

A DÍSZÍTŐ KOVÁCSHEGESZTÉS (PATTERN-WELDING) SZEREPE 2-10. SZÁZADI KARD- ÉS KÉSPENGÉKBEN – KORHŰEN REKONSTRUÁLT VASANYAGOK MARATÁSI VIZSGÁLATA

THE ROLE OF PATTERN-WELDING IN 2-10TH CENTURY KNIFE AND SWORD BLADES – ETCHING TESTS ON RECONSTRUCTED MATERIALS

THIELE ÁDÁM¹, TÖRÖK BÉLA², HARAMZA MÁRK³, JUHÁSZ GERGELY MARCELL⁴

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest

²Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet, Miskolci Egyetem Archeometallurgiai Kutatócsoportja (ARGUM), Miskolc

³Szegedi Tudományegyetem, Szeged

⁴Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest

E-mail: thiele.adam@gmail.com

Abstract

Pattern-welding is a well-known technique that was widely employed in sword-manufacturing. The pattern-welding technique derives from piled composites in which the deliberate piling of steel and wrought iron together was employed. During the 2-10th century, the base material for typical pattern-welding was not steel, as it is often supposed, but phosphoric iron; the combination of phosphoric iron and wrought iron or steel was widely used. The surface pattern became visible after etching. In this paper we try to find the answer for the question: In which material combination and etching technology did the most contrastive and visible pattern in pattern-welded objects appear?

We smelted iron blooms of different base material (phosphoric iron, wrought iron and steel), from which pattern welded specimens were forged. We carried out etching tests on metallographic samples cut out of the pattern welded specimens using six different acids (which could be available in the 2-10th century) under two different conditions concerning acid concentration, temperature and etching time. Macro images were taken of the etched surface. The histograms of the images were analysed using Photoshop CS3. Based on the contrast difference between the two layers and the homogeneity of the colour of each layer a preference list of the material combination and etching technology could be made. The most visible pattern appeared after the etching of the pattern welded sample made of the combination of phosphoric iron and tempered steel using 20% hydrochloric acid for 10sec on 70°C.

Kivonat

A díszítő kovácshegesztés („pattern-welding”) technológiája a réteges kompozit („piled composite”) készítéséből fejlődött ki, amelynek során felváltva egymásra helyezett lágyvas és acél lapokat kovácshegesztéssel hoztak anyagzáró kapcsolatba. A 2-10. század között díszítő kovácshegesztéssel készült kard és késpengéknél, a szebb mintázat elérése érdekében, foszforvas és ún. lágyvas, vagy acél kombinációjával dolgoztak. A felület kikészítése során maratással tették szabad szemmel láthatóvá a rétegeket. Jelen cikkben választ keresünk a kérdésre: Vajon milyen anyagpárosítással és milyen maratási technológiával volt elérhető a legmarkánsabb, legkontrasztosabb mintázat a díszítő kovácshegesztés esetében?

Gyepvasérc kohósításával vasbucákat állítottunk elő, amelyekből különböző anyagpárosítások mellett díszítő kovácshegesztéssel próbatesteket kovácsoltunk. A próbatestekből vett mintákból készített metallográfiai csiszolatokon maratási kísérleteket végeztünk hat különböző, a 2-10. század között elérhető, vagy esetleg elérhető savval, két különböző töménység, hőmérséklet és maratási idő mellett. A maratott felületről fényképeket készítettünk, amelyeket képfeldolgozó szoftverrel értékeltünk ki, így a különböző rétegek kontrasztossága és egyazon réteg színének homogenitása alapján, objektív módon rangsoroltuk őket. A legmarkánsabb mintázatot a foszforvas és nemesített acél kombinációján, 20%-os töménységű, 70°C-os hőmérsékletű sósavval történő 10 másodperces maratás mellett tapasztaltuk.

KEYWORDS: ARCHAOMETALLURGY, 2-10TH CENTURY, PHOSPHORIC IRON, PATTERN-WELDING, ETCHING, ACIDS, PATTERN

KULCSSZAVAK: ARCHAOMETALLURGIA, 2-10. SZÁZAD, FOSZFORVAS, DÍSZÍTŐ KOVÁCSHEGESZTÉS (PATTERN-WELDING), MARÓSZEREK, MINTÁZAT

Bevezetés

A díszítő kovácshegesztés

A díszítő kovácshegesztés az elmúlt évtizedekben újra reneszánszát éli. Manapság azonban - a történelmi hitelességtől rendszerint eltávolodva - ezzel az eljárással leginkább késeket és kardokat készítenek, melyek elnevezésére a köztudatban általában damaszkolt, damaszkuszi acél, damaszt vagy damaszk penge kifejezést terjedt el. Az eljárás megnevezése a régi magyarban a dömöckölés volt (Halmányi & Riedel 1986, p. 78.). Az angolban szintén „damasc”, vagy „damascus steel”, a németben pedig „damast”, „damaszenner Stahl” a gyakran használt köznyelvi kifejezés. Célszerű tisztázni a különbséget a damaszkuszi acélként ismert anyag és a damaszkolás, mint technológia között is. Előző esetében a pengéket állandó karbontartalmú, hipereutektoidos ($C > 0,8\text{wt}\%$) anyagból készítették, a felületi mintázatot a maratás után megjelenő, töredezett szekunder cementit háló eredményezte, míg a damaszkolásnál többféle, különböző karbontartalmú, illetve - mint jelen tanulmányban is látható – nagyságrendekben különböző foszfor-tartalmú anyaggal dolgoztak.

Az angol archeometallurgiai szakirodalomban azonban a „pattern-welding” szóösszetétel használatos. Ennek alapján, a technológia megnevezésére a szerzők a díszítő kovácshegesztés elnevezést használják. Ez a szóösszetétel nemcsak az eljárás lényeges technológiai lépésére, hanem a funkciójára is utal.

