

MŰHELY

THIELE ÁDÁM – HARAMZA MÁRK

A KÖZÉPKORI DAMASZKOLT PENGÉK ARCHAOMETALLURGIÁJA ÉS MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI – FEGYVERTÖRTÉNETI KITEKINTÉS

An outlook on weapon History: the Archaeometallurgy and mechanical Features of Damascus blades in the Middle Ages

Pattern welded items (blades, axes, etc.) are very popular nowadays. Intensive research has been carried out and a considerable amount of information published about the issue of pattern-welding, nevertheless its mechanical properties and role in historical objects, especially swords, is still upon discussion among both specialists and enthusiasts involved in the study of historical swords and related issues. This study reveals the mechanical properties of pattern welded blades referring to the latest scientific results. We also try to introduce the archaeometallurgical background to help to understand the new results.

An interdisciplinary study is needed to answer the questions of what the role of patten welding was, or how the technique developed and became widespread in Europe. Authors: Adam Thiele, mechanical engineer, smith and PhD student (thiele@eik.bme.hu) and Márk Haramza student of history and smith (haramza.m@gmail.com) cooperated to find the answers.

Keywords: damastian steel, pattern welding, weaponhistory, archaeometallurgy, mechanical properties

Bevezetés

Napjainkban sok kutatást, archeometriai vizsgálatot végeznek középkori damaszolt pengéken, az új eredményeket pedig sokszor híres tudományos folyóiratok közlik.¹ Számos vállalkozás specializálódott világszerte damaszolt kések, kardok, török, fejszék stb. előállítására (a történelmi hitelességtől általában nagyon eltávolodva) és forgalmazására. Az ilyen termékek ma már közismertnek mondhatók. Azonban a damaszolt pengékkel kapcsolatban, első sorban azok különleges mechanikai tulajdonságairól, máig nagyon sok mítosz, legenda, sőt, tévedés él a köztudatban. A problémát tovább fokozza, hogy még a magyar szakirodalom sem egységes a damaszkolással, a damaszolt pengékkel kapcsolatos fogalomhasználatban.

Ebben a tudománypopularizáló szánt közleményünkben mindenekelőtt a damaszolt pengékkel kapcsolatos alapvető fogalmakat, terminológiát rendszerezzük, és ismertetjük kialakulásukat. Részletesen bemutatjuk az alapanyagként használt vasötvezetek nem közismert korabeli archeometallurgiáját és a damaszolt pengék maratással történő felületkikészítését. Végül a legújabb kutatási eredményeink alapján ismertetjük a középkori damaszolt pengék szintén kevésbé ismert, ám annál több tévhitel megítélt mechanikai tulajdonságait, és rövid kitekintést teszünk a damaszolt pengék kárpát-medencei kutatásának lehetőségeire és jelentőségére.

¹ A témával foglalkozó egyik legtöbbet idézett cikk: *Reibold, M. et al.* 2006. 286. o.

Terminológia

Mivel a damaszkolt pengékkel kapcsolatban nincs kialakult terminológia a hazai szakirodalomban, célszerűnek látjuk a meglévő fogalmak rendszerezését és a nemzetközi szakirodalom alapján néhány új fogalom bevezetését.

Az *anyagában díszített pengékre* az jellemző, hogy a felületükön valamilyen mintázat vehető észre. Ez maratás után jelenik meg a különböző kémiai összetételű rétegek vagy szövetelemek eltérő korróziós tulajdonságai miatt. Az anyagában díszített pengék közül legismertebb a *damaszkuszi acél* (*damascus steel*) penge, ami alatt azonban két eljárást, két különböző anyagot is értenek, ennek következtében nagyon gyakoriak a félreértések: a damaszkuszi acél fogalom a köztudatban egyet jelent a damaszkolt acéllal és a damaszkolással. Így a damaszkuszi acéllal kapcsolatos minden legenda automatikusan értelmezett a damaszkolt pengékre is.

A damaszkuszi acél egyik fajtája a *wootz*, amely egy állandó karbontartalmú, hipereutektoidos ($C > 0,86\text{wt}\%$) acél.² A szláv és török területeken *bulat* néven ismert, mely valószínűleg a koraiszlám forrásokban is szereplő arab *fūlad*-ból származik.³ Előállítására a IX–XII. századi szerzők több receptet ismertettek. Mindegyikben közös, hogy lágyvas alapanyagot⁴ helyeztek egy légmentesen elzárt olvasztótégelybe és cementálásra⁵ alkalmas, karbontartalmú anyagokat (balzsamdió, gránátalmahéj), valamint reakciógyorsító szereket (magnezit, bórax) adtak hozzá. A tégelyt felhevítették, nagy hőmérsékleten hőtartották, majd lassú lehűtés következett. Ennek eredményeképpen nagy karbontartalmú (hipereutektoidos) acélt kaptak, amelynek szemcseszerkezete a hosszú hőtartás miatt eldurvult, így a szekunder cementit tűk és háló maratás után jól láthatók voltak.⁶ A wootz mintázatát tehát a maratással láthatóvá tett különleges szövetszerkezet, az ún. *Widmanstätten-szövetszerkezet* adja, amelyben az eldurvult, hálózatos-tűs megjelenésű szekunder cementit szövetelem világos megjelenésű. Ezzel az acéltípussal az európaiak a keresztes hadjáratok során kerülhettek először kapcsolatba (innen származhat a damaszkuszi acél elnevezés),⁷ azonban az anyag előállítása Indiában történt.⁸

² Bronson 1986. 13–51. o.

³ A koraiszlám források, (*Ya'qūb ibn Işhāq al-Kindī*: Kardok és fajtáik, *Abū r-Rayhān al-Bīrūnī*: Gyűjteményes könyv az ékkövek ismeretéről, *Murḍā b. Alī b. Murḍā b. at-Tarsūsī*: Az értelem birtokosainak magyarázata a háborúban a csapásoktól való védelem minőségéről és az eszközeire vonatkozó jellemzők ismeretének ki-terjesztése) alapvetően négy vastípust különítenek el: a *šāburqāni* (lágyvasnál nagyobb karbontar-talommal rendelkező, de nem öntöttvasnak számító acél), a *narmāhani* (lágyvas), a *daust* és a *fūladot*. *Fehér* 2000. 9.; 16.; 21–24.; 26.; 28.; 31.; 34.; 36.; 44.; 46–47.; 49.; 61–62.; 65.; 71.; 73.; 75.; 77. o., vö.: *Fehér* 2001. 5–6.; 23–25. o.

⁴ Található olyan recept is, mely a lágyvasat magasabb széntartalmú acéllal vegyíti (pl: *Fehér* 2000. 62. o.), ez azonban eddigi ismereteink szerint nem vezethet eredményre. Az említett források alapján történtek már kísérletek a damaszkuszi acél rekonstrukciójára, melyeket Haramza Márk A damaszkuszi acél részleges rekonstrukciója címmel publikált. *Haramza* 2012. 81–84. o.

⁵ A fogalom bővebb leírását lásd: A damaszkolt pengékhez használt vasötvözetek archaeometallurgiája c. fejezetben.

⁶ *Allan* 1979. 76–77. o.

⁷ Az anyag típus elnevezése összefüggésbe hozható európai elterjedésével. A keleti nyelvekben a wootz-ot nem kőtik Damaszkuszhoz, annak ellenére sem, hogy az arab kardtípológiában számos fajtát neveznek el származási helyéről (pl. *yamāni*, *qala'ti*), többek között magáról Damaszkuszról is. Az általunk damaszkuszi acél néven ismert acéltípust azonban a *fūlad* jelöli.

