

TOPLOTNE RAZMERE V KALCINACIJSKI KOMORI ZA PEČENJE ANOD

TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE ANODE BAKING FURNACE

Franc Zupanič¹, Avgust Šibila²

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smtanova 17, 2000 Maribor

²Talum, d.o.o, Kidričevo, Tovarniška ul. 10, 2325 Kidričevo

Prejem rokopisa - received: 1999-07-20; sprejem za objavo - accepted for publications: 1999-07-26

Z rednim spremljanjem proizvodnje aluminija v Talumu je bilo ugotovljeno, da so lastnosti predpečenih anod neenakomerne. Iz te neenakomernosti gotovo izhajajo proizvodne težave, ki se izražajo v obliki velike neto porabe anod v elektrolizi B ter v pogostem pojavljanju horizontalnih razpok v anodah elektrolize C. Izvor teh težav je lahko raznovrsten, eden izmed njih so tudi neenakomerne razmere pri pečenju anod v kalcinacijski peči. V tej raziskavi smo merili porazdelitev temperature v eni izmed komor kalcinacijske peči. Rezultati meritev so pokazali, da so toplotne razmere znotraj celotne komore - kakor tudi znotraj posameznih celic, ki sestavljajo komoro - neenakomerne. Na tej osnovi sklepamo, da dobršen del neenakomernih lastnosti anod izhaja iz neenakomernih toplotnih razmer v kalcinacijski peči.

Ključne besede: aluminij, predpečene anode, pečenje anod, porazdelitev temperature

During continuous monitoring of the primary aluminium production in Talum it was found out that the quality of prebaked anodes is non-uniform. As a result, high nett consumption of anodes in the electrolysis B and often horizontal cracking of anodes for electrolysis C have occurred. These problems may arise from different sources, one of these are non-uniform conditions in the anode baking furnace. In this investigation we determined the temperature distribution inside one chamber of the anode baking furnace. Results indicate that the temperature distribution is non-uniform. Therefore, we conclude that non-uniform conditions inside the chamber significantly contribute to variable properties of prebaked anodes.

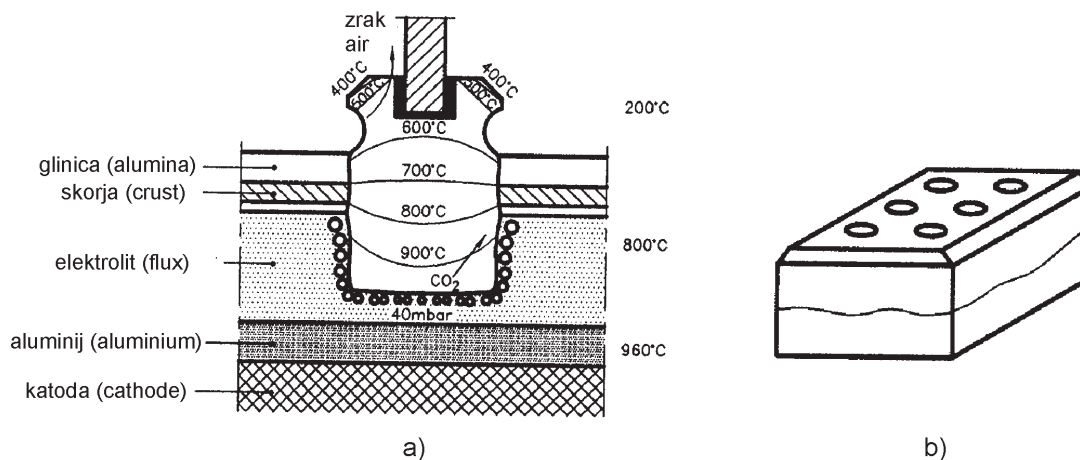
Key words: aluminium, prebaked carbon anode, anode baking, temperature distribution

1 UVOD

Pri sodobnem pridobivanju aluminija je izenačena in visoka kvaliteta predpečenih anod eden izmed bistvenih temeljev tehnološko in stroškovno optimalne proizvodnje aluminija¹. Na lastnosti anod vplivajo številni dejavniki. Ti so vrsta in kvaliteta vhodnih surovin, optimalno razmerje surovin, granulacijska sestava in razmere pri mešanju ter oblikovanju zelenih anod, režim pečenja anod. Na vedenje anod v elektrolizni celici, s