A díszítő kovácshegesztés a kelta időkben kezdődött ún. réteges kompozit készítés („piling” vagy „piled composites”) eljárásáig vezethető vissza (Pleiner 1993, p. 117–118, p. 125–126, 12. ábra, Lang & Ager 1989, p. 86–87, Jones 1997, p. 1–2, Jones 2002, p. 145, Williams 2012, p. 62.). Lágyvas („wrought iron”, $C < 0,2\text{wt}\%$) + acél („steel”, $C > 0,2\text{wt}\%$) lapokat felváltva helyeztek egymásra, majd a tömböt kovácshegesztéssel hozták anyagzáro kapcsolatba, amelynek során nagymértékű átkovácsolás, képlékeny megalakítás történt (ld. Buchwald 2005, p. 283, Anstee & Biek 1961, p. 86, Jones 1997, p. 4–5; Williams 1997, p. 75, Edge and Williams 2003, p. 203; Lang 2011, p. 267). Szemben a korabeli vaskohászat primer termékével a vasbucával, az így kapott rúdban már egyenletesebb volt a karbon eloszlása, illetve az átkovácsolás miatt az éles bemetszést okozó salakzárványok is felaprózódtak. Kezdetben tehát a rétegezés célja elsősorban a mechanikai tulajdonságok javítása volt, nem pedig a díszítés.

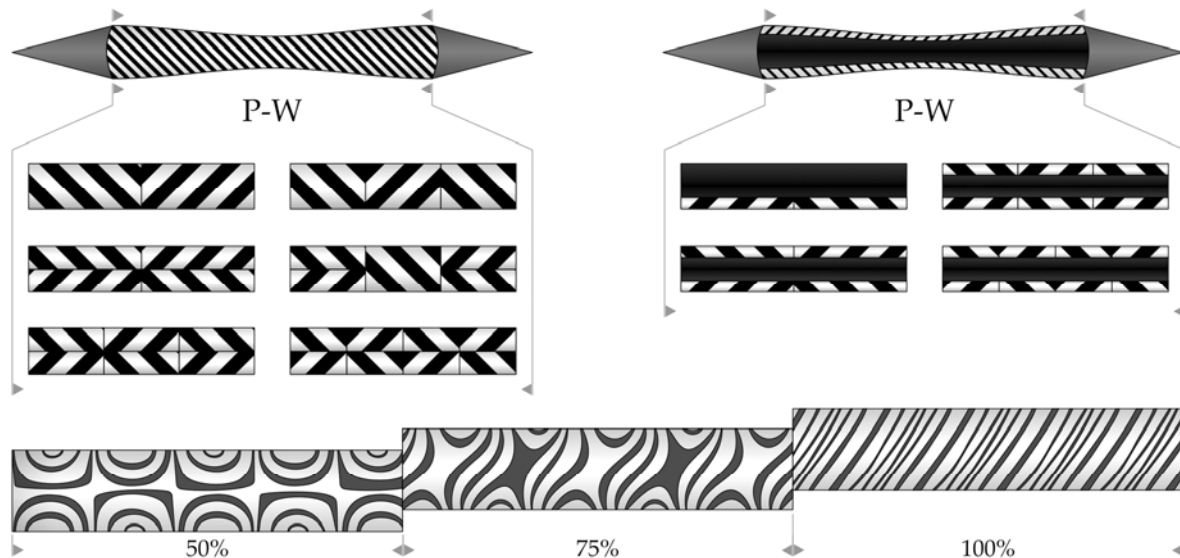
Az első évezred második felében főként az északi germán népek (norvégek, dánok, angol-szászok, stb.) körében volt igen elterjedt a különböző keménységű acéllemezekből hajtogatással, kovácshegesztéssel előállított kardok készítése. A

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 (Magnusson & Palsson 1969, p. 272). Ezeknek az igen nagy becsben tartott kardoknak a mintázata is komoly, már-már mitikus szerephez jutott; rendszerint kígyók tekergetésére, sárkány erőt adó leheletére asszociáltak belőle.

A díszítő kovácshegesztés technológiája akkor fejlődött ki az egyszerű réteges kompozit készítésből, amikor ún. foszforvasat („phosphoric-iron” vagy „P-iron”, $C < 0,2\text{wt}\%$ és $0,2\text{wt}\% < P < 1,5\text{wt}\%$, ilyen anyagot ma már az iparban nem használnak) kezdtek felhasználni a réteges rudak elkészítéséhez. Egy réteges kompozit rúd általában hét rétegből állt (Jones 1997, p. 1–2, Thålin-Bergman 1979, p. 124). Ezeknek a rudaknak a mintázatát többnyire további megmunkálással (megcsavarhatták őket a hossz tengelyük körül, levághattak vagy forgácsolással anyagot választhattak le róluk a hosszuk mentén) különlegesebbé, maratással pedig láthatóvá tették (Anteins 1973, p. 13–19, Thålin-Bergman 1979, p. 124, Mäder 2001, p. 282–287, p. 50–51, p. 54–57, Anstee & Biek 1961, p. 88).

Annak ellenére, hogy a köztudatban ma leginkább az a nézet terjedt el, hogy lágyvas és acél rétegek eredményezik a mintázatot, már az 1980-as években fény derült arra, hogy a díszítő kovácshegesztésben kizárólag foszforvas + lágyvas vagy foszforvas + acél anyagpárosításokat használtak (Tylecote & Gilmour 1986, p. 251–252, Buchwald 2005, p. 283, Hoyland & Gilmour, 2006 p. 77–79). Vizsgálatainkban sarkalatos újszerűséget jelent, hogy foszforvasat használtunk díszítő kovácshegesztésre. Ennek korábban a legfőbb akadálya magának a kovácsolható foszforvasnak az előállítására és a díszítő kovácshegesztés nagy tapasztalatot igénylő technológiája volt.

