



A fordítás Kazuhiro Nagata és Takashi Watanabe „Pre-modern Refining Process of „Okaji” without deoxidation” című munkája alapján készült.

Jelen írás kivonatos, nem teljes terjedelmű fordítása az eredeti tanulmánynak!

OKAJI

A tatara-eljárás során kera(acél) és zuku (nyersvas) készült. A kera közvetlenül került felhasználásra. A zuku kisebb részét félretették öntött termékek előállítására, nagyobb részéből viszont bugera (alacsony széntartalmú acél) hozzáadásával erős légáram alatt csökkentett széntartalmú acélt kohósítottak. Ezt a modern kor előtti széntelenítési technológiát a finomítási folyamatban okaji-nak nevezték, és két eljárásból állt: sageba és honba.

A sageba-eljárás során a nyersvasat kb. 0,7 tömeg% C-tartalmú acéllá, úgynevezett sagegane-vá széntelenítették, és a kihozatal köze 1100% volt.

A honba-eljárásban a sagegane-t további - dezoxidáció nélküli - széntelenítésnek alávetve kb. 0,1 tömeg% C-tartalmú lágyacéllá módosították (60-70% kihozatali ráta mellett). Ennek oxigéntartalma körülbelül 0,2 tömeg% volt. Ezt az anyagot hochotetsu vagy waritetsu néven emlegették és régtől fogva ebből készítették a szentélyek és templomok szegeit.

1. Bevezetés

Jelen munkában az okaji technikáját vizsgálták.

A sageba-eljárásban a nyersvasat kb. 1400 °C-on, FeO salakon (noro) átbuborékolgatott CO-gázzal dekarbonizálták. Az így nyert sagegane-t a honba-folyamatban 1450 °C körül tartották és a levegő oxigén tartalmával oxidálták tovább. A ciklus végén az exoterm reakció hőjével is erősítve a melegítést az acélt 1528 °C közeli hőfokra hevítették. Néha vizet öntöttek a tűzre a munka során. Az okaji-eljárás folyamán a tűzhely hőmérsékletét gondosan szabályozták a szén típusával, annak méretével, a fúvás intenzitásával és a nedves faszénagy víztartalmának beállításával.

1.1

Sajnos az okaji eljárás technikája a 20. század elején kiveszett a gyakorlatból.

Kuni-ichi Tawara a 19. század végi tatara és okaji folyamatokat Izumo- és Hoki nyugati területén (Tottori prefektúra) tanulmányozta. Megfigyeléseiről az Old Smelting Method of Iron Sand in Meiji Period (Maruzen, Tokyo, 1933) című 1933-ban írt könyvében számolt be.

Egy, a 20. szd elején készült, Seizo Tanabe narrálta filmben (Intangible Cultural Treasure of Wako Ironmaking Technology in the early 20C, Movie, SchoolBoard of Shimane Prefecture, Shimane, Japan, (1956).) megismerhettük Heisuke Watanabe mester lenyűgöző szakmai tudását és Fujio Sakaki bemutatta az okaji technikáját. (F. Sakibara: Wrought Iron Making, Vol. 3, Chap. 2, Sankai-do, Tokyo, (1944), 83)

Ebben a cikkben az okaji eljárást – azaz a nyersvasnak és az acélnak erős fújtatás során történő széntelenítési módszereit ismertetem.

2. Az Okaji folyamata

2.1. Nyersanyagok

Az Okaji-folyamat nyersanyagai a zuku és a bugera. A tatarában fehér nyersvas képződött. Ezt három típusba sorolták:

- 1: Nagare-zuku -porózus nyersvas, amely a tatárából annak működése közben folyik ki.
- 2: Ura-zuku -sűrű nyersvas, ami benne marad.
- 3: Kera-zuku-a kera aljára tapadt nyersvas.

A nagare-zukut és az ura-zukut hachime-zukunak illetve korime-zukunak is hívták.

1. táblázat:

A zuku összetétele. Szilícium-és foszfortartalma alacsonyabb volt, mint a modern kohókban készült nyersvasé.

Area	Works	C	Si	Mn	P	S	Ti
Izumo	Tanabe	4.46	0.15	0.19	0.043	0.003	trace
Iwami	Yonehara	3.63	trace	trace	0.1	0.003	trace
Hoki	Tonami	3.61	0.03	0.01	0.033	0.010	trace
Aki	HiroshimaTesuzan	3.80	trace	trace	0.15	0.020	0.12
Hoki*	Kondo	3.22	0.18	0.049	0.009	0.018	trace

Foszformentesített nyersvasat gyártottak a Kondo művek Hoki nyugati részén. Tamebukiho-nak nevezték azt a folyamatot, melynek során a nyersvas a tatara aljában összegyűlt noro mély medencéjén keresztülcspögve elvesztette foszfor tartalmát. Összetételét tekintve a noro egy, a fajalithoz közel álló, vas-oxid alapú, nagy oxigénpotenciállal rendelkező salak, mely hatékonyan defoszforizál a zuku tatara 1350-1400 C' üzemi hőmérsékletén.

2. táblázat: A tatarában a zuku finomításra használt salakok összetétele.

Works	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	V ₂ O ₅
Tsugoyama	53.42	63.17	6.18	17.82	0.63	6.12	1.78	0.88	0.19	0.64	0.09
Sakanokaji	48.02	59.22	2.87	21.16	0.33	7.02	2.56	1.04	0.20	2.56	0.53

