų, atliekama detalizuota plieno charakteristikų analizė. Tai apima kietumo testus, mikrostruktūros tyrimus ir bandymus atkurti istorines plieno gamybos technologijas.

Šaltieji ginklai, peiliai, durklai, kardai kalavijai, neatsiejamai susiję su pagrindiniais ergonomikos principais. Kadangi ginklų efektyvumas tiesiogiai priklauso nuo jų naudojimo patogumo, manevravimo amplitudės, apsaugos lygio, konstruojant ir rekonstruojant istorinius ginklus pasitelkiami aukso pjūvio dėsniai.

Rezultatai

Rekonstruojant dvirankį flambergą, jau projektavimo stadijoje galima pastebėti ryškius proporcingus dėsnius. Kalavijo rankenos ilgis sutinka su ašmenų ilgiu santykiu 1:3,6. Skersinis – būtinai ilgesnis už rankeną. Toks santykis leidžia puikiai valdyti ginklą, atlikti su juo kirčius blokus, išvystyti reikiama jėgą kirčio momentu. Kalavijo svorio centras, ties antru skersiniu (Pusmėnuliui). Tam, kad kalavijas būtų praktiškai naudojamas, jo techninė specifikacija turėtų būti:

- **Rankenos ir ašmenų proporcijos:**
 - 1:3,5 Dvirankio kalavijo;
 - 1:4,5 Pusanro rankinio kalavijo;
 - 1:5,5 Vienarankio kalavijo.
- **Visas ilgis:** 1710 mm (su buože);
- **Ašmenų ilgis:** 1235 mm;
- **Galastos ašmenų dalies ilgis:** 1015 mm;
- **Negalastų ašmenų ilgis (Ricasso):** 31mm;
- **Galastos ašmenų dalies plotis:** 39 mm;
- **Ašmenų storis:** nuo 6 mm iki 2 mm;
- **Ašmenų medžiaga ir kietumas:** plienas 65G, 57,5-55,9HRC;
- **Išilginis griovelis išilgai plokščios ašmenų pusės (Fullers):** 240 mm;
- **Skersinis:** 460 mm;
- **Rankenos ilgis (iki buožės):** 410 mm;
- **Pusiausvyros taškas:** ~100 mm nuo pirmo skersinio.

Plieno parinkimas pagal istorinius atitikmenis. Europoje, pradedant XIV amžiumi, siekiant optimizuoti pramoninį našumą, buvo dedamos pastangos identifikuoti ir įdiegti naujas plieno gamybos technologijas. Nepaisant didelio archeologinių radinių, saugomų muziejuose, skaičiaus, mėginimai eksperimentiškai patvirtinti precizines plieno gamybos metodikas nesulaukė sėkmės. Rekonstrukcijų srityje dirbantys specialistai nurodo, kad eksperimentų metu kilo įvairių klausimų, kuriems atsakymų rasti nepavyko, o gauti rezultatai dažnai pasižymėjo dideliu atsitiktinumu.

Be to, nė vienas šiuolaikinis eksperimentinės metalurgijos gamintojas nepateikė rezultatų, kurie galėtų konkuruoti su praeities meistrų pasiekimais. Tyrimo metu, atliekant plieno atitikmenų analizę, buvo daroma prielaida, kad optimalus plieno variantas turėtų būti rūdijantis anglinis plienas su 0,6–0,7 % anglies koncentracija, pasižymintis spyruoklinėmis savybėmis. Remiantis konsultacijomis su šios srities ekspertais, buvo nuspręsta pasirinkti šiuolaikinį pramoninės gamybos anglinį spyruoklinį plieną kaip labiausiai atitinkantį istorinius atitikmenis (1 ir 2 lentelės).