Díszítő kovácshegesztéssel első sorban kardpengék vércsatornája készült, mégpedig vagy teljes szelvényében, vagy pedig lágyvas vagy acél magra rákovácsolt díszítő kovácshegesztéssel előállított szalagok rákovácsolásával (Jones 1997, p. 4–5, 8. ábra, Jones 2002, p. 146, Williams 2012, p. 62). A kardok központi magjához (amelybe a vércsatorna volt bekovácsolva) általában maga is több díszítő kovácshegesztéssel előállított rúd sokféle kombinációban történő kovácshegesztésével készült (Tylecote & Gilmour 1986, p. 146–262, 103. ábra, Jones 2002, p. 145–146, Lang & Ager, 1989 p. 88–89, 7.2. ábra). Ehhez a központi maghoz két oldalról a kard élet szintén kovácshegesztéssel hozták anyagzáro kötésbe (Anteins 1973, p. 13–19, Jones 2002, p. 147, Maryon 1960, p. 26–32, Böhne & Dannheimer 1961, p. 108–109). A díszítő kovácshegesztéssel készült kardpengék jellegzetes kialakítását az **1. ábra** mutatja.



1. ábra: Kardpengék, amelyek több díszítő kovácshegesztéssel készült rúd vagy szalag és az élek kovácshegesztésével készültek. A központi mag készülhetett teljes szelvényében (felül baloldalon) díszítő kovácshegesztéssel vagy egy magra rákovácsolt díszítő kovácshegesztéssel készült szalagokból (felül jobboldalon). Csavarással és anyagleválasztással kialakított mintázat (alul). A cikkben szereplő ábrák mindegyike a szerzők saját munkája.

Fig. 1.: Pattern-welding applied to historical sword blades. Top left: “true pattern-welding” and its most common combinations. Top right: pattern-welded panels overlapping a homogeneous core and their usual variations. Bottom: patterns intrinsic to the discussed technique revealed through twisting and subsequent grinding (splitting) of an alternately banded laminate. All the figures in this paper are created by authors.

Kardpengék esetében a díszítő kovácshegesztést (főként csavart mintázattal) a 2. század végétől a 10-11. század fordulójáig használták (Lang and Ager, 1989 p. 89–106, 7.2. táblázat, Anteins 1973, p. 59–63, Hošek et al. 2011, p. 100, Gilmour 2007, p. 258–259, Williams 2012, p. 62).

Díszítő kovácshegesztéssel, foszforvas + lágyvas, illetve foszforvas + acél anyagpárosítással és az alapanyagokból készült próbatestek mechanikai anyagvizsgálatával foglalkozó legutóbbi kutatásaink eredményei alapján megállapítottuk, hogy a foszforvas, bár szilárdsága a nemesített acélokéhoz hasonlóan nagy, szívóssága jóval elmarad azokétól (rideg és törékeny), a rossz mechanikai tulajdonságok pedig a belőlük díszített kovácshegesztéssel előállított próbatesteknél is megjelentek (az erre vonatkozó cikk jelenleg elbírálás alatt). Attól fogva tehát, hogy foszforvasat kezdtek használni a réteges kompozit készítésben, feltételezhetően az elsődleges cél már a díszítés volt, nem pedig a mechanikai tulajdonságok javítása.

A mechanikai tulajdonságok javítása céljából történő réteges kompozit készítési eljárás alkalmazása vélhetően az egyre jobb és megbízhatóbb minőségben előállítható bucvas, mint alapanyag miatt idővel csökkent, de fennmaradt és együtt létezett a díszítő

kovácshegesztéssel. Az ezredforduló után a kardok alapanyagként kizárólag acélt használtak fel. A díszítő kovácshegesztés visszaszorulásának oka az lehetett, hogy az acélt, amelynél nemesítéssel (edzésből és megeresztésből álló hőkezeléssel) jobb mechanikai tulajdonságok érhetők el, egyre könnyebben és megbízhatóbban tudták előállítani.

A felület kikészítése

Mivel tanulmányunk, vizsgálataink központi témája a díszítő kovácshegesztésen kívül a mintázatot előhozó maratás, különösen fontos az erre rendelkezésre álló, korabeli anyagok meghatározása. A díszítő kovácshegesztéssel készült pengék felületén a mintázatot az előzőleg fém tisztára csiszolt felület savval történő maratásával tették láthatóvá. Erre a középkorban többféle sav is rendelkezésre állt. Nyilvánvalóan, célirányos szakmai leírások, direkt módon értékelhető források több évszázadokon át tartó szinte teljes hiánya miatt a vizsgált időszakokkal kapcsolatosan leginkább azt határozhatjuk meg, hogy egyáltalán milyen savakat használhattak marószerekként a korabeli „szakemberek”, talán maguk a kovácsok.

A kénsav („vitriol” - H_2SO_4) ősidők óta ismert vegyület, sumer és asszír feljegyzések éppúgy említik, mint Dioscorides (Kr.u. 1 sz.) görög orvos, vagy Idősebb Plinius (Kr. u. 23-79), római

polihisztor (Karpenko & Norris 2002, p. 997–998). A kénsavról koraiszlám forrásokból tudjuk, hogy fémmaratási célra is használták a Közel-Keleten. Ya'qūb ibn Iṣḥāq al-Kindī már a 9. században lejegyezte Kardok és fajtáik című művében, hogy a kardpengéket vitriollal, azaz kénsavval vonták be, amely a felületi mintázat maratással történő előhívására szolgált. A 10-11. század fordulóján élő Abū l-Rayhān al-Bīrūnī szintén megemlékezett erről az eljárásról Gyűjteményes könyv az ékkövek ismeretéről című írásában (Fehér 2000, p. 21–24). Európában is korán ismerhették az említett savat, hiszen a festéshez már az ókortól használatos *Rubia tinctorum* (festőbuzér) gyökeréből a színezékét fermentálással, és kénsavas, vagy lúgos hidrolízissel állították elő (Teophilus 1986, p. 51–52). A vitriol egyik legkorábbi középkori európai említése található – a fekete festékként használt „atramentum”-mal szembeállítva – egy 8. sz. végi latin nyelvű festőkönyvben az ún. luccai kéziratban (*Compositiones ad tingenda musiva*) (Stillman 1960, p. 185).