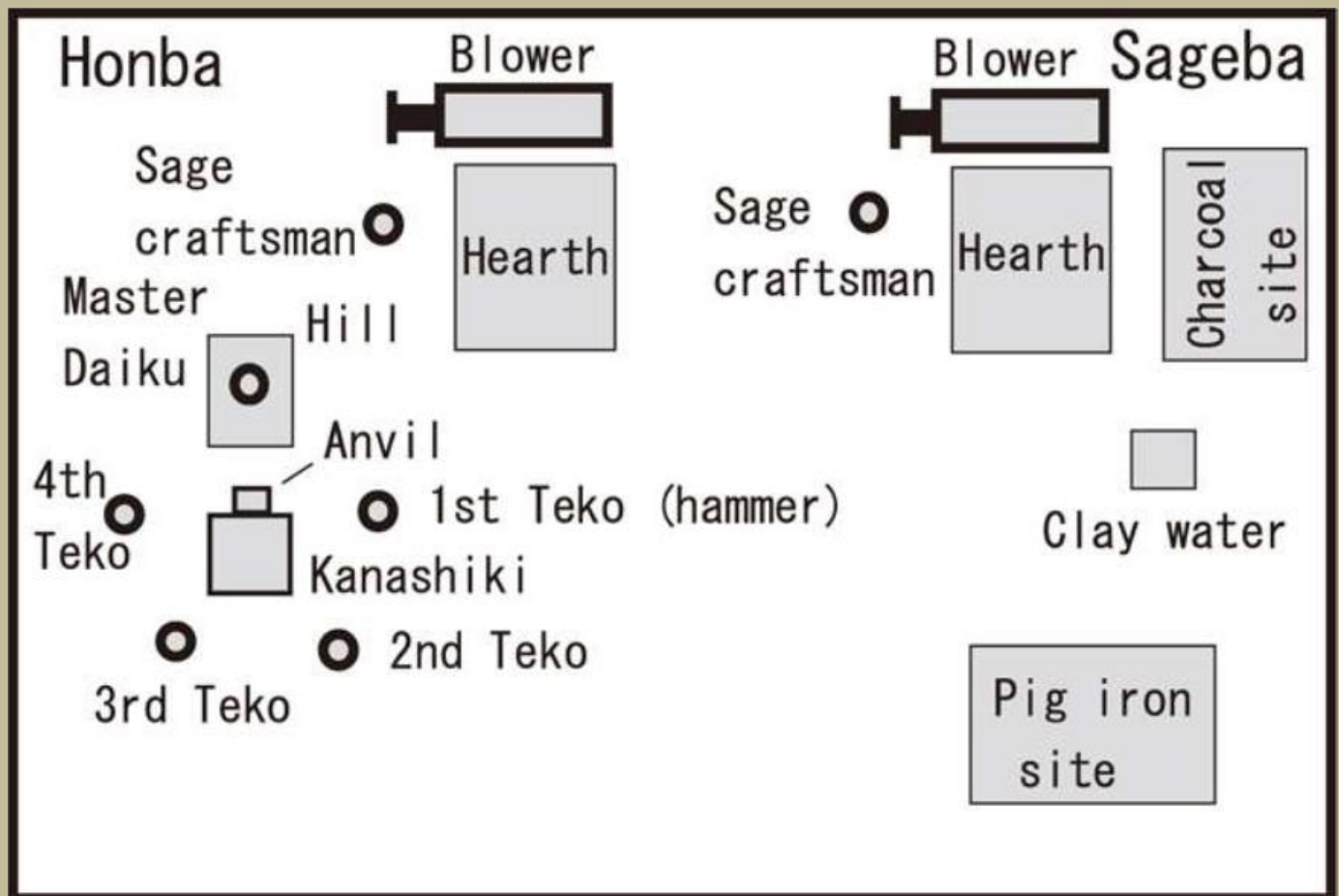
2.3. Az okaji művek

Az 1. ábra a Tsugoyama - Művek elrendezését mutatja a Hoki nyugati részén üzemelt okaji gyárban.

A sageba és honba tűzhelyeket egy-egy dugattyús, fukisashi fúvószelekrénnyel üzemeltették.

A fúvószelekrény 1,4 m hosszú, 0,8 m magas és 0,36 m széles volt, térfogata 0,36 m³. Dugattyúja mosómedvebőrrel volt szigetelve.

1. ábra: A Tsugoyama - Művek elrendezésének felülnézeti rajza. Az elrendezés meglehetősen különbözött a többi üzemétől.



A Honbában egy üllőt (kanatoko) és egy nagy, kovácsoltvas lemezt (kanashiki) helyeztek el.

Az üllő 21 cm hosszú, 9 cm széles és 54 cm magas volt. 10 cm mélyre ásták, kerek kövekre állítva és hosszú oldalával állt a mester (daiku) felé. További kövekkel és egy nagy, acélból készült, ékkel erősítették meg mindkét oldalát.

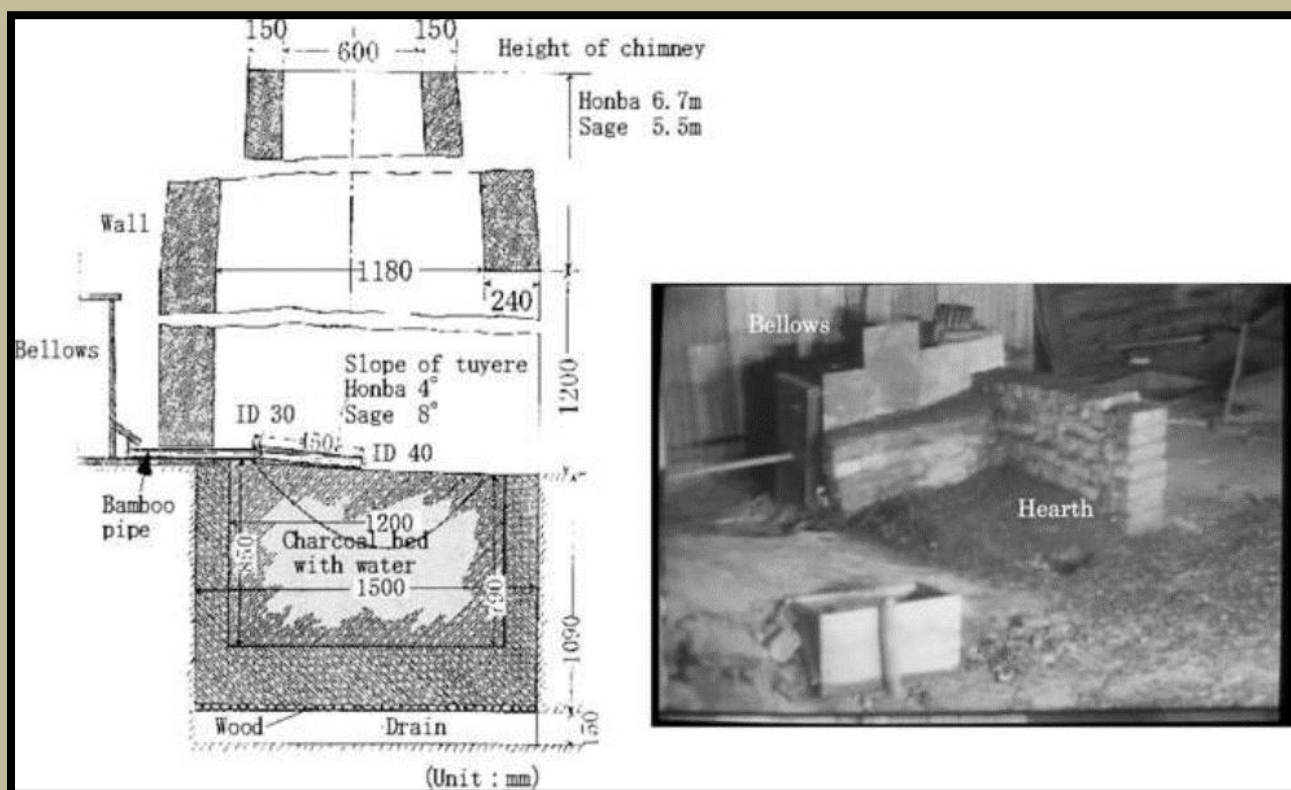
Az kanatoko a daikutól kifelé billenve, 3 fokos dőlésszögben állt, úgy, hogy a kanashiki az üllő külső oldalának nekifutva - annak felületével színel. A kanashiki 54 cm hosszú, 48 cm széles és 10 cm vastag volt.