1 lentelė. Plieno cheminė sudėtis, % (LST EN 10083-3:2006/AC:2008)

Table 1. Chemical composition of steel, % (LST EN 10083-3:2006/AC:2008)

C	Mn	Si	Cr	P	S	Cu	Ni
0,62-0,70	0,90-1,20	0,17-0,37	0,25	0,035	0,035	0,20	0,25

2 lentelė. Mechaninės savybės priklausant nuo atleidimo temperatūros

Table 2. Mechanical properties depending on the tempering temperature

Temperatūra atleidimo, °C	$\sigma_{0,2}$	σ_Y	σ_5	ψ	KCU, J/cm ²	HRC ₉
	MPa		%			
<i>Grūdinimas 830 °C, alyva</i>						
200	1790	2200	4	30	5	61
400	1450	1670	8	48	29	46
600	850	880	15	51	76	30

Gamyba. Kalavijo ašmenų gamybai buvo pasirinktas 6 mm storio plienas, atitinkantis LST EN 10083-3:2006/AC:2008 standartą. Ašmenų konstrukciniai brėžiniai parengti .dwg formatu, o jų išplovimui panaudotos lazerinės pjovimo staklės, užtikrinančios aukštą pjovimo tikslumą ir efektyvumą. Toliau atliekamas ašmenų šlifavimas, šio etapo metu geležtės storis mažėjo nuo 6 mm, prie pirmojo skersinio iki 2 mm, prie ašmenų galiukų. Tokia geometrijos modifikacija buvo būtina norint pasiekti optimalų svorio balansą, kuris yra lemiamas kalavijo manevringumo bei smūgio efektyvumo aspektuose. Banguotų ašmenų formavimas įgyvendintas naudojant rankinę dildę, leidžiančią preciziškai kontroliuoti banguotumo parametrus ir užtikrinti ašmenų funkcionalumą.

Terminis apdirbimas – grūdinimas. Atlikus išsamų visų galimų deformacijų, kurios gali atsirasti grūdinimo ir atleidimo proceso metu, vertinimą, buvo nuspręsta, kad šie procesai turėtų būti vykdomi vertikaliaje padėtyje. Dėl šios priežasties buvo būtina suprojektuoti ir sukurti specializuotus grūdinimo ir atleidimo įrenginius. Grūdinimo krosnies konstrukcija buvo pagaminta iš šamotinių plytų, sutvirtintų plieno juostomis, siekiant užtikrinti didesnę atsparumą ir ilgaamžiškumą. Krosnyje įdiegta penkių propano-butano degiklių sistema leido efektyviai kaitinti gaminį atvira liepsna, bandant palaikyti kaitinimo parametrus, analogiškus medienos ar akmens anglimi kūrenamos krosnies sukurtam šilumos režimui.

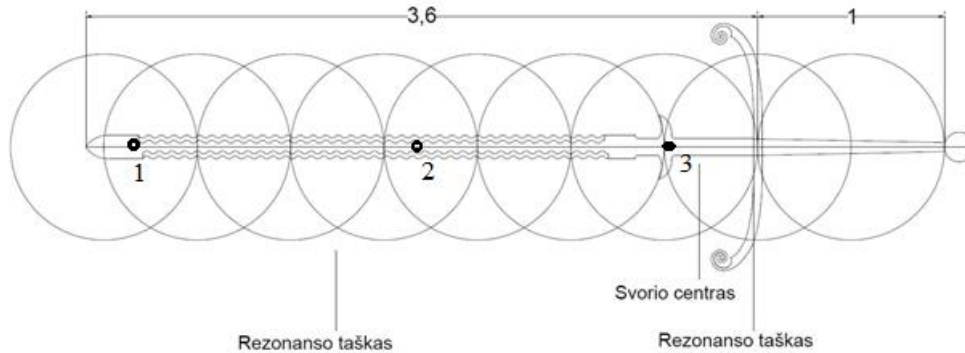
Kaitinimo proceso trukmė buvo apie 20 minučių, per kurią reguliariai koreguota ašmenų pozicija, siekiant pasiekti 830 °C iki 850 °C temperatūrą. Temperatūros nustatymas vykdytas vizualiai, pagal įkaitusio plieno spalvą ir remiantis specializuotos literatūros duomenimis. Grūdinimas buvo atliekamas ašmenis pamerkiant į techninės klasės alyvą, kurios temperatūra buvo apie +20 °C (Woodworth, 2018). Ašmenys buvo paliekami alyvoje tol, kol visiškai atvėso, užtikrinant tolygų ir efektyvų grūdinimo procesą.