A salétromsav (HNO_3) kora középkori ismertsége párhuzamos lehetett a kénsavéval. Mindkettő tudományos igényű beazonosítását Abū Mūsā Jābir ibn Ḥayyān (kb. Kr. u. 721 – 815. latinosan Geber), a mai Irán területéről származó arábiai 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. (Datta 2005, p. 40) Az európai írásokban ugyanez a 13. 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 (Karpenko & Norris 2002, p. 1002). Egy korai 14. századi 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...*” Newman 1991, p. 73–74.)

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 (Weiss 2004, p. 28.).

A csersavról ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_9 + 2\text{H}_2\text{O}$) Teophilus Presbyter (kb. 1070 – 1125) *De diversibus artibus* című munkájában olvashatunk. Egy tintakészítési receptben lejegyzett növény, a *Ligna Spinorum* egy tüskés fafajtát jelöl, melynek kérgében magas a csersavtartalom (Teophilus 1986, p. 56.).

A „rozsdáatalakítóként” is ismert foszforsav (H_3PO_4) – 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 – meglete 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 gubacsáiból – a csersav, illetve használhattak kénsavat, salétromsavat, sósavat is, annak pontos definíálása nélkül. Vizsgálataink alkalmával hatféle savat alkalmaztunk, különböző töménységben, egymással nem keverve.

Célkitűzés, kérdésfelvetés

Jelen cikkben összefoglalt kutatásunk célja az volt, hogy választ keressünk a kérdésre: Vajon milyen anyagpárosítással és milyen maratási technológiával volt elérhető a legmarkánsabb, legkontrasztosabb mintázat a díszítő kovácshegesztés utáni felületkikészítésnél?

Módszerek és eredmények

A minták előkészítése

A történelmi hitelességet szem előtt tartva vasbucákat állítottunk elő gyevasérc kohósításával rekonstrukciós kísérletek során, amelyeket a feltárt fajszi típusú, 10. századi bucakemencével (Gömöri 2002, p. 79–80.) végeztünk (részletes leírás a munka alapjául szolgáló korábbi próbakohósításokról: Thiele & Bán 2010, Thiele 2010, Thiele & Dévényi 2011, Thiele 2011, Thiele 2012). Foszforvasat nagy foszfortartalmú belső-somogyi gyevasércből állítottunk elő. A kohósítás közben történő kis mennyiségű égetett mész beadagolással csökkentettük a vasbucá foszfortartalmát (túl nagy foszfortartalom esetén a vasbucá nem kovácsolható, törékeny). Lágyvasat szintén ebből a gyevasércből nyertünk nagyobb mennyiségű égetett mész beadagolásával. Acélt a lágyvas újrakohósításával kaptunk (a lágyvas cementálódott).

1. táblázat: Az alapanyagokból és a díszítő kovácshegesztéssel készült rudak szövetszerkezete és kémiai összetétele

Table 1.: Microstructure and chemical composition of specimens from rods made of base materials and by pattern welding

Alapanyagokból készült rudak	Jelölés	Szövetszerkezet	Kémiai összetétel	
			C (wt%)	P (wt%)
Lágyvas	I	Ferrites, kevés perlittel	0,05	0
Foszforsvas	P	Ferrites, vékony ferrit-perlites sávokkal	max 0.2	0.6–1.1
Normalizált acél	Sn	Widmanstatten (perlit és proeutektoidos ferrit)	kb. 0.6	0
Nemesített acél	Sh	Megeresztett martenzit apró karbidkiválásokkal	kb. 0.6	0
Foszforsvas + lágyvas	PIt8	U.a. mint az alapanyagoké.		
Foszforsvas + normalizált acél	PSnt8			
Foszforsvas + nemesített acél	PSht8			

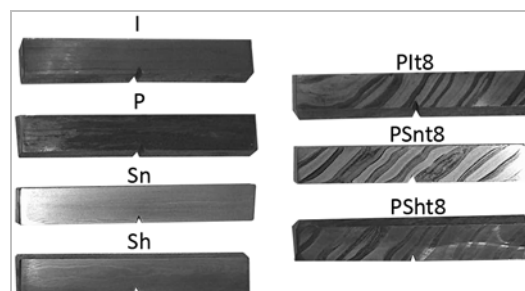
Az előlított 2-3 kg-os vasbucákat téglatestté kovácsoltuk. Az acél téglatest karbon tartalmát többszöri hajtogatással és kovácshegesztéssel tettük egyenletesebbé (a hajtogatásra utaló sávok megfigyelhetők a **3. ábra** Sn- és Sh-jelű metallográfiai csiszolatain is). A téglatestek egyik felületét fémtisztára csiszoltuk.

Hordozható XRF műszerrel (p-XRF) 15-20 pontban történő méréssel az alapanyagok foszfortartalmát, szikrapróbával pedig a karbon tartalmát ellenőriztük.

