



SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT

83096

C (11) Patentansökan för ett förfarande för upphettning av smultet material genom injicering av syre och bränsle i ett smultet bad av materialet vid en temperatur som är över bränslets spontana bränsletemperatur, varvid åtminstone en del av bränslet bildar ett hölje kring syret, och bränna bränslet för att tillföra värme till det smultna materialet. I det fall att det smultna materialet består av koppar kan mängden injicerat syre och bränsle också regleras till att alternerande oxidera och reducera kopparföreningarna och avlägsna dem ur badet. Fast material kan smältas i badet under vilket som helst skede av uppvärmning och raffinering. I en fördelaktig utföringsform bildar en del av bränslet ett hölje kring syret under injiceringen och syret bildar ett hölje kring den resterande delen av bränslet.

(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

C 22B 9/05

(21) Patenttihakemus - Patentansökning	864330
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	24.10.86
(24) Alkuperäivä - Löpdag	24.10.86
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	26.04.87
(44) Nähtävöksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	15.02.91
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet	
25.10.85 US 791514 P	

(71) Hakija - Sökande

1. Union Carbide Corporation, New York, US; Old Ridgebury Road, Danbury, Conn., USA, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Masterson, Ian Francis, 61 Jefferson Avenue, Danbury, Conn., USA, (US)
2. George, David Bechtel, 585 9th Avenue, Salt Lake City, Utah, USA, (US)
3. Rudloff, Frederick Allan, 116 O Street, Salt Lake City, Utah, USA, (US)

(74) Asiamies - Ombud: Oy Borenus & Co Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Upotettu palaminen sulissa materiaaleissa
Submersförbränning i smultna material

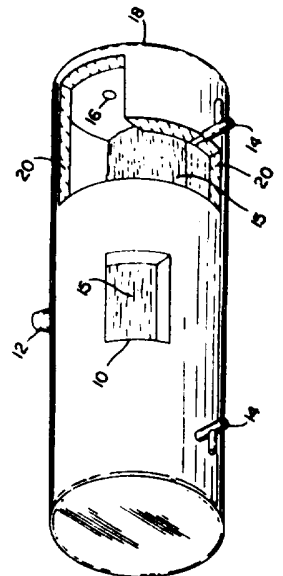
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

FI C 66198 (C 22B 9/00), DE A 2552392 (C 21C 5/34), DE B 1138231 (40 a 15/01)

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö kohdistuu menetelmään sulan materiaalin kuumentamiseksi injektoimalla happea ja polttoainetta materiaalin sulaan hauteeseen, jonka lämpötila on suurempi kuin polttoaineen spontaanin palamisen lämpötila, vähintään osan polttoaineesta muodostaessa vaipan hapen ympärille, ja polttamalla polttoaine lämmön aikaansaamiseksi sulaan materiaaliin. Siinä tapauksessa, että sula materiaali on epäpuhdasta kuparia, injektoidun hapen ja polttoaineen määrää voidaan myös säätää kuparin epäpuhtauksien hapettamiseksi ja pelkistämiseksi vuorotellen, ja näiden epäpuhtauksien poistamiseksi hauteesta. Kiinteätä materiaalia voidaan sulattaa hauteessa kuumentamiseen tai raffinoimiseen kuuluvan minkä tahansa vaiheen aikana. Edullisessa suoritusmuodossa osa polttoaineesta muodostaa vaipan hapen ympärille injektoinnin aikana, ja happi muodostaa vaipan polttoaineesta jäljelle jääneen osan ympärille.

Uppfinningen avser ett förfarande för upphettning av smultet material genom att injicera syre och ett bränsle i ett smultet bad av materialet vid en temperatur som är över bränslets spontana bränsletemperatur, varvid åtminstone en del av bränslet bildar ett hölje kring syret, och bränna bränslet för att tillföra värme till det smultna materialet. I det fall att det smultna materialet består av koppar kan mängden injicerat syre och bränsle också regleras till att alternerande oxidera och reducera kopparföreningarna och avlägsna dem ur badet. Fast material kan smältas i badet under vilket som helst skede av uppvärmning och raffinering. I en fördelaktig utföringsform bildar en del av bränslet ett hölje kring syret under injiceringen och syret bildar ett hölje kring den resterande delen av bränslet.



Upotettu palaminen sulissa materiaaleissa
Submersförbränning i smultna material

Keksintö kohdistuu menetelmään sulien materiaalien kuumentamiseksi ja raffinoimiseksi, erityisesti menetelmään sulien materiaalien kuumentamiseksi ja raffinoimiseksi injektoimalla materiaaliin, sen pintaa syvemmälle, happea ja virtaavaa polttoainetta.

Alalla tunnetuissa sulien metallien raffinointimenetelmissä käytetään hyväksi puhtaan hapen ja polttoaineena toimivan virtaavan hiilivedyn injektoimista materiaalin pinnan alle. Eräissä metallien raffinointimenetelmissä happi ja hiilivety injektoidaan "vaippa"-putken läpi. Happi injektoidaan tällöin keskusputken läpi ja hiilivety injektoidaan keskusputkea ympäröivän rengasmaisen putken läpi, jolloin hiilivety muodostaa vaipan hapen ympärille. Tämän vaipan tehtävänä on suojata putkea ja sitä ympäröivää tulenkestävää materiaalia hapen aiheuttaman liiallisen eroosion estämiseksi. Tätä periaatetta on käytetty kaupallisesti kaikkein eniten valmistettaessa terästä Q-BOP-menetelmällä, joka kuvataan US-patenttijulkaisussa nro 3 930 843. Kuparin sulatukseen kohdistuvia sovellutuksia on myös julkaistu, esimerkiksi US-patenttijulkaisuissa nro 3 990 889 ja 3 990 890.