A daiku munkája során egy kis, 30 cm magas dombon ült. A Sugitani-művek munkásai a daiku mester, a sage mester, a 4 ráverő (teko) és a 2 fújtatós. A négy ráverő az üllő mesterrel szemközti oldalán állva, annak jelzéseit szigorúan követve az óramutató járásával megegyező irányban kovácsolt - 5,6-7,5 kg súlyú kalapácsokkal.

A daiku és a sage mesterek fekete hálót viseltek, hogy megvédjék a szemüket a magas hőmérséklettől.

Amint a 2. ábra mutatja, a sageba- és a honba tűzhelyek alapját egy 1,5 m hosszú, 1,2 m széles és 1,25 m mély gödör képezte, melynek fenekén falapokkal fedett vízvezető csatornát létesítettek. A gödör alját és falait döngölt agyaggal borították és az így kialakított, 1,2 m hosszú, 0,3m széles és 0,85m mély árkot tömörített faszénporral töltötték fel.

2.ábra: A sageba- és honba tűzhelyek hosszszelvényi rajza.



A fúvószelekrényt egy 24 cm vastag fallal választották el a tűztértől. Ez alatt egy bambusz csövet (kirokan) vezettek a fúvótól a tűzhelyig, ami egy agyag fúvókához csatlakozott.

A fúvóka a sagebában 36 cm hosszú és 3 cm átmérőjű, a honba esetében pedig 48 cm hosszú és 4 cm átmérőjű volt. Lejtése előbbinél 18- , utóbbinál 4 fokos dőlésszögű.

A fúvóka előtt kb. 1 m hosszú és 10 cm mély, lejtős árkot készítettek.

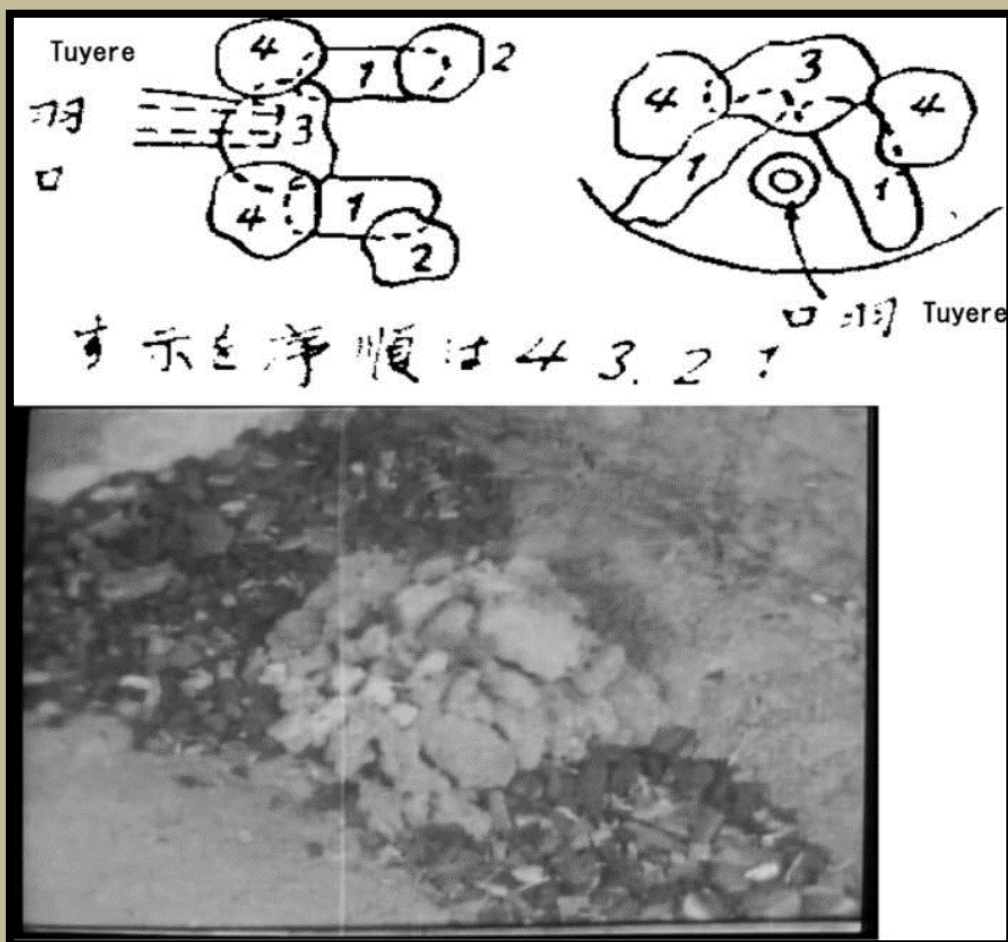
2.4. Műveletek

2.4.1. A Sageba folyamat

Tsugoyamában napi 319 kg, a Sugitani Művekben napi 200-250 kg nyersvasat dolgoztak fel. Az izumói Uchitani Művekben 255 kg zuku és bugera, az Iwamiban működő Ichikisakamura üzemben 225 kg nyersvas került átolvasztásra naponta.