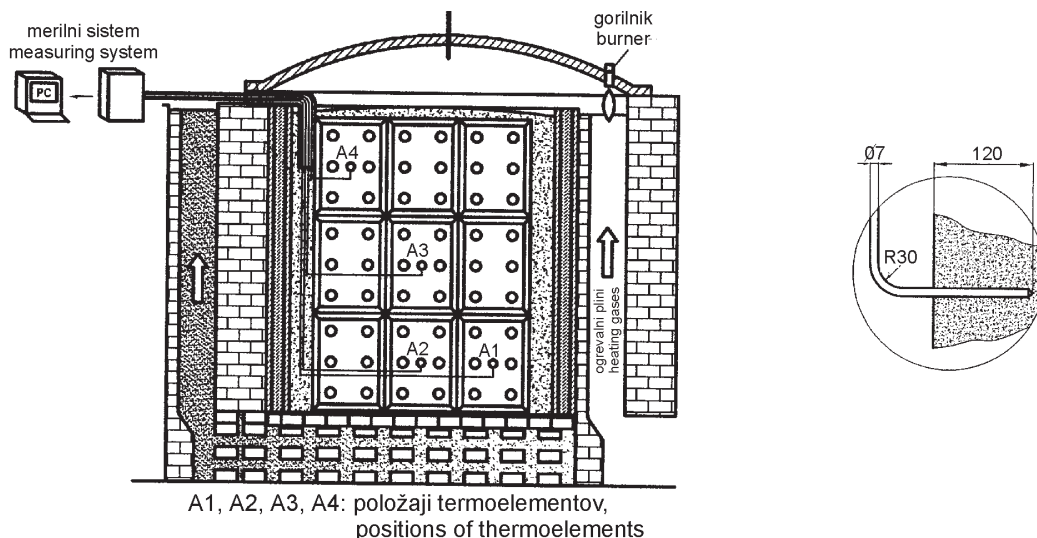
tem pa tudi na njihovo trajnost, pa poleg tega vplivajo še temperatura in nivo elektrolita, zasipanost z glinico^{2,3}.

V Talumu ugotavljajo⁴, da se pojavljajo težave z neenakomernimi lastnostmi anod, ki se kažejo kot velika neto poraba elektrod v elektrolizi B (slika 1a) ter pogost pojav horizontalnih razpok v anodah elektrolize C (slika 2). Iz literature⁵ in tudi lastnih izkušenj v Talumu je znano, da lahko na povečano zračno in CO₂ reaktivnost vpliva vrsta in kvaliteta osnovnih surovin - predvsem



Slika 1: Težave, ki se pojavljajo pri primarni proizvodnji aluminija v Talumu: a) CO₂ in zračna reaktivnost predpečene anode, b) horizontalni lom

Figure 1: Problems occurring during primary aluminium production in Talum: a) CO₂ and air reactivity, b) horizontal cracking



Slika 2: Shematičen prikaz merjenj temperature anod s termoelementi NiCr-Ni
Figure 2: Schematic presentation of measuring temperature of anodes by thermocouples NiCr-Ni

petrolkoksa, končna temperatura kalcinacije ter tudi zasnova elektrolizne celice. Na pojav razpok na anodah zaradi toplotnega šoka pri vstavljanju hladne anode v elektrolizno celico pa najbolj vplivajo vhodne surovine, pogoji pečenja - predvsem hitrost segrevanja med 200 in 600°C ter tudi višina in temperatura kopeli⁶. Parametrov, ki vplivajo na zračno oziroma CO₂ reaktivnost ter na nastanek razpok je veliko, zato smo se v začetni stopnji raziskav odločili, da bomo določili toplotne razmere v kalcinacijski komori, kajti domnevali smo, da neenakomerne toplotne razmere v kalcinacijski komori lahko bistveno prispevajo k neenakomernim lastnostim predpečenih anod.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