Vaikka edellä mainittujen menetelmien reaktioissa käytetäänkin hiilivetyjä, ovat kuitenkin nämä menetelmät olennaisesti hapen perustuvia raffinointioperaatioita. Hiilivedyn injektoitu määrä on pieni verrattuna injektoidun hapen määrään (korkeintaan vain noin 8 % teräksen Q-BOP-valmistusmenetelmässä), jotta sulassa metallissa esiintyvien epäpuhtauksien hapettuminen tapahtuisi häiriöttä. Hiilivedyn alhainen pitoisuus suojaa putkea ja tulenkestävää materiaalia, mikä johtaa toisaalta jähmettyneiden kerääntymien muodostumiseen. Ohessa käytetyllä käsitteellä "jähmettyneet kerääntymät" tarkoitetaan kiinteän metallin ja/tai kuonan muodostumista sulassa metallihauteessa

putken läheisyyteen injektoidun virtaavan väliaineen jäädyttävän vaikutuksen seurauksena. Alalla tunnetaan erilaisia jähmettyneitä kerääntymiä, kuten möhkälemäisiä kerääntymiä, tappimaisia kerääntymiä ja sienen lakkia muistuttavia kerääntymiä. Virtaavan väliaineen injektoimisen jatkuessa jähmettyneiden kerääntymien koko pyrkii suurenemaan niin kauan, kunnes lämpötasapaino on saavutettu. Kerääntymien koko voi suurentua siten, että putken suu tukkeutuu. Tästä syystä on toistaiseksi oletettu, ettei hiilivetyä voida injektoida suhteellisen suuria määriä vaipaksi hapen ympärille kerääntymisongelmiin törmäämättä.

Happea ja hiilivetyjä on myös käytetty raffinoitaessa kuparia, erityisesti anodilaatuista kuparia. Anodilaadun kupari raffinoidaan malmista lukuisissa vaiheissa, ennen kuin siitä voidaan valaa anodeja tai muita tuotteita. Ensimmäisten vaiheiden, eli rikastuksen, sulatuksen ja muuntamisen, tehtävänä on malmin väkevöiminen ja puhdistaminen raakatuotteeksi eli raakakupariksi ("blister" copper). Lopullisessa raffinoituvaiheessa (joka tunnetaan alalla "kuumaraffinointina") pelkistetään raakakuparissa läsnäolevat happi- ja rikkipitoiset epäpuhtaudet, tyypillisesti pitoisuuksista 0,70 % ja 0,05 %, vastaavasti, pitoisuuksiin, jotka ovat alle 0,20 % ja 0,005 %, vastaavasti. Myös romuista sulatettu kupari voidaan kuumaraffinoida, joko yhdessä uuden raakakuparin kanssa tai sellaisenaan.

Kuumaraffinointi toteutetaan tavallisesti lämpötilassa, joka on alueella noin 2000...2200 °F (1090...1200 °C), kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa happipitoista kaasua injektoidaan sulasta raakakuparista muodostetun hauteen pinnan alapuolelle rikin hapettamiseksi rikkioksidiksi, joka tämän jälkeen nousee pinnalle ja poistuu hauteesta. Toisessa vaiheessa, joka tunnetaan alalla "hämmennyksenä", sulan kuparin sisältämä liuennut happi poistetaan hiilivedyillä pelkistämällä. "Hämmäntäminen" toteutettiin perinteisesti upottamalla tuoreita puupaaluja sulaan hauteeseen polttoainelähteeksi. Nykyaikainen kuumaraffinointi käsittää happea sisältävästä

kaasusta ja polttoaineena toimivista hiilivedyistä muodostuvien seosten suoran injektoimisen hauteeseen. Näiden seosten suora injektoiminen, tavallisesti sulan kuparin pinnan alapuolelle sijoitettujen putkien avulla, on tehnyt kuumaraffinointiprosessin paremman säätämisen mahdolliseksi. Tähän parempaan säätöön on liittynyt eräitä vaaratekijöitä johtuen virtaavista väliaineista muodostuvien räjähtävien seosten läsnäolosta putkistossa.

Sulaan kupariin injektoidut, polttoaineena toimivat hiilivedyt krakkautuvat, jolloin muodostuu hiiltä ja vetyä, jotka reagoivat tämän jälkeen hapen kanssa hiilimonoksidia, hiilidioksidia ja vettä muodostaen. Ne poistuvat sulasta kuparihauteesta pakokaasuina. Hämmennysvaiheessa hauteesta voi poistua reagoimatta jääneitä hiilivetyjä sekä hiilinokea, jota muodostuu hiilivetyjen epätäydellisen palamisen seurauksena.

