

IX-XII. századi iszlám acélgyártási eljárások rekonstrukciója

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	1.
Bevezetés	2.
A szerzőkről és műveikről	3-4.
Metallográfiai áttekintés	4-11.
Általános metallográfia	4-5.
A forrásokban szereplő anyagok	5-7.
A fémek nemek szerinti felosztása	7-8.
Damaszt és wootz	8-11.
A forrásban szereplő eljárások	11-16.
Edzéstechnikák	12-13.
A beszőrés (tarah)	13-14.
Olvasztásos eljárások	14-16.
A kísérletek	16-26.
Anyag-meghatározás és helyettesítés	16-17.
Kardrekonstrukciós kísérlet: 2010. 10. 15-20.	17-18.
Olvasztásos kísérletek	18-26.
1. olvasztásos kísérlet: szeptember 28.	22.
2. olvasztásos kísérlet: szeptember 29.	22-23.
3. olvasztásos kísérlet: október 05.	23-24.
4. olvasztásos kísérlet: október 13.	24.
5. olvasztásos kísérlet: október 13-14.	24.
Utómunkálat: október 14.	25-26.
Értékelés	26-27.
Bibliográfia	27-28.
A technikák	29.
Képek	30-34.

Bevezetés

„Sok penge közt az idő egy kardvasat mutatott,

Döntése kénye szerint a napvilágra hozott.”

*(Ibn ar-Rūmī)*¹

Az IX-XII. századi iszlám fémművességet jelentős mértékben meghatározta a damaszkuszi acél, amely köré legendák kötődtek. A Szentföldet elfoglaló muszlim harcosok egyik legfélelmetesebb fegyvere volt, mellyel a szóbeszéd szerint a keresztes lovagok kardjait valósággal kettészelték.²

Ugyanilyen tisztelet övezte a készítési módot is, ami legalább annyira féltve őrzött kincs volt, mint maga a fegyver, hiszen drága összetevőin kívül számos tudós és mesterember szaktudása ötvöződött egy pengében.

Dolgozatom célja azon kísérletek, és eredményeinek bemutatása, melyek a források értelmezésére, és a damaszkuszi acél – illetve gyártási technológiáinak – lehetőségek szerinti rekonstrukciójára irányultak.

A tanulmány jellegét tekintve kísérleti régészeti és archeometriai, bár az összetevők és az eljárások egy részét kénytelen voltam modern megfelelőjükkal helyettesíteni. A fémgyártási technikákat nem egészében vizsgáltam, megvalósításaiknak általában egy-egy részére koncentráltam abból a megfontolásból, hogy annak folyamatát jobban sikerüljön megérteni, ne vesszen el az egészben.

Az ilyen módon, gyakorlati úton végzett forráskritika során lehetőség nyílik az írottak új szemszögből történő vizsgálatára.

¹ Fehér Bence, *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000. 41.

² Pálinkás Károly, *Megfejtették a damaszkuszi acél titkát?*,

http://www.ng.hu/Civilizacio/2010/10/Megfejtettek_a_damaszkuszi_acel_titkat (2012. 10. 20.)

A szerzőkről, és műveikről

A kísérletek során alapvetően három arab szerző művét használtam fel, amik az alábbiak: Ya'qūb b. Iṣḥāq al-Kindī: *Kardok és fajtáik*, Abū r-Rayhān al-Bīrūnī: *Gyűjteményes könyv az ékkövek ismeretéről*, valamint Murdā b. Alī b. Murdā b. aṭ-Ṭarsūsī: *Az értelem birtokosainak magyarázata a háborúkban a csapásoktól való védelem minőségéről és az eszközeire vonatkozó jellemzők ismeretének kiterjesztése*.

A felsoroltak közül az arabok filozófusának tartott Kindī a legrégebbi (801 k. -873). Írásainak csak egy kis részét alkotják az anyagi kultúrát tárgyaló művek, sokkal inkább filozófusként és történészként vált ismertté. Számos görög filozófiai tartalmú írást dolgozott fel.³

Bīrūnī (973-1048) is foglalkozott filozófiával – például Ptolemaiosz műveit fordította arabra⁴ – azonban sokkal közelebb állt hozzá a természettudomány. Fémkohászati kérdésben több szerzőtől is idéz – Abū Ġa'far Muhammad al-Hāzin ḥurāsāni asztronómustól, Yūhannā b. Māsawayhi Abū Zakarīyā udvari orvostól és Abū Bakr ar-Rāzī filozófus, alkimistától⁵ – mégsem tekinthető szakmai szempontból hitelesebbnek, amit az is alátámaszt, hogy részben fedí egymást a két munka; Bīrūnī forrásként használja fel Kindī művét, aki azonban sokkal többet foglalkozik a kardtipológiával, míg Bīrūnī a kardok anyagával és készítési módjával. Ennek köszönhetően a kardrekonstrukciós kísérleteknél több információt nyújtott Kindī munkája, míg a próbaolvasztásoknál Bīrūnī írása bizonyult hasznosabbnak.

Ez utóbbi kísérlet típusnál volt meghatározó Ṭarsūsī munkája is, aki elsősorban kohászati és edzéstechnikákat tár elénk. Művét Ṣalāh ud-Dīn számára írta munkáját Egyiptomban, ebből viszonylag jól lehet datálni. Ez alapján látható, hogy munkája már kívül esik a koraiszlám fémművesség idő-intervallumán, mégis egyértelműen kapcsolatban áll a régebbi szerzőkkel, és pont az általa lejegyzett edzéstechnikák teszik értékessé művét, mivel ezekre a korábbi forrásokban csak hézagos fogalmak vannak. Az olvasztásokkal kapcsolatban is vannak olyan kifejezések és eljárások, amiről csak általa informálódhatunk.

³ Goldschmidt Jr, Arthur, *A Közel-Kelet rövid története*, Maecenas Könyvek, Bp, 1997. 127.

⁴ História - Tudósnaprár, <http://www.kfki.hu/physics/historia/localhost/egyen.php?nanev=albiruni> (2010. 10. 25.)

⁵ Fehér Bence, *A korai iszlám fémművesség anyagai, forrásai és technikái*, Doktori disszertáció, Budapest, 2001. 12.

A szövegek értelmezhetőségét helyenként megnehezíti a romlottság, és egyértelmű jelek vannak arra is, hogy egyes részek elvesztek, vagy felcserélődtek (pl. a Kindī-kéziratban).⁶

Metallográfiai áttekintés

Ahhoz, hogy a forrásokat kísérletek által értelmezni tudjuk, szükségünk van egy átfogó ismeretre a receptekben lejegyzett fémekkel, és azok tulajdonságaival kapcsolatban.

Általános metallográfia

A fémek keménységét szénttartalmuk határozza meg. Azok a vas-szén ötvözetek, melyekben nagyobb százalékarányban fordul elő a szén ($C=m\%$), keményebbek, ellenállóbbak, formatartóbbak (ez utóbbi pengék esetében egyben azt is jelenti, hogy kevésbé csorbulnak), de nehezebben alakíthatók, és könnyebben törnek. A lágyvasak ezzel szemben szívósak, hajlékonyak.

Mindkét fémtípusnak megvannak a maga sajátosságai, egyiket sem lehet a másik fölé helyezni, hiszen különböző célra szolgálnak.

A fegyverkovácsolás egyik nagy problematikája, hogy az acél ne legyen se túl rideg és törős, se túl lágy, könnyen görbülő.

Az anyagok tulajdonságait nagymértékben meghatározzák szövetelemeik is, melyek a hő hatására változnak. 769°C-on például a vas elveszti mágnesezhetőségét, ezt nevezzük paramágneses β -vasnak. A szobahőmérsékletű α -vasban perlites és ferrites szövetelemek találhatók, melyekből 911°C-on ausztenit képződik. Ennek nagy szénoldó képessége van, és ha a kritikus hűlési sebességnél ($^{\circ}C/s$) gyorsabban hűtjük vissza, martenzitté⁷ alakul; ez az edzés folyamata.

Hasonlóan változik a vas rácsszerkezete is hő hatására: γ -vas állapotában a térközepes rácsszerkezet lapközepesbe megy át, ami 1392°C-on a δ -vas állapotában alakul vissza térfogat-növekedés mellett. A későbbi olvasztásos kísérletek szempontjából fontos ismerni a

⁶ *Ibid* 7-8; 40-41.

⁷ Ez a szén túlhevített szilárd oldata az α -vasban.

vasak olvadáspontját, ami a kémiailag tiszta vas esetében 1536°C, de ez a fémek szénttartalmával fordítottan arányos.⁸

A forrásokban szereplő anyagok

A fent említett források alapvetően négy anyagot említenek, a šāburqānt, a narmāhant, a ǧaust és a fūlādot.⁹

A šāburqān meghatározása viszonylag nehéz. Bīrūnī a meteorvasat nevezi így, aminek már csak azért is hitelt adhatunk, mert ezzel kapcsolatban – a szokásostól eltérően – nem szépirodalmi forrásokat idéz, hanem saját tudományos megfigyeléseire támaszkodik.¹⁰ Az első vastárgyak sem a kohászat termékei voltak, hanem meteorvasból készültek.¹¹ Más helyen pont Bīrūnī említi, hogy šāburqānból készültek a vikingek és a szlávok kardjai, amit qala'-nak, vagy qal'-nak is mondanak. Ezzel kapcsolatban feljegyzi, hogy „*a qala'-nál csengés hallatszik, a többinél kongás*” valamint hogy „*a görög kard is kicsorbul húsukon*”.¹²

A kovács szakmában pengék készítésénél általában megfigyelhető, hogy edzés után oldalról megütve csengő hangot adnak ki. Bizonyos szinten ezzel is le lehet ellenőrizni a penge edzettségét. Az idézett részek tehát azt mutatják meg, hogy a šāburqānból készült kardok edzettek, és kemények (ez utóbbira utal, hogy a bizánci kardok kicsorbulnak rajtuk, tehát azoknál keményebb anyagból vannak).¹³ Így a források is akkor értelmezhetők a legjobban,

⁸ Seregi György – Ifj. Seregi György, *Iparművészet 1100 fokon*, TERC Kft. [Hn.] 2002. 27-33.