Atleidimas. Atleidimo proceso metu buvo eksperimentuota su dviem metodais: kaitinimu dujiniu degikliu ir virimu techninėje alyvoje. Pirmojo metodo atveju, pasibaigus grūdinimo procesui ir nuvalius geležtės paviršių iki plieno spalvos, gaminys buvo kaitinamas naudojant dujinį degiklį. Šio proceso metu vizualiai stebėtos ant gaminio paviršiaus atsirandančios spalvos, siekiant pasiekti tamsiai geltoną spalvą, kuri atitinka maždaug 230 °C – 250 °C temperatūrą (American et al., 2017). Atliekant lenkimo bandymą, geležtė lūžo (lenkimas įtvirtinus geležtę, lenkiant apie 140°), tai rodo, kad geležtė išliko pernelyg trapi, kas leidžia teigti, jog nustatytoje temperatūroje gaminys nebuvo išlaikytas pakankamai ilgai.

Antrojo metodo atveju naudojama alyvos talpykla, esanti virš 7 kW galios dujinio degiklio. Per 1,5 valandos buvo pasiekta apie 200 °C alyvos temperatūra, kurioje geležtė laikyta 1 valandą, o vėliau atvėsinta kartu su alyva per 2 valandų laikotarpį. Šis metodas leido tolygiau kontroliuoti atleidimo temperatūrą ir trukmę, siekiant optimizuoti geležtės savybes ir sumažinti trapumą po grūdinimo (Oberg, 2016).



Laboratorijoje atlikti metalo kietumo matavimai pagal Rokvelo metodą, naudojant universalų kietmatį Zwick/Roell ZHU. Matavimai atlikti pagal LST EN ISO 6508-1:2024 standartą. Matavimo rezultatai rodo, kad kalavijo smaigalio srityje buvo užfiksuotas vidutinis 57,5 HRC kietumas (1 pav. 1 taškas) su variacijomis nuo 55,7 iki 58,5 HRC. Ašmens vidurinėje dalyje nustatytas 56,6 HRC kietumas (su reikšmėmis tarp 55,3 ir 58,2 HRC) (1 pav. 2 taškas), o prie pirmojo skersinio – 55,9 HRC (su reikšmėmis tarp 55,4 ir 56,3 HRC) (1 pav. 3 taškas).



1 pav. Kietumo bandymo taškai (sudaryta autorių)
Fig. 1. Hardness test points (composed by the authors)

Gauti duomenys leidžia teigti, kad esant skirtingai ašmenų masei ir storio pasiskirstymui, bet identiškai terminei apdorojimo aplinkai, temperatūros pasiskirstymas ašmenyse buvo nevienodas. Tai lėmė, kad storesnės ašmenų dalys buvo mažiau įkaitintos, palyginti su plonesnėmis dalimis, dėl ko užfiksuotas kietumo skirtumas visoje ašmens ilgio atkarpoje.

Išvados

Flambergo, kaip Viduramžių Europos ginklo, rekonstrukcija parodė, kad šio ginklo gamyba buvo techniškai sudėtinga, reikalaujanti aukštos kvalifikacijos meistrų darbo. Ginklo dizainas, įskaitant ašmenų geometriją ir svorio balansą, buvo itin svarbus siekiant užtikrinti optimalų manevringumą ir smūgio efektyvumą.

Eksperimentinių tyrimų metu nustatyta, kad skirtingos kalavijo dalys dėl savo masyvo ir storio įkaista nevienodai, o tai lemia nevienodą kietumą visoje ašmens ilgio atkarpoje. Tai rodo, kad termiškai apdorojant ginklus, svarbu atsižvelgti į jų geometrines ir masės charakteristikas, norint pasiekti tolygų ir optimalų kietumo pasiskirstymą.

Apibendrinant galima teigti, šie tyrimai ir eksperimentai svarbūs tiek istorinės kultūros supratimui plėtoti, tiek praktinėms žinioms apie ginklų gamybos technologijas gilinti. Jie atveria naujas perspektyvas eksperimentinės archeologijos taikymui, leidžiantys ne tik atkurti praeities objektus, bet ir suprasti jų naudojimo specifiką ir technologines subtilybes.