Poistokaasujen pienempi opasiteetti (läpinäkymättömyys) on tullut kaupallisesti toimivien kuparijalostamojen pääasialliseksi tavoitteeksi. Ohessa käytetyllä käsitteellä "opasiteetti" tarkoitetaan pakokaasujen kykyä estää valon läpäisevyyttä, prosentteina ilmaistuna. Estymisen puuttuminen esitetään arvona 0 %, kun taas täydellinen estyminen ilmoitetaan arvona 100 %. Sulista kuparihauteista kuumaraffinoinnin aikana poistuvat haihtuvat hiilivedyt, hiilinoki ja muut hiukkasmaiset materiaalit ovat kuparia raffinoivista laitoksista peräisin olevien emissioiden, joiden opasiteetti on suuri, pääasiallinen syy. Aikaisemmin kuparin kuumaraffinointiin käytetyissä menetelmissä on turvauduttu sulasta kuparista poistuvien pakokaasujen jälkikäsittelyyn opasiteetille asetettujen rajoitusten noudattamiseksi. Opasiteetti on eräissä tapauksissa rajoitettu arvoon 20 % tai sen alle. Kiinteän hiukkasmaisen materiaalin tapauksessa poistuvien aineiden pidättämiseen käytetään perinteisiä letkusuodatuskammioita. Toisaalta haihtuvien aineiden poistaminen pakokaasuista toteutetaan monimutkaisilla ja kalliilla jälkipolttimilla, jäähdystorneilla ja muilla järjestelmillä.

Kaupallisesti toimivien kuparijalostamojen tärkeäksi tavoitteeksi on myös tullut tehokkaampi hapenpoisto. Ohessa käytetyllä käsitteellä "hapenpoiston tehokkuus" tarkoitetaan prosentteina ilmoitettua suhdetta, joka saadaan jakamalla sulasta metallihauteesta poistuneen hapen todellinen määrä (epäpuhtaudet plus injektoitu happi) injektoitua polttoaineyksikköä kohden hapen sillä teoreettisella määrällä, joka tarvitaan reagoimaan täydellisesti polttoaineyksikön kanssa. Eräiden pienimittaisten kokeiden yhteydessä hapenpoiston tehokkuus on esitetty suureksi, mutta kuitenkin kaupallisen mitan reaktorissa (1...150 tonnia ja suuremmat reaktorit) hapenpoiston tehokkuus on pysynyt pienenä. Tällä alueella tehdyillä parannuksilla päästään siihen ilmeiseen hyötyyn, että polttoainetta kuluu vähemmän yhtä raffinoitua kupariyksikköä kohden.

Tavanomaisten kuumennus- ja raffinoitiprosessien suorituskyky on ollut tehoton lämmön huonosta talteenotosta johtuen. Ohessa käytetyllä käsitteellä "lämmön talteenotto" tarkoitetaan prosentteina ilmoitettua suhdetta, joka saadaan jakamalla lämpömäärän, jonka polttouuni luovuttaa ympäristölleen, sekä sulan hauteen lämpötilan kohottamiseen tähtäävän toimenpiteen aikana adsorboituneen lämpömäärän summa injektoidusta polttoaineesta teoreettisesti saatavalla palamislämmöllä. Tämä voidaan esittää seuraavalla yhtälöllä:

$$\text{Lämmön talteenotto-\%} = \frac{(A \times B) + C}{D \times E} \times 100$$

- missä A = hauteen lämpötilan suurenemisnopeus ($^{\circ}\text{F}/\text{min}$)
($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
B = hauteen lämpökapasiteetti (Btu/ $^{\circ}\text{F}$) (cal/ $^{\circ}\text{C}$)
C = polttouunun lämpöhäviö (Btu/min) (cal/min)
D = polttoaineen virtausnopeus (ft^3/min) (m^3/min)
E = polttoaineen palamislämpö (Btu/ ft^3) (cal/ m^3)

Tämä tehottomuus on ollut erityisen ilmeistä kupariteollisuudessa, missä kiinteän kuparin sulattamiseen on tarvittu ulko-

puolista lisälämpöä, tavallisesti ennen raffinoitivaihetta. Kiinteän kuparin lisäämistä on myös käytetty hauteen jäähdyttämiseen, kun hauteen lämpötila on ylittänyt kuumaraffinoinnissa tavanomaisen lämpötila-alueen 2000...2200 °F (1090...1200 °C). Saatavilla olevan lämmön, jota on kehittynyt itsestään kuumaraffinointita edeltävissä vaiheissa epäpuhtaan sulan kuparin ja injektoidujen materiaalien välisessä reaktiossa, talteenotto ei ole riittänyt korvaamaan hauteeseen lisätyn kiinteän kuparin jäähdyttävää vaikutusta kuumaraffinoinnissa tavanomaisesti käytetyissä lämpötiloissa.

Seuraavissa patenttijulkaisuissa esitetään epäpuhtaan sulan kuparin kuumaraffinoiminen injektoimalla siihen polttoaineena toimivia hiilivetyjä ja happea sisältävää kaasua.