V Talumu poteka pečenje anod v kalcinacijski peči "Riedhammer", ki je sestavljena iz dveh vzporednih vrst komor. V vsaki vrsti je 16 komor. Vsaka komora je sestavljena iz sedmih celic, v katere vložimo 20 anod B (za elektrolizo B) in 9 anod C (za elektrolizo C). Komore v posamezni vrsti so z daljšo stranico postavljene vzporedno ena z drugo, medtem ko se sosednji komori v obeh vrstah stikata s krajšo stranico. Delo v Riedhammerjevi peči poteka neprekinjeno v dveh sekcijah, v katerih je vključenih po 16 komor. V posamezni sekciji so tri cone: ogrevalna, hladilna in delovna. V ogrevalno cono je vključenih šest komor. V teh poteka segrevanje zelenih anod do končne temperature kalcinacije s prisilnim kurjenjem. V hladilni coni je prav tako šest komor. V teh se anode ohlajajo s hladnim zrakom. Zrak se v teh komorah predgreva in se nato vodi v ogrevalno cono, kjer se uporablja za zgorevanje zemeljskega plina ali mazuta, kakor tudi hlapnih plinov in katrana, ki se sproščajo pri kalcinaciji. V delovni coni poteka praznjenje komore s kalciniranimi anodami in polnjenje z

zelenimi anodami. Po osemindvajsetih do dvaintridesetih urah se premakne ogenj (mesto prisilnega kurjenja) za eno komoro naprej. To pomeni, da se zadnja delovna komora, ki je napolnjena z zelenimi anodami, pomakne v cono ogrevanja, zadnja komora v coni ogrevanja v cono hlajenja, zadnja komora v coni hlajenja pa v delovno cono - to komoro izpraznijo. Celoten cikel od predgrevanja do praznjenja traja 384 ur.

Z raziskavo smo želeli ugotoviti porazdelitev temperatur v določeni kalcinacijski komori med rednim obratovanjem Riedhammerjeve peči. Zato smo morali program meritev prilagoditi dejanskemu tehnološkemu postopku kalcinacije. Pri načrtovanju smo upoštevali dolgotrajnost posamezne meritve. Poleg tega se je izkazalo, da merilne sonde, ki smo jih uporabili za meritev temperature, lahko uporabimo samo enkrat. Visoki stroški, povezani s posamezno meritvijo, in omejenost merilne opreme so nas prisilili, da meritve izvedemo le v določenih komorah, in še to ne na vseh anodah hkrati (v komori je lahko 63 anod C ali kar 140 anod B). Da bi lahko ugotovili vpliv razmer pri pečenju na lastnosti anod, so bile vse zelene anode sestavljene iz enakega razmerja surovin z vedno enako granulacijsko sestavo (**tabela 1**) in izdelane ob enakih pogojih mešanja ter oblikovanja.

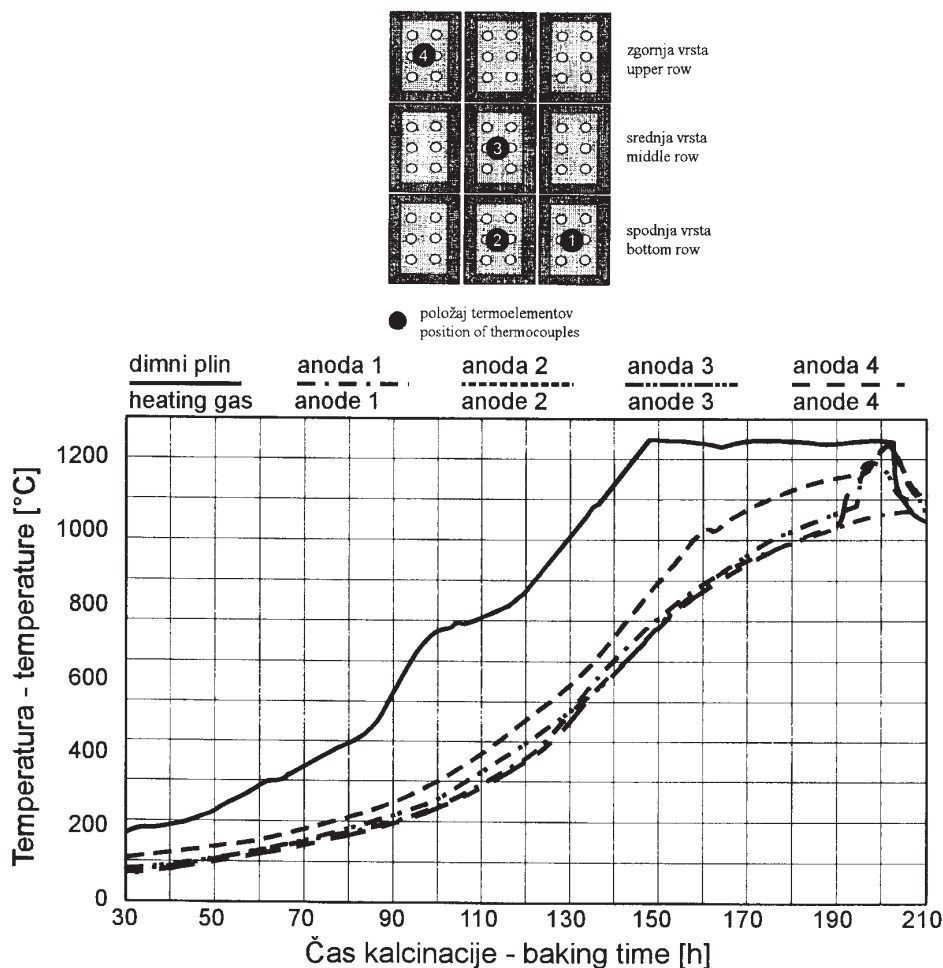
Za osnovne meritve smo izbrali komoro številka 23. To je komora v sredini vrste. Enakomernost hitrosti segrevanja in končne temperature kalcinacije v posamezni celici smo izvajali z merjenjem temperature v štirih anodah. S tem smo zagotovili, da izmerjene vrednosti ne pomenijo nikakršnih ekstremnih vrednosti in da so gotovo blizu razmeram, katerim je izpostavljenih največ anod. Da bi določili enakomernosti temperature v različnih celicah iste komore, smo izvedli meritve v štirih celicah.