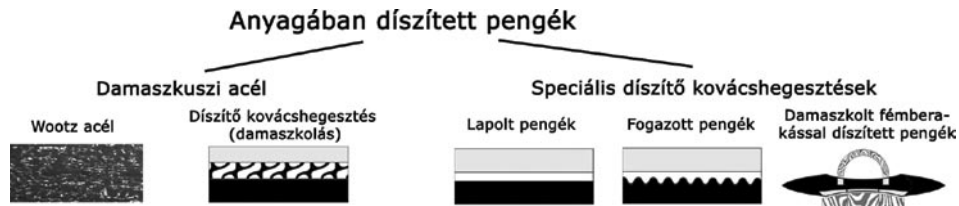
⁸ *Rostoker et al.* 1990. 127. o.

A legújabb kutatások szerint a wootz acélhoz nagyon hasonló anyagból, ún. *tégely-acélből* (*crucible steel*) készültek egyes X. századi viking kardok pengéi (*Ulfberth pengék*, „+VLFBERH+T” féंबरakással díszített pengék).⁹ Tulajdonképpen a wootz acél a tégelyacél egy speciális változatának tekinthető (részletesen lásd később).

A damaszkuszi acél megnevezést használják a *díszítő kovácshegesztéssel* készült fémfém kompozitokra is.¹⁰ A díszítő kovácshegesztés szóösszetételt ebben a dolgozatban az angol archeometallurgiai szakirodalom *pattern-welding* kifejezésének megfelelőjeként használjuk. Ez a szóösszetétel nemcsak az eljárás lényeges technológiai lépésére, a kovácshegesztésre, hanem a funkciójára, a díszítésre is utal. A díszítő kovácshegesztés során különböző kémiai összetételű vasötvözeteket kovácshegesztettek össze, majd a mintázatot az eltérő korróziós tulajdonságokat kihasználva, szintén maratással tették láthatóvá. A középkori damaszkolt kard- és késpengékre jellemző, hogy szinte sohasem a penge teljes keresztmetszete készült damaszkolással, hanem kések esetén általában pengék foka, kardoknál pedig a penge közepe. A díszítő kovácshegesztésre a magyarban a damaszkolt, *damaszk*, *damaszt* és damaszkuszi acél, az angolban szintén *damasc* vagy *damascus steel*, a németben pedig *damast*, *damaszener Stahl* a gyakran használt köznyelvi kifejezés (ezek okozzák a félreértéseket).

Szintén az anyagában díszített pengék közé sorolható néhány, a díszítő kovácshegesztés speciális változataival készült képkori kés, sax, illetve kard pengéje (*lapolt*, *fogazott* és *damaszkolt féंबरakással díszített* pengék).

Az eddig említett fogalmakat az első ábra rendszerezi és illusztrálja.



1. ábra: Az anyagában díszített pengék csoportosítása és illusztrációja
(Minden ábra és táblázat a szerzők saját munkája)

A damaszkolás kialakulása

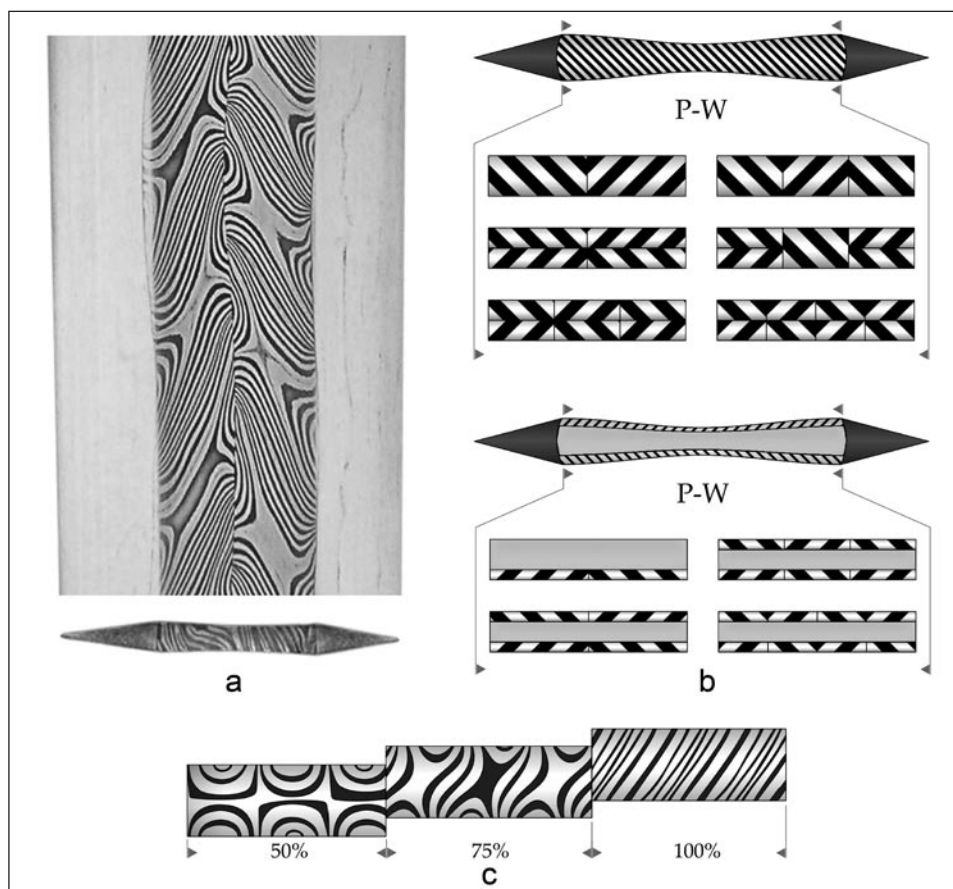
A damaszkolás a La-Téne időkben kezdődött *réteges kompozit készítés* (*piled composites*) eljárásáig vezethető vissza.¹¹ *Lágyvas* ($C < 0,2wt\%$) és *acél* ($C > 0,2wt\%$) lapokat felváltva helyeztek egymásra, majd a tömböt kovácshegesztéssel hozták anyagzáró kapcsolatba.¹² Szemben a korabeli vaskohászat primer termékével a vashúccával, az így kapott rúdban már egyenletesebb volt a karbon eloszlása, illetve a nagymértékű átková-

⁹ McNeil 1990. 159–160. o.

¹⁰ William F. Morat híres késkészítő damaszkuszi acél néven mutatta be 1973-ban a díszítő kovácshegesztéssel készült kését. Lewis 1992. 58–64. o., és Kertzman 2007. 224–226. o.

¹¹ Pleiner 1993. 100–109. o., vö.: Williams 2012. 12–86. o.,

¹² Buchwald 2005. 35–38. o., vö.: Anstee et al. 1961. 71–93. o., Williams 1977. 75–101. o., Edge et al. 2003 191–210. o., Lang, J.: The Celtic Sword: a source of practical inspiration. In: Hošek et al. 2011. 263–272. o.



2. ábra:

Kardpengék, amelyek több damaskolt rúd vagy szalag és az élek kovácshegesztésével készültek. A központi mag készülhetett teljes szelvényében (felül baloldalon) rétegelt vagy egy magra rákovácsolt damaskolt szalagokból (felül jobboldalon). Csavarással és anyagválasztással kialakított mintázat (alul).

csolás miatt az éles bemetszést okozó salakzárványok is felaprózódtak. A kezdeti réteges kompozitkészítés célja elsősorban a mechanikai tulajdonságok javítása volt, nem pedig a díszítés.