US-patenttijulkaisussa nro 3 258 330 kuvataan menetelmä raakakuparin kuumaraffinoimiseksi, missä happea erilaisina pitoisuuksina sisältävää ilmaa sekoitetaan kiinteään tai nestemäiseen hiilivetyyn, joka toimii polttoaineena, ja injektoidaan sulaan kuparihauteeseen raffinoinnin kuumennus-, hapetus- ja pelkistysvaiheiden aikana. Hapen ja hiilivedyn väliset edulliset suhteet, ajatellen palamiseen teoreettisesti välttämätöntä määrää, ovat kuumentamisen aikana 80...130 %, hapettamisen aikana 100...200 % ja pelkistämisen aikana 20...100 %. Patenttijulkaisun perusteella lasketut hapenpoiston tehokkuudet ovat noin 30...40 %.

US-patenttijulkaisussa nro 3 619 177 kuvataan menetelmä happipitoisuuden pienentämiseksi sulassa kuparissa kuumaraffinoinnin aikana johtamalla hauteen pinnan alapuolella olevan yhden ainoan putken läpi kaasumaisesta hiilivedystä ja joko ilmasta, hapella rikastetusta ilmasta tai puhtaasta hapesta muodostuvaa seosta määränä, joka riittää pelkistävän kaasuseoksen muodostamiseen sulatteen sisällä. Hapenpoiston lasketut tehokkuudet olivat 46 %...93 % pienen mitan kokeissa (korkeintaan 939 paunaa sulaa kuparia), mutta laitositä kokeissa (215...325 tonnia sulaa kuparia) hapenpoiston laskettu tehokkuus putosi alueelle 31...35 %. Tässä patenttijulkaisussa esitetään edel-

leen, että sulasta kuparista poistuvien saasteiden määrä saadaan pienemmäksi puhaltamalla ilmaa ja luomalla pelkistävä kaasuseos hauteen yläpuolelle.

Tekniikan nykytilaa vastaavien menetelmien mainitut ja muut haitat huomioonottaen tämän keksinnön tavoitteena on saada aikaan menetelmä sulien materiaalien tehokkaaksi kuumentamiseksi.

Keksinnön toisena tavoitteena on saada aikaan menetelmä epäpuhtaan kuparin raffinoimiseksi, jossa menetelmässä ilman saastuminen on vähäisempää.

Keksinnön muuna tavoitteena on saada aikaan menetelmä epäpuhtaan kuparin raffinoimiseksi, jossa menetelmässä hapenpoiston tehokkuus saadaan paremmaksi.

Keksinnön tavoitteena on edelleen parantaa lämmön talteenottoa kuumaraffinointiprosessissa.

Keksinnön tavoitteena on edelleen käyttää kiinteätä kuparia kuumaraffinointiprosessissa ilman ulkoista lisälämmitystä.

Keksinnön tavoitteena on lisäksi saada aikaan kuumennus- ja raffinointiprosessi, jossa ei juurikaan muodostu putkia tukkivia kerääntymiä.

Edellä esitetyt ja muut, alan asiantuntijalle ilmeiset tavoitteet saavutetaan tässä keksinnössä oheisten patenttivaatimusten esittämällä tunnusmerkeillä. Siten keksinnön eräs piirre käsittää menetelmän sulan materiaalin kuumentamiseksi polttoaineen avulla siten, että saadaan aikaan sulaa materiaalia sisältävä haude, jonka lämpötila on yhtä suuri tai suurempi kuin polttoaineen spontaanin palamisen lämpötila, ja jonka sulan materiaalin kyky vastustaa hiilidioksidin ja veden aiheuttamaa hapettumista hauteen lämpötilassa on vähintään sama kuin nikkelillä; hauteeseen injektoidaan happea ja virtaavassa muodossa olevaa polttoainetta hauteen pinnan alapuolella sijaitsevan putken läpi siten, että vähintään osa virtaavassa muodossa

olevasta polttoaineesta muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan; injektoidun hapen määrä suhteessa virtaavassa muodossa olevan polttoaineen määrään säädetään pienemmäksi kuin 150 % siitä määrästä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen; polttoaineen annetaan palaa lämmön aikaansaamiseksi sulaan materiaaliin.

Toisessa piirteessään keksintö käsittää menetelmän happipitoisia epäpuhtauksia, liuennut happi mukaanluettuna, sisältävän epäpuhtaan sulan kuparin raffinoimiseksi siten, että epäpuhtaasta sulasta kuparista muodostetaan haude; tähän hauteeseen injektoidaan happea ja virtaavassa muodossa olevaa polttoainetta hauteen pinnan alapuolella olevan putken läpi siten, että vähintään osa polttoaineesta muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan; injektoidun hapen määrä suhteessa polttoaineeseen säädetään pienemmäksi kuin se määrä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen; minkä jälkeen injektoidun hapen, polttoaineen ja hauteessa läsnä olevien happea sisältävien epäpuhtauksien annetaan reagoida keskenään epäpuhtauksien pelkistämiseksi ja poistamiseksi.

Eräässä muussa piirteessään keksintö käsittää menetelmän hapettuvia epäpuhtauksia, rikki mukaanluettuna, ja happipitoisia epäpuhtauksia, liuennut happi mukaanluettuna, sisältävän epäpuhtaan sulan kuparin raffinoimiseksi muodostamalla epäpuhtaasta sulasta kuparista haude; jolloin tähän hauteeseen injektoidaan happea ja polttoainetta hauteen pinnan alapuolella sijaitsevan putken läpi siten, että vähintään osa polttoaineesta muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan; injektoidun hapen määrä polttoaineen suhteen säädetään sellaiseksi, että se ei ole pienempi kuin se määrä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen; injektoidun hapen, polttoaineen ja hauteessa läsnä olevien hapettuvien epäpuhtauksien annetaan reagoida keskenään hapettuvien epäpuhtauksien poistamiseksi; injektoidun hapen määrä polttoaineen suhteen asetetaan pienemmäksi kuin se määrä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen; minkä jälkeen injektoidun hapen, polttoaineen ja happipitoisten epäpuhtauksien annetaan reagoi-

da happipitoisten epäpuhtauksien pelkistämiseksi ja poistamiseksi.

