

KÖZÉPKORI DAMASZKOLT PENGÉKBEN FELHASZNÁLT VASÖTVÖZETEK –
KILENC KÖZÉP-EURÓPAI DAMASZKOLT KARD- ÉS KÉSPENGE ARCHEOMETRIAI VIZSGÁLATA

Thiele Ádám^a, Jiří Hošek^b, Haramza Márk^c

^aBudapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék

^bInstitute of Archaeology of the ASCR, Prague, v.v.i., Letenská 4, 118 01, Prague 1, Czech Republic

^cKároli Gáspár Református Egyetem, Medievisztika Tanszék, Budapest

Kivonat A középkorban elterjedtek voltak az ún. díszítő kovácshegesztéssel készült kard- és késpengék, amelyeknél díszítő céllal foszforvas rétegeket kovácsoltak be. Ezek legismertebb változatai a damaszkolt pengék, amelyeknek a középső része (magja) damaszkolt volt, ehhez pedig az élt többnyire acélból kovácshegesztették hozzá. Négy damaszkolt kardpengéből és öt díszítő kovácshegesztéssel készült késpengéből (amelyek közül 3 volt damaszkolt) származó mintán végeztünk összehasonlító metallográfiai és SEM-EDS vizsgálatokat, amelyekkel a következő két kérdésre kerestük a választ: Milyen anyagpárosításokkal készültek jellemzően a damaszkolt kés és kardpengék? Milyen foszfortartalmú foszforvasat használtak fel a díszítő célra? Az eredmények alapján megállapítottuk, hogy a középkori damaszkolt kés és kardpengékben díszítő kovácshegesztésre kizárólag foszforvasat használtak fel, amelynek foszfortartalma átlagosan 0,4–1,4wt% volt. A damaszkolás kétféle anyagpárosítással történt: lágyvas+foszforvas és acél+foszforvas. Ha a hőkezeléseket is figyelembe vesszük, akkor háromféle anyagpárosítást nevezhetünk meg: lágyvas+foszforvas, normalizált acél+foszforvas és nemesített acél+foszforvas.

Kulcsszavak Damaszkolt pengék, foszforvas, középkor, kard- és késpengék

Bevezetés

A magyar damaszkolás szó az angol szakirodalomban a „pattern welding” szóösszetételnek feleltethető meg (a damaszkoláshoz kapcsolódó terminológiáról ld. részletesen Thiele & Haramza megjelenés alatt). A damaszkolás során különböző kémiai összetételű vasötvözeteket kovácshegesztettek össze, majd a mintázatot maratással tették

láthatóvá. Ez a rövid fogalom meghatározás tartalmazza az ide vonatkozó források (Pattern welding a, b, c) leglényegesebb megállapításait.

A középkorban három vasötvözetet használtak. Ezek a vasötvözetek a nemzetközi archaeometallurgiában használt fogalmakkal: lágyvas („wrought iron”), acél („steel”) és foszforvas („phosphoric iron”) (a definíciókat ld. az 1. táblázatban). Mindhárom vasötvözet megtalálható a damaszkolt pengékben.

1. táblázat. A három legfontosabb középkori vasötvözet.

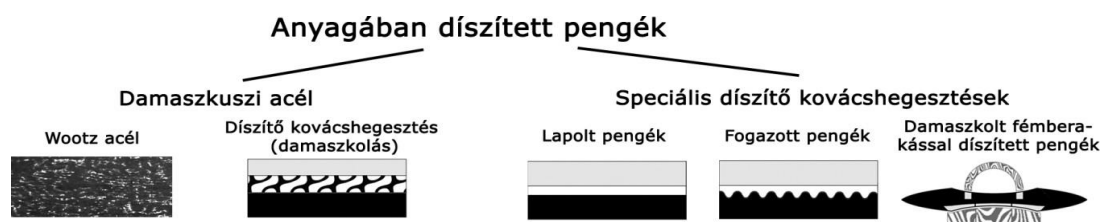
Vasötvözet	Magyarázat
Lágyvas	Kevés karbont de egyéb ötvözőket vagy szennyezőket nem tartalmazó vasötvözet. A karbontartalom legfeljebb 0,2wt%. Nem edzhető. Az angol archeometallurgiai szakirodalomban <i>wrought iron</i> (Pleiner 1962).
Acél	Nagy karbontartalmú de egyéb ötvözőket vagy szennyezőket nem tartalmazó vasötvözet. A karbontartalom legalább 0,2wt%, de általában 1wt%-nál nem nagyobb. Edzhető. Az angol archeometallurgiai szakirodalomban <i>steel</i> (Tylecote 1986).
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 (Vega et al. 2003). Az angol archeometallurgiai szakirodalomban <i>phosphoric iron</i> (Pleiner 2006). A foszforvasat első sorban díszítő célra használták.

A damaszkolt pengék elődjeként a lágyvas és acél rétegek összekovácsolásával készült *réteges kompozitok* („piled composites”) már a La-Téne időkben megjelentek (Jones 2002). A réteges

kompozitok készítésének elsődleges célja nem a szép felületi mintázat kialakítása, hanem a mechanikai tulajdonságok javítása volt. A díszítő funkció csak később (a 2. századtól) került előtérbe, amikor

a pengék készítéséhez a lágyvas és acél mellett foszforvasat is kezdtek felhasználni (Tylecote & Gilmour 1986). Ezeket a pengéket nevezhetjük díszítő kovácshegesztéssel készült pengéknek, amelyek legismertebb változatai a damaszkolt pengék. A damaszkolt pengéknek csak a középső része, a magja volt damaszkolt, amely általában 7 rétegű és csavart mintázatú volt (Jones 1997). Ehhez az élt acélból kovácsolták hozzá (Böhne & Dannheimer 1961). A díszítő kovácshegesztés speciális változataival készültek azok a pengék, amelyekbe csak egy vagy két foszforvas réteget (lapolt „stripped” pengék) vagy fogazott mintázatú foszforvas réteget kovácsoltak be (fogazott „serrated” pengék)

(Hošek 2011). Ide sorolhatók a damaszkolt fémberakással („inlaid”) díszített pengék is. Meg kell még említeni, hogy a *damaszkusi acél* („*damascus steel*”) fogalom alatt az angol archeometallurgiai szakirodalom egyrészt érti a damaszkolt pengéket, másrészt pedig a *wootz-acél* („*wootz-steel*”) is, amely egy állandó karbontartalmú, hipereutektoidos ($C > 0,86\text{wt}\%$) acél (Bronson 1986). A wootz mintázatát a maratással láthatóvá tett eldurvult, hálózatos-tűs megjelenésű szekunder cementit adja. A bemutatott anyagában díszített pengetípusokat az 1. ábra foglalja össze.