Az ellenőrzött kémiai összetételű három alapanyagból négy különböző anyagú 10x10x60mm befoglaló méretű, lágyvas (I), foszforsvas (P) és két acél rudat kovácsoltunk (a rudak valójában ütőmunka próbatestek voltak egy másik kutatáshoz). Az egyik, Sn-jelű acélrúd hőkezelése normalizálás (a kovácsolási hőmérsékletéről szabad levegőn hűlt le), míg a másik, Sh-jelű acélrúd nemesítés volt (900°C-ról vízben edzettük, majd 300°C-os megeresztési hőmérsékleten 1 órán át hűtöttük). Díszítő kovácshegesztéssel egy 8 rétegű, csavart mintázatú, foszforsvas + normalizált lágyvas anyagpárosítással (PIt8), valamint két, szintén 8 rétegű, csavart mintázatú foszforsvas + acél anyagpárosítással 10x10x60mm befoglaló méretű rudat készítettünk. Az egyik, foszforsvas + acél anyagpárosítással készült PSnt8-jelű rúd hőkezelése normalizálás, míg a másik, PSht8-jelű acélrúd nemesítés volt. A

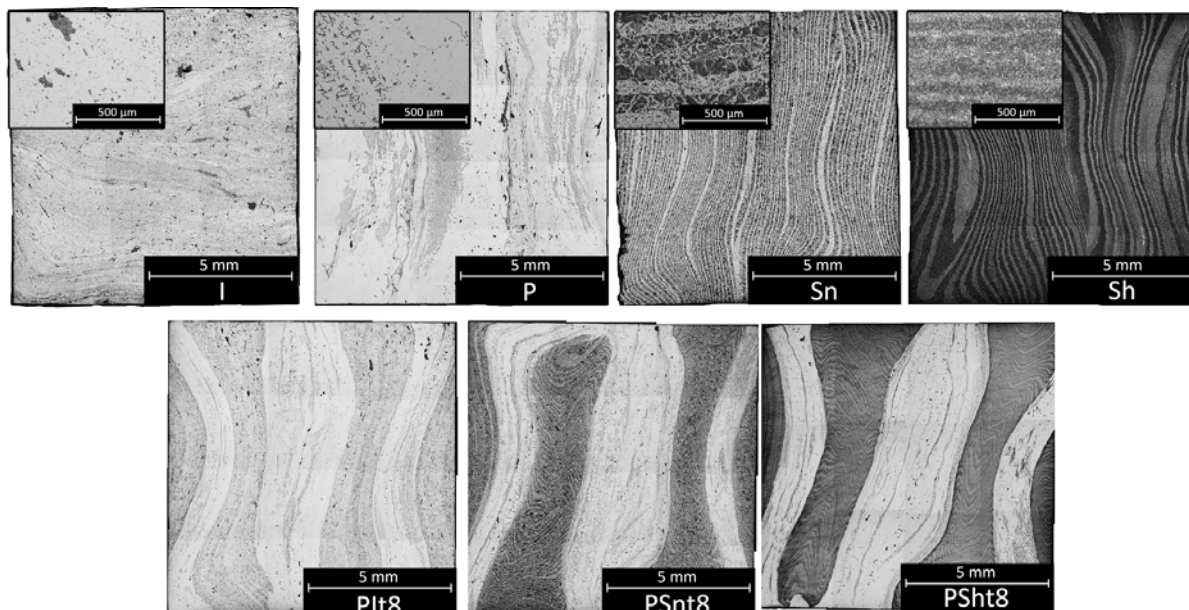
rudak az **2. ábrán** láthatóak. A marószert 2%-os nitál volt. A karbon tartalmat a szövetszerkezet alapján képelemző programmal (Photoshop CS3) számítottuk ki.

A foszforsvas pontos foszfortartalmát energia-diszperzív röntgenspektrométerrel felszerelt pásztázó elektronmikroszkópos (SEM-EDS) vizsgálat segítségével határoztuk meg. Az említett vizsgálatok eredményeit az **1. táblázat** foglalja össze. A metallográfiai csiszolatokról készült makro-képeket (20 db 50-szeres nagyítású kép összeillesztésével készült képek) mutatja a **3. ábra**.



2. ábra: Az alapanyagokból és a díszítő kovácshegesztéssel készült rudak. A felület polírozva és 2%-os nitállal maratva (fekete-fehér ábra).

Fig. 2.: Rods made of base materials and by pattern welding. The surface is polished and 2% Nital etched (black and white figure).



3. ábra: Az alapanyagokból és a díszítő kovácshegesztéssel készült rudakból keresztmetszetben kimunkált minták metallográfiai csiszolata (fekete-fehér ábra).

Fig. 3.: Metallographic macro-photographs of specimens from rods made of base materials and by pattern welding (black and white figure).

Maratási kísérletek

Maratási kísérleteket csak a díszítő kovácshegesztéssel készült rudakból származó mintákon végeztünk. A rudakból kimunkált metallográfiai csiszolatok felületét P320-as csiszolópapírral felérdesítettük, így rekonstruálva a korabeli köszörüléssel és csiszolással elérhető felületi érdességet. A kísérleteket 2% és 10%-os csapvízzel hígított, 20°C-os és 70°C-os citromsavval, ecetsavval, foszforsavval, kénsavval, salétomsavval és sósavval végeztük el, a mintákat 10 illetve 60 másodpercig maratva. Összesen 114 maratási kísérletet végeztünk el (ld. **4. ábra** és **2. táblázat**). A három mintát ugyanabba a kétkomponensű műgyanta korongba ágyaztuk be, így biztosítva legalább az anyagpárosításokra az azonos maratási paramétereket.

Minden maratást követően makro-fotót készítettünk a kapott felületi mintázatról. A fénykép elkészülte után, a következő maratás előtt a felületet P320-as dörzspapírral tisztára csiszoltuk. A fényképezés során tükörreflexes fényképezőgépet használtunk ügyelve arra, hogy a fényképek azonos körülmények (azonos fényviszonyok, azonos fényképezőgép-beállítások, azonos tárgy távolság, stb.) között készüljenek. A képeket táblázatba rendezve foglalja össze a **4. ábra**.