Sulaan hauteeseen voidaan lisätä ylimääräistä kiinteätä materiaalia millä tahansa hetkellä kuumentamis- tai raffinoimisprosessin aikana, ja se voidaan sulattaa pääasiallisesti injektoidun polttoaineen palamisessa kehittyvän lämmön avulla, ilman ulkoista lisälämpöä.

Keksinnön eräässä suoritusmuodossa kaikki polttoaine muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan. Edullisessa suoritusmuodossa ainoastaan osa polttoaineesta muodostaa injektoitua happea ja polttoaineen loppuosaa ympäröivän vaipan. Edelleen edullisemmassa suoritusmuodossa osa polttoaineesta muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan, ja injektoitu happi muodostaa polttoaineen loppuosaa ympäröivän vaipan.

Piirustusten kuvaus

Kuva 1 esittää anodista raffinointiuunia, jota voidaan käyttää keksinnön toteuttamiseen.

Kuva 2 esittää yksivaippaista putkea, jota voidaan käyttää keksinnön eräässä suoritusmuodossa.

Kuva 3 esittää kaksivaippaista putkea, jota voidaan käyttää keksinnön edullisessa suoritusmuodossa.

Keksinnön yksityiskohtainen kuvaus

Keksintö voidaan toteuttaa missä tahansa sulien materiaalien säilyttämiseen ja käsittelyyn sopivassa astiassa, vaikka ohessa keksinnön havainnollistamiseen käytetäänkin kuparin raffinoinnissa perinteistä anodiunia. Kuva 1 esittää tällaista anodiunia, jonka osia on leikattu pois. Astia on yleisesti ottaen vaakasuoran sylinterin muotoinen, ja sitä voidaan pyörittää pituusakselinsa suhteen. Anodiunissa on suuaukko 10 materiaalin syöttämiseksi ja poistoaukko 12, jonka kautta

käsiteltyä materiaalia saadaan pois astiasta. Astian seinämään on sijoitettu yksi tai useampia putkia 14 virtaavien aineiden injektoimiseksi syvälle sulaan hauteeseen 15 kuumentamisen ja/tai raffinoimisen aikana. Tavanomaisiin anodiuuneihin kuuluu myös poltin 16, joka on tavallisesti asennettu päätyseinämään 18, palavien aineiden injektoimiseksi sulan hauteen pinnan yläpuolelle, jotta hauteeseen saataisiin lisätyksi ylimääräistä lämpöä. Kuten oheisen julkaisun perusteella todetaan, tällaisen polttimen käyttö ulkoisen lisälämmön johtamiseksi hauteeseen on tarpeetonta oheista keksintöä toteutettaessa. Anodiuuni on vuorattu tavanomaisella tulenkestävällä materiaalilla 20. Keksintö soveltuu erityisesti toteutettavaksi suuren mitan kaupallisissa laitteistoissa, joten uunin kapasiteetti voi olla 1...150 tonnia tai enemmän.

Keksinnön toteuttamiseen käytetyt putket ovat "vaippa"-tyyppisiä, mikä toimintaperiaate on hyvin tunnettua teräksen valmistuksessa, esimerkiksi edellä mainitussa Q-BOP-menetelmässä. Putki voi käsittää kaksi tai useampia, olennaisesti samankeskiä kanavia virtaavien aineiden erilliseksi johtamiseksi astiaan. Suojaava virtaava aine kulkee olennaisesti rengasmaisen ulomman kanavan läpi, ja muodostaa näin ollen vaipan muun virtaavan aineen tai muiden virtaavien aineiden ympärille, jotka injektoidaan ulomman rengasmaisen kanavan sisäpuolella olevan yhden tai useamman kanavan läpi. Kuvassa 1 esitetään kaksi putkea, mutta kuitenkin on selvää, että putkia voidaan myös käyttää vähemmän tai enemmän, riippuen injektoitujen virtaavien aineiden ja sulan materiaalin välisestä asianmukaisesta reaktiosta kooltaan kaupallisissa panoksissa.