1. ábra. Az anyagában díszített pengék csoportosítása és illusztrációja. Az ábra első publikációja: (Thiele & Haramza megjelenés alatt). Rövid értelmezés: Wootz acél – homogén, hipereutektoidos acél. Damaszkolt penge – kések esetén a penge foka lágyvas, magja csavart mintázatú damaszkolt, éle acél. Lapolt penge – kések esetén a penge foka lágyvas, magja foszforvas, éle acél. Lapolt penge – kések esetén a penge foka lágyvas, a foszforvas mag és az acél él fogazott mintázattal kapcsolódik. Damaszkolt fémberakással díszített penge – általában kardpengéknél fordul elő, a penge anyaga acél vagy lágyvas, amelyben csavart mintázatú damaszkolt fémberakásokat kovácsoltak be. Az ábrán a lágyvasat szürke, az acélt fekete, a foszforvasat pedig fehér szín jelöli.

Legújabban, történelmileg hitelesen előállított damaszkolt próbatesteken elvégzett mechanikai anyagvizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a közhiedelemmel ellentétben, a damaszkolás elsődleges célja a díszítés volt, nem pedig a pengék mechanikai tulajdonságainak javítása (Thiele et al. megjelenés alatt). Ennek oka, hogy a damaszkolt pengékben díszítő céllal felhasznált tipikus foszforvas nagyon rideg, a szívósságát jellemző mérőszámoknak mindegyike (ütőmunka (KV), fajlagos törési munka (W_c), szakadási nyúlás (A) és kontrakció (Z)) közel nulla. Jelen cikkben bemutatott archeometriai vizsgálatainkkal az előbbi kutatás előzményeként a következő két kérdésre kerestük a választ:

- Milyen anyagpárosításokkal készültek jellemzően a damaszkolt kés és kardpengék?
- Milyen foszfortartalmú foszforvasat használtak fel a díszítő célra?

Módszerek és eredmények

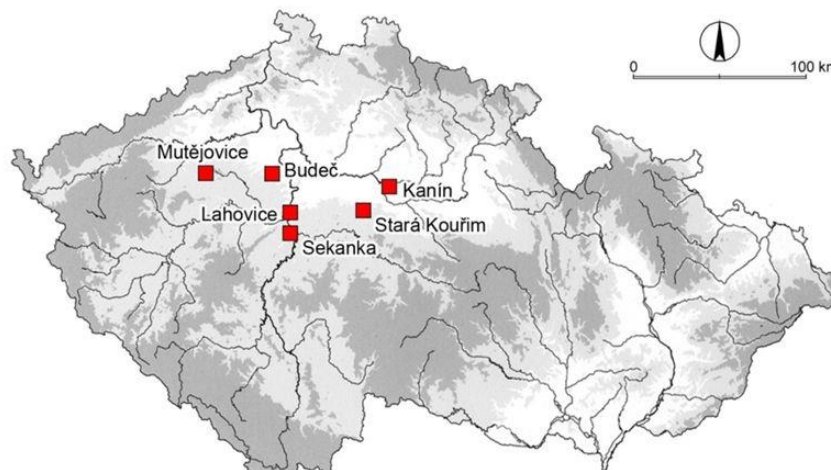
Négy damaszkolt kardpengéből és öt díszítő kovácshegesztéssel készült késpengéből (amelyek

közül 3 lapolt díszítő kovácshegesztett, 3 pedig damaszkolt volt) származó mintán végeztünk archeometriai vizsgálatokat. Mindegyik penge Radomír Pleiner cseh archeometallurgus, régész feltárásaiból származik. A minták mindegyikén Jiří Hošek, archeometallurgus, gépészmérnök korábban már elvégzett metallográfiai vizsgálatokat, amelyek eredményei publikációkban meg is jelentek (a vizsgált pengékről részletesen ld. Pleiner 1969, 1979, 1982, 1993), azonban SEM-EDS vizsgálatok a mintákon korábban nem történtek. Fontosnak tartottuk továbbá a pengék ismételt, összehasonlító metallográfiai vizsgálatának elvégzését, különös tekintettel a lehetséges hőkezelések beazonosítására, azért hogy az említett későbbi, a damaszkolt pengék mechanikai tulajdonságaival foglalkozó kutatáshoz (Thiele et al. megjelenés alatt) ezen archeometriai vizsgálatokra alapozva állíthassunk elő próbatesteket.

A mintákból készült metallográfiai csiszolatokat (a marószerszám 2%-os nitál volt) a felhasznált vas-ötvözetek összehasonlító beazonosítása céljából először optikai mikroszkóp alatt, majd a foszforvas

foszfortartalmának meghatározása céljából elektronmikroszkóppal, SEM-EDS módszerrel vizsgáltuk. Minden foszforvas réteg esetében 5 pontban mértük meg a foszfortartalmat.

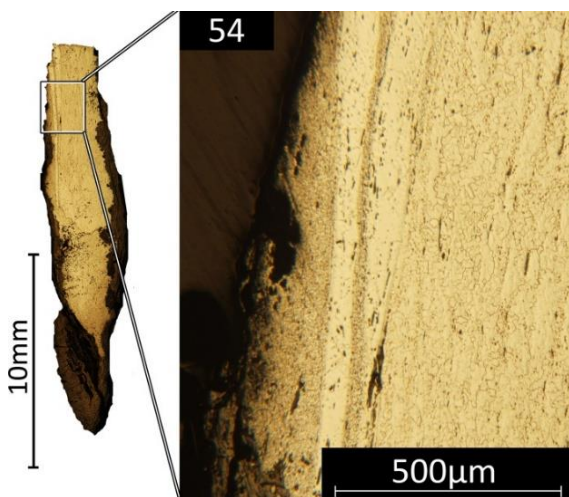
A következőkben röviden ismertetjük a pengék származási helyét, datálását és egyéb régészeti vonatkozásait. Bemutatjuk továbbá a pengék anyagvizsgálatának eredményeit. A pengék mai Csehország területén elhelyezkedő lelőhelyeit a 2. ábra mutatja.



2. ábra. A vizsgált kardok és kések lelőhelyei Csehországban.

Az 54-es számú kard Kanínból

Az 54-es számú kard egy 10. századra datálható sírból került elő, amelyet a Kanín közelében található temetkezési helyen tártak fel.



3. ábra. Az 54-es számú kard makrofotója és a vizsgált terület mikroszkópi képe, amelyen a lágyvas magra lágyvas+foszforvas anyagpárosítással rákovácsolt damaszkolt féंबरakás látható.