A damaskolás technológiája akkor fejlődött ki az egyszerű réteges kompozit készítésből, amikor foszforvasat ($P > 0,1 \text{wt}\%$) kezdtek felhasználni a réteges rudak elkészítéséhez. Ezeknek a rudaknak a mintázatát többnyire további megmunkálással (megcsavarhatták őket a hossz tengelyük körül, levághattak vagy forgácsolással anyagot választhattak le róluk a hosszuk mentén stb.) különlegesebbé, maratással pedig láthatóvá tették.¹³ Annak

¹³ Anstee et al. 1961. 71–93. o., vö.: Anteins 1973. 12–19. o., Mäder 2001. 80–81. o., Thålin-Bergman, L.: Blacksmithing in Prehistoric Sweden. In: Calissendorff et al. 1979. 99–133. o.

ellenére, hogy a legtöbben még ma is úgy gondolják, hogy lágyvas és acél rétegek eredményezik a mintázatot, már az 1980-as években kiderült, hogy a damaszkoláskor kizárólag kétféle, foszforvas+lágyvas vagy foszforvas+acél anyagpárosításokat használtak.¹⁴ Damaszkolással első sorban kardpengék magja (amelybe a vércsatorna volt bekovácsolva) készült, mégpedig vagy teljes szelvényében, vagy pedig lágyvas vagy acél magra rétegelt szalagok rákovácsolásával.¹⁵ A kardok központi magja általában maga is több damaszkolt rúd sokféle kombinációban történő kovácshegesztésével készült,¹⁶ amelyben a rudak általában hét rétegből álltak.¹⁷ Ehhez a központi maghoz két oldalról a kard élét szintén kovácshegesztéssel hozták anyagzáró kötésbe.¹⁸

Kardpengék esetében a damaszkolást (főként csavart mintázattal) a II. század végétől a X–XI. század fordulójáig használták,¹⁹ főként az északi germán népek (norvégok, dánok, angol-szászok stb.). A kardnak kivételes szerepe volt a fegyverek között, a harcosnak lehetőleg karddal a kézben kellett meghalnia, ha a Valhallába akart jutni, elvesztése pedig valóságos tragédia volt.²⁰ Ezeknek az igen nagy becsben tartott kardoknak a mintázata is komoly, már-már mitikus szerephez jutott; rendszerint kígyók tekergőzésére, sárkány erőt adó leheletére asszociáltak róla. A damaszkolt kardpengék jellegzetes kialakítását a 2. ábra mutatja.

A damaszkolt pengékhez használt vasötvözetek archaeometallurgiája

Közismert, hogy a középkori Európában használt vasötvözetek szinte kizárólag *bucavasak* voltak (kivétel a speciális tégelyacél, bár ennek alapanyaga szintén bucavas volt). Ennek előállítására bucakemencékben történt, amelyek alacsony, faszén tüzelésű aknás kemencék voltak, bennük a tüzet egészen a XI. században megjelenő vízkerekekig kézi fűjtatókkal szították. A bucakemencékben ún. gyepvasérceket kohósítottak, amely a talajszinthez közel megtalálható, könnyen kifejthető vasércfajta. A kemencékben a pörkölt gyepvasércek vasoxid tartalma a faszén égésével keletkező szénmonoxid hatására színvassá redukálódott, azonban ez a redukció nem volt teljes. A redukálatlan vasoxidokból és a gyepvasércek meddőtartalmából olvadt salak keletkezett. A kemence alján a szilárd halmazállapotú vasszemcsék, vasrögök összehegedtek, így állt össze a szivacsos szerkezetű vasbuca, amely sok olvadt salakot tartalmazott. Nagyon fontos tehát, hogy a vas a bucavaskohászat során nem olvadt meg. A kemencéből kihúzott terméket átkovácsolták, tömörítették, ennek során a salak jelentős része kifröccsent, azonban az összehegedő vasszemcsék és vasrögök között sok salak bezáródott, ezért a bucavas sok salakzárványt tartalmazott. A vassbukavaskohászat technológiáját részletesen bemutató ismeretterjesztő videofilmet készítettünk a 2012 évi Őskohász Táborban Somogyfajszon.²¹

¹⁴ Tylecote et al. 1986. 146–262. o., vö.: Hoyland et al. 2006.

¹⁵ Jones 1997. 7–11. o., vö.: Jones L. A: Blade Construction and Pattern-Welding. In: Peirce et al. 2002. 145–151. o.

¹⁶ Lang et al. 1989. 85–122. o.

¹⁷ Tylecote et al. 1986. 251–252. o.

¹⁸ Böhne et al. 1961. 107–122. o., vö.: Maryon 1960. 25–37. o.

¹⁹ Hošek, J. – Beran, V. – Komoróczy, B.: The metallography of two Roman swords from Mušov, Czech Republic. In: Hauptmann et al. 2011. 100. o.

²⁰ Magnusson et al. 1969. 272. o.

²¹ A film meglekinthető a www.bucavasyouro.net internetes oldal kezdőlapján.

A tégelyacél készítése során szénporba ágyazott szivacsos, nagy fajlagos felületű vasbucva darabokat hevítettek,²² így a karbon diffúzióval jutott be a vasdarabok felületének néhány mm-es mélységébe, majd további diffúzióval egyenletesen elszórt ezekben. Ezt a hőkezelés-eljárást nevezzük cementálásnak. Elegendően nagy cementálási hőmérséklet esetén a felszenült vasdarabok részben vagy egészben megolvadtak, és egy tömbbé álltak össze. Az olvadékfázis megjelenésének következtében a bucavasban még salakzárványok formájában nagy mennyiségben meglévő, a kohósítás során az ércből és a redukálatlan vasoxidokból származó vassalak képes volt elválni a vasfázistól, így a tégelyacél salakzárványokat már alig tartalmazott.²³

A salakzárványoknak jelentős hatása van a mechanikai tulajdonságokra. Bucavasból és modern acélokból kikovácsolt próbatesteken elvégzett összehasonlító mechanikai anyagvizsgálatokkal megállapítottuk, hogy ezzel az eljárással készült vas szívósságot jellemző mérőszámai (szakadási nyúlás, kontrakció, fajlagos törési munka stb.) jóval alacsonyabbak, mint a modern acéloké.²⁴ Ennek oka a salakzárványok bemetsző hatása, a salakzárványok feszültséggyűjtő helyek, és mikrorepedések kiindulópontjai a fémmátrixban. Itt kell megjegyezni, azt a fontos tényt, hogy a bucavasból kovácsolt fegyverekkel szemben a tégelyacélból vagy a wootz-pengéknek meglévő legendásan jó mechanikai tulajdonságainak első sorban az anyagot rideggé, törékennyé tévő salakzárványok hiánya a magyarázata.²⁵ Fontos tudni továbbá, hogy a mai modern acélok gyakorlatilag szintén nem tartalmaznak salakzárványokat, ezért a mai acélok mechanikai tulajdonságai sokkal jobban a középkori vasötvözetekénél.

A középkorban három vasötvözetet használtak. Ezek a vasötvözetek a nemzetközi archaeometallurgiában használt fogalmakkal: lágyvas, acél és foszforvas. A három középkori vasötvözet definícióját az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat
A három legfontosabb középkori vasötvözet

Vasötvözet	Magyarázat
Lágyvas	Kevés karbont, de egyéb ötvözőket vagy szennyezőket nem tartalmazó vasötvözet. A karbontartalom legfeljebb 0,2wt%. Nem edzhető. Az angol archaeometallurgiai szakirodalomban „wrought iron”.
Acél	Nagy karbontartalmú, de egyéb ötvözőket vagy szennyezőket nem tartalmazó vasötvözet. A karbontartalom legalább 0,2wt%, de általában 1wt%-nál nem nagyobb. Edzhető. Az angol archaeometallurgiai szakirodalomban „steel”.
Foszforvas	Nagy foszfortartalmú, kevés karbont (és esetleg arzént), de egyéb ötvözőket vagy szennyezőket nem tartalmazó vasötvözet. A karbontartalom legfeljebb 0,2wt%. Nem edzhető. A foszfortartalom 0,1wt% nál nagyobb. Az angol archaeometallurgiai szakirodalomban „phosphoric iron”. A foszforvasat első sorban díszítő kovácshegesztésnél használták.

²² Bővebben lásd: Anna Marie Feuerbach doktori disszertációját a tégelyacélról. *Feuerbach* 2002.