⁹ Fehér Bence, *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000. 9; 16; 21-24; 26; 28; 31; 34; 36; 44; 46-47; 49; 61-62; 65; 71; 73; 75; 77. vö. Fehér Bence: *A korai iszlám fémművesség anyagai, forrásai és technikái*, Doktori disszertáció, Budapest, 2001. 5-6; 23-25.

¹⁰ Fehér Bence: *A korai iszlám fémművesség anyagai, forrásai és technikái*, Doktori disszertáció, Budapest, 2001. 24.

¹¹ Thiele Ádám – Bán Krisztián, *A bucavaskohászat kora középkori technológiája a megvalósíthatóság tükrében*, In: Balázs Tamás [szerk], *BKL – Kohászat*, Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 2010. 2. szám 8.

¹² Az utóbbi idézet Bīrūnī forrásában Al-Husayn ibn al-Hammām al Murrī-tól származik. Fehér Bence, *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000. 40.

¹³ Az edzésről köztudott, hogy az ehhez szükséges, már említett kritikus hűlési sebesség annál nagyobb, minél alacsonyabb az anyag széntartalma, valamint hogy csak bizonyos, $C > 0,2\text{m}\%$ széntartalom mellett következik be a folyamat. Az ennél lágyabb vasak nem edződnek be. Elméletileg felső határa nem lenne az edzhetőségnek, azonban a kovácsolhatóság miatt csak a $C < 2,06\text{m}\%$ széntartalmú vasakat nevezik acéloknak. Az ennél ridegebb

ha a šāburqān anyaga alatt egy lágyvasnál nagyobb szénttartalmú acélt, de nem rideg (öntött) vasat értünk.

A narmāhan anyaga ezzel szemben könnyen meghatározható, a receptek egyértelműen lágyvasként említik, például Ṭarsūsī ír narmāhan vasreszelékről,¹⁴ amiről pedig az tudható, hogy általában lágyvasakból származó melléktermék. Ennél is pontosabb Bīrūnī lejegyzése,¹⁵ ahol az öntőtégelybe lópatkót tesznek és annak szögeit, amikről a forrás narmāhanként ír.

Abból, hogy a narmāhant szögek gyártására is használták, arra következtethetünk, hogy megfelel a mai értelemben vett lágyvasnak. Az olvasztásos kísérletekben ez az információ különleges jelentőséggel bírt; ez alapján helyettesítettem a narmāhant lágyvas alapanyagú szögekkel.¹⁶

A ḍaus szó eredete homályos, minden bizonnyal rideg, cementites öntöttvas. Bīrūnīnál például úgy találkozunk vele, mint a narmāhan egyik alfaja, annak olvasztásakor keletkezett melléktermék:

„Hasonlóképpen a narmāhan is két fajtára oszlik, az egyik ő maga, a másik a leve, amely az olvasztás és a kövektől való megszabadítás idején kifolyik belőle. Ezt ḍausnak nevezik...”¹⁷

A fūlād pedig egy ötvözet, amiről Kindī a következőket írja:

„Az a vas pedig, amely nem bányászott, az acél (fūlād)(ez azt jelenti, megtisztított). A bányászott vasból készítik úgy, hogy az öntésnél hozzátesznek valamit, ami megtisztítja, és megerősíti a lágyságát, erősség és hajlékonnyá teszi, úgyhogy alkalmas az edzésre és meglátszik benne a lüszter.”¹⁸

anyagokat (nyersvasak) nem lehet kovácsolással alakítani, csak öntéssel. Seregi György – Ifj. Seregi György, *Iparművészet 1100 fokon*, TERC Kft. [Hn.] 2002. 27-33.

¹⁴ *Ibid* 62.

¹⁵ *Ibid* 46.

¹⁶ Bővebben ld. *Anyag-meghatározás és helyettesítés* c. alfejezet.

¹⁷ *Ibid* 40.

¹⁸ *Ibid* 13.

A fūlād tehát maga az acél (valószínűleg innen jön a *bulat* is, ami a szláv nyelvekben, valamint a törökben a damaszkuszi acélt jelöli¹⁹), melynek előállítási módjairól a források írnak, és aminek az előállítása egyben a kísérletek célja is volt.

A fémek nemek szerinti felosztása

A fent említett források anyagaiból látható, hogy meghatározhatóságuk alapvetően az egymástól való elkülöníthetőségükben rejlik, ennek pedig egyik fő szempontja a szénttartalom.

Több helyen is találkozunk azzal, hogy a lágy és kemény anyagtulajdonság férfi-női ellentétként fejeződik ki a forrásokban:

Kindīnél például ez olvasható:

„... a vas, amelyből a kardot kovácsolják, két fő fajtára oszlik: a „bányászottra” és arra, amely nem „bányászott”. A „bányászott” is két fajtára oszlik: a šāburqānra (tulajdonságait tekintve ez a férfias, szilárd, edzésre alkalmas) és a narmāhanra (tulajdonságait tekintve ez a nőies, lágy, amely nem alkalmas az edzésre).”²⁰

Bīrūnī is hasonlóképp választja el ezt a két anyagot:

„A vasnak az érce két fajtára oszlik, az egyik lágy, narmāhan-nak hívják, „nőies” mellékneve van, a másik merev, šāburqān-nak hívják, „férfi” a mellékneve.”²¹

A férfias kifejezés Ṭarsūsī harmadik receptjében is szerepel, bár nála a magnezitre vonatkozik. Itt is valószínű, hogy az ásvány keménységére utal, hiszen más receptben pont lágy magnezittel találkozunk.²²

A fémek nemek szerinti felosztása (szexualizálása) nemcsak a kora-islám kultúrára jellemző, mint ahogy nem kizárólag a fémekre vonatkozik, hanem a természeti és az ember alkotta világ más tapasztalt részeire is. Mircea Eliade szerint „(...) olyan, „minősítő” morfológiai osztályzásról van szó, amely a világgal való misztikus összetartozás tapasztalatát

¹⁹ Ebből a kifejezésből számos más nyelvű elnevezése származhat az acélnek, például az indiai *pandah* (*ferrum indicum*), vagy a spanyol *tolad*. Burton, Richard F, *The book of the sword*, Catto and Windus, London, 1884. 110.

²⁰ *Ibid* 13.

²¹ *Ibid* 40.

²² *Ibid* 46; 62.

fejezi ki: annak végső megnyilvánulási formája. A kozmoszra kivetített Élet gondolata osztja nemekre a világot.”²³

Fémekkel kapcsolatban találhatunk így példát Bahia ben Aser zsidó misztikusnál:

„Nemcsak a pálmafák közt vannak hím- és nőneműek, hanem az összes növényfajok közt, amiként az érceket is hímekekre és nőstényekre osztotta a természet.”²⁴

Ibn Szína arab misztikus a következőképp igazolja a fémek élővé válását:

„a romantikus szerelem (al'ishaq) nemcsak az emberi faj sajátja, áthat minden létező dolgot, az égi, az elemi, a növényi, az ásványi világot, hogy mi végre, azt nem észleljük, nem tudjuk, értelmét magyarázataink csak még inkább elhomályosítják.”²⁵

Ez a két ellentét egymás általi kiegészítése jellemzi a kitarák kultúráját is, hiszen az ő felfogásuk szerint is léteznek a kemény, fekete hímnemű ércek, melyek a föld felszínén találhatók, és a puha, vöröses „nőstények”, melyeket bányászni kell. Az olvasztás e két nem egyesítése révén lehetséges. Itt a kohó szimbolikája tárul elénk, mely a „fémek házasságának” helye, ahol a két ellentétes fémből valami új születik.²⁶

Damaszt és wootz

Ez a motívum figyelhető meg damaszkuszi acélnál is, melynek különlegessége hasonlóan az elmondottakhoz épp abból áll, hogy kétfajta anyag ellentétes tulajdonságát öröklí; egyszerre kemény és hajlékony:

„(...) híresek voltak páratlan vágóélükről, erejükről, akkor sem csorbultak ki, ha más fémrel találkoztak. Emellett rendkívül szívósak is voltak, a legnagyobb ütés hatására sem törtek el.”²⁷

Emiatt számított a tárgyalt kor egyik csúcstechnológiájának. Jóllehet, a fémek nemek szerinti felosztásához nem mindig kapcsolódik, ugyanis az olvasztásos eljárással nyert damaszkuszi acél az esetek többségében nem két fém ötvöze. Nevét Damaszkuszt városáról

²³ Eliade, Mircea, *Kovácsok és alkimisták*, [ford.: Vargyas Zoltán] Catraphilus Kiadó, Bp, 2004. 40.

²⁴ *Ibid* 45.

²⁵ *Ibid* 46.

²⁶ *Ibid* 44.

²⁷ Lendvai Levente, *Az eredeti damaszkuszi acél technológiája*, Tudományos Diákköri Dolgozat, Gödöllő, 2008. 3.

kaphatta,²⁸ ami a fém európai elterjedésének egyik csomópontja volt. Ha megfigyeljük, a keleti nyelvekben ezt az acélfajtát egyáltalán nem Damaszkuszhoz kötik (bulat, fülād) – annak ellenére sem, hogy az ismert arab kardtipológiában számos fajtát a származási helyükről neveznek el, például yamāni, qalāi – a damaszkuszi acél kifejezése minden bizonnyal az európai gondolkodás terminológiája.

Ennek az acéltípusnak az egyik fő jellegzetessége a felületi mintázata. Az anyagában elkülönülő alacsony és magas széntartalmú részek ugyanis világos-sötét kontrasztot alkotnak. Feltehetőleg ezt nevezik a felhasznált források lüszternek. Ennek a mintázatnak több válfaja is van, ami az anyag előállítási módjától is függ, ugyanis kétfajta készítési módja van. Az egyik rétegelt damaszkolás, más szóval dömöckölés, mely egy üllőn végzett kovács technika. Ennek során különböző széntartalmú vasakat (lágývasat és acélt) forrasztanak egymáshoz tűzi hegesztéssel.²⁹ Ezt az eljárást főleg a középkori Európában használták a penge minőségének javítására, valamint az eredeti damaszkuszi acél mintázatának utánzására.