Keksintöä toteutettaessa injektoitavat virtaavat aineet ovat happi ja polttoaine. Ohessa käytetyllä käsitteellä "polttoaine" tarkoitetaan vetyä sisältävää ainetta, joka reagoi eksotermisesti hapen kanssa, esimerkiksi siis vetyä tai hiilivetyä. Happi on mielellään kaupallista happea, eli happea, jonka puhtaus on vähintään 70 %, mielellään vähintään 90 % tai enemmän. Virtaavassa muodossa oleva polttoaine on kaasua, nestettä tai jauhemaista kiinteätä ainetta epäreaktiivisessä kaasumai-

sessä tai nestemäisessä väliaineessa. Jauhemaisia kiinteitä aineita käytettäessä hiukkaskoon tulisi olla riittävän pieni estämään syöttölinjojen ja putkien tukkeentuminen. Esimerkkeinä käyttökelpoisista kaasumaisista hiilivedyistä, jotka toimivat polttoaineena, mainittakoon kaasumaiset alkaanihiilivedyt, maakaasu (joka on pääasiallisesti metaania ja muita alempia alkaanihiilivetyjä) ja metaani, etaani, propaani sekä butaani, joita käytetään joko erikseen tai seoksena keskenään. Esimerkkeinä käyttökelpoisista nestemäisistä polttoaineista mainittakoon polttoöljy ja kerosiini. Esimerkkeinä jauhemaisista polttoaineista mainittakoon kivihiili, hiili ja sahajauhot. Polttoaineena keksinnössä käytetään mielellään maakaasua, mikäli kontaminoituminen palamattomilla hiilivedyillä tai hiiltä sisältävillä reaktiotuotteilla ei aiheuta ongelmia, missä tapauksessa käytetään vetyä.

Sulan hauteen lämpötila on sellainen, että hapen ja virtaavassa muodossa olevan polttoaineen injektoiminen hauteen pinnan alapuolelle johtaa spontaaniin palamisreaktioon. Ohessa käytetyllä käsitteellä "palaminen" tarkoitetaan hapen ja vetyä sisältävän polttoaineen kemiallista yhdistymistä, mikä johtaa veden (H_2O) ja/tai hiilidioksidin (CO_2) muodostumiseen, ja mihin liittyy lämmön vapautumista. Käytännössä hapen ja vetyä sisältävän polttoaineen stökiometriset määrät tuottavat usein myös muita reaktiotuotteita, esimerkiksi hiilimonoksidia (CO) ja vetyä.

Sulille materiaaleille, joihin keksintöä voidaan soveltaa, esitettävä tärkein vaatimus on se, että niiden on oltava nestemäisessä tilassa kyseisen injektoidun polttoaineen spontaanin palamisen lämpötilassa tai tämän lämpötilan yläpuolella. Ohessa käytetyllä käsitteellä "spontaaniin palamisen lämpötila" tarkoitetaan sitä alhaisinta lämpötilaa, jossa polttoaine ja hapen lähde palavat ilman ulkopuolista energialähdettä. Esimerkiksi maakaasun spontaanin palamisen lämpötila on noin 1400 °F (760 °C). Tämän lisäksi materiaalin on kyettävä vastustamaan hiilidioksidin ja veden aiheuttamaa hapettumista sulan hauteen lämpötilassa vähintään yhtä hyvin kuin nikkeli. Sopi-

via metalleja ovat esimerkiksi kupari, nikkeli, lyijy, palladium, osmium, kulta ja hopea. Sopivista ei-metallisista materiaaleista mainittakoon alumiinioksidi, piidioksidi sekä siliikaatteja, metallien oksideja ja kalkkia sisältävät kuonat. Esimerkkeinä materiaaleista, jotka olisivat sopimattomia niiden reaktiivisuudesta johtuen, mainittakoon rautametalli, tina ja kloridisuolat.

Happi ja polttoaine injektoidaan edellä mainittuun sulaan materiaaliin hauteen pinnan alle ulottuvan putken läpi. Vähintään osa polttoaineesta injektoidaan putkeen kuuluvan ulomman rengasmaisen kanavan läpi happea ja polttoaineesta mahdollisesti jäljellä olevaa osaa ympäröivän vaipan muodostamiseksi. Alan asiantuntijalle on selvää, että tämä "vaippa" on olemassa ainoastaan putken välittömässä läheisyydessä johtuen hapen ja polttoaineen sekoittumisesta, dispergoitumisesta ja reagoimisesta sulassa materiaalissa. Polttoaineesta muodostuva vaippa toimii jokseenkin samalla tavalla kuin alalla aikaisemminkin tunnetuissa, metallien raffinointiin käytetyissä menetelmissä, esimerkiksi Q-BOP-menetelmässä teräksen valmistamiseksi, ja estää putken liiallisen kulumisen happivirtauksen kanssa kosketuksiin joutuvassa alueessa. Kuitenkin oheisen hakemuksen puitteissa todettiin yllättäen, että polttoaineesta muodostuvaa vaippaa voidaan pitää yllä suhteellisen suurilla-kin virtausnopeuksilla, happeen verrattuna, putkia kuitenkin tukkimatta jähmettyneiden kerääntymien seurauksena. Samoin todettiin, että oheisella keksinnöllä saavutetaan odottamattomia etuja hapenpoiston tehokkuudessa ja lämmön talteenotossa.

Eräessä suoritusmuodossa kaikki putken läpi injektoitu polttoaine muodostaa vaipan hapen ympärille. Tässä suoritusmuodossa voidaan käyttää yksivaippaista putkea, joka käsittää kaksi samankeskistä kanavaa. Sopiva yksivaippainen putki esitetään kuvassa 2. Tässä kuvassa keskusputki 30 esitetään ulomman putken 32 sisäpuolella, jolloin putkeen muodostuu keskuskanava 34 happea varten ja sitä ympäröivä rengasmaisen kanava 36 polttoainetta varten.