²³ A tégelyacél készítésével párhuzamba állítható *aṭ-Ṭarsūsī* leírása, melyben szintén fontos szerepet kap az olvasztott anyag salakmentesítése. Ez utóbbinál egyfajta „gyógyszert” is adnak a fémhez, amely nagy valószínűséggel a vas-oxid folyósítására alkalmas bórax lehet, mivel ennek nyomán „egyenletes lesz [az acél] természete és elhagyja a tönkremenését okozó földesség.” valamint megtisztítja az anyagot „attól, ami hozzá van keveredve az ércben”. *Fehér* 2000. 61. o.

²⁴ *Thiele et al.* [1.]

²⁵ *Peirce et al.* 2002.

Az egyéb vasötvözetek szerepe nem jelentős (esetleg az arzénvasat lehetne még megemlíteni²⁶), a karbonon és a foszforon kívül egyéb ötvözők (vagy szennyezők) olyan mennyiségben, aminek hatása lehetne a mechanikai tulajdonságokra, általában nem jelennek meg a középkori vasötvözetekben, ugyanis tudatos ötvözésről nem beszélhetünk. Egyes régészeti minták esetében találtak a kovácshegesztési vonalakban a leégés miatt vagy a felületi rétegekben a korrózió következtében létrejött Ni, Co, Cu dúsulásokat,²⁷ azonban ezeknek az ötvözőknek a koncentrációja csak helyileg növekedett meg, így a tömbi anyag mechanikai tulajdonságaira nincsenek hatással. 10 morvaországi damaszkolt kard- és késpengéken elvégzett korábbi archaeometriai vizsgálati eredményeink alapján a damaszkolt pengékben használt foszforvas kémiai összetételével kapcsolatban pontosabb adatokhoz jutottunk, SEM-EDS mérésekkel megállapítottuk, hogy a foszfortartalom 0,4–1,4wt% között volt.²⁸

A vasbucá karbontartalmát a kohászat során a befűjt levegő mennyiségének hatására történő hőmérsékletváltoztatással vagy pedig a beadott faszén/vasérc aránnyal lehetett befolyásolni.²⁹ Nagyobb hőmérséklet és nagyobb faszén/vasérc arány mellett a keletkezett vas karbonartalma nagyobb lett. A foszfortartalom befolyásolására a legegyszerűbb módszer feltételezhetően a mész vagy valamilyen mésztartalmú anyag (pl. fahamu) beadagolása volt,³⁰ azonban ennek régészeti bizonyítéka egyelőre nem ismert. A vasbucakohászat során a kapott termék kémiai összetétele a teljes térfogatban módosítható, de tömörítése, átkovácsolása után kémiai összetételét már csak a felületi rétegekben van lehetőség módosítani (pl. cementálás).

A felület kikészítése maratással

A damaszkolással készült pengék felületén a mintázatot az előzőleg fémtisztára csiszolt felület savval történő maratásával tették láthatóvá. Egy korábbi kutatásunk maratási kísérletei során felmerült a kérdés, hogy melyek voltak a középkorban ismert savtípusok.³¹

A kénsav („vitriol” – H_2SO_4) már az ókori Európában is használatos volt. A Krisztus utáni I. században említést tesz róla Dioscorides görög orvos és idősebb Plinius is. Szintén az ókortól használtak egy festőnövényt (*Rubia Tinctorum* – festőbuzér), melynek gyökeréből fermentálással és kénsavas vagy lúgos hidrolízissel nyerték ki a színezéket. A festésnél egy VIII. századi luccai kézirat (*Compositiones ad tingenda musiva*) szerint a kénsav közvetlen szerepet is kapott.³² Európán kívül sumér és asszír forrásokban is találkozhatunk a vegyülettel, de a fentebb ismertetett koraiszlám szerzők is írnak róla, kifejezetten kardpenge maratásának céljából. Ya'qūb ibn Işhāq al-Kindī már a IX. században lejegyezte *Kardok és fajtáik című* művében, hogy a kardpengéket vitriollal, azaz

²⁶ Piakowski 1984. 213–226. o.

²⁷ Tylecote et al. 1973. 193–198. o.

²⁸ Thiele, A. – Hosek, J. (in press)

²⁹ Crew, P. – Charlton, M. – Dillmann, P. – Fluzin, P. – Salter, C. – Truffaut, E.: Cast iron from a bloomery furnace. In: Hošek et al. 2011. 239–262. o.; Sauder et al. 2002. 122–131. o.

³⁰ Török et al 2013.

³¹ Thiele et al [2.]

³² Karpenko et al. 2002. 997–998. o.; Theophilus 1986. 51–56. o.; Stillmann 1960. 185. o.

kénsavval vonták be a felületi mintázat előhívása céljából. A X–XI. század fordulóján élő Abū r-Rayhān al-Bīrūnī szintén megemlékezett erről az eljárásról *Gyűjteményes könyv az ékkövek ismeretéről* című írásában.³³

A *salétromsav* (HNO_3) középkori ismertsége párhuzamos lehetett a kénsavével. Mindkettő tudományos igényű beazonosítását Abū Mūsā Jābir ibn Ḥayyān (kb. Kr. u. 721–815, latinosan Geber), a mai Irán területéről származó arabiai tudós, polihisztor, alkimista nevéhez szokás kötni. Geber műveiben találkozhatunk többek között olyan kémiai technológiák korabeli megfogalmazásával, mint a lepárlás, kristályosítás, pörkölés, elgőzölés. Kísérletező munkássága mutatkozik meg abban is, hogy a kénsav, salétromsav, *sósav* (HCl), *citromsav* ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) és *borkósav* ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$) „felfedezése” mellett ő adta meg az aranyat oldó „királyvíz” (*aqua regia*) három rész sósavat és egy rész salétromsavat tartalmazó receptjét.³⁴ Az európai írásokban ugyanez a XIII. századi Pseudo-Geber néven emlegetett (az elnevezés nem véletlen), ismeretlen alkimista műveiben (*Summa perfectionis magisterii*) jelenik meg, leírva azt is, hogy a királyvizet kénsavban oldott szalmiáksó, ammóniasó („sal ammoniacum” – NH_4Cl) segítségével állították elő.³⁵ Egy korai XIV. századi feljegyzésben is szerepel „sal armoniacum” formában az ammóniasó. A fennmaradt recept arról tanúskodik, hogy az ammóniasó vizes oldata korrodálhatja a vasat. („Aqua corrosiva: Nota quod aqua corrosiva minuens corporum pondera fit ex sale armoniaci et coperosa in equali portione distillando aquam per alembicum [...] Aqua solvens argentum: Aqua solvens argentum et quidem alia metalla fit ex vitriollo romano et sale armoniaci in equali portione et haec aqua dissolvit ferrum...”³⁶)

Az *ecetsav* (CH_3COOH) az ókorban és a középkorban közismert volt. Az orvoslásban többek között fogfájás ellen, vérzés megállítására és sebek fertőtlenítésére használták, míg a gasztronómiában élelmiszerek ízesítésére, befőzésére és tartósítására. Egyszerű előállíthatóságának köszönhetően olcsó és könnyen elérhető volt az alacsonyabb társadalmi rétegek számára is.³⁷

A *csersav*ról ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_9 + 2\text{H}_2\text{O}$) Teophilus Presbyter (kb. 1070–125) *De diversibus artibus* című munkájában olvashatunk. Egy tintakészítési receptben lejegyzett növény, a *Ligna Spinarum* egy tüskés fafajtát jelöl, melynek kérgében magas a csersavtartalom.³⁸

A „rozsdáatalakítóként” is ismert *foszforsav* (H_3PO_4) (amely a vöröses-barna rozsdát [Fe_2O_3] fekete ferro-foszfáttá [FePO_4] alakítja) szabad állapotban a természetben nem található meg, de sói gyakoriak. Erős oxidálószer, mint pl. a salétromsav a foszfort foszforsavvá alakítja.