Az egymáshoz kovácsolt rétegek elhelyezkedése különböző formákat adott: csíkos, vagy fodros lapdamaszk, rózsadamaszk, csavart (torziós) damaszk,³⁰ valamint az ezek kombinálása, egymáshoz forrasztása által létrejött mozaik damaszk.³¹

Az eredeti damaszkuszi acélt a szaknyelv wootz-nak nevezi, ennek mintázata már a kovácsolás kiinduló anyagán is meglátszik, ez az a fajta, amit kohós olvasztás során nyernek.

²⁸A névéredetre más elméletek is találhatók, például van, aki szerint a rajta található erezetről kaphatta nevét, ez az elmélet azonban egy téves fordításon alapul, így ilyen formában nem tekinthető megalapozottnak. Pálincás Károly, *Megfejtették a damaszkuszi acél titkát?*,

http://www.ng.hu/Civilizacio/2010/10/Megfejtettek_a_damaszkuszi_acel_titkat (2012. 10. 20.)

²⁹ A tűzi hegesztés egy kötési mód, azt a műveletet nevezzük így, amikor az összeforrasztani kívánt anyagokat tűzi hegesztési hőmérsékletre (1350°C körül, anyagösszetételtől függően) melegítjük, majd sűrű, erőteljes ütésekkkel, vagy összenyomással összeforrasztunk. Eközben az oxidmentesítő szerek hatására folyékonyvá vált leve eltávozik a rétegek közül (bővebben ld. 42. jegyzet). Az ilyen állapotban megmunkált anyagok összehegedése után a varratok (hegesztés helyei) nem sokkal kisebb a kiinduló anyagnál (a maximális szilárdsági érték 85-90%-a). Thiele Ádám, *Damaszkuszi acélok, mint kompozitok bemutatása*, BME, Bp. 2009. 9. vö. Halmágyi Szabolcs – Riedel Lóránt: *Régi fegyverekről*, Műszaki Könyvkiadó, Bp, 1986. 78.

³⁰ Thiele Ádám, *Damaszkuszi acélok, mint kompozitok bemutatása*, BME, Bp. 2009. 12-13.

³¹Rétegelt kovácsolással 2011-ben, a kovács vizsgamunkám során foglalkoztam behatóbban, amikor késpengéken mutattam be a fodros lapdamaszk és a torziós damaszk mintázatát, valamint egy kardpengén a mozaik-damaszkolást. (14; 15; 16. kép)

A dolgozatban később tárgyalt olvasztásos kísérletek kutatási tárgya is erre az anyagra (valamint előállítási technikáira) irányult.

Szálerősítésű kompozitnak tekinthető, mely nagy karbontartalommal, ugyanakkor képlékeny alakváltoztatási tulajdonsággal rendelkezik. A wootz alapja kohászat útján nyert, kis széntartalmú vasbuca,³² amit hosszú ideig cementáltak.³³

Ez után következett be az olvadás, mely során a redukáló atmoszférának köszönhetően a vasrögök összehegedtek, a kiolvadó salaktartalom pedig valószínűleg lefolyhatott az edény aljára. Emiatt tudták a kohászok abból megállapítani az olvadás állapotát, hogy a tégelyt megrázták, és az tocsogó hangot adott ki.

Az így nyert vascipó (wootz-pogácsa, vagy tojás) karbontartalmának kiegyenlítésére szolgált a hosszú magas hőmérsékleten tartás és az utána következő – gyakran napokig tartó – lehűtés, ami miatt a durva ausztenitszemcsék közül kiváló karbidháló szabad szemmel is látható méretűvé vált.³⁴ (Ez a mostani kísérletek során a lágyvasak finomszemcsés szerkezete miatt már nyilván valóan nehezebb.)

A hűlés során kétféle krisztallizációs folyamat figyelhető meg: először, a cementálás és az olvasztás folyamatában az ausztenit dendrites kristályszerkezete alakul ki, mely később, a hőmérséklet csökkenésével, már az anyag szilárd halmazállapotában cementites és ferrites szövetelemekre oszlik fel. Azonban a második krisztallizáció során létrejött szövetelemek már egy előre meghatározott formába rendeződnek, az ausztenites kristályszerkezet kémiai elrendezését követve. Így tehát egy hipereutektoid keletkezik önálló cementittel, ami karbidháló formájában jelenik meg.³⁵

³²A vasbuca fogalma a kohászatban az olvasztás után összeállt vasat jelöli. A „buca”, vagy „buga” kifejezés a kovácsmesterségben is megtalálható, így nevezik azt az idomszelvényt, vagy más állapotú tömör vasat, mely a kovácsmunkák kiinduló anyaga.

³³Cementálásnak nevezzük azt a karbondúsítási, felszenülési folyamatot, mely során az anyagot zárt térben széntartalmú anyagok mellett hevítünk, így a létrejött cementáló légkör a fém felületét bizonyos mélységig szénben dúsabbá teszi. A salakos vasbuca apró darabjait faszénnel – vagy más széntartalmú anyaggal – keverték össze, és egy lezárt kerámiatégelyben hevítették 1200-1300°C-on. Először a fém felszenülése történt; a magas hőmérsékleten a vasrögök γ -vas állapotba kerültek, ami ausztenitesedéssel járt együtt. Ennek eredménye a nagy szénfelvevő képesség. Thiele Ádám, *Damaszkuszi acélok, mint kompozitok bemutatása*, BME, Bp. 2009. 5-7.

³⁴ *Ibid* 5-7.

³⁵Allan, James W, *Persian Metal Technology 700-1300 AD*, Ithaca Press, London, 1979. 76-77. vö. Needham, Joseph, *Science and Civilisation in China, V. kötet: Chemistry, and Chemical Technology, 11. rész: Ferros Metallurgy*, Cambridge University Press [h. n.] 2008. 270-271.

Az acélkészítési technikák nyilvánvalóan helyenként változtak. Különböző területeken a fémek más-más formában, más kísérőkristályokkal és megmunkálási lehetőségekkel párosultak. A wootz-készítés kiinduló helyének tartott Indiában például apróra tört mágnesvasércet és finoman felaprított fát (általában az indiai *Cassia Auriculata* örökzöld cserjefajtát) helyeztek egy tűzálló agyagból készült olvasztótégelybe. Erre zöld növényi leveleket szórtak – szodomaini almát (*Asclepias Gigantea*) vagy szulákot (*Convolvulus Lanifolius*) – és az egészet nedvesített agyaggal vonták be, amit a nap aszalt keményre. Ezekből aztán akár kéttucatnyit is elhelyeztek a tűzhely aljában, majd többórás³⁶ fűjtatás után felbontották.³⁷

A technika nagy valószínűséggel közel-keleti közvetítéssel jutott el Indiából Európába, Kínán keresztül pedig Japánba, ahol az ottani szamuráj kardok alapanyagává (tamahagane) vált.³⁸

A forrásban szereplő eljárások

A felhasznált forrásokban számos olyan technikával és ötvöző elemmel találkozunk, melyek szakmai-tudományos jellegét csak kísérleteken keresztül tudjuk igazolni. Erre azért is szükség van, hogy elválasszuk a babonából, vagy rituális célból használt eljárásoktól, hiszen erre is rengeteg példát találunk:

A legtöbb kohász hagyományban ugyanis megvolt az egyes eljárások és tárgyak szimbolikus tartalma, ahogy arról az előző részben már szó volt. A mezopotámiai kohászati munkák például számos helyen jártak liturgikus aktusokkal. Az olvasztáshoz megfelelő hónapot és napot kellett választani, a kemence körzetét felszentelték és *profánok* nem mehettek a közelébe. Az érceknek és a kohóknak rituális áldozatokat mutattak be (fenyőtömjén, kuruma sör), és speciális (styrax) fát helyeztek alá, melyet a megfelelő hónapban vágtak és bőrökbe bugyoláltak.

A kohászati áldozatoknak afrikai párhuzamai is vannak: az usi kovácsok tyúkot áldoztak a kemencéknek, a kitarák birkát és tyúkot öltek le az üllőn. A söráldozatok mellett pedig több

³⁶ Burton két-három órás olvasztási időt ír, azonban ez a korabeli tűzhelyek teljesítőképességét ismerve a többszörösére becsülhető. Burton, Richard F, *The book of the sword*, Catto and Windus, London, 1884. 111.

³⁷ *Ibid* 111.

³⁸ Lendvai Levente, *Az eredeti damaszkuszi acél technológiája*, Tudományos Diákköri Dolgozat, Gödöllő, 2008. 4-12.

helyen is „orvosságot” tettek a kemencébe.³⁹ Ehhez hasonló kifejezést („gyógyszer”) a kísérletekben felhasznált receptekben is találunk, ennek azonban nem szakrális, hanem tudományos szerepe van. A későbbiekben látható, hogy a szerző is ilyen jellegű folyamatokkal hozza összefüggésbe.⁴⁰

A források használhatóságát illetően babonákon kívül a tudatos ferdítések, és elhallgatások jelenthetik a másik veszélyt. Még kovácsmesterem, Nagy Tibor is emlékszik arra, hogy a régi mesterek sokszor „ködösítettek” a kunceaftok előtt, nehogy azoknak kiadjanak valamit a szakmájukból. Az indíttatás ebben az esetben nem a károkozás, hanem a szakma védelme volt a laikustól, nehogy egy külső szemlélő döntsön, gondolkodjon helyettük, erre utal Murdā b. Alī b. Murdā b. aṭ-Ṭarsūsī: *Az értelem birtokosainak magyarázata a háborúban a csapásoktól való védelem minőségéről és az eszközeire vonatkozó jellemzők ismeretének kiterjesztése* című munkájában:

„Ez a nemes edzések közül van, azaz a megbecsült edzések és a titkolt ritkaságok közül. Féltékenyen bánj vele és őrizd jól.”⁴¹

Bár e mondat alapján inkább arra következtethetünk, hogy a leírások használhatók, hiszen ezek lejegyzett, de féltve őrzött titkok, és a kísérletek alapján is az valószínűsíthető, hogy teljes recepteket tartalmaznak.