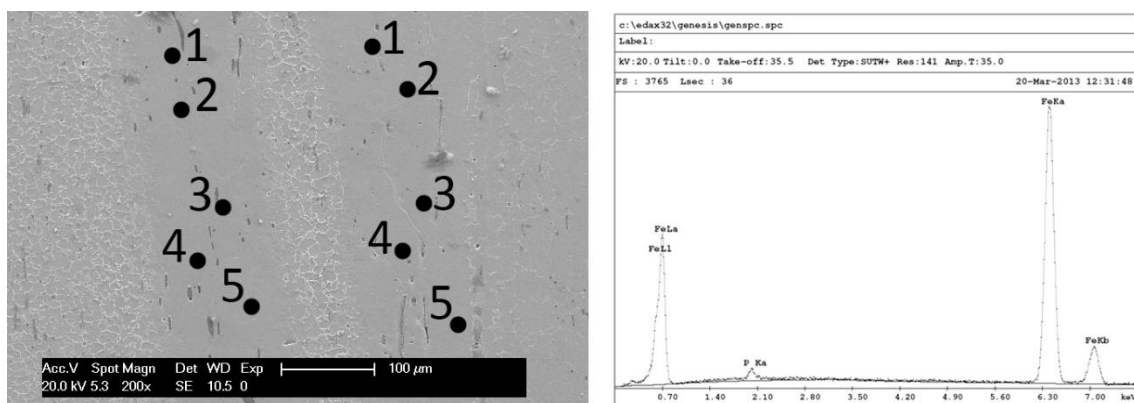
A kard lágyvas magjára damaszkolt féंबरakást kovácsoltak, amelyben lágyvas+foszforvas anyagpárosítást használtak (ld. 3. ábra). A damaszkolt féंबरakásban a lágyvas rétegek ferrit-perlites, a foszforvas rétegek pedig durvaszemcsés ferrites szövetszerkezetűek. Az él az előrehaladott korrózió miatt nem vizsgálható. A kard nem edzhető vasötvözetekből készült, így ha volt is valamilyen hőkezelés, arra a szövetszerkezet nem utal. Az egyik foszforvas réteg átlagosan 0,99wt%, a másik pedig 1,15wt% foszfort tartalmazott. Ennél a mintánál bemutatjuk továbbá példaként az elektronmikroszkópos vizsgálatok során a vizsgált területről készített SEM képet és az első foszforvas réteg 2. mérési pontjához tartozó EDS spektrumot (ld. 4. ábra). A spektrum kiértékelése alapján a foszfortartalom ebben a pontban 1,16wt% volt. Az összes EDS mérési eredményt a 2. táblázat foglalja össze. A kard pengéjének lapját helyenként fémtisztára csiszoltuk és Oberhoffer-marószerral megmarattuk. A felületen megjelenő mintázatról sztereomikroszkóp alatt makrofotókat készítettünk, amelyet az 5. ábra mutat.

A 120-as számú kard Stará Kouřimból

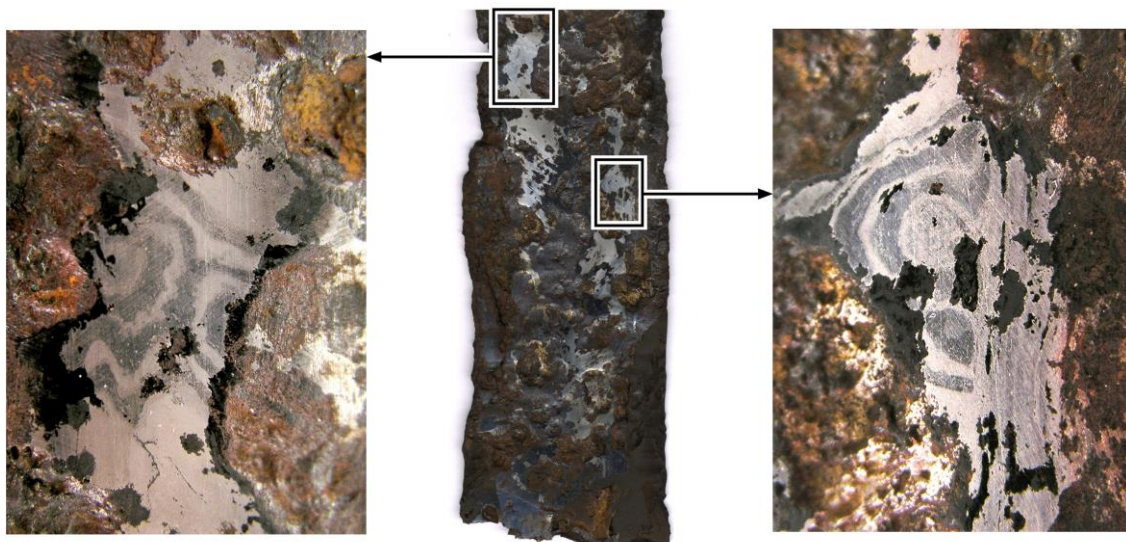
A 120-as számú kard egy a 9. század első vagy második harmadára keltezhető férfisírból került elő Stará Kouřim régi szláv erődje közeléből.

A jó minőségű, kétélű, szokatlanul rövid kardpenge élet két oldalról acélból kovácsolták a maghoz. A kard magja acélból és lágyvasból készült, amelybe acél+foszforvas anyagpárosítással csavart damaszk fémberakást kovácsoltak mindkét oldalról (ld. 6. ábra). A damaszkolt fémberakásban az acél rétegek egyike tisztán perlites, a másik widmanstatten-ferrites szövetszerkezetű. A foszforvas rétegek egyike durvaszemcsés ferrites, a

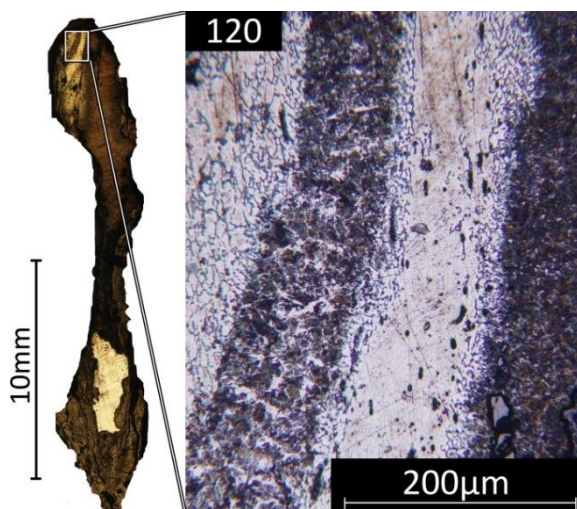
másik részben durvaszemcsés ferrites, részben pedig finomszemcsés ferrit-perlites sávokból áll. A szövetelemek alapján a kardpenge normalizált (levegőn hűlt), nem edzett. A ferrites foszforvas réteg átlagos foszfortartalma a vizsgált minták közül a legnagyobb, 1,42wt%, a ferrit-perlites sávokat is tartalmazó foszforvas réteg átlagos foszfortartalma kisebb, 0,89wt%.



4. ábra. Az 54-es számú vizsgált területén lévő két foszforvas rétegben felvett 5-5 EDS mérési pont és az első (baloldali) foszforvas réteg 2-es mérési pontjához tartozó EDS spektrum ($P=1,16\text{wt}\%$).