Literatūra

1. Merkevičius, A. (Editor) & Virginija Rimkutė (Author). (2013). *Metodai Lietuvos archeologijoje: Mokslas ir technologijos praeičiai pažinti: Eksperimentinė archeologija kaip tyrimo metodas*. Vilniaus Universitetas.
2. American Welding Society, Structural Welding Committee, American National Standards Institute, American Welding Society, & Technical Activities Committee. (2017). *Structural welding code—Stainless steel*.
3. ARMA, & ARMA. (2024). Definitions & Study Terminology. In *Sword Forms*. <http://thearma.org/terms4.htm>
4. Burton, R. F. (2014). *The Book of the Sword: A History of Daggers, Sabers, and Scimitars from Ancient Times to the Modern Day*. Simon and Schuster.
5. Evangelista, N. (1995). *The Encyclopedia of the Sword*. Bloomsbury Publishing USA.
6. *Fabri Armorum – Weapons for joy*. (2024). <https://www.fabri-armorum.com/en/homepage/>
7. Flamberge longsword flame-bladed sword • Medieval Extreme. (2024). *Medieval Extreme*. <https://medievalextrême.com/swords/flamberge-longsword-flame-bladed-sword/>



8. *Flamberge Rapier: Exploring Its Distinctive Features and Uses*. (2024). Mini Katana. <https://minikatana.com/blogs/main/flamberge-rapier-exploring-its-distinctive-features-and-uses>
9. *Flame-bladed swords, why?* (2020, April 24). Arms & Armor. <https://www.arms-n-armor.com/blogs/news/flame-bladed-swords-why>
10. HEMA (Historical European Martial Arts) in Lithuania. (2024). IEKM. <http://iekmlt/eng/>
11. Oberg, E. (2016). *Heat-Treatment of Steel: A Comprehensive Treatise on the Hardening, Tempering, Annealing and Casehardening of Various Kinds of Steel*. Owen Press.
12. Reinhardt, H. (2009). *Hank Reinhardt's The Book of Swords*. Baen Publishing Enterprises.
13. *Types of HEMA Sword Fighting and Its Traditions*. (2023, January 2). <https://swordis.com/blog/hema-sword-fighting/>
14. Woodworth, J. V. (2018). *Hardening, Tempering, Annealing and Forging of Steel: A Treatise on the Practical Treatment and Working of High and Low Grade Steel*. Forgotten Books.

Experimental Production Technology of Medieval Two-handed Swords

(Received in March, 2024; Accepted in April, 2024; Available Online from 10th of May, 2024)

Summary

This paper explores the production and reconstruction of the two-handed flamberge, a historical combat weapon known for its distinctive manufacturing techniques and usage characteristics. The flamberge's production highlights the high technical complexity and mastery required, making it an elite weapon inaccessible to the general public. The flamberge's design, which incorporates the handle's length and the blades' size and shape, aims to maximize cutting power and combat efficiency. However, despite the advantages of the flamberge, certain drawbacks, such as reduced blade stiffness and increased weight, along with historical factors like the emergence of firearms and the decline in armour usage, led to a decrease in its popularity.

The aim of the study is to reconstruct and thoroughly analyze the flamberge's manufacturing processes, material properties, and ergonomic use in practice, based on experimental reconstruction and practical tests. The primary method is experimental reconstruction, encompassing design and production experiments, physical and mechanical efficiency evaluations, and the application of experimental metallurgy principles. The research allowed for a detailed examination of aspects of the flamberge, ranging from the restoration of historical dimensions and proportions to a complex analysis of blade hardness and temperature distribution. The findings revealed that the temperature distribution across the blades was uneven due to differences in mass and thickness, resulting in variations in hardness. The obtained data allow us to state that with different blade mass and thickness distribution, but identical thermal processing environment, the temperature distribution in the blade was uneven. This resulted in the thicker parts of the blade being less heated compared to the thinner parts, resulting in a difference in hardness across the length of the blade. This work significantly contributes to the study of historical weapons, providing valuable insights into the peculiarities of flamberge production and its effectiveness in use.