Edzéstechnikák

Az ilyen jellegű eljárásokból nem emeltem ki többet,⁴² mivel ezekkel a kísérletek során sem foglalkoztam. Ennek legfőbb oka az, hogy nem az anyag-előállításához, hanem egy későbbi fázishoz, az anyagmegmunkáláshoz, ezen belül is a véglegesítő munkákhoz tartozik. Ezen kívül a receptekben leírt anyagok helyenként olyan mértékben meghatározhatatlanok, hogy azokat helyettesíteni sem lehet. Ezt példázza egy Ṭarsūsī által lejegyzett edzéstechnika:

„Veszel olyan gombát, amelyet kígyógombának neveznek (ez azért van, mert aki eszi, azt megöli). Ez a hegyizeller, és különösen gyakran nő a nagy olajfák alatt; ilyen az is, ami a

³⁹ Eliade, Mircea, *Kovácsok és alkimisták*, [ford.: Vargyas Zoltán] Cartaphilus Kiadó Bp, 2004. 88-91.

⁴⁰ A „gyógyszer” kifejezéssel a beszórásos és az olvasztásos módszereknél találkozunk (ld. *A beszórás és Olvasztásos eljárások* c. fejezet)

⁴¹ Fehér Bence, *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000. 62.

⁴²Bővebben ld. *Technikák* c. fejezet táblázata.

*számártrágyában nő. Megtöröd, kivonod a levét, a farsi ballagófülevét és a lícium levét, borseprőt és tegeri tajtékot, ammóniát, kőrisbogarakat, nedves beléndekfát. Ami ebből száraz, összezúzzák, és belerakják ezekbe a folyadékokba, és szűk nyakú edénybe helyezik. Bedugaszolják a nyakát és negyven napig trágyában elássák, amíg fel nem oldódik. Amikor tökéletes, végy egy gyapjút és áztasd állott vizeletbe három napig, aztán vedd ki a vizeletből, szárítsd meg árnyékban és nedvesítsd meg ebben a folyadékban. Melegítsd föl a kardot és a gyapjúval nedvesítsd, ahogy a kardok vasait edzik, és ha beitta, hűtsd ki és borítsd be porral.*⁴³

A beszórás (tarah)

Ennek kifejezésnek a források két jelentést is tulajdonítanak; az egyik a penge vitriolos bevonása (beszórása), mely azt a célt szolgálja, hogy a pengén láthatóvá váljék a már említett magas és alacsony széntartalmú acélok közötti színkontraszt:

*„ez a szert jelenti, amelyet hozzáadnak, ti. a szert a vashoz, hogy láthatóvá tegye a lüsztert.*⁴⁴

Ezt az eljárást mindegyik végeredményes kísérletemnél használtam a mintázat előhívására.

A beszórás másik jelentése a kardpengének más széntartalmú ötvöző anyaggal (a források szerint „gyógyszerrel”), minőségi javítás céljából történő beszórása, majd egybekovácsolása a penge anyagával. Ez más sokkal inkább hasonlít a rétegelt damaszkoláshoz.

Több helyen is találunk erre példát, többek között Bīrūnī elbeszélés alapján leírt lejegyzéseiben, ahol narmāhan vasat szórnak be ḍaus-szal:

*„Mesélte nekem valaki, aki Sind földjén egy kovács mellett ült, amikor a kardokat csinálta és figyelte: „A vasa narmāhan volt, arra egy porrá tört szert szórt finoman (böven?), rátette és merítéssel forrasztotta, majd kivette, kalapálással nyújtotta, újra és több alkalommal ezt csinálta.” Azt mondta: „Kérdeztem tőle, hogy ez mi. Gúnyos tekintettel nézett rám. Ebből megértettem, hogy ez ḍaus, amelyet narmāhan nal egyesít kalapálás, és merítés által, (...)”*⁴⁵

Kindī-nél a fattyú kardok készítésének leírásában:

⁴³ Ibid 62.

⁴⁴ Ibid 16. vö.: Fehér Bence: *A korai iszlám fémművesség anyagai, forrásai és technikái*, Doktori disszertáció, Budapest, 2001. 28.

⁴⁵ Ibid 46.

„A [I: busrāi] fattyúban ez megtalálható [I: mind, és még ér is van benne], mert a szer, amit a vasma szórnak, hogy acél legyen belőle, nem keveredik az egész vassal egyenletesen, vannak benne narmāhan -területek. Nincs benne lüszter. Ha kovácsolod, egyik része leül a másikra és a belsejében rejtve lüszter lesz.”⁴⁶

Ennél a receptnél šāburqānt szórnak be lágyvassal, és bár a penge lüsztere rejtve marad, az így kapott penge minőségileg felülmúlta az 'atīqot, vagyis az ősi kardtípusokat.⁴⁷

Kindī egy vitatható hitelű részében a basrai modern kardok beszórásáról ír:

„Ezeknek a beszórás után eltűnnek (tudhabu) a csomóik, és rejtve van a damaszkozásuk.”⁴⁸

A lüszter tehát itt is rejtve marad, az eljárás homogenizálja az anyagot.

Olvasztásos eljárások

A wotz-készítés alapjának tekinthető ez a technika, amiről több szerzőtől is kapunk részletesebb leírást. Az egyik Bīrūnī:

„Aztán azt rendeli, hogy helyezzenek minden öntőtégelybe öt raṭl lópatkót és a szögeiket, melyek narmāhanból készülnek, és külön-külön antimonból, dahabāni markazitból és lágy magnezitből 10-10 drachma súlyt. Betapasztják az öntőtégelyt, a kohóba teszik, megtöltik szénnel a kohót és bizānci fújtatóval fújtatják. (...) Mikor már ég, előkészítenek neki formákat, amelyekben balzsamdió van, gránátalma héja (kérge), téasztasó és gyöngykagylók, egyenletesen összetörve, minden formában 40 drachma. Minden öntőtégelybe egyet dobnak, aztán egy óráig fújtatnak rá erősen, irgalmatlanul, aztán otthagyják, míg kihűl, és kiszedik a „tojásokat” az olvasztótégelyekből.”⁴⁹

A markazit és a magnezit több receptben is előfordul, de mindegyikben csak kis arányban. A magnezit (magnézium-karbonát) valószínűleg a cementálás folyamatát segíti elő, míg a markazit (vas-szulfid) ötvöző anyag lehet, jóllehet, ez utóbbi kéntartalma miatt szennyező is. Érdekes továbbá megfigyelni, hogy a cementálást a receptek szerint egyik alkalommal sem közvetlenül szénnel érik el, hanem más szerves anyaggal (gránátalmahéj, balzsamdió). Ṭarsūsī ír a legrészletesebben az olvasztásról, hiszen az előkészítési munkálatokon kívül négy

⁴⁶ Ibid 17.

⁴⁷ A kardtipológia ismertetésére a következő fejezetben kerül sor.

⁴⁸ Ibid 24.

⁴⁹ Ibid 46.

olvasztási receptet tár elénk. A vasakat egészen a kibányászásuktól fogva jellemzi, sőt lelőhelyeik szerint csoportosítja őket (Magrib, Andalus, Bizánc, India, Kína, Egyiptom). A szakaszokra bontott leírás ezután az olvasztásban felhasznált acélokról, majd az acélkészítésről ír, ahol szintén előfordul a „gyógyszer” kifejezés, itt azonban nem valószínű, hogy a beszóráshoz hasonlóan egy ötvöző anyag porára utal:

„(...) az öntésekor gyógyszert adnak hozzá, amely kiszárítja a nedvességét, könnyűvé és szárazzá alakítja, egyenletes lesz a természete és elhagyja a tönkremenését okozó földesség, a megtisztítása attól, ami hozzá van keveredve az ércben. Tisztává teszi az adyān-jától úgy, hogy ragyog tőle a fénye és meglátszik a belsejébe hatoló megmunkálás.”⁵⁰

Ez az adalékanyag, ami akár egy keverék is lehet, a szennyezőanyagoktól való megtisztítást szolgálja. Ilyen eredményt a bórax (nátrium-tetraborát) ér el. Revefolyósító⁵¹ hatásának köszönhetően a hevítéskor keletkezett vas-oxid folyékony halmazállapotba kerül, ezáltal nem gátolja az anyagok egybeforrását. Így lehet *egyenletes az anyag természete*, ahogy azt a recept is említi. Ennek kapcsán felül kell bírálnom egy korábbi munkám, melyben a bórax olvasztótégelyben történő használatát indokolatlannak, a zárt tégelyben olvasztott fémet pedig az oxidációtól védettnek tartottam.⁵²

Az első próbaolvasztások alkalmával egyértelműen kiderült, hogy a tégelyen belül is keletkezhet a vas felületén oxidréteg, hiszen még akkor is marad levegő a tégelyben, ha azt színültig töltjük az adalékanyagokkal. Jóllehet, az öntőtégely zártsága miatt az oxidáció minimális, a bórax hasznos szerepét ez mégsem cáfolja meg.

A tönkremenését okozó földesség pedig minden bizonnyal azokra a salakzárványokra utal, amiktől a hibátlan összeforrással lehet megszabadulni. Így válik láthatóvá *a belsejébe hatoló megmunkálás*, azaz a wootz karbidhálós szerkezete.

Az első receptben a „gyógyszer” szó egyértelműen egy keverékre utal:

⁵⁰ *Ibid* 61.

⁵¹ Revének nevezi a kovács szaknyelv a vas-oxidot, mely hevítés hatására keletkezik az anyag felületén és a megmunkálás során kisebb lemezek formájában válik le, és ez akadályozhatja az anyagok összeforrását. Ennek kiküszöbölésére használnak oxidmentesítő szereket, mint például a bórax. Halmágyi Szabolcs – Riedel Lóránt, *Régi fegyverekről*, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1986. 78. vö: Breuer, Hans, *SH atlasz Kémia*, [ford. Ungvárai János, Ungvárainé dr. Nagy Zsuzsanna] Springer Hungarica Kiadó Kft, Bp. 1995.