Természetesen a fent összefoglalt kémiai jellegű írások, művek (amelyek, mint látható, a vizsgált időszakot tekintve alapvetően keletiek) megléte nem ekvivalens a korabeli, fémmaratást végző szakemberek használható savakat illető, alapvetően empirikus ismereteivel. Mindazonáltal a gyümölcsök erjedése által közismert lehetett az ecetsav, citromsav, borkósav (szőlősav), a fák gubacsából a csersav, illetve használhattak kénsavat, salétromsavat, sósavat is, annak pontos definiálása nélkül.

³³ Fehér 2001. 28. o.; Karpenko et al. 2002. 997–998. o.

³⁴ Datta 2005. 40. o.

³⁵ Karpenko et al. 2002. 1002. o.

³⁶ Newman 1991. 73–74. o.

³⁷ Weiss 2004. 337–346. o.

³⁸ Teophilus 1986. 159. o.

A korábbi kutatásunk során damaszkolt próbatesteken végeztünk maratási kísérleteket.³⁹ Dísztítő kovácshegesztéssel egy 8 rétegű, csavart mintázatú, foszforvas + lágyvas anyagpárosítással, valamint két, szintén 8 rétegű, csavart mintázatú foszforvas + acél anyagpárosítással próbatestet kovácsoltunk. Az egyik, foszforvas + acél anyagpárosítással készült próbatestet hőkezelése normalizálás, míg a másiké nemesítés volt. A kísérleteket 2%-os és 10%-os, csapvízzel hígított, 20°C-os és 70°C-os citromsavval, ecetsavval, foszforsavval, kénsavval, salétromsavval és sósavval végeztük el, a mintákat 10, illetve 60 másodpercig maratva. Összesen 114 maratási kísérletet végeztünk. Az eredmények alapján elmondható, hogy a legmarkánsabb, legkontrasztosabb mintázatot a foszforvas és nemesített acél kombinációja, 20%-os töménységű, 70°C-os hőmérsékletű sósavval történő 10 másodperces maratása eredményezte. A 20%-os sósav minden anyagpárosításra markáns mintázatot eredményezett 20°C-os és 70°C-os hőmérsékleten is. A sósav, mint említettük, a középkorban minden bizonnyal elvileg elérhető marószer volt, még ha nem is olyan könnyen, mint például az ecetsav, ezért nem valószínű, hogy gyakran használták. A szintén beszerezhető salétromsav, ugyancsak határozott mintázatot hozott létre, bár az egyes anyagpárosításokra vonatkozóan más-más maratási paraméterek mellett. A kénsav és a foszforsav csak néhány esetben, a citromsav és az ecetsav pedig egy esettől eltekintve kizárólag csak a foszforvas és nemesített acél anyagpárosítás mellett eredményezett markáns mintázatot. A korabeli kardkészítők minden bizonnyal a természetben könnyebben elérhető, relatíve gyenge savakat használták rendszeresebben, mint például az ecetsavat, a megsavanyodott sört, a vizelet savtartalmát, a borkóssavat, illetve a cersavat, amely az igen hatásos, kék-fekete színű sávkokat eredményezi, és egyfajta rozsdásodás-gátlásként is szolgált.

A damaszkolt pengék mechanikai tulajdonságai

A damaszkuszi pengék jó mechanikai tulajdonságaival kapcsolatban számos legenda ismert. Ilyen például az is, miszerint a Szentföldre érkező kereszties lovagok kardját a muszlim harcosok pengéje valósággal kettészelte⁴⁰ (itt valószínűleg wootz-pengéről van szó). A későbbi magyar irodalom is nagy tisztelettel emlékszik meg a mesébe illő fegyverekről. Jókai Mór *A kőszívű ember fiai* című regényében például Baradlay Richárd öv gyanánt hajlít a dereka köré egy „damaszkpengét”, amivel aztán egy puskacsövet is kettévág⁴¹ (itt már nem tudni damaszkolt vagy wootz pengéről van-e szó).

Ebben a fejezetben egy korábbi kutatásunk⁴² eredményit mutatjuk be, amelynek célkitűzése az volt, hogy választ adjunk a kérdésre: a damaszkolásnak valóban a mechanikai tulajdonságok javításában vagy csak a szép felületi mintázat létrehozásában volt szerepe? A kérdés megválaszolásához mechanikai anyagvizsgálatokat végeztünk el különböző anyagpárosítással készült damaszkolt próbatesteken. A téma népszerűsége okán korábban már számos hasonló mechanikai anyagvizsgálat-sorozatra került sor,⁴³ azonban a próbatestek mindig modern, ipari acélokból készültek és nem bucavasból, főleg nem foszforvas-

³⁹ Thiele et al [2.]

⁴⁰ Haramza 2013. 2. o.

⁴¹ Gárdonyi híres művében, az Egri csillagok-ban szintén olvashatunk a damaszkuszi acél páratlanságáról. Lendvai 2008. 5–6. o.

⁴² Thiele et al. [3]

⁴³ France-Lanord 1949. 19–45. o.; Salin 1957. 206–208. o.; Lang 2009. 232–240. o. Lásd még: Pelsmaeker 2010.; Williams 2012.

ból, így a kapott eredmények alapján a középkori damaszkolt pengékre tett megállapítások megkérdőjelezhetőek.

Első sorban a kardpengék mechanikai tulajdonságait érdemes tárgyalni, mert ezek a hosszú, karcsú fegyverek valóban nagy mechanikai igénybevételnek voltak kitéve harc közben, szemben a késpengékkel. A kardpengék esetében ütésszerű (dinamikus) hajlító igénybevételről, egyszerű (statikus) hajlító igénybevételről beszélhetünk. A fellépő igénybevételekkel szembeni ellenállást a kardpenge geometriai kialakítása (hossza és keresztmetszete) és a karpenge anyagának anyagjellemzői határozzák meg. Itt nem vizsgáljuk a kardok geometriai kialakításának hatását, hanem kizárólag a kardok anyagjellemzőire fókuszálunk.

A két legfontosabb anyagjellemző a szilárdság és a szívósság. Ezeket különböző mérőszámokkal jellemezhetjük, amelyeket mechanikai anyagvizsgálatok segítségével határozhatunk meg.

A szilárdságot jellemző mérőszámok közül a legfontosabb a folyáshatár (a mi esetünkben az egyezményes folyáshatár, $R_{p0,2}$ (MPa)). Minél nagyobb a folyáshatár, annál szilárdabb az anyag, így annál jobban ellenáll a penge a kisebb hajlító igénybevételnek, amelynek eredménye a maradó alakváltozás, azaz a penge elgörbülése lehet. A szakítószilárdság (R_m (MPa)) szintén jellemzi a szilárdságot.

A szívósságot, mint anyagjellemzőt szét kell választanunk dinamikus szívósságra és statikus szívósságra. A dinamikus szívósság az ütőmunka mérőszámmal (KV (J)) jellemezhető. Minél nagyobb az ütőmunka, annál szívósabb az anyag, így annál jobban ellenáll a penge az ütésszerű hajlító igénybevételnek, amelynek eredménye törés lehet. A statikus szívósság a fajlagos törési munkával, (W_c , (J/cm³)), a szakadási nyúlással (A (%)) és a kontrakcióval (Z (%)) jellemezhető. Minél nagyobbak ezen mérőszámai az anyagnak, annál jobban ellenáll a penge a nagymértékű hajlító igénybevételnek, amelynek eredménye már a törés lehet.

Az ütőmunkát a szabványos Charpy-féle ütve hajlító vizsgálattal, a többi mérőszámot pedig a szintén szabványos szakítóvizsgálattal határoztuk meg. Az eddig említett fogalmakat a 2. táblázat foglalja össze.