A nagy nyersvas tömböket alagút formában a fúvóka elé helyezték, a többit pedig arra halmozták, amint az a 3. ábrán látható.

3.ábra: A nyersvas tömbök pozíciója a fúvóka előtt



A halomba rakott tömböket lefedték szénnel és fújtatás mellett hevítették.

A kezdeti szakaszban a fúvás mérsékelt volt. Amikor az acél egyenletes hőmérsékletre hevült a fúvási erősségét növelték.

Nagyjából egy óra múlva a nyersvas tömbök a fúvóka közelében elkezdtek megolvadni és körülbelül 0,7 tömeg% C-ra széntelenedtek.

Mikor az olvadó acélt lefolyt a fúvóka előtt, a sage-mester egy vaspálcával (sokotsuki) ellenőrizte annak viszkozitását – ebből következtetve az acél állapotára és szénttartalmára.

A nyersvas dekarbonizálása során a hőmérséklet szabályozása volt a legnehezebb feladat. A hosszan tartó, túl magas hőmérséklet ugyanis kiszárítja a tűzhelyet és az acél kemény, rideg lesz. Ezért a tűzhely nedvesség szintjét szabályozni kell, figyelembe véve az égő faszén állapotát, a fújtatást és egyéb tényezőket. 20-30 perc elteltével a széntelenített acéltömböket néhány percenként húzzák ki a fúvóka elől a sokotsukival.

A sageba folyamat körülbelül 2 óra alatt zajlott le.

A kihozatal közel 100% volt, 300 kg sagegane elkészítése kb 450 kg szenet igényelt.

2.4.2. Honba

A Sugitani Okaji Művekben a honba-eljárásban a kb. 200 kg sagegane és kb. 100 kg bugera keverékét 9 csoportra osztották. (A tsugoyamai üzemben a Sagegane-t 10-re – minden okaji műhely eltérő arányú keveréket használt.)

A sage-eljárással megegyező módon a fúvóka előtt kb 30 kg sagegane blokkot halmoztak fel és faszén tűzön hevítették. A fúvás az előmelegítési szakaszban gyenge, az aktív olvadás megkezdődésével viszont meglehetősen erőteljes volt. Körülbelül 20 perc elteltével a sagegane kétharmada megolvadt és - a tűzhelyben lejjebb süllyedve - részlegesen megszilárdult. A sage mester a sokotsukival forgatta az izzó tömböket a fúvóka előtt, hogy azok minden oldalról egyenletesen széntelenedjenek. Az elkészült darabokat ezután kissé távolabb tolták a fúvókától, a maradék 30%-nyi sagegane tömböt pedig előrébb helyezve megolvasztották, széntelenítették és egy tömbbe olvasztották az előző blokkokkal. Végül a sage-mester kivette a forró, összetapadt acéltömböt egy fogóval és szalma hamuval borítva a kanashikire helyezte, hogy a daiku folytassa a munkát.

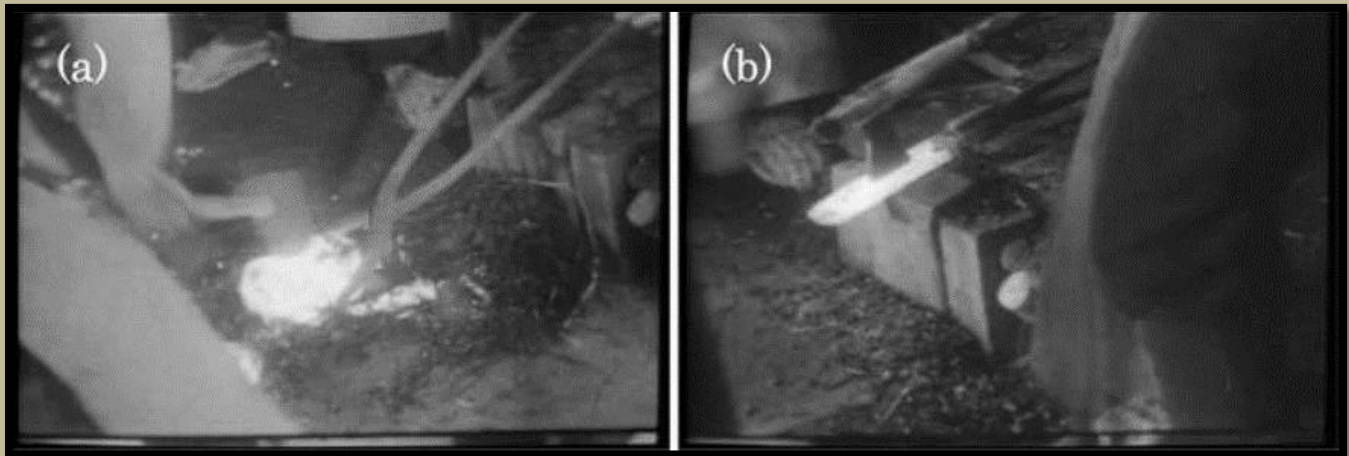
A honba-folyamat körülbelül 30 percig tartott.

A daiku a forró tömböt a kanashikin tartotta, a négy teko pedig téglalap alakúra kovácsolta és hasítékot vágott bele, hogy ketté lehessen szedni. Az első kovácsolás az úgynevezett hito-yaki vagy dokiri.

A sage-mester újra felmelegítette a tömböt és átadta a daikunak. A daiku felrakta a kanatokora, hogy téglalap alakú lemezzé formálja majd hosszában 4 darabra vágta.

A második kovácsolás neve futa-yaki vagy nibangiri.

A harmadiktól a hatodik kovácsolásig minden lemezt újra meg újra felmelegítettek és egy irányba nyújtottak. A lemez végét egyenesre vágták. A vágást hanagiri-nek nevezték. Ezután minden lemez közepén bevágást készítettek, ahogyan az alábbi, 4. ábrán látható.



Egy lemez 60 cm hosszú, 20 cm széles és 1 cm vastag volt. A honba-eljárás során készült lemezek súlya darabonként kb. 5 kg. A kihozatal 60-70 % közötti.

Egy honba-folyamat nagyjából 1 óra hosszúságú, napi 10 ciklust hajtottak végre.