⁵² Haramza Márk, *Egy korai iszlám kard rekonstrukciója*, Tudományos Diákköri Dolgozat, Bp. 2010.

„A narmāhan vasból vesznek (az a legjobb megoldás, ha régi szögek fejéből van), és hozzá adnak 17 drachma súlyú kábuli balzsamdiót és myrobalant, mindkettőt egyformán. A vasat egy üstbe teszik és vízzel és sóval tisztára mossák, aztán ezzel a gyógyszerrel elegyítik, öntőformában formázzák, rászórnak 1 ½ drachma tört markazitot és fűjtatnak rá a kohóban. Ezután megolvad és eggyéformálódik a tojása. Ezt naponta többször ismétlik, aztán kihűtik és kardot csinálnak belőle, ez pedig gyilkos mérég.”⁵³

Látszik, hogy ennél az eljárásnál a vas, amit egy üstben fémtisztára mosnak, nem egyenlő a narmāhannal, ami a „gyógyszernek” a része, és amivel elegyítik az olvasztani kívánt fémet. Ennek értelmében nem tudhatjuk, hogy pontosan milyen fém-alapanyagra utal ez a recept.

A vas megtisztítása fémmel és sóval nyilván valóan a felületi szennyeződés eltávolítása, mely később az olvasztást segíti. Ez a munkafázis feltehetően a többi receptnek is része, annak ellenére, hogy a szerző csak itt írta le. Ebből a szempontból hasonló ahhoz a részhez, ahol a hevítésről számol be. A naponta többszöri ismétlés arra utalhat, hogy a tüzet több alkalommal is hagyhatták leégni, és a tűzhelyet kitisztítva újragyújtották.

A másik három Ṭarsūsī-recept folyamatában egyezik a fent leírttal: a fémet, ötvözőit, és adalékanyagait öntőtégelybe teszik, a tégelyt betapasztják, majd olvadáspontig hevítik, és ezen a hőmérsékleten tartják. Ez után lassan lehűtik. A végeredmény a wootz-pogácsa, egy vasbuca, amit a források minden receptben *tojásként* emlegetnek.

A negyedik recept érdekessége, egy olyan technika, amivel a vas állapotát lehet ellenőrizni:

„Egy kéreg van rajta, amit ásúrnak, hogy a lyukon át megtekintsék a vasá{val}, amikor megolvadt.”⁵⁴

Az alábbi eljárások értelmezése alapján sikerült előkészíteni a kutatások gyakorlati részét, jóllehet, a forrásértelmezés csak ezzel együtt, a kísérletezések révén teljeseedett ki.

A kísérletek

Anyag-meghatározás és helyettesítés

Mindegyik kísérlet során cél volt, hogy a felhasznált recepttel minél szorosabb kapcsolatban legyen a munka. Csak olyan összetevők esetében történtek helyettesítések, mellyel

⁵³Fehér Bence, *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000. 62.

⁵⁴*Ibid* 62.

kapcsolatban egyértelmű volt, hogy a helyettesítő anyagok nem váltanak ki más reakciót az eredetitől.

Ilyen volt az első kísérletnél a részleges gépi megmunkálás, ami a kézi alakítás felgyorsítására szolgált, valamint a vörös vérlúgsó, ami a ǧaus cementáló hatását helyettesítette. Az olvasztásnál, a receptben leírt eredeti anyagok lettek felhasználva mind a két vasfajta, mind a magnezit és a gránátalmahéj tekintetében. Maga a tégely anyaga azonban egy tűzálló keverékből állt.⁵⁵

Helyettesítésnek számít a gépi légbefúvás is a kézi fújtató helyett, valamint a faszén helyettesítése kőszénrel – ezek a tűzhely teljesítményét növelték, hogy a folyamatok biztosan végbe menjenek.

A forrásban szereplő narmāhan lágyvas, a források szerint elsősorban patkószegekből áll. Narmāhanként én kis, 12,5mm hosszúságú és 1mm vastag szöveget használtam, mivel ezekről tudtam, hogy lágyvasak, és mert azt feltételeztem, hogy a kisebb anyagok könnyebben összeolvadnak. Šāburqānnak az 1% körüli szénttartalommal rendelkező ötvözetlen szén-acélt határoztam meg, ugyanis ez állt a legközelebb a forrásokhoz.

Kardrekonstrukciós kísérlet: 2010. 10. 15-20.

Az első reprodukciós kísérlet nemcsak időben tért el a többitől. Ekkor még nem a damaszkuszi acél anyagának reprodukálására volt a cél, hanem a kard készítésének igyekeztem feltárni minél több munkafázisát, valamint előállítani a lüsztert, a kard mintázatát. Így mesteremmel, Nagy Tiborral részlegesen rekonstruáltam egy első évezredi iszlám kard készítésének folyamatát, majd ennek dokumentációját a 2010-es kari TDK-n, majd a 2012-es XXX. Jubileumi Országos Tudományos Diákköri Konferencia régészeti szekciójában mutattam be.⁵⁶

Tehát ennél a kísérletnél a cél elsősorban a korabeli kovács technikák felidézése volt, ezért olyan receptleírásokat kerestem, melyek üllőn elvégezhető eljárásokra hivatkoznak. A munkákat így Ya'qūb B. Ishaq al-Kindī Kardok és fajtáik c. műve, valamint Abū r- Rayhān al-Bīrūnī Gyűjteményes könyv az ékkövek ismeretéről c. munkája alapján végeztem.

⁵⁵ Bővebben ld. *Az olvasztótégely elkészítése, kiszárítása* c. alfejezet.

⁵⁶XXX. Jubileumi OTDK Humán Tudományi Szekció: *Programfüzet*, Eszterházi Károly Főiskola BTK, Eger, 2011. 53.

Választásom a már említett *beszórásos módszerre (tarah)* esett. Mivel a kísérlet egyik fő célja a lüszter elérése volt, a fémét beszórtuk mind lágyvasporral (a Kindī-recept alapján), mind a *ḍaus-t* helyettesítő vörösvérlúgsóval (Bīrūnī lejegyzése szerint).⁵⁷

A munkát jelentősen megkönnyítette, hogy az első évezredbeli iszlám kardtípusok között nincsen nagy alaki eltérés: ezek, a bizánci fegyverekhez hasonlóan, egyenes, kétélű kardok voltak.⁵⁸ Ezt leginkább a Topkapi Palota múzeumának legértékesebb darabjai bizonyítják, melyeknek kifejezetten a kora-középkorra jellemző alakja van.⁵⁹

Ez azért is fontos, mert ennél a munkánál nemcsak a tömeget, hanem a hosszúságot, szélességet és vastagságot is vizsgálni kellett. Segítségemre vált, hogy az arab kardtipológia pontos méreteket ad meg, így a qubūrī (sírkard) típusának méreteit használtam fel, melynek hossza 78-83,4cm közé esik, súlya pedig 700-800g.

Az 2010-es reprodukciós kísérletnek a következő volt a munkamenete: 1. az anyag-előkészítés, 2. a szemcsedurvító izzítás, 3. a lenyújtás, 4. a súlymeghatározás és a súlyfelesleg levágása, 5. a markolattüske kialakítása, 6. a leélezés, hegyezés, simítás, 7. a köszörülés, reszelés, 8. a beszórás, 9. az edzés, 10. a csiszolás, 11. a maratás, 12. a markolattüske fúrása.

A munkálatok során azonban hiba lépett fel, az edzés után a pengében a kovácsolás közben még észrevehetetlen mikro repedések tovább futottak, így a kard pengéje jelentősen sérült, majd idővel eltört. Maga a lüszter azonban megmutatkozott: a kard felületén a különböző beszóró anyagok kénsavas maratás hatására széntartalmuktól függően sötét-világos kontrasztban jelentek meg.

Bár a penge használhatatlanná válása megpecsételte a munkát, mégis eredményként mondható el a lüszter elérése, valamint az, hogy a részleges rekonstrukció megmutatta, hogyan lehet majd további kísérleteket végezni.

Az olvasztásos kísérletek

A 2012 őszén végzett kísérletek próbaolvasztások voltak, melyek más eljáráshoz köthetők. Ezeknek mindegyike a második Ṭarsūsī-recept alapján készült:

⁵⁷ A penge anyaga, nem narmāhan van volt, inkább a šāburqānhoz hasonlított.

⁵⁸ Nicolle, David: *Medieval Warfare Source Book, Arms and Armour*, London, 1998. 74.

⁵⁹ Stöcklein, Hans: *Die Waffenschätze im Topkapu Sarayi Müzesi zu Istanbul – Ein vorläufiger Bericht*, Ars Islamica I. 1934. 200-218.

„Vesznek 3 raṭl narmāhan vas vasat, ½ raṭl šāburqānt, az egészet az öntőégelybe teszik, 5 drachma magnezitot öntenek rá és egy maroknyi savanyú gránátalmahéjat, és addig fűjtatnak rá, amíg megolvad a kohóban és tojássá gömbölyödik, aztán kiveszik és kardot készítenek belőle.”⁶⁰

A receptmegválasztásnál elsődleges szempont volt az összetevők meghatározhatósága és beszerezhetősége. Az anyagbeszerzés a kísérletek egyik legnehezebb munkafázisa volt, még a fent említett Ṭarsūsī-receptnél is, amire épp egyszerűsége miatt esett a választás. Bár a kísérletek között nemcsak eredményüket illetően voltak különbségek, mégis felállítható egy általános munkamenet, mely mindegyik olvasztást megelőzőtt:

1. A fémek előkészítése

Ahogy arról a korábbi fejezetben már szó volt, a forrás forró vizes tisztítást ír le, ami egyértelműen arra irányul, hogy megtisztítsa a felhasznált vasak felületét. Bár ezzel az eljárással csak egy receptben találkozhatunk, feltehetőleg valamilyen módon minden olvasztás előtt megtisztították a fémeket. A nagyobb tisztaság elérése érdekében reszeléssel tisztítottam meg a fémeket az oxidrétegtől.