Edullisessa suoritusmuodossa ainoastaan osa putken läpi injektoidusta polttoaineesta muodostaa vaipan hapen ja polttoaineen loppuosan ympärille. Vaikka happi ja polttoaineen loppuosa voitaisiinkin sekoittaa keskenään ja saatu seos injektoida sitten putken keskuskanavan läpi, ei tällainen etukäteen sekoittaminen kuitenkaan ole toivottavaa johtuen tulipalo- tai räjähdysvaarasta putkistossa. Happi ja polttoaineen loppuosa injektoidaan kaikkein mieluiten uloimman rengasmaisen kanavan sisäpuolella sijaitsevien erillisten kanavien läpi. On suositeltavaa, että happi muodostaa puolestaan vaipan polttoaineen loppuosan ympärille. Tässä suoritusmuodossa voidaan käyttää kuvan 3 mukaista kaksivaippaista putkea, joka käsittää kolme samankeskistä kanavaa. Kuvassa nähdään ensimmäisen ulomman putken 42 sisään jäävä keskusputki 40, joka ensimmäinen ulompi putki 42 sijaitsee puolestaan toisen ulomman putken 44 sisällä. Polttoainetta injektoidaan keskuskanavan 46 läpi sekä ulomman rengasmaisen kanavan 50 läpi, ja happi injektoidaan sisemmän rengasmaisen kanavan 48 läpi.

Edullisessa suoritusmuodossa ulomman rengasmaisen kanavan läpi johdetaan mielellään noin 10...50 prosenttia polttoaineesta. Kaksivaippaista putkea käytettäessä polttoaineen loppuosa, noin 50...90 %, johdetaan keskuskanavan läpi.

Keksinnön mukaista menetelmää voidaan käyttää lämmön johtamiseksi edellä mainittuihin suliiin materiaaleihin. Nopeaan lämmönsiirtoon päästään hapen ja polttoaineen upotetulla palamisella hauteessa, jonka lämpötila on suurempi kuin polttoaineen spontaanin palamisen lämpötila. Kun injektoidujen aineiden mahdollisimman tehokas hyväksikäyttö on toivottavaa, tulisi hapen injektoidun määrän suhteessa polttoaineeseen olla yhtä suuri kuin polttoaineen täydelliseen palamiseen välttämätön täsmällinen happimäärä tai lähellä tätä määrää. Tyydyttäviin tuloksiin voidaan kuitenkin päästä käyttämällä laajalla alueella vaihtelevia hapen ja polttoaineen välisiä suhteita. Injektoidun hapen suhteellisen määrän yläraja on mielellään 150 % polttoaineen täydelliseen palamiseen välttämättömästä happimäärästä, mieluummin 130 % tästä määrästä. Injektoidun

hapen suhteellisen määrän alaraja on mielellään noin 75 % polttoaineen täydelliseen palamiseen välttämättömästä happimäärästä, mieluummin 85 %.

Keksinnön mukaista menetelmää voidaan myös käyttää hapettuvien epäpuhtauksien (pääasiassa rikkiä, mukaanlukien kuitenkin myös sinkin, tinan ja raudan) hapettamiseen ja poistamiseen sulasta kuparista, erityisesti raakakuparista, sekä happipitoisten epäpuhtauksien (pääasiallisesti liuennutta happea) pelkistämiseen ja poistamiseen sulasta kuparista, erityisesti raakakuparista. Sulasta kuparista muodostettu haude voi sisältää lejeerinkiin johtavina aineina myös muita metalleja. Hapetus ja pelkistys toteutetaan tavallisesti peräkkäin, mutta oheisen keksinnön mukaisesti ne voidaan toteuttaa kuitenkin myös erikseen ja toisistaan riippumatta. Tämän lisäksi prosessissa samanaikaisesti vapautuva lämpö tekee mahdolliseksi sen, että sulaan kupariin voidaan lisätä kiinteätä kuparia ja sulattaa se sulan kuparin hauteessa, sen normaalilla lämpötila-alueella noin 2000...2200 °F (1090...1200 °C) ilman, että sulaan kupariin olisi johdettava ulkopuolista lisälämpöä.

Kuparin epäpuhtauksien hapettaminen toteutetaan injektoimalla happea ja polttoainetta suhteellisia määriä siten, ettei hapen injektoitu määrä ole pienempi kuin polttoaineen täydelliseen palamiseen teoreettisesti välttämätön määrä. Injektoitu happimäärä on mielellään korkeintaan noin 450 %, mieluummin korkeintaan noin 300 % siitä määrästä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen. Hapettuvien epäpuhtauksien poistaminen toteutetaan vaivattomimmin injektoimalla happea enemmän kuin se määrä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen. Tämän jälkeen epäpuhtauksien poistaminen tapahtuu pääasiallisesti injektoidun hapen ylimäärällä hapettamalla, ja vaahdottamalla epäpuhtauden hauteen pintaan ja pois hauteesta. Jopa silloinkin, kun injektoitu happimäärä on vain suurin piirtein yhtä suuri kuin se määrä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen, ja kun läsnä on vain vähän tai ei lainkaan ylimäärin injektoitua happea, reagoimattomat palamistuotteet kuten hiilidioksidi ja vesihöyry voivat puhdistaa

hauteen epäpuhtauksista. Oletetaan, että näiden kaasujen kuplat toimivat kiteytymiskeskuksina liuenneen hapen hapettaessa epäpuhtauksia, rikki mukaanlukien. Hapen ja polttoaineen suhteelliset virtausnopeudet pidetään edellä esitetyillä tasoilla niin kauan, kunnes sulasta kuparista on saatu poistetuksi toivottu määrä rikkiä ja muita hapettuvia epäpuhtauksia. Keksinön mukaisella menetelmällä on päästy niinkin pieniin rikkipitoisuuksiin kuin 0,005 % tai sen alle.