Heisuke Watanabe úr azt mondta, hogy okos törekvés volt a daiku részéről, hogy a lehető legkevesebb ütéssel készítsen lemezeket, mert az acél a több kalapálással keményebbé válik. A teko nagyon vigyázott, soha nem ütött kétszer ugyanarra a pontra és soha nem verte a kalapács élét a lemezbe, hogy kárt ne tegyen az anyagban. Így a fém három kovácsolás után is olyan puha volt, mint a friss rizspogácsa. A teko mindig pontosan a kanatoko közepére kellett, hogy üssön. A daiku - figyelembe véve a kovácsolási folyamat összes tényezőjét - mindig az üllő közepén tartotta az anyag éppen megmunkálandó felületét.

3. Az okaji-folyamat kísérletei

3.1. Kísérletek

Egy 61 × 80 × 60 cm acéldobozba helyezett korund téglából 30 cm széles, 42 cm mélységű és 55 cm magas tűzhelyet alakítottak ki.

A tűzhely oldalfalára egy 21 mm-es belső átmérőjű vascsőből készült, a tűztérbe 7 cm mélyen benyúló, 10 fokos szögben lefelé álló fúvókát szereltek fel. A fúvóka csúcsát tűzálló agyaggal vonták be. A fal magassága a fúvósík felett 20 cm volt.

A tűzhely aljára tömörített faszénport nyomtak és kb. 4 liter vizet öntöttek rá.

Az okaji-folyamat megkezdése előtt a tűzhelyet folyamatos levegő befúvás mellett, faszénnel melegítették elő.

A Sageba-eljárás során három db fehér öntöttvas prizmat raktak 3-4 cm-es távolságba a fúvóka elé. A nyersvas tömböket satetsuból kohósították és trapéz alakba öntötték. (Szén tartalmuk 3,9 tömeg% C, az alsó sík mérete: 11,0 × 6,5 cm, a felső sík: 7,5 × 3,5 cm, vastagságuk: 3,0 cm, súlyuk 1,25 kg/db)

A tömböket fenyőszénnel borították. Gyenge fújtatással a fémet egyenletes hőmérsékletre hevítették. Miután a wakibana fehér szikrái megjelentek a lángban, a fúvás erősségét növelték. Néha locsolókannával vizet öntöttek a szénre.

Amikor a tömbök átolvadtak a fúvást leállították, a megszilárdult sagegane-t kivették és vízben lehűtötték.

A honba eljárás során a sagegane-tömböt élére állítva, aljával a fúvószél felé fordítva, szénnel betakarva hevítették. A szikrák megjelenése után a fúvási sebességet fokozatosan emelték úgy, hogy a wakibana erőteljes és egyenletes eloszlású legyen a lángban.

Néha locsolókannával vizet öntöttek a szénre.

Amikor a blokk megolvadt, a forró lágyacél tömböt kivették, és szalma hamuval fedték be. Az így kapott oroshigane-t gépkalapácson azon melegében téglalap alakúra kovácsolták.

3. táblázat: A kísérleti olvasztások adatai

Process	Day & Time	Initial weight	Product weight	Yield	Wakibana appears	Start melt*	Water in hearth	Note
Sageba No. 1	2005/Nov/27 12:01–12:40	Pig iron 4.15 kg	Sagegane 3.8 kg	92%	12:20		1.5 /	A block was falled down
Honba No. 1	13:13–13:50	Sagegane	Oroshigane 0.812 kg		13:25	13:35	1.5 /	Forged
Sageba No. 2	2006/Nov/12 10:40–11:21	Pig iron 4.56 kg	Sagegane 4.50 kg	99%	10:49	11:12	1.9 /	
Sageba No. 3	13:05–13:56	Pig iron 4.54 kg	Sagegane 4.43 kg	98%	13:26	13:27	2.6 /	Temp.&P _{O2} measure
Honba No. 2	14:25–15:11	Sagegane 4.31 kg	Oroshigane 2.03 kg	47%	14:40	14:50	2.2 /	Temp.&P _{O2} meas., Forged

4. Eredmények

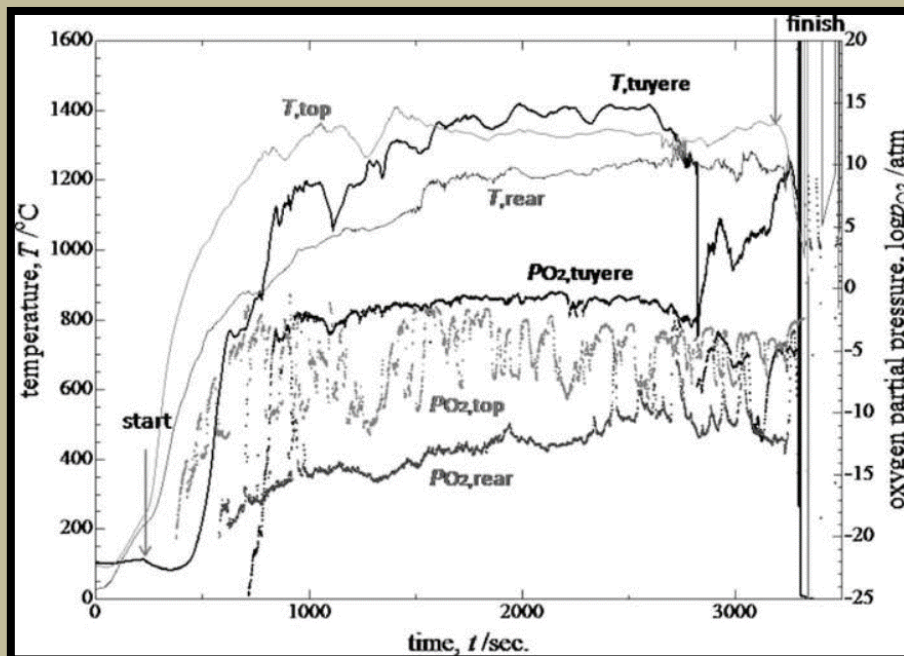
4.1. A hőmérséklet és a befújt levegő nyomásának változásai a folyamat során

A sageba-folyamatokat 5 alkalommal végezték el, a honba-eljárást 3-szor (92-100%-os kihozattal az előbbi, 47% és 87% közöttivel az utóbbi esetén).

Az olvasztás során 9 perc elteltével a blokkok feletti hőmérséklet elérte az 1 200°C-ot és ezután a wakibana folyamatosan jelen volt a lángban. 12 perc elteltével emelkedett a hőfok 1 350°C-ra. A tüzet gondosan szabályozták, s hogy a további melegedésnek elejét vegyék, vizet öntöttek a faszénre.