Tabela 1: Granulacijska sestava surovin za izdelavo predpečenih anod**Table 1:** Size distribution of raw materials for manufacturing of prebaked anodes

premer sita diameter of the sieve (mm)	15	9,5	4,75	1,7	0,85	0,30	0,15	0,0075	ost
groba frakcija coarse fraction (%)	0	17,0	45,0	24,1	10,0	2,5	0,3	0	0
srednja frakcija middle fraction (%)	0	0	48,3	51,5	0,2	0	0	0	0
drobna frakcija small fraction (%)	0	0	0	19,4	28,8	38,0	11,2	2,0	0,6
prah powder (%)	0	0	0	0	0	0,2	2,3	31,3	66,2

Za kontinuirno merjenje temperatur smo uporabili z inconelom oplasčene termoelemente NiCr-Ni s premerom žic 1,08 mm. Položaji termoelementov pri meritvi enakomernosti temperature v celici in položaj vgraditve termoelementov v anodo so prikazani na **sliki 2**. Za indikator najvišje temperature kalcinacije smo uporabili merilne tablete TEMPIL. Te se raztalijo pri določeni

temperaturi z natančnostjo $\pm 1\%$. Izbrali smo 12 tablet, ki se raztalijo pri temperaturah 1010°C, 1038°C, 1066°C, 1093°C, 1121°C, 1149°C, 1177°C, 1204°C, 1232°C, 1260°C, 1288°C in 1316°C. Tablete smo vstavili med dve krožno izrezani šamotni plošči (ϕ 100 x 5). Na spodnji plošči je bilo ležišče za tablete. Šamotne plošče s tabletami smo vstavili v odprtine anodnih blokov, preden so bili vloženi v kalcinacijsko celico.

**Slika 3:** Položaj termoelementov in temperature izbranih anod v sredinski celici komore 23**Figure 3:** Position of the thermocouples and temperatures of the heating gas and selected anodes in the middle cell of the chamber No. 23