A mechanikai anyagvizsgálatokat olyan próbatesteken készítettük el, amelyekhez a bucavas alapanyagokat, lágyvasat, acél és foszforvasat korhűen állítottuk elő gyepvasérc kohósításával. Ezekről a próbakohósításokról és a honfoglalás kori kárpát-medencei vas-kohászatot felelevenítő rekonstrukciós kísérletekről már számos korábbi publikációban beszámoltunk.⁴⁴

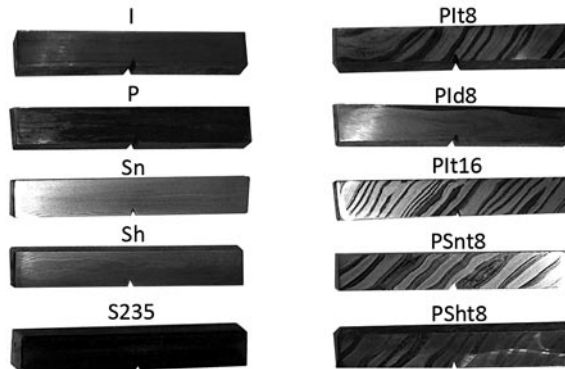
A bucavas alapanyagokból díszítő kovácshegesztéssel 8 és 16 rétegű, csavart és nem csavart mintázatú (párhuzamos rétegek), középkori kard és késpengéknél előforduló, foszforvas és lágyvas (Pit8 és Pid8 és Pit16), foszforvas és normalizált acél (PSnt8), foszforvas és nemesített acél (PSht8) anyagpárosításokkal készítettünk próbatesteket. Kikovácsoltunk továbbá bucavas alapanyagokból is próbatesteket, így készültek lágyvas (I), foszforvas (P), normalizált acél (Sn) és nemesített acél (Sh) próbatestek. Azért, hogy a középkori bucavas anyagokat jobban összehasonlíthassuk a mai modern acélokkal, referencia anyagként modern S235 szerkezeti acélból szintén próbatesteket készítettünk. Min-

⁴⁴ Thiele et al. 2010. 7–12. o.; Thiele 2012. [1.] 99–104. o.; Thiele 2012. [2.] 43–44. o.; Thiele 2010. 395–408. o.; Thiele et al. 2011. 364–367. o.

2. táblázat
A mechanikai anyagvizsgálatok mechanikai háttere

<i>Igénybevétel</i>	<i>Következmény</i>	<i>Anyagjellemző</i>	<i>Mérőszám</i>	<i>Mechanikai anyagvizsgálat</i>
Ütésszerű hajlító igénybevétel	Törés	Dinamikus szívósság	Ütőmunka (KV [J])	Charpy-vizsgálat
Kis hajlító igénybevétel	Maradó alakváltozás	Szilárdság	Egyezményes folyáshatár ($R_{p0.2}$ [MPa]) és szakítószilárdság (R_m [MPa])	Szakítóvizsgálat
Nagy hajlító igénybevétel	Törés	Statikus szívósság	Fajlagos törési munka (W_c [J/cm ³]), szakadási nyúlás (A [%]), Kontrakció (Z[%])	Szakítóvizsgálat

den próbatest típusból 3–5 darabot állítottunk elő, azért hogy a nagyobb számú méréssel a mérési hibákat csökkenthessük, illetve hogy a kapott eredményeket statisztikai módszerekkel értékelhessük. Példaként a Charpy-próbatesteket a 3. ábra mutatja.

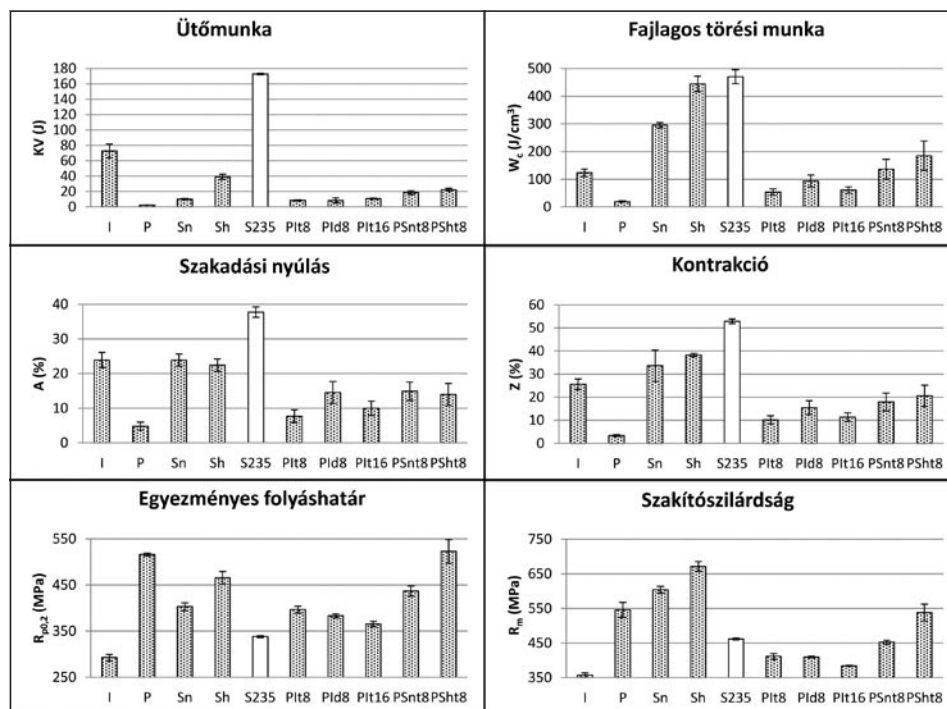


3. ábra:
Bucavásból kovácsolt Charpy próbatestek (reprezentáns darab egy-egy próbatest típusból)
A felület polírozva és 2%-os nitállal maratva

Az elvégzett szabványos Charpy-féle ütve hajlító vizsgálatok⁴⁵ és a szabványos szakítóvizsgálatok⁴⁶ eredményeinek kiértékelése alapján az egyes próbatest-típusokra meghatározott szívóssági és szilárdsági mérőszámokat a 4. ábra foglalja össze

⁴⁵ International Standard ISO 148-2:2008(E)

⁴⁶ International Standard ISO 6892-1:2009(E)



4. ábra:

A mechanikai anyagvizsgálatokkal meghatározott szívóssági és szilárdsági mérőszámok az egyes próbatípusokra a szórások feltüntetésével

Eredmények

A mechanikai anyagvizsgálatok során kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a hasonló kémiai összetételű és mikroszerkezetű, de salakzárványokat tartalmazó bucavas mechanikai tulajdonságai jóval elmaradnak a mai modern acéloktól (amelyekben alig található salakzárvány). A bucavas dinamikus és statikus szívóssága a zárványok bemetsző, feszültséggyűjtő hatása miatt jóval kisebb, mint a mai modern acéloké.⁴⁷ A díszítő kovácshegesztés mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásával korábban foglalkozó, modern acélokkal dolgozó kutatások eredményei és az azokból levont következtetések éppen ezért kérdőjelezhetők meg.