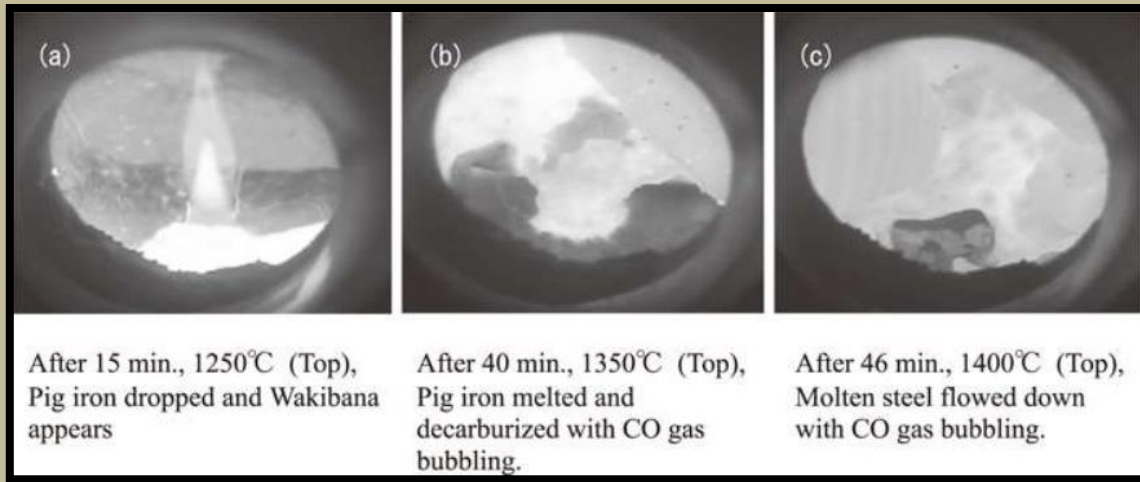
A fúvóka előtti hőmérséklet 13 perc után 1 200°C, 23 perc elteltével 1 400°C volt. A nyersvas tömbök mögött a hőmérséklet fokozatosan emelkedett, és elérte az 1 200 °C-ot.

Az oxigénpotenciál a fúvóka előtt majdnem légköri volt, a blokkok felett 10^{-3} és 10^{-8} atm között ingadozott, majd a végső szakaszban 10^{-2} atm volt. A fémtömbök mögött fokozatosan emelkedett 10^{-15} -ről 10^{-12} atm-ra.



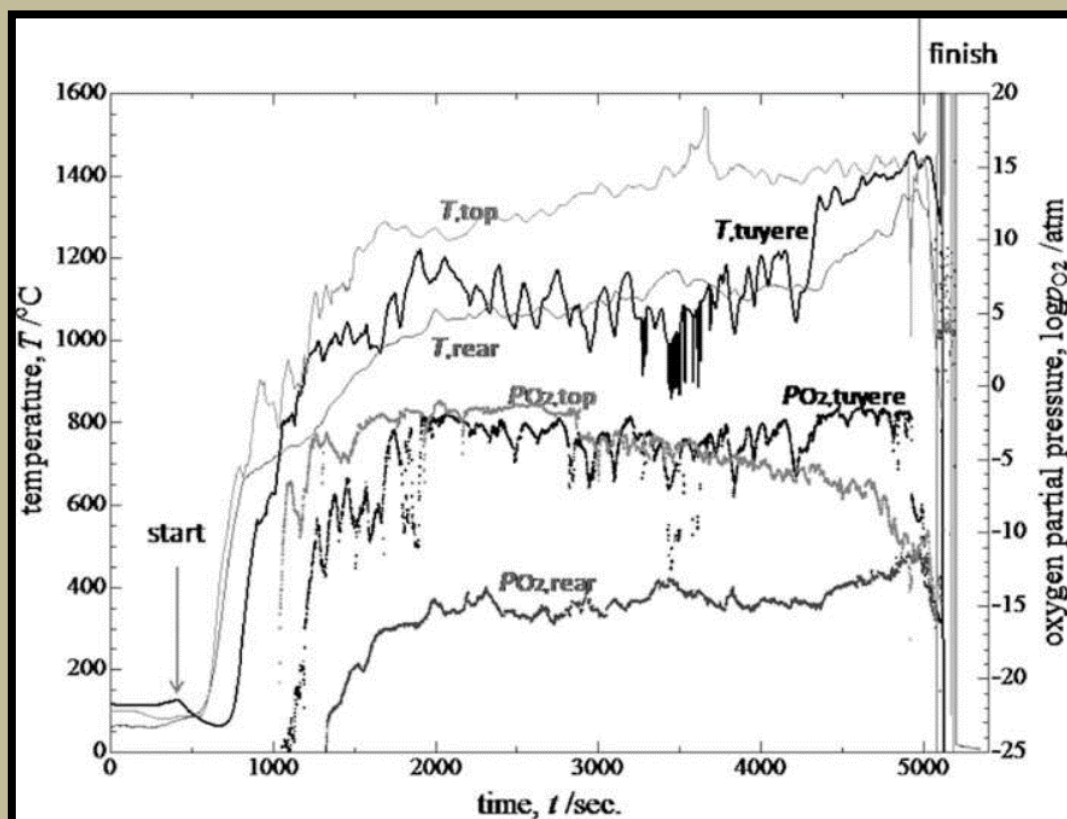
5. ábra: A hőmérséklet és az oxigénpotenciál változásai a fúvóka előtt, a zuku tömbök felett és mögött a sageba-folyamatban

A 6. ábra mutatja a nyersvas tömbök olvadásának aspektusait. Figyelemre méltó volt, hogy a nyersvas CO gáz buborékolásával és a lángban wakibana jelenlétében olvadt.