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

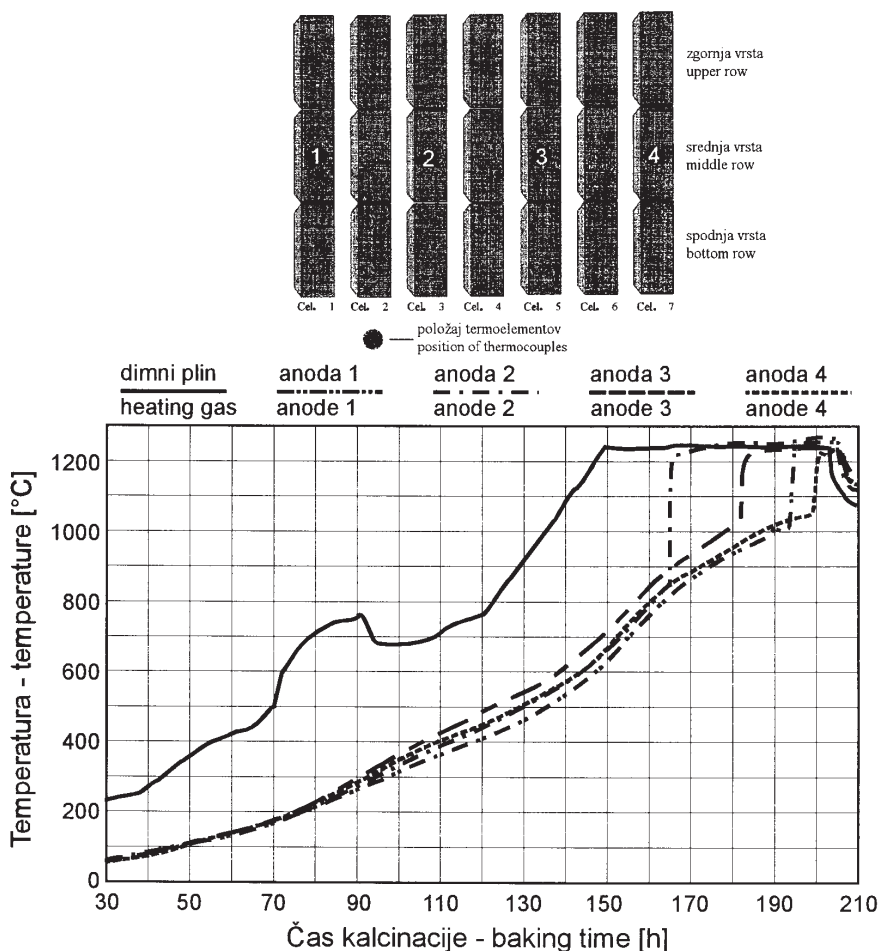
Slika 3 prikazuje položaje termoelementov in temperaturo anod ter dimnih plinov v sredinski celici komore št. 23. Rezultati kažejo, da je pri segrevanju temperaturna razlika med dimnimi plini pod pokrovom komore in anodami med 200°C in 300°C. Temperatura anode številka štiri, ki je v zgornji vrsti anod, narašča do 300°C hitreje kot temperature anod v srednji in spodnji vrsti, nad to temperaturo pa počasneje. Praviloma je bila hitrost segrevanja v temperaturnem območju med 200 in 600°C, ki je kritično za kasnejši nastanek horizontalnih razpok⁶, višja v spodnji vrsti anod kakor v zgornji. V zgornji je bila manjša kot 14°C/h, medtem ko je bila v spodnji vrsti med 17 in 20°C/h. Najvišja končna temperatura kalcinacije 1230°C je bila dosežena v zgornji vrsti anod, medtem ko je bila v spodnji 1060°C. Pri večkratnih ponovljenih meritvah smo ugotovili, da pride v zgornji vrsti temperatura od 1150 do 1250°C, v spodnji vrsti anod pa od 1030 do 1080°C. Navadno je bila temperaturna razlika med zgornjo in spodnjo vrsto približno 150°C.

Na osnovi teh rezultatov bi lahko sklepali, da so k horizontalnim lomom bolj nagnjene anode iz spodnje

vrste, ker je tam dosežena večja hitrost segrevanja v kritičnem temperaturnem območju med 200 in 600°C, hkrati pa so tudi bolj občutljive za CO₂ in zračno reaktivnost, saj je najvišja temperatura kalcinacije nižja kot v zgornji vrsti.

Slika 4 prikazuje položaje termoelementov in potek temperature v sredinskih anodah štirih celic v komori št. 23. Rezultati kažejo, da je med segrevanjem temperaturna razlika med posameznimi celicami več deset stopinj Celzija. Npr. po 125 urah segrevanja je temperaturna razlika med najhladnejšo in najtoplejšo celico 90°C. Zanimivo je, da so bile zelo podobne najvišje temperature kalcinacije anod, ki so bile na enakovrednih položajih v različnih celicah iste komore. Razlike pa so pri času zadrževanja na tej temperaturi.