2. A súly- és méret-meghatározás

A munkálatok elengedhetetlen tartozéka a méretek pontos meghatározása, amihez a korabeli mértékegységek ismerete szükséges. Hosszmérték kifejezésére általában az ujjat, az araszt, vagy a rőföt használták, míg a tömeget raṭl-ban, vagy drachmában határozták meg. Ezek közül a raṭl a legnehezebben meghatározható; egy bagdadi raṭl 0,41kg, a források azonban feltehetően nagyobb mennyiséggel (1 raṭl = 1-3kg) számoltak. A drachma súlya az első évezredi Irakban és Iránban ennél jóval egységesebb volt, 1 drachma 30,9 grammnak felel meg.⁶¹

Az olvasztásos kísérleteknél az adalékanyagoknak csak a tömegüket kellett kiszámítani. A felhasznált Ṭarsūsī-recept szerint a következő mennyiségek szükségesek az olvasztáshoz:

- 3 raṭl = 3-9kg narmāhan,
- ½ raṭl = 0,5-1,5kg šāburqān,

⁶⁰ Ibid 62.

⁶¹ Ibid 55.

- 5 drachma = 154,5g magnezit,
- egy maroknyi gránátalmahéj.

Ezeket a mennyiségeket arányosan csökkentettem több okból kifolyólag. Egyrészt a kiépített tűzhely előreláthatólag ennél csak sokkal kisebb mennyiség olvasztására volt alkalmas, így az olvasztótégelyeket is sokkal kisebbre méreteztem. Kisebb tömegű fémmennyiséget különben is könnyebb megolvasztani és olvadási hőmérsékleten tartani. Másrészt az olvasztások kísérleti jellegűek voltak, és nem az eredeti tömeg elérése volt a cél, hanem a recept végeredménye, illetve a végbemenő folyamatok vizsgálata.

A méréseknél tehát az 1:6-os šāburqān- narmāhan arány alapján pontosan csökkentettem a fémek tömegét, míg a magnezit és a gránátalmahéj mennyiségét hozzávetőlegesen, szemrevételezés alapján. Az ilyen módon meghatározott kísérleti tömeg lett az olvasztásos kísérletek alapja:

- 130g narmāhan,
- 22g šāburqān,
- ~2g magnezit
- 6 szelet gránátalmahéj

Látható, hogy a nem fém adalékanyagok hozzávetőleges meghatározása ahhoz vezetett, hogy az eredetinél nagyobb arányban kerültek a tégelybe. Ennél kisebb mennyiségnél azonban féltő, hogy nem váltják ki a rendeltetés szerinti reakcióikat.

3. Az olvasztótégely elkészítése, kiszáritása

Az olvasztótégely anyagáról nincs pontos leírás a receptben, és ez problémákat okozott a kísérletek során. A tégelyeket tűzálló anyagból készítettem el: vízüveggel és vízzel hígított samot-föld-agyag keverékkel vontam be egy égetett kerámiát. Ennek hőátadó képességei feltételezhetően hasonlóak a korabeli olvasztótégelyéhez.

A kiszáritás a különböző kísérleteknél más-más ütemben történt.

4. A magnezit porítása

A magnezit ásványi formájában kevésbé volt alkalmas arra, hogy az anyagra szórjam, így azt egy rongyba csavarva porrá törtem. Ez után jóval könnyebb volt a megfelelő mennyiség kiválasztása.

5. A gránátalmahéj kiszárítása

A gránátalmahéjról eleinte nem lehetett tudni pontosan, hogy milyen hatást vált ki az olvasztótégelyen belül. Annyi bizonyos volt, hogy a hevülés hatására ez is izzó állapotba fog kerülni, amit mindenképp gátolt volna a víztartalma, ezért az olvasztás előtt ki kellett szárítani.

6. A tűzhely megépítése

Az olvasztásra használt „kohóról” nem áll rendelkezésre elegendő adat, így az se volt ismert, hogy pontosan milyen anyagból, milyen alakkal rendelkezett. A próbaolvasztásoknál a téglából rakott tűzhely legfőbb kritériuma az volt, hogy a szén ne közvetlenül érintkezzen az öntöttvas kovácstűz-alappal, ami a légbefúvást biztosítja, nehogy az megolvadjon, és ilyen módon ellehetetlenítse a kísérletet. A másik fő szempont a tűzhely zártsága volt, hogy tartósan is el lehessen érni vele a kívánt olvasztási hőmérsékletet.

A fűjtatás alulról történt, mivel az olvasztó tűzhely alapja a kovácstűzhely volt. Erre épült fel téglából a többi rész.

7. A tűzhely begyújtása

Ez a munkafázis közvetlenül a hevítést és az olvasztást előzte meg. Az elején rőzséből raktam tüzet, melyre nagyobb fákat raktam. Folyamatos levegőfűjtatás után hamar létre jött egy egységes parázs, amire a szenet öntöttem. Az olvasztótégelyt csak azután raktam a tűzhelybe, miután a parázs már izzásba került.

1. olvasztásos kísérlet: szeptember 28.

Az első próbaolvasztás során az előre elkészített tégelyt gyorsszárítással szárítottam. Ennek hátulütője később meg is mutatkozott, mivel ilyenkor az említett tűzálló keveréknek nincs elég ideje a száradásra, és a benne lévő víz gőz formájában hagyja el az anyagot, mely következtében repedések keletkezhetnek a burkolatban.

Ezen kívül az olvasztótégely fedele – egyrészt vékonysága, másrészt hiányos bevonata, harmadrészt rossz zárása miatt – teljes mértékben ellehetetlenítette az olvasztást. Mivel a fedél nem volt hozzá tapasztva a tégelyhez, nem zárt légmentesen, ezáltal nem jöhetett létre cementáló légkör. A kísérlet azonban akkor szakadt meg egyértelműen, mikor a fedél megrepedt, és a tégely ez által teljesen nyitottá vált. (1. kép) Ez viszonylag hamar, mintegy fél óra alatt bekövetkezett.

A tűzből kivéve a következő dolgokat lehetett megállapítani az első kísérletről (2. kép):

- A gyors szárítás okozta repedések szétnyitották a burkolatot, így az nem védte többé a kerámia-alapot, ami ezért több helyen is megrepedt, és az anyagok kivétele után darabokra tört.
- A tégely átadta a hőt a fémnek, ami így felizzott, színéből ítélve körülbelül 900°C-ra.
- A fedél rossz zárása és későbbi repedése következtében oxidréteg keletkezett a fémen.
- Az első kísérlet után tehát a tégely felépítésén kellett változtatni, ami a következő nap folyamán meg is történt.

2. olvasztásos kísérlet: szeptember 29.

Az új olvasztótégelyt sokkal vastagabban vontam be tűzálló réteggel, majd félretettem száradni, és csak az utolsó kísérletnél használtam fel. A maradék anyagból egy másik olvasztótégelyt hoztam létre, ami ugyan nem száradt meg, de az anyag- és időfelesleget felhasználva egy újabb kísérletet végeztem. A második próbaolvasztás egy kísérleti melléktermék volt. Épp ezért nem is alkalmas rá az olvasztás szó, mivel ennek a munkának nem az volt a célja, hogy az anyag megolvadjon. Ez már csak amiatt is lehetetlen volt, mert az tégely anyaga nem volt kiszárítva, és az így keletkező gőz mindenképp akadályozó tényező.

A kísérletnél sokkal inkább az volt a kérdés, hogy a tégely alkalmas-e a hevítésre úgy, hogy közben nem sérül jelentősen, valamint hogy ha igen, akkor létre jöhet-e a cementáló légkör.

- A hevítés ezúttal sokkal tovább, körülbelül másfél óráig tartott. Az edény felizzott és nem sérült, felbontása után a következőket figyeltem meg:
- A gránátalmahéj egyértelműen szenült, így bebizonyosodott, hogy a receptekben leírtak szerint elsődlegesen az felelős a cementálásért. Közvetlenül a tégely felbontása után a fémekkel együtt izzott.
- A fémek izzási színe narancssárga volt, ami azt jelenti, hogy körülbelül 1100°C-on izzott.
- Lehűlés után a fémek színe sötétebb lett, és felvetődött a kérdés, hogy cementálódott-e. Ezt köszörűvel vizsgáltam meg. A köszörűhöz tartott fémek ugyanis más szikrát adnak, attól függően, hogy milyen ötvöző anyagokkal rendelkeznek, illetve hogy a legелеmibb ötvöző anyaguk, a szén milyen arányban fordul elő bennük. A szikrakép egyértelműen megváltozott: sokkal dúsabb, világosabb csóvák keletkeztek (4-5. kép).

A kísérletről tehát egyértelműen megállapítható, hogy a cementálás folyamata bekövetkezett, vagy legalább megkezdődött. Ez elsősorban a tégely kialakításának köszönhető, ami ugyan a cementáló hőmérsékletet kibírta, de az nem bizonyosodott be, hogy az ennél magasabb olvasztási hőmérséklet sem tesz benne kárt. Épsége miatt azonban fel újra fel tudtam használni, és másnap (szeptember 30-án) kitisztítva ismét megtöltöttem az adalék anyagokkal, majd betapasztottam, és hosszú szárítással felkészítettem a következő próbaolvasztásra.

A kísérlet eredménye az is, hogy a gránátalmahéj szerepe ismertté vált, a hevítés tehát igazolta annak létfontosságát a receptben. A hőmérséklet továbbra is túl alacsony volt, és emiatt a tűzhelyet is sokkal zártabbá kellett építenem a következő kísérletekhez.

3. olvasztásos kísérlet: október 05.

A felépítés tehát meg is változott, így az olvasztásnál a szén színéből is látható volt, hogy sikerült megnövelni a hőmérsékletet: a tűz fehéres sárgán izzott. Az kísérlet sokkal tovább (16:30-21:20) tartott, amiből az olvasztási idő négy órát (17:00-21:00) tett ki. Ennek ellenére az olvasztási kísérlet eredménye lényegében nem változott

- Az anyag ez alkalommal sem állt össze, alaki változás sem következett be, de a lágyvasként alkalmazott szögek nagy része az olvasztó tégely falához tapadt.