A mechanikai anyagvizsgálati eredmények alapján az is jól látható, hogy a foszforvas, bár szilárdsága a nemesített acélokéhoz hasonlóan nagy, dinamikus és statikus szívóssága jóval elmarad azokétól (rideg és törekeny). A 4. ábrán látható, hogy az adott típusú damaszolt próbatípusok mechanikai tulajdonságaira jellemző mérőszámok hozzáve-

⁴⁷ Lásd pl. az útőmunka értékeket a 4. ábrán az I jelű és az S235 jelű próbatípusokra, illetve vö.: Tylecote et al 1986. 253–254. o.

tőlegesen a felhasznált alapanyagok mechanikai tulajdonságaira jellemző mérőszámok átlagaként adódtak. Mindezek miatt bizonyítottan tarthatjuk, hogy az eredeti középkori díszítő kovácshegesztés, amelyben foszforvasat használtak fel, nem javította a mechanikai tulajdonságokat, sőt a damaszkolt pengék szívóssága jelentősen csökkent. Ugyanezt a megállapítást sejtésként, bizonyítás nélkül Tylecote és Gilmour már megfogalmazták.⁴⁸

Ha az egyes damaszkolt próbatest-típusokat nézzük, megállapíthatjuk, hogy a mintáznak alig van hatása a mechanikai tulajdonságokra.⁴⁹ Az eredményekből is kiderül, hogy a legjobb mechanikai tulajdonságokkal a foszforvas + nemesített acél (PSht8) anyagkombinációval készült damaszkolt próbatestek rendelkeztek.

Összegzés és kitekintés

A damaszkolt pengék körül számos legenda toposzként maradt fenn. Cikkünk rámutatott arra, hogy ennek oka részben a nem megfelelő fogalomhasználat (damaszusi acél és damaszkolás fogalmak megegyezősége a köztudatban). A fent bemutatott mechanikai anyagvizsgálatok bizonyították, hogy a damaszkolással kapcsolatos közhiedelmek mennyire tévesek. Bár az eljárás saját kora egyik csúcstechnológiájának mondható, az így előállított damaszkolt pengék minősége messze elmarad a mai modern acéloktól. Meg kell viszont jegyezni, hogy ebben a cikkben az európai damaszkolt pengékkel foglalkoztunk, azok mechanikai tulajdonságaira tettünk megállapításokat, nem pedig az ázsiai vagy ázsiai eredetű wootz acélra, amit gyakran tévesztenek össze a damaszkolt pengékkel. A wootz acél mechanikai tulajdonságai a salakzárványok hiánya miatt valóban egészen különlegesek lehettek (de csak a korabeli anyagokhoz, és nem a mai modern acélokhoz képest!), azonban erre vonatkozóan nem végeztünk eddig vizsgálatokat.

Az eddigi eredmények jó alapját képezhetik egy későbbi kutatásnak, mely a hazai damaszkolt pengéjű kardokat, késeket venné részletes vizsgálat alá. Kárpát-medencei viszonylatban eddig csak nagyon kevés fegyvert sikerült ily módon vizsgálni, a legtöbb eredmény külföldi szaktekintélyektől származik, többek között Radomír Pleiner, Jerzy Piakowski, és L'ubomír Mihók, valamint német nyelvterületről Matthias Mehofer és Norbert Hofer kutatóktól. Példának említve az avar kort, melyre a meroving fémművesség is hatással lehetett: mindössze néhány esetben van adatunk damaszkolásra. A Kehidakustány–Kehida–Központi Tsz. Major lelőhely kora avar kori sírjából⁵⁰ egy spatha került elő, melynek középső részén a Meroving-korra jellemző halszállkamintás damaszt nyomát fedezték fel. A környei 97. sírból származó kardot és további két szórványleletet Piakowski szerint többfajta vas- és acélsíkból forrasztottak össze. Az alsógelléri temetőből származó szabvány Pleiner végzett vizsgálatokat. Ennek eredményeképp megállapítható, hogy két anyagból kovácsolták (a penge éle magasabb karbontartalmú), azonban a penge minősége Mehofer szerint jóval alacsonyabb a korabeli spathaknál.⁵¹

Eltökélt szándékunk, hogy az európai damaszkolt pengékkel kapcsolatos kutatásokban továbbra is közreműködjünk a külföldi kollégákkal, ugyanakkor a kárpát-medencei lelet-

⁴⁸ Tylecote et al. 1986. 251. o.

⁴⁹ Vö.: a Pt8, Pt8 és a Pt16 jelű próbatestek mérőszámait.

⁵⁰ 1. számú sír.

⁵¹ Csiky 2009. 193–194. o.

anyag feldolgozását is folytassuk. Ezek a kutatások jobban meghatározzák a damaszkolás Kárpát-medencébe való bekerülésének és elterjedésének módját és mértékét, valamint a damaszkolt pengéjű fegyverek archeometallurgiáját, és újabb fegyver- és technikatörténeti eredményekkel szolgálhatnak majd.

BIBLIOGRÁFIA

- Allan 1979. *Allan, James W.*: Persian Metal Technology 700–1300 AD. Ithaca Press, London, 1979.
- Anstee et al. 1961. *Anstee, J. W. – Biek, L.*: A Study in Pattern-Welding. *Medieval Archaeology*, 5. (1961) 71–93. o.
- Anteins 1973. *Anteins, A.*: Damasskaāstal’ w stranahbassejna Baltijskogo Morā. Izdatel’stvoZinatne, Riga, 1973.
- Böhne et al. 1961. *Böhne, C. – Dannheimer*: Studien an Wurbuntklingen des frühen Mittelalters. *Bayerische Vorgeschichtsblätter*, 26. (1961) 107–122. o.
- Bronson 1986. *Bronson, B.*: The Making and Selling of Wootz. *Archeomaterials*, 1. (1986) 13–51. o.
- Buchwald 2005. *Buchwald, Vagn F.*: Iron and steel in ancient times. Historisk-filosofiske Skrifter 29, Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, København, 2005.
- Claissendorff et al. 1979. *Calissendorff, K. – Holmqvist, W. – Hyenstrand, Å. – Serning, I. – Thålin-Bergman, L.*: Iron and Man in Prehistoric Sweden. LTs Förlag, Stockholm, 1979.
- Csiky 2009. *Csiky Gergely*: Az avar kori szúró- és vágófegyverek. Doktori Disszertáció. Kézirat, Budapest, 2009.
- Datta 2005. *Datta, N. C.*: The story of Chemistry. Universities Press, Újdelhi, 2005.
- Edge et al. 2003. *Edge, D. – Williams, A.*: Some Early Medieval Swords in the Wallace Collection and Elsewhere. *Gladius*, 23. (2003) 191–210. o.
- Fehér 2000. *Fehér Bence*: Források a korai iszlám kardművesség történetéhez. Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000.
- Fehér 2001. *Fehér Bence*: A korai iszlám fémművesség anyagai, forrásai és technikái. Doktori disszertáció. Kézirat, Budapest, 2001.
- Feuerbach 2002. *Feuerbach, A. M.*: Crucible Steel in Central Asia: Production, Use, and Origins. Doktori disszertáció, University of London, London, 2002.
- France-Lanord 1949. *France-Lanord, A.*: La fabrication des épées damassées aux époques mérovingienne et carolingienne. *Le Pays gaulois*, 10/1–3. (1949) 19–45. o.
- Haramza 2012. *Haramza Márk*: A damaszkuszi acél részleges rekonstrukciója. *Orpheus Noster*, IV. (2012) 3. sz. 81–84. o.
- Haramza 2013. *Haramza Márk*: IX–XII. századi iszlám acélgyártási eljárások rekonstrukciója. OTDK-dolgozat. Kézirat, Budapest, 2013.
- Hauptmann et al. 2011. *Hauptmann, A. – Moderressi-Tehrani, D. – Prange, M.* [szerk.]: Archaeometallurgy in Europe III – Abstracts, Deutsches Bergbaumuseum, Bochum 2011.
- Hošek et al. 2011. *Hošek, J. – Cleere, H. – Mihok L.* [szerk.]: The Archaeometallurgy of Iron. Recent Developments in Archaeological and Scientific Research, Institut of Archaeology of the ASCR, Prága, 2011.