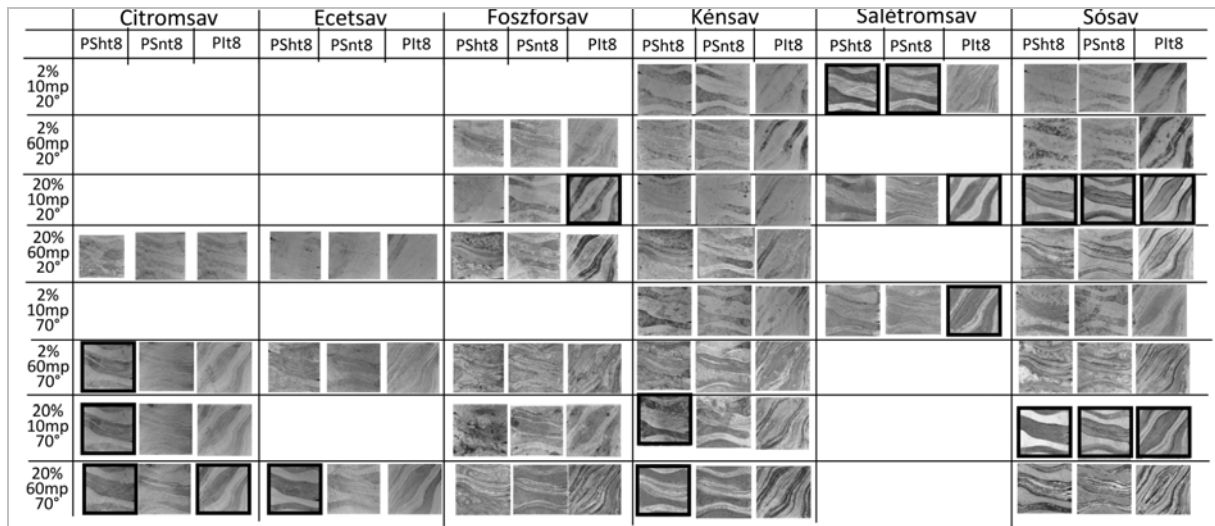
Az eredmények értékelése és következtetések

Az elkészült fotók alapján egymáshoz viszonyítva értékelni kellett a maratás után kapott felületi mintázat jellemzőit. Ahhoz, hogy objektív ragsort állíthassunk fel, két paramétert fogalmazzunk meg:

A paraméter: A világos és sötét rétegek közötti fényesség-különbség (kontraszt)

B paraméter: A rétegeken belüli világosság-homogenitást

Ezeket a paramétereket képfeldolgozó szoftver segítségével (Photoshop CS3) határoztuk meg minden fekete-fehérre konvertált képen. A szoftver segítségével a középső és az egyik szomszédos réteg közel teljes területén minden egyes képpont (kb. 150 000 képpont, ld. „Pixels” az **5. ábrán**) világosságát megmértük, a mért értékek átlagát (ld. „Mean” a **4. ábrán**) és szórását (ld. „StdDev” a **5. ábrán**) kiszámítottuk. A két réteg átlagos világosságának előjeles különbsége az *A paramétert* (ha a foszforvas réteg a sötétebb, akkor az előjel negatív), a rétegek világosságának szórásának átlaga pedig a *B paramétert* adta. Az *A* és a *B* paraméterre kapott értékeket a **2. táblázat** foglalja össze.



4. ábra: A maratott mintákról készült makro fotók.

Fig. 4.: Macro images of etched specimens.

2. táblázat: Az A és B paraméterek értékei az egyes fotókra

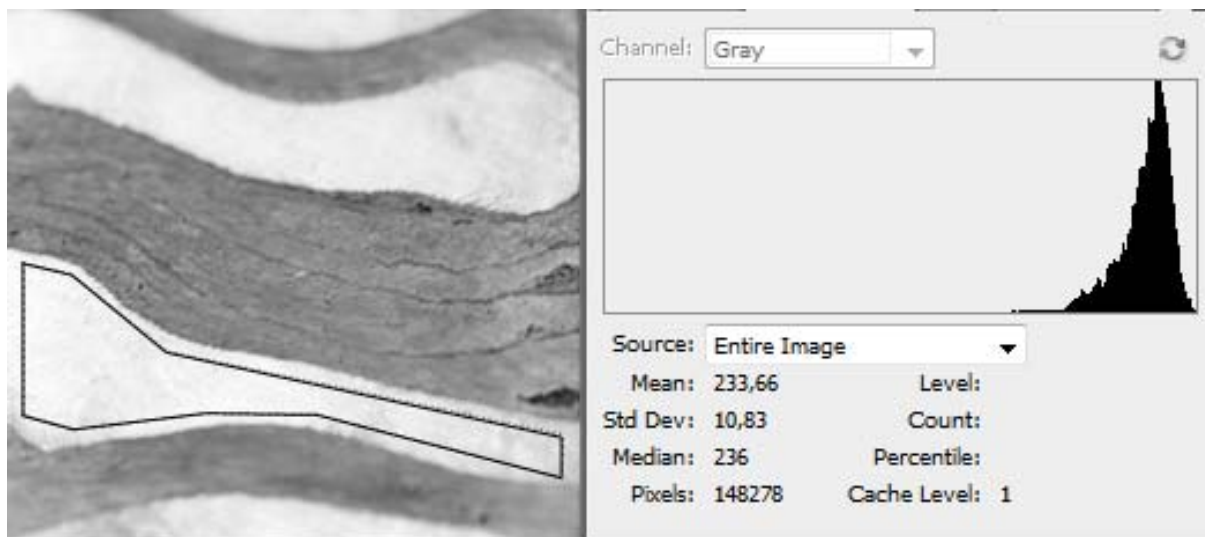
Table 2.: The parameter „A” and „B” for each macro photos of etched specimens