5. ábra. Az 54-es számú kard pengéjének damaszkolt fémberakással díszített lapjának mintázata Oberhoffer marószerral való maratás után (sztereomikroszkópos felvételek).



6. ábra. A 120-as számú kard makrofotója és a vizsgált terület mikroszkópi képe, amelyen keresztmetszetben damaszkolt magban használt acél+foszforvas anyagpárosítással látható.

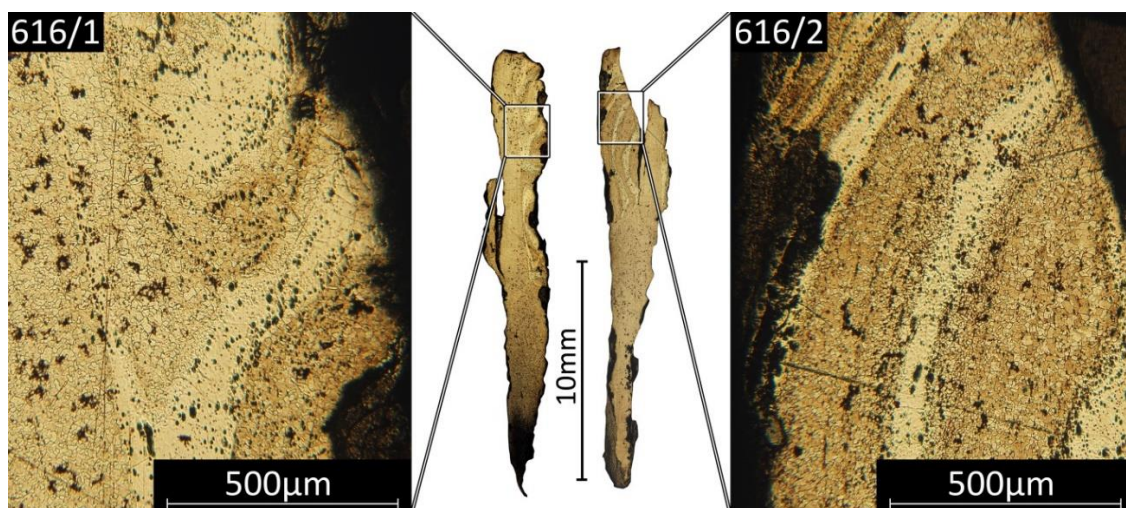
A 616-os számú kard Bešeňovból

A 616-os számú kard egy 5. századi gazdag fejedelmi sírból származik amelyet Bešeňov (Szlovákia) közelében tártak fel. A kard markolata hiányzik. A karból két keresztmetszeti mintát vettünk,

amelyek metallográfiai vizsgálatával megállapítottuk, hogy az élt lágyvasból kovácsolták a maghoz, illetve, hogy a kard lágyvas magjára az egyik oldalon damaszkolt féंबरakást kovácsoltak, amelyben lágyvas+foszforvas anyagpárosítást használtak, csavart mintázattal (ld. 7. ábra). A damaszkolt féंबरakásban a lágyvas rétegek finomszemcsés, kevés perlitet tartalmazó ferrit-perlites, a foszforvas rétegek pedig durvaszemcsés ferrites szövetszerkezetűek. A kard nem edzhető vasötvözetekből készült, így ha volt is valamilyen hőkezelés, arra a szövetszerkezet nem utal. Az első mintában egy foszforvas réteget vizsgáltunk, amelynek átlagos foszfortartalma 0,51wt% volt. A második mintában két foszforvas réteget vizsgáltunk ezek átlagos foszfortartalma 0,54wt% és 0,53wt% volt. A rétegek közel azonos foszfortartalmából arra következtethetünk, hogy az egyes réteghez felhasznált foszforvas egyazon vasbucából származhatott. A SEM-EDS vizsgálatok során mindkét minta mindegyik mérési pontjában mértünk a foszforvasban arzént (átlagosan 1wt%-os mennyiségben).

A 715-ös számú kard Mikulčice-ből

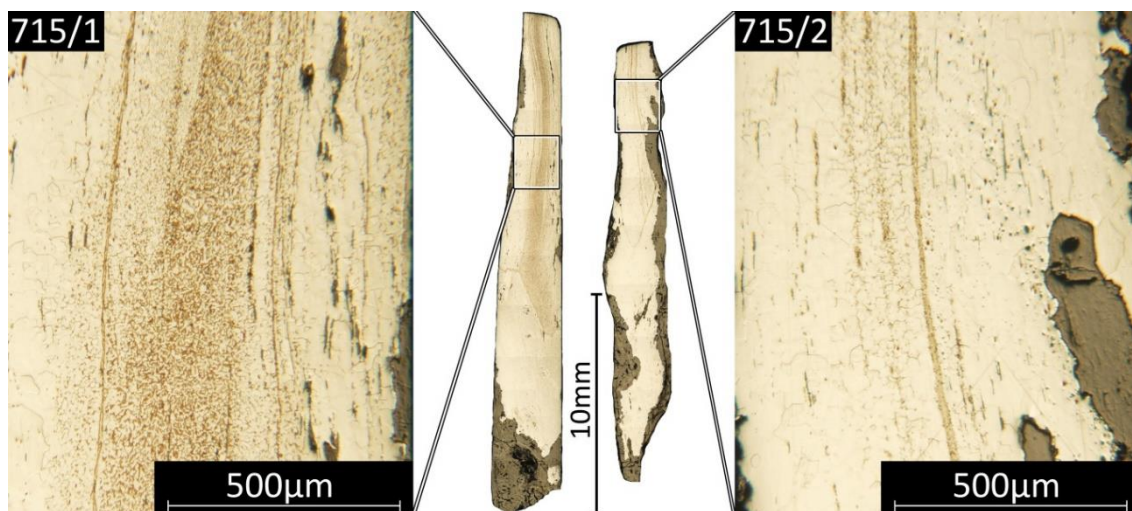
A 715-ös számú kard Mikulčice-ből, a Nagy Morva Birodalom egyik legfontosabb erődjéből való. A 9. század első felére datált 715-ös számú sírból emelték ki.



7. ábra. Az 54-es számú kard makrofotója és a vizsgált területek mikroszkópi képei, amelyen a lágyvas magra lágyvas+foszforvas anyagpárosítással rákovácsolt damaszkolt féंबरakás látható.

A kadból két keresztmetszeti mintát vettünk. A kard legnagyobb részben lágyvasból készült, az él is lágyvas, a mag teljes keresztmetszetében damaszkolt, lágyvas+foszforvas anyagpárosítással készült (8. ábra). A mintázat nem volt beazonosítható. A lágyvas rétegek finomszemcsés ferrit-perlites, a foszforvas rétegek pedig durvaszemcsés fer-

rites szövetszerkezetűek. A kard nem edzhető vas-ötvözetekből készült, így ha volt is valamilyen hőkezelés, arra a szövetszerkezet nem utal. Ennek a kardnak az esetében találtuk a legkisebb foszfortartalmú foszforvasat, az egyik mintában vizsgált foszforvas réteg átlagosan 0,37wt%, a másik mintában vizsgált foszforvas réteg pedig 0,4wt% foszfort tartalmazott.