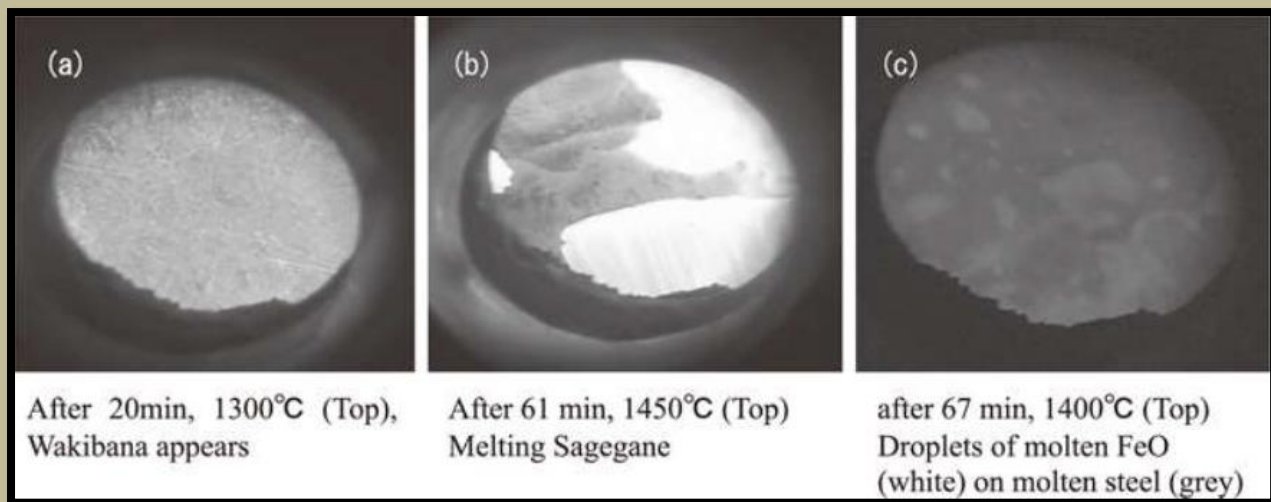


A honba-eljárás során, a 15. percben a salegane blokk feletti hőmérséklet elérte a 900°C-ot. 20 perc elteltével – röviddel a wakibana megjelenése után - a hőmérséklet 1 300°C, 50 perc elteltével 1 400°C. 70 perc után a blokk elkezdett megolvadni - ekkor a fúvást fokozták. A hőmérséklet a fúvóka előtt és a blokk mögött hirtelen megemelkedett, és elérte az 1 450°C-ot. A magas hőmérsékletű szakaszban vizet öntöttek rá, hogy a hőfokot 1 450 °C-on tartsák.

A melegítés kezdetén az oxigénpotenciál a blokk előtt és felett majdnem légköri volt, a végső szakaszban - a hőmérséklet emelkedésének megfelelően - a blokk felett pedig 10^{-10} atm-ra csökkent. A tömb mögött ekkor az oxigénpotenciál – közel a Fe/FeO egyensúlyi állapothoz - 10^{-15} -ről 10^{-12} atm-ra emelkedett.



7. ábra: A hőmérséklet és az oxigénpotenciál változásai a fúvóka előtt, a sagegane tömbök felett és mögött a honba folyamat során.



A 8. ábra a Sagegane olvadásának aspektusait mutatja a Honba-folyamat során. Figyelemre méltó volt, hogy a végső szakaszban - wakibana jelenlétével a lángban - a noro olvadt FeO cseppei lefolytak az olvadó acél felületén, de CO-gáz buborékolása nélkül.

4.2. A szénkoncentráció eloszlása a sagegane-ban és oroshigane-ban

A kiindulási anyagként használt nyersvas összetétele:

4,033 tömeg%C,

0,188 tömeg%Si,

0,175 tömeg%Mn,

0,245 tömeg%P.

0,0395 tömeg%S,

0,001 tömeg%Al,

0,084 tömeg%Ti

0,091 tömeg%V.

5. Következtetések

5.1. A sageba-eljárás dekarbonizációs mechanizmusai

A sageba-eljárásban a nyersvas 20 perc után kezdett el olvadni, amikor a hőmérséklet a blokkok előtt és felett elérte az 1 350 - 1 400°C közötti hőmérsékletet. Az olvadás kezdeti szakaszában széntelenítés alig történt. Ezután a fém megolvadt és elkezdett lefolyni a tömb felületén a fúvóka irányába. Az olvadt felületen a levegő oxigén tartalma FeO salakréteget (Noro) képzett.

Az oxigén a salak külső határfelületéről átkerült a fém-salak határfelületre és reakcióba lépett az olvadt vassal ill. az abban lévő szénnel.

Az oxigénpotenciál a határfelületen 10^{-3} és 10^{-8} atm között volt.

Másfelől míg - 1 400°C-on egyensúlyi állapotban - a δ -Fe és az olvadt FeO oxigénpotenciálja körülbelül 1×10^{-10} atm addig ez a nyersvasban lévő szén és légköri nyomású CO esetében 1×10^{-18} atm. Nagy különbség mutatkozott a határfelületi oxigénpotenciálban – úgy a vas széntelenítése, mint oxidációja esetén - ha a reakció aktív CO buborékoltatással zajlott.

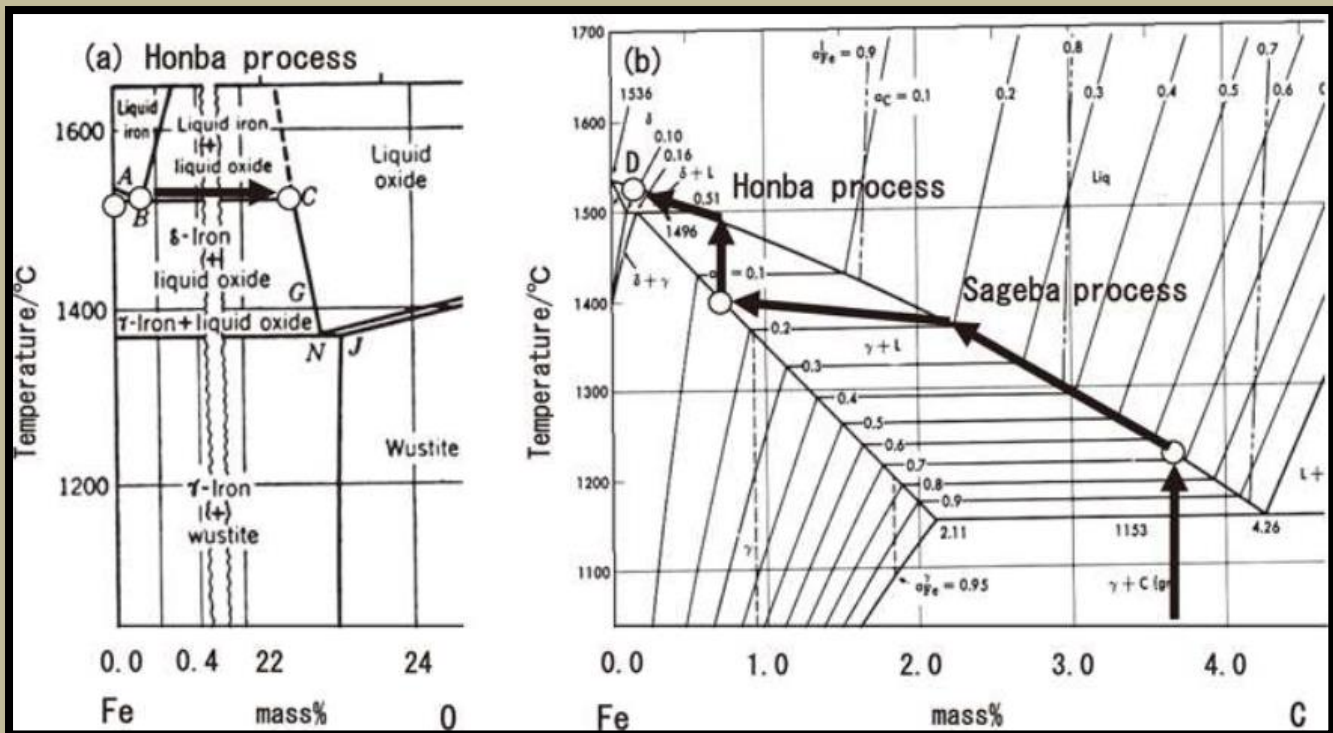
5.2. A honba-folyamat széntelenítési mechanizmusai