		Citromsav			Ecetsav			Foszforsav			Kénsav		
		PSht8	PSnt8	Plt8	PSht8	PSnt8	Plt8	PSht8	PSnt8	Plt8	PSht8	PSnt8	Plt8
2% 10mp 20°	A												
	B												
2% 60mp 20°	A												
	B												
20% 10mp 20°	A												
	B												
20% 60mp 20°	A												
	B												
2% 10mp 70°	A												
	B												
2% 60mp 70°	A												
	B												
20% 10mp 70°	A												
	B												
20% 60mp 70°	A												
	B												

		Citromsav			Ecetsav			Foszforsav			Kénsav		
		PSht8	PSnt8	Plt8	PSht8	PSnt8	Plt8	PSht8	PSnt8	Plt8	PSht8	PSnt8	Plt8
2% 10s 20°C	A										11,8	34,9	6
	B										13,3	17,7	1
2% 60s 20°C	A							-38	-9,1	-22,9	1,9	13	2
	B							18,2	25,8	13,7	19,6	17,4	2
20% 10s 20°C	A	-	-	-	-	-	-	-6,4	31,5	40,1	-19,9	8,1	-
	B	-	-	-	-	-	-	11,8	19,7	19,3	10,6	16,6	1
20% 60s 20°C	A							-12,1	0,7	45,9	-28,2	31,3	1
	B							27,2	24,5	32,7	22,4	26,4	1
2% 10s 70°C	A										38,6	20,5	1
	B										23,7	20,9	2
2% 60s 70°C	A	-45,9	-17,9	-33,4	-26,2	-26,8	-12,7	-8,2	-2,6	3,2	4,6	-34,6	-2
	B	18,6	19,7	12,8	17,7	19,4	15,2	27,7	18,4	24	22	22,8	2
20% 10s 70°C	A	-52,6	-14,8	-34,1				-41,3	-33,7	-34,3	46,4	26,4	1
	B	18,1	20,5	12,5				32,1	22,9	16,5	18,4	21,7	2
20% 60s 70°C	A	-48,1	-26,1	-49,2	-57,3	-14,1	-23,4	21,2	14,9	-3,6	47,3	49,9	4
	B	15,1	23,2	15	10,5	18	14,7	23,8	21,4	31,5	15,9	20,6	1

Ezzel a módszerrel az elkészült képekhez két számot rendelhettünk. A mintázat markánságát akkor tekintettük elegendőnek, ha az *A* paraméter értéke abszolút értékben meghaladta a szubjektíven megválasztott 40-es értéket, a *B* paraméter pedig nem haladta meg a szintén szubjektíven választott 20-as értéket. Ennek megfelelően a 2. táblázatban a bekeretezett mezők tartalmazzák a kifejezetten markánsnak, kontrasztosnak tekinthető mintázatokat.

Ezek után már felállítható egyfajta rangsor a maratás után kapott felületi mintázatot illetően. A legmarkánsabb, legkontrasztosabb mintázatot a foszforsav és nemesített acél kombinációja, 20%-os töménységű, 70°C-os hőmérsékletű sósavval történő 10 másodperces maratás mellett eredményezi (az *A* paraméter kiugróan magas, 118.9-es értékű). A 20%-os sósav minden anyagpárosításra markáns mintázatot eredményezett 20°C-os és 70°C-os hőmérsékleten is.



5. ábra: A képpontok világossága (jobboldali hisztogram) az értékelt területen (a baloldali képen a sokszög alakú terület)

Fig. 5.: The brightness of the pixels (histogram on the right) on the analysed area (polygon on the left)

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 használtak rendszeresebben, mint például az ecetsavat, a megsavanyodott sört, a vizelet savtartalmát, a borkősavat, illetve a csersavat, amely az igen hatásos, kék-fekete színű sávokat eredményezi és egyfajta rozsdásodás-gátlásként is szolgált. Vizsgálatainkban természetesen a kor valószínűsíthető szakmai szokásai mellett a technológia minél szélesebb palettájának vizsgálatára is fókuszáltunk, így az akkoriban szintén elérhető, használható erősebb savakat is kiprobáltuk.

Az eredmények alapján érzékelhető, hogy milyen nagy tapasztalatra, empirikus tudásra, illetve szakmai örökségre volt szüksége a korabeli fémmegmunkálónak, hogy a lehető legjobb hatást érje el munkadarabján. Nem volt véletlen a kardkészítők nagy becsben tartása, munkájuk már-már mítikus felhangja.

Irodalom

ANSTEE, J.W. & BIEK, L. (1961): A Study in Pattern-Welding, *Medieval Archaeology* **5** 71–93.

ANTEINS, A.(1973): *Damasskaâ stal' w stranah bassejna Baltijskogo Morâ*, Riga, Izdatel'stvo Zinatne, 1–136.

BÖHNE, C. & DANNHEIMER, H. (1961): Studien an Wurmunklingen des frühen Mittelalters, *Bayerische Vorgeschichtsblätter* **26** 107–122.

BUCHWALD, V.F. (2005): *Iron and steel in ancient times*, Historisk-filosofiske Skrifter 29, København: Det Kongelige Danske Videnskaberne Selskab, 1–346.

DATTA, N. C. (2005): *The Story of Chemistry*. Universities Press, India, 1–475.

EDGE, D. & WILLIAMS, A. (2003): Some Early Medieval Swords in the Wallace Collection and Elsewhere, *Gladius* **23** 191–210.

FEHÉR, B. (2000): *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 1–108.

FORBES, R. J. (1970): *Short History of the Art of Distillation from the Beginnings up to the Death of Cellier Blumenthal*, Brill, Leiden, 1–405.