8. ábra. A 715-ös számú kard makrofotója és a vizsgált területek mikroszkópi képei, amelyen lágyvas+foszforvas anyagpárosítással készült damaszkolt mag látható.

A 249, 251 és 252 számú kések Sekankából

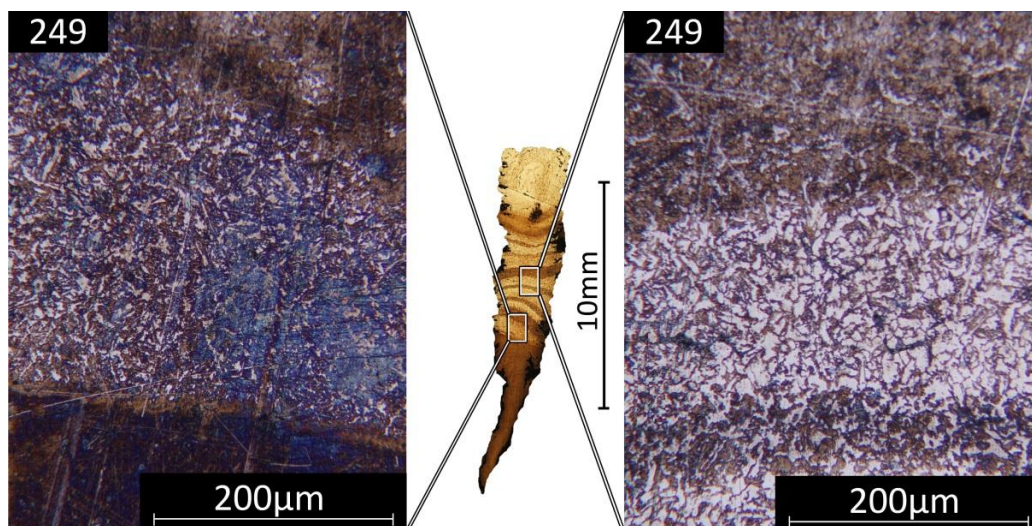
A 249, 251 és 252 számú kések Sekanka – Hradištko u Davle mellett egy kereskedő település régészeti feltárásakor kerültek elő. A települést valószínűleg a 13. század második negyedében alapították, 1278-ban kifosztották és lerombolták. A település régészeti feltárása nyomán vasiparhoz, főleg kovácsoláshoz köthető leletanyag került elő, sok kovácssalak és számos, valószínűleg helyben kovácsolt vastárgy került napvilágra. Összesen 59 vastárgyat gyűjtöttek be metallográfiai vizsgálatra, ezek közül 33 kés volt. A késeknek kb. fele luxuskés volt, amelyek foszforvas felhasználásával díszítő kovácshegesztéssel készültek. A megtalált nagyszámú díszített kés (fogazott vagy egyszerű lapolt díszítő kovácshegesztés) miatt feltételezhető, hogy ezeknek a luxuskéseknek az előállítását a településhez köthető. A 249-es kés tipikus damaszkolt kés. A kés élét acélból, fokát pedig lágyvasból kovácshegesztették hozzá a 16 rétegű damaszkolt maghoz, amely acél+foszforvas anyagpárosítással készült (9. ábra). A kést hőkezelték, az

él megeresztett martenzites, a magot alkotó acélrétegek az éltől távolodva megeresztett martenzites, bainites és widmanstatten-ferrites szövetszerkezetűek. Ez a szövetszerkezet arra utal, hogy csak az él gyorsítását végezték el, a kés többi része hővezetéssel hűlt. Hasonló hőkezeléssel létrehozott „szövetszerkezet gradiens” figyelhető meg a 274-es és a 423-as számú kések esetében is. A foszforvas minden rétegben ferrit-perlites szövetszerkezetű, ebben hasonlóságot mutat a 120-as számú kard 2. foszforvas rétegéhez, amely azonban csak ferrit-perlites sávokat tartalmazott. A szövetszerkezetnek megfelelően a foszfortartalom alacsony, átlagosan 0,42wt%.

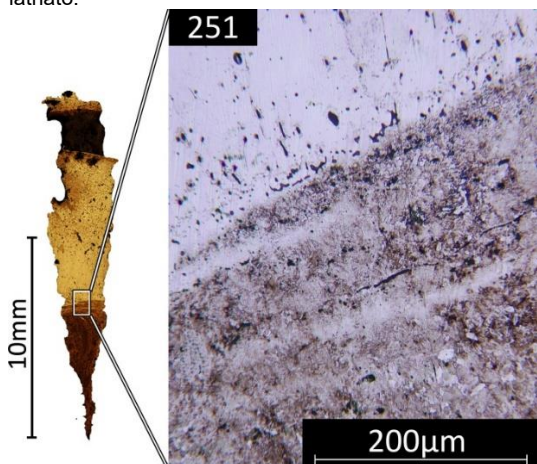
A 251 és 252 számú kések esetében a penge hossza mentén egy foszforvas réteget kovácsoltak be (ld. 10. és 11. ábra), ezek a kések tehát lapolt díszítő kovácshegesztéssel készültek. Mindkét kés éle acélból, foka pedig lágyvasból készült, azonban a 251-es számú kés éle nem edzett, viszont a 252-es számúé igen. 252-es számú kés metallográfiai csiszolatán a lágyvas fok belső oldalán egy nagyobb karbon tartalmú sáv figyelhető meg. A 251-es számú kés esetében a foszforvas réteg átlagos

foszfortartalma 0,57wt%, 252-es számú kés esetében pedig 0,59wt%. A foszforvas réteg mindkét esetben tisztán ferrites, durvaszemcsés szövetszerkezetű. A 251 és 252 számú kések felépítésükben

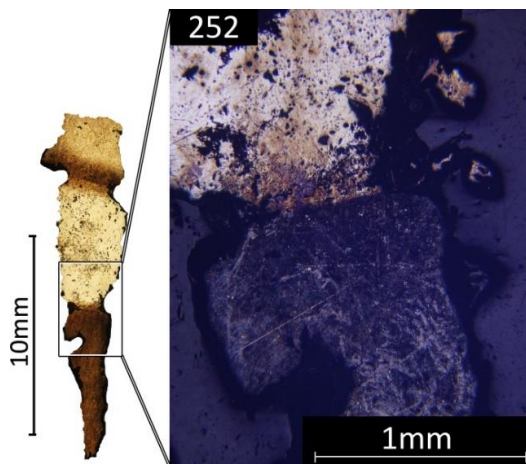
hasonlítanak a 667-es számú késhez (vö. később 15. ábra).