Rezultati meritev so pokazali, da je porazdelitev temperatur tako v različnih celicah iste komore kot tudi v isti celici neenakomerna - to se kaže tako v neenakomerni hitrosti segrevanja anod kakor tudi v najvišji temperaturi kalcinacije, ki jo dosežejo anode na različnih mestih. To nedvomno potrjuje, da so za precejšnja sipanja lastnosti anod odgovorne tudi toplotne razmere v kalcinacijskih komorah. Zato je nujno, da se pri



Slika 4: Položaj termoelementov in temperature izbranih anod v različnih celicah komore 23

Figure 4: Position of the thermocouples and temperatures of the heating gas and selected anodes in different cells of the chamber No. 23

skorajšnji rekonstrukciji Riedhammerjeve peči za kalcinacijo anod zagotovi primerna sprememba količine in smeri toplotnih tokov v peči z drugačno postavitvijo gorilnikov za prisilno kurjenje in modifikacijo oblike ogrevnih kanalov ter izboljša sistem procesne kontrole in regulacije kurjenja.

4 SKLEPI

Toplotne razmere v kalcinacijski komori so neenakomerne. To se kaže tako v razlikah v najvišji doseženi temperaturi kot tudi v hitrostih segrevanja med 200 in 600°C/h.

V posamezni celici komore je bila temperatura kalcinacije višja v zgornji vrsti anod, od 1150 do 1250°C, v spodnji vrsti pa nižja, od 1030 do 1080°C. Srednja temperaturna razlika med zgornjo in spodnjo vrsto anod je bila približno 150°C.

Hitrost segrevanja anod v kritičnem temperaturnem intervalu med 200 in 600°C je bila večja v spodnji kot zgornji vrsti anod. Hitrost segrevanja v spodnji vrsti je bila med 17 in 20°C/h, medtem ko v zgornji vrsti anod ni presegla 14°C/h.

Med kalcinacijo obstajajo temperaturne razlike med celicami iste komore. Na primer, po 125 urah ogrevanja je temperaturna razlika med najbolj vročo in najhladnejšo celico okoli 90°C.

Končne temperature kalcinacije anod, ki so na enakovrednih položajih v različnih celicah iste komore, so zelo podobne. Razlike pa so pri času zadrževanja na tej temperaturi.

Na osnovi rezultatov sklepamo, da so neenakomerne toplotne razmere v kalcinacijski peči eden izmed najpomembnejših virov neenakomernih lastnosti predpečenih anod. Pri nadaljnjem delu želimo ugotoviti povezavo med najvišjo temperaturo kalcinacije in CO₂ oziroma zračno reaktivnostjo ter hitrostjo segrevanja anod med 200 in 600°C ter nagnjenostjo k horizontalnemu pokanju anod.

Da bi dosegli večjo enakomernost lastnosti predpečenih anod, je treba z izboljšanim sistemom procesne kontrole in regulacije kurjenja ter s primerno spremembo jakosti in smeri toplotnih tokov: (1) zagotoviti enakomerno temperaturo v komori, (2) preprečiti prehitro segrevanje in (3) doseči predvidene najvišje temperature in čase zadrževanja na temperaturi v vseh anodah ter s tem zaželeno kakovost le-teh.

5 LITERATURA

- ¹ U. Mannweiler: Anode manufacturing: An introduction, RDC Internal Publication, **1994**
- ² A. Šibila: Vpliv toplotnih razmer v kalcinacijski komori na lastnosti anod za elektrolizo aluminija, *Diplomsko delo*, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, **1998**
- ³ W. K. Fischer, F. Keller, R. C. Perruchoud: Interdependence between Anode Net Consumption and Pot Design, Pot Operating Parameters and Anode Properties, *Light Metals*, (**1991**) 681-686
- ⁴ K. Grjotheim, H. Kwande: Understanding the Hall-Heroult Process for Production of Aluminium, Aluminium Verlag GmbH, Düsseldorf, **1993**
- ⁵ W. K. Fischer, F. Keller, R. C. Perruchoud, S. Oderbolz: Baking Parameters and the resulting Anode Quality, *Light Metals*, (**1993**) 683-694
- ⁶ M. W. Maier, W. K. Fischer, R. C. Perruchoud: Thermal Shock of Anodes - a solved Problem?, *Light Metals*, (**1994**) 685-694