GILMOUR, B. (2007): Victims of crime? Ferrous technology and origins of two pattern-welded long swords from Durovernum Cantiacorum (Canterbury Kent), In: *Archaeometallurgy in Europe 2007*. Proceedings of the 2nd International Conference. Selected Papers. Aquileia, 17–21 June 2007,

Milano: Associazione Italiana di Metallurgia, 250–261.

GÖMÖRI, J. (2002): *Az Avar és Árpád-kori vaskohászat emlékei Pannóniában*, MTA VEAB, Sopron, 1–373.

HALMÁNYI, SZ. & RIEDEL, L. (1986): *Régi fegyverekről*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1–200.

HOŠEK, J., BERAN, V., KOMORÓCZY, B. (2011): The metallography of two Roman swords from Mušov, Czech Republic, In: A. Hauptmann, D. Moderessi-Tehrani, M. Prange (eds.), *Archaeometallurgy in Europe III – Abstracts*, Bochum: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, 1–294.

HOYLAND, R.G. & GILMOUR, B. (2006): *Medieval Islamic Swords and Swordmaking*, Oxford: Gibb Memorial Trust, 1–200.

JONES, L.A. (1997): The Serpent in the Sword: Pattern-Welding in Early Medieval Swords, „*Park Lane Arms Fair Catalogue*”, 4 7–11.

JONES, L.A. (2002): Blade Construction and Pattern-Welding, In: PIERCE, I. G. ed., *Swords of the Viking Age*, Woodbridge: The Boydell Press, 145–151.

KARPENKO, V. & NORRIS, J.A. (2002): Vitriol in the History of Chemistry, *Chemické listy* 96 997–998, 1002.

LANG, J. & AGER, B. (1989): Swords of the Anglo-Saxon and Viking Periods in the British Museum: A Radiographic Study, In: CHADWICK HAWKES, S. (ed.), *Weapons and Warfare in Anglo-Saxon England*, Oxford University Committee for Archaeology Monograph 21, Oxford: Oxford University Committee for Archaeology, 85–122.

LANG, J. (2011): The Celtic Sword: a source of practical inspiration, In: J. Hošek, H. Cleere, E. Mihok (eds.), *The Archaeometallurgy of Iron. Recent Developments in Archaeological and Scientific Research*, Prague: Institute of Archaeology ASCR, Prague, 263–272.

MÄDER, S. (2001): Stähle, Steine und Schlangen. Zur kunst-, kultur- und technikgeschichtlichen Einordnung dreier Schwertklingen aus dem alamannischen Siedlungsraum, *PhD Thesis*, Humboldt-University, Berlin.

MAGNUSSON, M. & PALSSON, H. (1969): *The Laxdæla Saga*. Penguin Classics Book 218. chapter 30. pp. 272.

MARYON, H. (1960): Pattern-welding and Damascening of Sword-blades – Part I. Pattern-Welding, *Studies in Conservation* 5/1 25–37.

NEWMAN, W. R. (1991): *The Summa Perfectionis of Pseudo-Geber*, Brill, Leiden, 73–74.

PLEINER, R. (1993): *The Celtic Sword*, Oxford: Clarendon Press, pp 117–118, 125–126.

STILLMAN, J. M. (1960): *The Story of Alchemy and Early Chemistry*. Dover Publ. New York, 1–185.

TEOPHILUS P. (1847): *Theophili, qui et Rugerus presbyteri et monachi. Diversarum artium schedula*, [ford. HENDRIE, R.] George Woodfall and Son, London 1–447

TEOPHILUS P. (1986): *De diversibus artibus*, [ford. TAKÁCS V.] Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1–171.

THÅLIN-BERGMAN, L. (1979): Blacksmithing in Prehistoric Sweden, In: K. CALISSENDORFF, W. HOLMQVIST, Å. HYENSTRAND, I. SERNING, L. THÅLIN-BERGMAN, eds., *Iron and Man in Prehistoric Sweden*, Stockholm: LTs förlag, 99–133.

THIELE, Á. (2010): A kora középkori vaselőállítás technológiája a X. századi fajszi-típusú bucakemencében elvégzett próbakohósítások tükrében, In: PETKES Zs. ed., *Népvándorlások Fiatal Kutatóinak XX. Összejövetelének konferenciakötete* Budapest–Szigetalom, 2010. október 28–30.. Budapest, Magyarország, 2010.10.28-2010.10.30., 395–408.

THIELE, Á. & BÁN, K. (2010): A bucavaskohászat kora középkori technológiája a megvalósíthatóság tükrében. *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat*, 143/2 7–12.

THIELE, Á., DÉVÉNYI, L. (2011): Rekonstrukciós kísérletek a 10. századi fajszi típusú bucakemencében, In: Dr. Csibi Venczel J., ed., *OGÉT 2011-XIX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó* Csíksomlyó, Románia, 2011.04.28-2011.05.01. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, 364–367.

THIELE, Á. (2011): Az ércről a vastárgyig - a bucavaskohászat metallurgiája, *Bányászati és Kohászati Lapok – Kohászat*, 144/1 2–5.

THIELE, Á. (2012): Smelting experiments in the early medieval fajszi-type bloomery furnace and the metallurgy of iron smelting, *Periodica Politechnica – Mechanical Engineering* 54/2 99–104.

TYLECOTE, R.F.; GILMOUR, B. (1986): *The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons*, BAR British Series 155, Oxford: B.A.R, 1–264.

WILLIAMS, A. (1977): Methods of Manufacture of Swords in Medieval Europe Illustrated by the Metallography of some Examples, *Gladius* 13 62, 75–101.

WILLIAMS, A. (2012): The Sword and the Crucible. A History of the Metallurgy of European Swords up to the 16th Century, *History of Warfare*, 77, London: Brill, 1–292.

WEISS, A. M. (2004): *Food in Medieval Times*. Greenwood Press, London, 1–288.