- A gránátalmahéj kiválóan szenült, a tégely felbontása után is izzott.
- A magnézit fehér porát nem lehetett felismerni, eredeti állapotától eltért a hevítés után.
- A cementálás az előzőekhez hasonlóan megtörtént.

Továbbra is kérdés, hogy sikerült-e elérni tartósan a kívánt hőmérsékletet. A tűz színéből a tűzhely kialakításából ítélve 1200°C fölé emelkedett, azonban még így sem érte el az olvadási hőmérsékletet. Egyelőre nem is képzelhető el, hogy ennél magasabb hőfokot produkáljon a tűz, és az első évezredben sem lehetett nagyobb teljesítményű a tüzelőanyag. Az olvasztáshoz tehát egyértelműen a tűzhely kialakításán kellett változtatni.

A harmadik olvasztásos kísérlet során tehát egyértelművé vált, hogy a jelenlegi technikákkal az damaszkuszi acél előállítása nem lehetséges.

4. olvasztásos kísérlet: október 13.

Ennek ellenére újabb kísérletet végeztem el a cementálás folyamatának tanulmányozására. Ehhez két olvasztó tégelyt készítettem: az egyik a már kétszer felhasznált tégely volt, amit ismét újratisztítottam és újratöltöttem. A másik a szeptember 30-án készített lassú szárítással megkeményedett olvasztótégely, amit szintén megtöltöttem és betapasztottam. Az előbbin 13-án egy rövidebb, intenzív hevítést végeztem, ami öt óráig (16:00-21:00) tartott. A szögek nem álltak össze egységesen, azonban összetapadtak, és valamennyivel több alaki változás is történt az előbbieknél. A cementálás egyértelműen létre jött, ez a szögek szikraképéből is látható volt.

5. olvasztásos kísérlet: október 13-14.

Az utolsó kísérlet a szeptember 30-i tégellyel zajlott. Ez csak eszközeit tekintve nevezhető olvasztásosnak, maga a folyamat csak cementálás volt. A hevítés egy egész estén át, fokozatos hűléssel történt, az elején felhevített tégelyt szénparázsba takarva reggelig, mintegy tíz órán át a tűzben hagytam, ami másnapra már nem izzott, de nem hűlt ki teljesen.

Ez a kísérlet azonban eredménytelennek bizonyult, ami azt igazolja, hogy nemcsak az olvasztáshoz, de már a cementáláshoz is szükséges az intenzív fűjtetés és izzítás.

Utómunkálat: október 14.

Az október 13-i kísérlet eredményeként kapott összetapadt fémek alkalmasak voltak arra, hogy üllőn munkáljam meg azokat. Ennek értelmében új munkamenetet kellett terveznem abból a célból, hogy az olvasztási munkálatokat üllőn be tudja fejezni, és így egy egységesen összeállt anyagot kapjak:

1. Anyag-előkészítés

Az olvasztó tégelyből kivett fémek nemcsak egymáshoz tapadtak, de valamilyen szinten magához a tégelyhez is, amit emiatt teljesen szét kellett verni. A szögekhez azonban tapadt valamennyi a tégely anyagából, ami salakanyagnak számít és rontja a fém minőségét. Ennek nagy részét köszörüléssel sikerült eltávolítani.

2. Melegítés, beszórás, kovácsolás

Ezek a műveletek elválaszthatatlanok egymástól, mert folyamatosan, egymást követve ismétlődtek. Az eredeti elképzelés szerint tűzi hegesztéssel forrasztottam volna össze az fémeket, azonban az ehhez szükséges hőmérsékletre elővigyázatosságból nem melegítettem fel az anyagot, nehogy megszűnjön a tapadás, és a szögek szétváljanak. Ennek ellenére igyekeztem megtalálni az anyag kovácsolási hőmérsékletének felső határát.

Eleinte viszont bőven szórtam bóraxszal, ami tisztította az anyagot. Miután sikerült egy egységes lemezzé kovácsolni, félbe hajtottam, és ekkor már tűzi hegesztési hőmérsékleten újra egybe kovácsoltam.

3. Reszelés, csiszolás

Az így kapott anyagot lassan hagytam kihűlni, a hűtéshez nem használtam vizet. Ezután következett a precíziós munkafázis, a széleknél kiálló szögdarabokat lereszeltem, majd a lemez felületéről távolítottam el a koromréteget csiszolással.

4. Maratás

A csiszolásra először azért volt szükség, hogy a kénsav hozzáférjen a fém felületéhez, és kihozza a kontrasztot a lágyvas és a magasabb széntartalmú területek között. A mintázat

felszínre hozatala után meglátszott a lemezt alkotó szögek formája. (10-11. kép) Sikeres olvasztás esetén ez az, ami olajszerűen szétterülő mintázatot ölt a penge felszínén.

5. Tisztítás

A sikeres maratás után a munkadarabot megtisztítottam a kénsavtól, majd fémápoló szerrel fújtam be. Így nyerte el végleges állapotát. Az így kapott lemezben még rengeteg maradt a salakanyag, amit erősebben összetapadó kiinduló anyag esetén könnyebben el lehetett volna távolítani, a mintázat azonban mindenképp eredmény.

Értékelés

A fent leírt kísérletek tehát több eredménnyel zárultak. Elsősorban azzal, hogy sikerült egy újabb lépéssel közelebb jutni a damaszkuszi acél rekonstrukciójához. A létrehozott anyag felületén megjelent a szénkülönbség színkontrasztja, ami a damaszkuszi acél mintázatának alapja is.

Másrészt a próbaolvasztások több helyen is értelmezhetővé tették a receptek addig érthetetlen részeit, vagy indokolatlannak tűnő összetevőit. Valószínűsíthető az is, hogy a felhasznált recept alkalmas a damaszkuszi acélnek nevezett hipereutektoid előállítására.

A közeljövőben érdemes egy jóval zártabb kohót kiépíteni, majd az eredmény esetleges elérése után a reprodukciót részenként hitelesíteni, például szenített fa, illetve kézi fújtató használatával. Ezekhez pedig előnyös lenne lehetőség szerint minél több ehhez kapcsolódó régészeti anyagot is alapul venni, amire az eddigi során nem volt mód, hisz nem is lehetett az ilyen jellegű kísérletekhez tárgyi forrásokat találni.

Ennél azonban jóval közelebbi változtatások is szem előtt vannak, hiszen a kísérletek rávilágítottak önmaguk hiányosságaira is, mint például arra a tényre, hogy a tűzhely nem volt kellően zárt, így nem sikerült elérni tartósan a kívánt hőmérsékletet. Ezen kívül az olvasztótégelyek anyaga és kialakítása is módosítást igényel, jóllehet az eddigi olvasztásos kísérleteket túlélte, ez egyáltalán nem bizonyítja azt, hogy a fémek teljes megolvadása esetén is kellően biztosítja mind a hőátadást, mind a zárt környezetet.

A leírtak alapján elmondható, hogy az első évezredre Közel-Keleten több szakma és tudományág együttes munkájára volt szükség ahhoz, hogy a föld érceitől, ásványi anyagaitól és növényeitől eljussanak a damaszkuszi acélpengékig.

Bár a kísérletek során közelebb kerültem a damaszkuszi acél teljes rekonstruálásához, és számos folyamatot sikerült érthetővé tennem, a korabeli fémművességnek még mindig nem ismerője, hanem csupán csodálója maradtam.

Bibliográfia

- Allan, James W: *Persian Metal Technology 700-1300 AD*, Ithaca Press, London, 1979.
- Balázs Tamás [szerk], *BKL – Kohászat*, Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 2010. 2. szám
- Breuer, Hans: *SH atlasz Kémia*, [ford. Ungvárai János, Ungvárainé dr. Nagy Zsuzsanna]
- Burton, Richard F, *The book of the sword*, Catto and Windus, London, 1884.
- Eliade, Mircea: *Kovácsok és alkimisták*, [ford.: Vargyas Zoltán] Cartaphilus Kiadó Bp, 2004.
- Fehér Bence: *A korai iszlám fémművesség anyagai, forrásai és technikái*, Doktori disszertáció, Budapest, 2001.
- Fehér Bence: *Források a korai iszlám kardművesség történetéhez*, Pázmány Péter Katolikus Egyetem BTK, Piliscsaba, 2000.
- Goldschmidt Jr., Arthur: *A Közel-Kelet rövid története*, Maecenas Könyvek, Budapest, 1997.
- Halmágyi Szabolcs – Riedel Lóránt: *Régi fegyverekről*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- Haramza Márk, *Egy korai iszlám kard rekonstrukciója*, Tudományos Diákköri Dolgozat, Budapest, 2010.
- Lendvai Levente: *Az eredeti damaszkuszi acél technológiája*, Tudományos Diákköri Dolgozat, Gödöllő, 2008.
- Nicolle, David: *Medieval Warfare Source Book, Arms and Armour*, London, 1998.
- Needham, Joseph, *Science and Civilisation in China, V. kötet: Chemistry, and Chemical Technology, 11. rész: Ferros Metallurgy*, Cambridge University Press [h. n.] 2008.
- Pálincás Károly: *Megfejtették a damaszkuszi acél titkát?*,

http://www.ng.hu/Civilizacio/2010/10/Megfejtettek_a_damaszkuszi_acel_titkat (2012. 10. 20.)

- Seregi György – Ifj. Seregi György: *Iparművészet 1100 fokon*, TERC Kft., [h.n.], 2002.
- Stöcklein, H: *Die Waffenschätze im Topkapu Sarayi Müzesi zu Istanbul – Ein vorläufiger Bericht*, Ars Islamica I. 1934.
- Thiele Ádám: *Damaszkuszi acélok, mint kompozitok bemutatása*, BME Bp, 2009.
- XXX. Jubileumi OTDK Humán Tudományi Szekció: *Programfüzet*, Eszterházi Károly Főiskola BTK, Eger, 2011.