9. ábra. A 249-es számú kés makrofotója és a vizsgált területek mikroszkópi képei. A baloldali képen az él és a damaszkolt mag határa, a jobb oldali képen pedig az acél+foszforvas anyagpárosítással készült damaszkolt mag egy jellemző része látható.



10. ábra. A 251-es számú kés makrofotója és a vizsgált terület mikroszkópi képe, amelyen az acél él és a foszforvas mag határa látható.



11. ábra. A 252-es számú kés makrofotója és a vizsgált terület mikroszkópi képe, amelyen az acél él és a foszforvas mag határa látható.

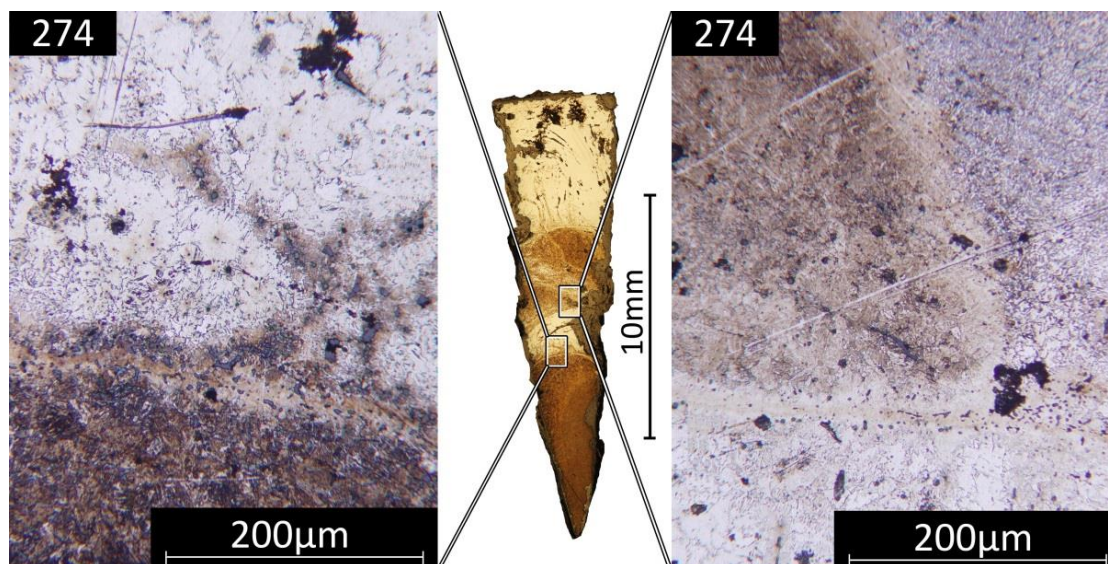
A 274-es kés Lahovicéből

A 274-es kést Lahovice közeléből, egy településtől távol található nyílt terepen lévő 9. század közepétől a 11. századig használt temetkezési helyen, a 10. század első felére datált 274-es számú sírban találták. Erről a régészeti lelőhelyről számos tárgyat, köztük 4 kést választott ki Pleiner metallográfiai vizsgálatra.

A kés magja 5 rétegű csavart damaszk, amely acél és foszforvas anyagpárosítással készült (ld. 12. ábra). A kés éle acél, foka pedig meglepő módon szintén foszforvas. A kést hőkezelték, éle edzett, megeresztett martenzites szövetszerkezetű, damaszkolt magjában az acél rétegek megeresztett martenzites és bainites szövetszerkezetűek. A damaszkolt magban lévő két foszforvas réteg volt azonosítható, amely közül az egyik durvaszemcsés

ferrites szövetszerkezetű volt, 0,74wt% átlagos foszfortartalommal, a másik foszforvas réteg pedig finomszemcsés ferrit-perlites szövetszerkezetű, en-

nek megfelelően kisebb, 0,54wt%-os átlagos foszfortartalommal. A kés fokát alkotó foszforvas réteg szintén durvaszemcsés ferrites szövetszerkezetű 0,55wt% átlagos foszfortartalommal.



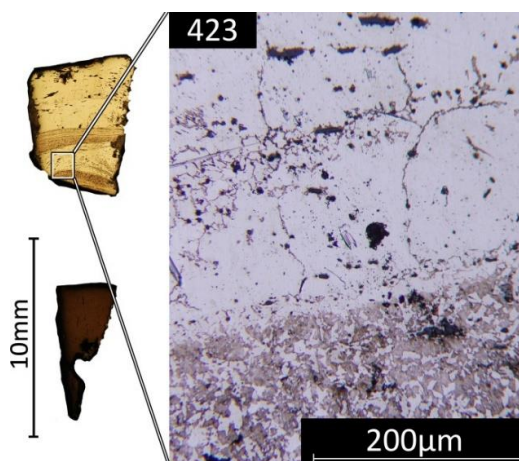
12. ábra. A 274-es számú kés makrofotója és a vizsgált területek mikroszkópi képei. A baloldali képen az él és a damaszkolt mag határa, a jobboldali képen pedig az acél+foszforvas anyagpárosítással készült damaszkolt mag egy jellemző része látható.

A 423-as kés Mutějovicéből

Mutějovice mellett egy települést (10-13. század) és benne két falusi kovácsműhelyt tártak fel. Az egyik kovácsműhelyt a 13. század első, a másikat a második felében használhatták. 12 vastárgy metallográfiai vizsgálata alapján feltételezhető, hogy a műhelyekben olyan kovácsok dolgoztak, akik mindenféle vaseszközt készítettek, nemcsak késeket. A 423-as számú kiváló minőségű kés bizonyítja, hogy egy kis faluban is feltűnhetnek olyan kések, amelyek előállítására a korabeli csúcstechnológiával történt. A kés valószínűleg nem helyben készült, hanem egy olyan kovácsműhelyben, ahol speciális luxuskéseket kovácsoltak. A kés datálása bizonytalan (12-13. század).

A kés élét acélból, fokát lágyvasból kovácsolták az acél+foszforvas anyagpárosítással készült, csavart mintázatú damaszkolt maghoz (ld. 13. ábra). A metallográfiai csiszolathoz kivágott mintán a mag egy része korrózió miatt hiányzik. Az él edzett, martenzites szövetszerkezetű, a foszforvas rétegekben a foszforvas durvaszemcsés ferrites, az magban lévő acél rétegek ferrit-perlites szövetszer-

kezetűek. A damaszkolt mag foszforvas rétegei átlagosan 0,45wt% és 0,85wt% foszfort tartalmaztak.



13. ábra. A 423-as számú kés makrofotója és a vizsgált terület mikroszkópi képe, amelyen az acél+foszforvas anyagpárosítással készült damaszkolt mag látható.