- Hoyland et al.* 2006. *Hoyland, R.G. – Gilmour, B.:* Medieval Islamic Swords and Swordmaking. Gibb Memorial Trust, Oxford, 2006.
- Jones* 1997. *Jones, L. A.:* The Serpent in the Sword: Pattern-Welding in Early Medieval Swords. *Park Lane Arms Fair Catalogue*, 4. (1997) 7–11. o.
- Karpenko et al.* 2002. *Karpenko, V – Norris, J. A.:* Virtiol in the History of Chemistry. *Chemicke Listy Journal*, 96. (2002) 997–1005. o.
- Kertzman* 2007. *Kertzman, Joe:* Art of the Knife. Krause Publications, 2007.
- Lang et al.* 1989. *Lang, J. – Ager, B.:* Swords of the Anglo-Saxon and Viking Periods in the British Museum: A Radiographic Study. In: *S. Chadwick Hawkes* [szerk.]: Weapons and Warfare in Anglo-Saxon England. Oxford University Committee for Archaeology Monograph 21. (1989), Oxford University Committee for Archaeology, Oxford, 85–122. o.
- Lang* 2009. *Lang, J.:* A consideration of the methods of constructing iron swords blades in the pre-medieval period, In: *Archaeometallurgy in Europe 2007. Proceedings of the 2nd International Conference. Selected Papers.* Aquileia, 17–21 June 2007, Milano: Associazione Italiana di Metallurgia, 232–240. o.
- Lendvai* 2008. *Lendvai Levente:* Az eredeti damaszkuszi acél technológiája. OTDK-dolgozat. Kézirat, Gödöllő, 2008.
- Lewis et al.* 1992. *Lewis, Jack P. – Combs, R.:* Gun digest book of knives. DBI. 1992.
- Mäder* 2001. *Mäder, S.:* Stähle, Steine und Schlangen. Zur kunst-, kultur- und technikgeschichtlichen Einordnung dreier Schwertklingen aus dem alamannischen Siedlungsraum. Doktori Disszertáció. Humboldt Universität, Berlin, 2001.
- Magnusson et al.* 1969. *Magnusson, M. – Palsson, H.:* The Laxdæla Saga. Penguin Classics Book 218., 30. fejezet
- Maryon* 1960. *Maryon, H.:* Pattern-welding and Damascening of Sword-blades – Part I. Pattern-Welding. *Studies in Conservation*, 5/1. (1960) 25–37. o.
- McNeil* 1990. *McNeil, Ian:* An Encyclopedia of the History of Technology. Routledge, London, 1990.
- Newman* 1991. *Newman, W. R.:* The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber. Brill, Leiden, 1991.
- Peirce et al.* 2002. *Peirce, I. – Oakeshott E.:* Swords of the Viking Age. The Boydell Press, Woodbridge, 2002.
- Pelsmaeker* 2010. *Pelsmaeker, S. B. M.:* Weapons of Princes, Weapons of War? An experimental analysis of pattern-welded swords from northwestern Europe, 400–1100 AD. Szakdolgozati disszertáció, University os Goringen, Groningen 2010.
- Piadowski* 1984. *Piadowski, J.:* Das Vorkommen von Arsen im antiken und frühmittelalterlichen Gegenständen aus Renneisen. *Archäologie*, 18. (1984) 213–226. o.
- Pleiner* 1993. *Pleiner, R.:* The Celtic Sword. Clarendon Press, Oxford, 1993.
- Reibold et al.* 2006. *Reibold, M. – Paufler, P. – Levin A. A. – Kochann, W. – Pätzke, N – Meyer, D. C.:* Materials: carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 444. (2006) 286. o.
- Rostoker et al.* 1990. *Rostoker W. – Bronson B.:* Pre-Industrial Iron, Its Technology and Ethnology. In: *Archeomaterial Monograph No. 1* Philadelphia, PA: Archaeomaterials, 1990. 127. o.
- Salin* 1957. *Salin Édouard:* La Civilisation Mérovingienne d'après les sépultures, les textes et le laboratoire. In: *Speculum. The Medieval Academy of America*, Cambridge, 1957. 206–208. o.

- Sauder et al.* 2002. *Sauder, L. – Williams, S.:* A practical treatise on the smelting and smithing of bloomery iron. *Historical Metallurgy*, 36/2. (2002) 122–131. o.
- Stillman* 1960. *Stillman, J. M.:* The story of Alchemy and Early Chemistry. Dover Publ, New York, 1960.
- Teophilus* 1986. *Teophilus Presbyter:* De diversibus artibus. Ford. *Takács Vilmos.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- Thiele* 2010. *Thiele Á.:* A kora középkori vaselőállítás technológiája a X. századi fajszi-típusú bucakemencében elvégzett próbakohósítások tükrében. In: *Petkes Zsolt* [szerk.]: Népvándorláskor Fialat Kutatóinak XX. Összejövetelének konferenciakötete. Budapest–Szigethalom, 2010. 10. 28–30., 395–408. o.
- Thiele* 2012. [1.] *Thiele Á.:* Smelting experiments in the early medieval fajszi-type bloomery furnace and the metallurgy of iron smelting. *Periodica Politechnica*, 54/2. (2012) 99–104. o.
- Thiele* 2012. [2.] *Thiele, Á.:* Középkori Vasipari Park és Őskohász Tábor Somogyfajszon. *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat*, 144/1. (2012) 43–44. o.
- Thiele et al.* [1.] *Thiele, Á. – Hosek, J.:* Mechanical properties of medieval bloomery iron materials - comparative tensile and Charpy-tests on bloomery iron samples and S235JRG2. *Material Science Forum* [nyomtatás alatt]
- Thiele et al.* [2.] *Thiele Á. – Török B. – Haramza M. – Juhász G. M.:* A díszítő kovács-hegesztés (pattern-welding) szerepe 2–10. századi kard- és késpengékben – korhűen rekonstruált vasanyagok maratási vizsgálata. *Archaeometriai Műhely* [nyomtatás alatt]
- Thiele et al.* [3.] *Thiele, Á. – Hošek, J. – Kucypera, P. – Dévényi, L.:* The role of pattern-welding in historical swords – mechanical testing of materials used in the manufacture of swords. *Archaeometry* [nyomtatás alatt]
- Thiele et al.* 2010. *Thiele, Á. – Bán, K.:* A bucakohászat kora középkori technológiája a megvalósíthatóság tükrében. *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat*, 143/2. (2010) 7–12. o.
- Thiele et al.* 2011. *Thiele, Á. – Dévényi, L.:* Rekonstrukciós kísérletek a 10. századi fajszi típusú bucakemencében. In: *Dr Csibi Venczel-J.* [szerk.]: OGÉT 2011–XIX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Csíksomlyó, Románia, 2011. 04. 28–2011. 05. 01. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 364–367. o.
- Thiele – Hosek* *Thiele, Á. – Hosek, J.:* Estimation of phosphorus content in archaeological iron objects by means of optical metallography and hardness measurements. *Acta Polytechnica Hungarica* [nyomtatás alatt]
- Török et al.* 2013. *B. – Thiele, Á.:* Extracting phosphoric iron under laboratorial conditions smelting bog iron ores, 2nd International Conference on Competitive Materials and Technological Processes, IOP Publishing, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 47. (2013) 012034.
- Tylecote et al.* 1973. *Tylecote, R. F. – Thomsen, R.:* The segregation and surface enrichment of arsenic and phosphorus in early iron artefacts. *Archaeometry*, 15/2. (1973) 193–198. o.
- Tylecote et al.* 1986. *Tylecote, R. F. – Gilmour, B. J. J.:* The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons. *BAR British Series*, 155. (1986) 146–262. o.
- Weiss* 2004. *Weiss A. M.:* Food in Medieval Times. Greenwood Press, London, 2004.
- Williams* 1977. *Williams, A.:* Methods of Manufacture of Swords in Medieval Europe Illustrated by the Metallography of some Examples. *Gladius*, 13. (1977) 75–101. o.
- Williams* 2012. *Williams, A.:* The Sword and the Crucible. A History of the Metallurgy of European Swords up to the 16th Century. Brill, London, 2012.