A technikák

Edzés	T	kígyógomba/hegyizeller, farsi ballagófű, lícium, borseprő, tengeri tajték, ammónia, kőrisbogár, beléndekfa, gyapjú, vizelet
Edzés	T	ón, sárga kén, tört epe, agyag
Edzés	T	kén, savanyú borecet, reteklé, oldott ammónia
Edzés	T	colocynthus-olaj, víz
Beszórás	B	narmāhan vas, ḍaus por
Beszórás	K	šāburqān vas, narmāhan por
Olvasztás	B	narmāhan, antimon, markazit, lágy magnezit, balzsamdió, gránátalmahéj, tésztasó, gyöngykagyló
Olvasztás	T	vas, narmāhan, markazit, balzsamdió, gránátalmahéj
Olvasztás	T	narmāhan, šāburqān, magnezit, gránátalmahéj
Olvasztás	T	narmāhan, kemény magnezit, borax, nádrus, kőrisbogár, ruta, gubacs, makk, aloé
Olvasztás	T	šāburqān, magnezit, balzsamdió, szulák

B: Abū r-Rayhān al-Bīrūnī

K: Ya'qūb b. Iṣḥāq al-Kindī

T: Murḍā b. Alī b. Murḍā b. aṭ-Ṭarsūsī

Képek



1.



2.



3.



4.



5.

- 1: az első olvasztásos kísérlet során megrepedt olvasztótégely – saját kép (továbbiakban: sk.)
2: fémek izzása az első olvasztótégelyben – sk.
3: az olvasztótégely hevítése (második olvasztásos kísérlet) – sk.
4: a narmāhan szikraképe a kísérlet előtt – sk.
5: a narmāhan szikraképe a kísérlet után – sk.



6.



7.



8.



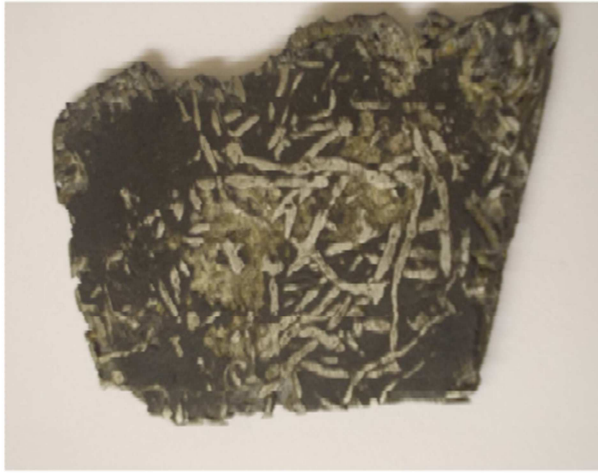
9.

6: az izzó tégely – sk.

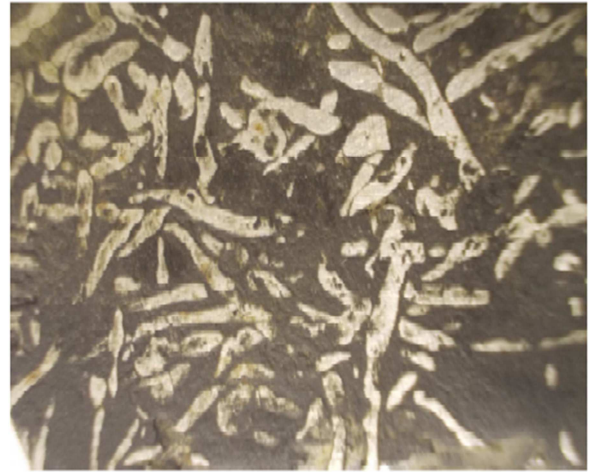
7: a tégely felbontása – sk.

8: a felbontott tégely – sk.

9: a tégely kivétele a tűzből – sk.



10.



11.

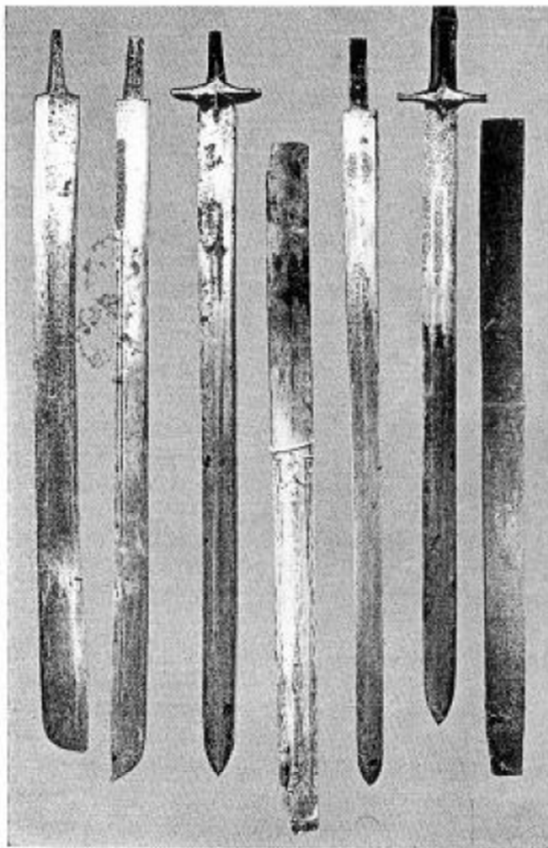


FIG. 15—ÄGYPTISCHE SCHWERTE, XV-XVI JAHRH.
ISTANBUL, TOPKAPU SARAYI MÜZESİ

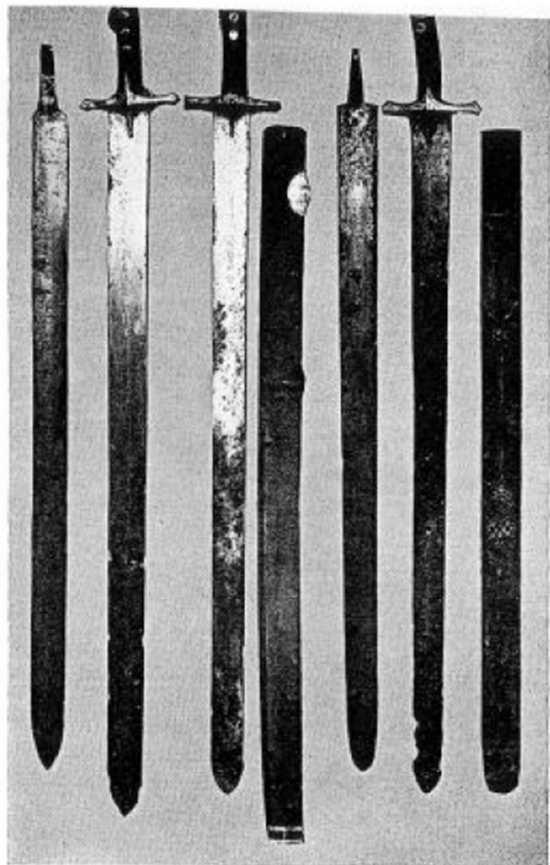


FIG. 16—OMAYYADISCHE UND 'ABBÄSIDISCHE SCHWERTE, VIII-XIII JAHRH.

12.



13.



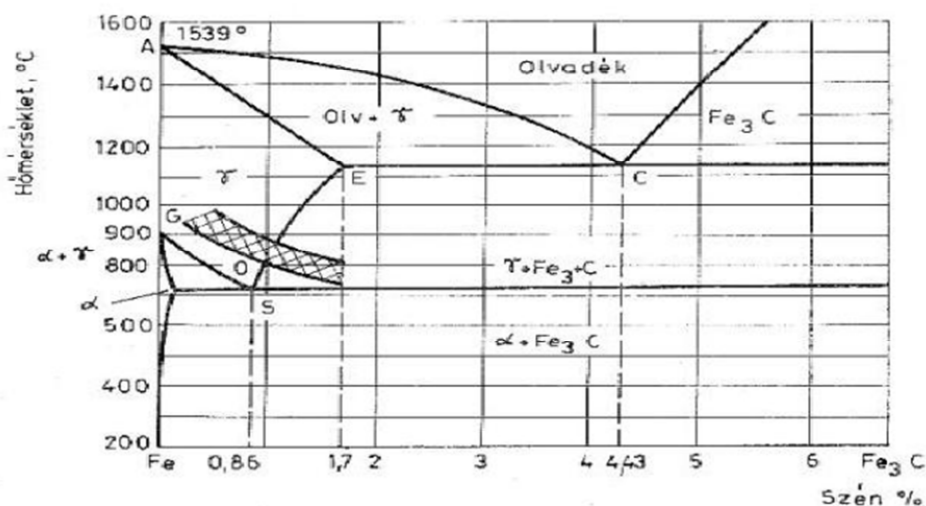
14.



15.



16.



17.

2.1. táblázat
Technológiai
tulajdonságok
a szénszázalék
függvényében

C 0%		C 0,3%	C 0,6%	C 1,7%	C 2,6%	C 3%	C 4%	C 6,67%
acélok				nyersvasak				
kovácsolható				—	öntöttvas			
szerkezeti acélok		szerszám-acélok		—				
kovácsolással hegeszthető		edzhető		—	edzhető nemcsíthető		—	
lágyabb		keményebb		rideg				

18.

10: az utómunkálatok során nyert anyag – sk.

11: az anyag felületi mintázata – sk.

12: első évezred íslám kardok a Topkapi Múzeumban - Stöcklein, H: *Die Waffenschätze im Topkapu Sarayı Müzesi zu Istanbul – Ein vorläufiger Bericht*, Ars Islamica I. 1934. 200-218.

13: a 2010-es részleges kardrekonstrukciós kísérlet eredménye – sk.

14: torziós damaszt – kovács vizsgamunka, sk.

15: fodros damaszt – kovács vizsgamunka, sk.

16: mozaikdamaszt – kovács vizsgamunka, sk.

17: vas-szén ötvözetek állapotábrája - Halmágyi Szabolcs – Riedel Lóránt: *Régi fegyverekről*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986. 22.

18: széntartalmuktól függő acélfajták – Uo.