A 667-es kés Budečből

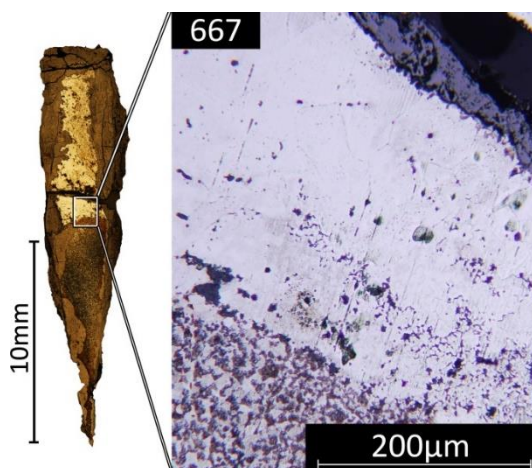
A 8-9. század fordulóján alapított Budeč a 10-11 században fontos erődítmény volt. A 10. század közepe táján elvesztette katonai jelentőségét, azonban megőrizte gazdasági szerepét. Budeč régészeti feltárása során nagyon sok vastárgy került el. Pleiner ezek közül 21-et választott ki metallográfiai vizsgálatra, amiből egy kivétellel mind kés volt. A vizsgálati eredmények alapján ezek a kések igazi mesterművek voltak. A legkiválóbb minőségű kések a 10 és a 11. századra keltezhetőek. Ezek egyikét, a 667-es számú kést, az erődítmény középső részén, az őrtorony közelében találták.

A 667-es számú kés felépítését tekintve hasonló a 251-es és 252-es számú késekhez, a penge hossza mentén egy foszforvas réteget kovácsoltak be (ld. 14. ábra), a kés tehát lapolt díszítő kovácshegesszel készült. A kés élét acélból, fokát pedig lágyvasból kovácsolták a középső foszforvas réteghez. A kés éle edzett. A foszforvas réteg tisztán ferrites, durvaszemcsés szövetszerkezetű, átlagos foszfortartalma 0,72wt%.

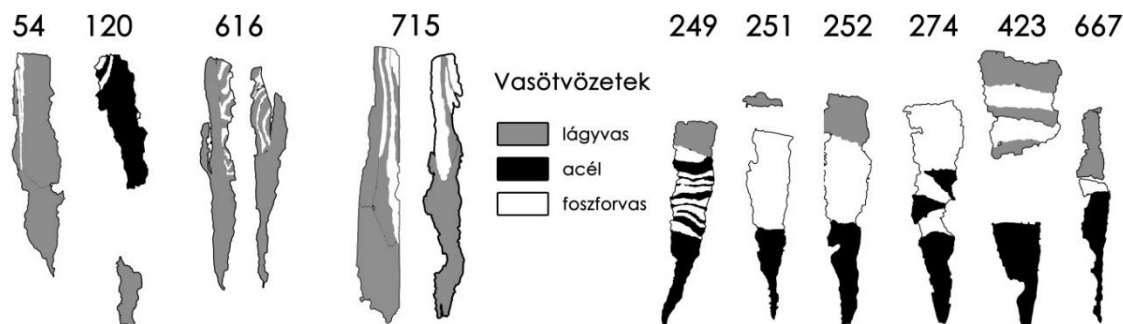
Diszkusszió és következtetések

A damaszkolt pengék esetében felhasznált vasötvözeteket a metallográfiai csiszolatokon elvégzett optikai mikroszkópos vizsgálatok alapján és az egyes foszforvas rétegekben SEM-EDS módszerrel meghatározott átlagos foszfortartalmat a 2. táblázat foglalja össze. A metallográfiai vizsgálatok alapján a vizsgált pengék keresztmetszetének stilizált rajzát a 16. ábra mutatja be. Az ábrán jól megfigyelhetők az egyes pengék esetében felhasznált vasötvözetek.

A metallográfiai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy mind a kilenc vizsgált kard és kés- penge esetében foszforvasat használtak fel díszítő célra. A 274-as számú kés esetében a kés fokához is foszforvasat használtak. A pengékben a damaszkolt mag illetve a damaszkolt fémberakás kétféle anyagpárosítással készülhetett: lágyvas+foszforvas és acél+foszforvas. Ha a hőkezeléseket is figyelembe vesszük, akkor háromféle anyagpárosítást nevezhetünk meg: lágyvas+foszforvas, normalizált acél+foszforvas és nemesített acél+foszforvas. Mindegyik kés éle acélból készült, a késeket egy kivétellel nemesítették, ezzel szemben a kardok esetében hőkezelésre utaló szövetszerkezetet nem volt megfigyelhető az él pedig két esetben is lágyvasból készült.



14. ábra. A 667-es számú kés makrofotója és a vizsgált terület mikroszkópi képe, amelyen az acél él és a foszforvas mag határa látható.



15. ábra: A vizsgált pengék keresztmetszetének stilizált rajza, a pengékben felhasznált vasötvözetek megjelölésével.

A pengékhez felhasznált foszforvas foszfortartalma átlagosan 0,4-1,4wt% volt. A díszítésre fel-

használt foszforvas általában tisztán ferrites, durvaszemcsés szövetszerkezetű volt, amely szövet-

szerkezet jellemző a foszforvasra, megkönnyíti annak beazonosítását a metallográfiai csiszolatokon. A foszforvas estenként karbont is tartalmazott, ilyenkor ferrit-perlites sávokat lehetett megfigyelni és kisebb átlagos foszfortartalom volt mérhető. A kisebb foszfortartalom oka, hogy a perlit szemcsékben jóval kevesebb foszfor képes szilárd oldatban maradni, mint a ferritzemcsékben. Míg egyensúlyi esetben a ferrit kb. 2,1wt% foszfort old, addig a perlit csak kb. 0,5wt%-ot (vö. Fe-P-C terner diagram: Raghavan 2004).

A 715-ös számú kard esetében a foszforvas rétegek mindegyikében átlagosan 1wt% arzént mérünk. Az arzén néha kimutatható a foszforvasban (Piaskowski 1984), ugyanis a foszfordús, általában bakteriális genetikájú gyevasércek, nagy fajlagos felületű gyevasércek nemcsak a vízben oldott foszfát, hanem az arzénat ionokat is abszorbeálják (a gyevasércek genetikájáról és geokémiájáról ld. részletesen: Thiele & Kecsmár é.n.).

2. táblázat. A damaszkolt pengék esetében felhasznált vasötvözetek és az egyes foszforvas rétegekben SEM-EDS módszerrel mért foszfortartalom értékek és azok átlaga, illetve a foszforvas rétegekben beazonosítható egyéb elemek.