A honba-eljárásban 50 perc elteltével a sagegane tömb hőmérséklete 1 450°C-ra emelkedett, majd a blokk megolvadt. Az olvadás kezdeti szakaszában a dekarbonizáció mérsékelt CO buborékolással zajlott, majd miután az acél felületén olvadt FeO-cseppek képződtek a buborékolás abba is maradt, amint az a 10. ábra c) pontja mutatja.

Az oxigénpotenciál a blokk felett a végső fázisban elérte a 10^{-10} atm értéket, és a vasat hevesen oxidálták közvetlenül a levegő oxigén tartalmával. Az acél olvadását a reakció során termelődő hő is segítette.

Ez az eljárás a 60-70%-os kihozatalt tesz lehetővé és 1528°C-on (az eutektikus pont közelében) 0,15 tömeg%-ra emelkedő oxigén tartalmat eredményez a fémbe (13(a) ábra B.)

A dekarbonizált acél a vas olvadáspontjának közelében szilárdult meg. (13(b). ábra D pont) A széntelenítés során az olvadt acélban körülbelül 0,1 tömeg% C volt.



A dekarbonizáció és oxidáció reakció ábrája a zuku és a sagegane fázis diagramjának (a)Fe-O és (b)Fe-C tengelyein ábrázolva.

5.3. A víz hatása

Mint fentebb említettük, a faszén lángra öntött víz nagyon fontos szerepet játszott abban, hogy az acélblokk hőmérsékletét 1 400 °C alatt tartsa a sageba- és 1 450 °C a honba-eljárás esetében. Ennek célja az volt, hogy a széntelenítés során befújt levegő csak a szükséges sebességgel oxidálja a fémet, ne gyorsabban, mert az csak a salak mennyiségét növelte volna.

A faszénágyba tett víz is a párolgás révén hűtötte a tűzhelyet. Kísérleteinkben a sagegane alsó része nem olvadt meg. A sage-mester azért kevergette az olvadt nyersvasat a hodotsukival, hogy ellenőrizze annak viszkozitását és hőmérsékletét s hogy a fúvási sebességet az anyag állapotának megfelelően szabályozza.

A wakibana fehér szikrái finom vasrészecskék, melyeket az olvadó fém kristályhatárain keletkező, hirtelen növekvő nyomású CO buborék lök ki a fém-salak határfelületről.

6. Következtetések

Az okaji üzemek 0,1 tömeg% alacsony széntartalmú lágyacélt (hocho-tetsu) és magas széntartalmú acélt (sage-gane) állítottak elő nyersvasból.

A széntelenítési folyamat két eljárásból állt, sageba- és a honba.

Az előbbi során a nyersvas blokkokat faszén égetéssel melegítették fel és 1 400 °C közeli hőmérsékleten széntelenítették őket. A reakcióban az olvadt FeO salak (noro) fontos szerepet játszott. A sagebane blokkok átlagosan 0,7 tömeg%-os széntartalommal készültek.

A későbbi eljárás során a tömböket az előzővel megegyező módon 1 450°C-ra hevítették. Innen erős fújtatás mellett, a levegő oxigén tartalmával oxidálták tovább az anyagot. A folyamat végén az exoterm reakció hőjét is felhasználták arra, hogy a hőmérsékletet 1 528 °C fölé emeljék. A megolvasztott tömböket a sokotsuki vaspálcával agglomerálták

Az így előállított fém széntartalma átlagosan 0,1 tömeg%-ra csökkent, míg oxigéntartalma körülbelül 0,2 tömegszázalékra nőtt. Ekképp a hochotetsu egy oxigénnel túltelített, egyenetlen szén- és oxigén eloszlású lágyacél volt.

Az eredeti cikk megírásához felhasznált irodalom:

- 1) Y. Furunushi and K. Nagata: *ISIJ Int.*, **54** (2013), No. 5, 1074.
- 2) K. Tawara: *Old Smelting Method of Iron Sand in Meiji Period*, Maruzen, Tokyo, (1933), 107.
- 3) F. Sakibara: *Wrought Iron Making*, Vol. 3, Chap. 2, Sankai-do, Tokyo, (1944), 83.
- 4) S. Tanabe: *Kataribe (Narrator)*, private publication, Shimane pref., (1997).
- 5) *Intangible Cultural Treasure of Wako Ironmaking Technology in the early 20C*, Movie, School Board of ShimanePrefecture, Shimane, Japan, (1956).
- 6) Y. K. Rao: *Stoichiometry and Thermodynamics of Metallurgical Processes*, Cambridge Univ. Press, N.Y., (1985), 883.

Külön köszönet Manabe Sumihira Mesternek, aki lehetőséget adott műhelyében a kísérletek elvégzésére s értékes tanácsaival segítette az olvasztásokat.