Minta száma	Foszforvas réteg	Vasötvözetek	Foszfor-tartalom (wt%)					Egyéb elemek
			1	2	3	4	5	
54	1	lágvas mag lágvas+foszforvas damaszkolt fémlakással, az él nem vizsgálható (hőkezelés nincs)	0.89	1.16	1.24	1.09	1.35	1.15 -
	2		0.99	0.91	1.27	0.93	0.85	0.99 -
120	1	lágvas és acél mag lágvas+foszforvas damaszkolt fémlakással, az él nem vizsgálható (hőkezelés nincs)	1.41	1.5	1.26	1.55	1.37	1.42 -
	2		1.18	0.47	1.18	0.6	1	0.89 C
616/1	1	lágvas+foszforvas damaszkolt mag, az él lágvas (hőkezelés nincs)	0.51	0.45	0.64	0.55	0.38	0.51 As
616/2	1		0.6	0.7	0.16	0.64	0.6	0.54 As
	2		0.48	0.55	0.58	0.64	0.39	0.53 As
715/1	1	lágvas+foszforvas damaszkolt mag, az él lágvas (hőkezelés nincs)	0.4	0.56	0.34	0.29	0.27	0.37 -
715/2	1		0.44	0.3	0.32	0.77	0.18	0.40 -
249	1	acél+foszforvas damaszkolt mag, acél él, lágvas fok (nemesített)	0.6	0.53	0.39	0.37	0.22	0.42 C
251	1	acél él, foszforvas mag, lágvas fok (hőkezelés nincs)	0.66	0.42	0.55	0.61	0.63	0.57 -
252	1	acél él, foszforvas mag, lágvas fok (nemesített)	0.69	0.61	0.6	0.61	0.43	0.59 -
274	1	acél+foszforvas damaszkolt mag, acél él, foszforvas fok (nemesített)	0.76	0.85	0.73	0.6	0.6	0.71 -
	2		0.41	0.87	0.46	0.56	0.47	0.55 C
	3		0.5	0.46	0.53	0.59	0.6	0.54 -
423	1	acél+foszforvas damaszkolt mag, acél él, lágvas fok (nemesített)	0.46	0.26	0.43	0.46	0.63	0.45 -
	2		0.88	0.99	0.76	0.81	0.79	0.85 -
667	1	acél él, foszforvas mag, lágvas fok (nemesített)	0.79	0.81	0.89	0.65	0.45	0.72 -

Összegzés

A bevezetőben megfogalmazott két kérdésre a kilenc közép-európai damaszkolt kard- és késpenge archeometriai vizsgálata alapján kapott válaszok:

– A pengékben a damaszkolt mag illetve a damaszkolt fémlakás kétféle anyagpárosítással készülhetett: lágvas+foszforvas és acél+foszfor-

vas. Ha a hőkezeléseket is figyelembe vesszük, akkor háromféle anyagpárosítást nevezhetünk meg: lágvas+foszforvas, normalizált acél+foszforvas és nemesített acél+foszforvas.

– A pengékhez felhasznált foszforvas foszfortartalma átlagosan 0,4-1,4wt% volt.

Felhasznált irodalom

- Böhne, C.; Dannheimer, H. 1961. Studien an Wurm-buntklingen des frühen Mittelalters, Bayerische Vorgeschichtsblätter 26, pp. 107–122.
- Bronson, B. 1986. The Making and Selling of Wootz. *Archeomaterials* 1, pp. 13–51.
- Hošek, J. 2011. Serrated welds in medieval knives from territory of the Czech Republic and elsewhere, előadás, Stará huť u Adamova, Iron Smelting and Processing Days.
- Jones, L.A. 2002. Blade Construction and Pattern-Welding, [in:] I. Peirce, *Swords of the Viking Age*, Woodbridge: The Boydell Press, pp. 145–151.
- Jones, L.A. 1997. The Serpent in the Sword: Pattern-Welding in Early Medieval Swords, „Park Lane Arms Fair Catalogue” 4, pp. 7–11, online változat [megtekintve: 2014.03.21]: <<http://www.vikingsword.com/serpent.pdf>>
- Pattern welding a. In: *Oxford Dictionaries* [online]. Oxford University Press. [megtekintve: 2014.03.12], <<http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/pattern-welding>>
- Pattern-welding b. In: *The Concise Oxford Dictionary of Archaeology* [online]. Oxford University Press, 2002, 2003. Answers.com [megtekintve: 2014.03.12], <<http://www.answers.com/topic/pattern-welding-1>>
- Pattern welding c. In: *Wikipedia: The Free Encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikimedia Foundation, 2001. [megtekintve: 2014.03.12], <http://en.wikipedia.org/wiki/Pattern_welding>
- Piaskowski, J. 1984. Das Vorkommen von Arsen im antiken und frühmittelalterlichen Gegenständen aus Renneisen, *Archäologie*, vol. 18, pp. 213–126.
- Pleiner, R. 1962. *Staré evropské kovářství*, Praha : ČSAV. pp 13.
- Pleiner, R. 1969. Středověké sídliště s kovárnami u Mutějovic, Eine Mittelalterliche Dorfsiedlung mit Schmiedewerkstätten bei Mutějovice, Westböhmen, *Památky archeologické* LX/2, 533–571.
- Pleiner, R. 1979. K vývoji slovanské nožířské techniky v Čechách. *Archeologické rozhledy* XXXI, 245–256.
- Pleiner, R. 1982. Techniky kovářské výroby. In: Richter, M (Szerk.) *Hradištko u Davle*, Praha, pp. 268–300.
- Pleiner, R. 1993. Die Technologie der Messerherstellung in der Frühmittelalterlichen Fürstenburg von Budeč, Böhmen, *Památky archeologické* LXXXIV, Praha, 69–92.
- Pleiner, R. 2006. Iron in Archaeology: Early European Blacksmiths. Prague: Czech Institute of Archaeology, pp 241.
- Raghavan, V. 2004. C-Fe-P (Carbon-Iron-Phosphorus), *Journal of Phase Equilibria and Diffusion* Vol. 25 No. 6, pp. 541–542.
- Thiele, Á., Haramza, M. megjelenés alatt. Fegyvertörténeti kitekintés: a középkori damaszkolt pengék archeometallurgiája és mechanikai tulajdonságai, *Hadtörténeti Közlemények*.
- Thiele, Á; Kecsmár, Zs. é.n. A belső-somogyi gyepvasérc telepek archeometallurgiai jelentősége és genetikája / Genetic types and archaeometallurgical role of bog iron ore deposits in Inner Somogy, *Bányászati és Kohászati Lapok – Bányászat*, vol 147:(1), pp. 19–24.
- Thiele, Á.; Hošek, J.; Kucypera, P.; Dévényi, L. megjelenés alatt. The role of pattern-welding in historical swords – mechanical testing of materials used in their manufacture, *Archaeometry*.
- Tylecote, R.F. 1986. The prehistory of metallurgy in the British Isles. London : Institute of Metals. pp. 241.
- Tylecote, R.F.; Gilmour, B.J.J. 1986. The Metallography of Early Ferrous Edge Tools and Edged Weapons, *BAR British Series* 155, Oxford: B.A.R., pp. 146–262, 251–252.
- Vega, E., Dillmann, P., Lheritier, M., Fluzin, P., Crew, P., Benoit, P. 2003. Forging of phosphoric iron. An analytical and experimental approach. *Archaeometallurgy in Europe*, vol. II, Milan, 337–346.