Happipitoisten epäpuhtauksien pelkistäminen sulassa kuparissa toteutetaan injektoimalla happea ja polttoainetta suhteellisinä määrinä siten, että injektoitu happimäärä on pienempi kuin se määrä, joka tarvittaisiin teoreettisesti polttoaineen täydelliseen palamiseen. Injektoitu happimäärä on mielellään vähintään noin 25 %, mieluummin vähintään noin 33 % siitä määrästä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen. Injektoitu happi ja polttoaine reagoivat, jolloin polttoaineen komponentit hapettuvat osittain. Tämän reaktion pääasialliset tuotteet ovat vety, sekä käytettäessä polttoaineena hiilivetyjä, hiilimonoksidikaasu. Muita tuotteita ovat pienet määrät vesihöyryä ja mikäli polttoaineena käytetään hiiivetyjä, hiilidioksidikaasu. Tämän jälkeen lsänäolevat pääasialliset reaktiotuotteet voivat reagoida liuenneen hapen ja muiden happipitoisten epäpuhtauksien kanssa. Hapen ja polttoaineen suhteelliset virtausnopeudet säilytetään edellä mainituilla tasoilla niin kauan, kunnes sulasta kuparista saadaan poistetuksi toivottu määrä liuennutta happea ja muita happipitoisia epäpuhtauksia. Oheisen keksinnön mukaisella menetelmällä on päästy niinkin pieniin happipitoisuuksiin kuin 0,05 % tai sen alle.

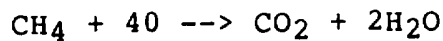
Tarkasteltaessa kuparin hapettamis- ja pelkistämisreaktioiden koko edullista suoritusmuotoa voidaan todeta, että injektoidun hapen määrä vaihtelee noin 25...450 prosenttiin siitä määrästä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen. Kun polttoaineena käytetään metaania, on injektoidun happikaasun ja metaanin välinen stökiometrinen suhde täydellistä palamista varten 2100 °F (1150 °C) lämpötilassa 2:1. Tämä tarkoittaa

sitä, että hapen volumetrinen virtausnopeus on yhteensä noin 50...900 % metaanin volumetrisestä virtausnopeudesta. Kääntäen, metaanin tilavuusvirtausnopeus on yhteensä noin 11...200 % hapen tilavuusvirtausnopeudesta.

Siinä tapauksessa, että kaikki polttoaine tai sen suurin osa injektoidaan siten, että se muodostaa vaipan hapen ympärille. polttoaineen tilavuusvirtausnopeus voi olla 200 % tai enemmän hapen tilavuusvirtausnopeudesta pelkistysreaktion aikana. Vaipan muodostavan polttoaineen tämä suhteellinen määrä on selvästi suurempi kuin muissa metallien raffinoitimenetelmissä käytetty määrä. Huolimatta virtaavan aineen virtauksen huomattavasta jäädyttävästä vaikutuksesta (sekä lisäksi endotermisestä hajoamisesta siinä tapauksessa, että polttoaineena käytetään hiilivetyjä) yllättäen todettiin kuitenkin, että jähmettyneet kerääntymät eivät aiheuta ongelmia raffinoitaessa sulaa kuparia kooltaan kaupallisina panoksina. Vaikka pieni määrä kuparia jähmettyykin putken läheisyydessä, on tukkeutumisaste kuitenkin ollut alhainen, mikä nähdään siitä, että polttoaineen injektoimiseen hauteen pinnan alapuolelle on tarvittu noin 30 % suurempi virtaavan aineen paine verrattuna injektointiin tyhjään raffinoitiasiastaan.

Sulaan hauteeseen voidaan lisätä kiinteätä materiaalia ja sulattaa se millä tahansa hetkellä sinä aikana, kun hauteeseen injektoidaan happea ja polttoainetta, polttoaineen palaessa kehittyvän lämmön ansiosta. Mikäli sula materiaali on kuparia, voidaan sulan kuparin lisääminen ja sulattaminen toteuttaa samanaikaisesti kuumentamisen tai rikin tai hapen poistamisen kanssa, ja tämä lisääminen ja sulattaminen voidaan toteuttaa kuparin tavanomaisessa kuumaraffinoinnissa vallitsevalla lämpötila-alueella, joka on noin 2000...2200 °F (1090...1200 °C). Keksintö tekee mahdolliseksi kiinteän kuparin lisäämisen määränä, joka on vähintään 5...10 %, ja jopa 50 % tai enemmän sulan kuparin koko raffinoitavasta massasta. Keksinnön puitteissa kokeiltu kiinteän kuparin lisääminen rajoittui 50 %:iin ainoastaan käytetyn uunin geometrisistä ulottuvuuksista johtuen.

Keksintöä toteutettaessa päästiin hapenpoiston suureen tehokkuuteen kuparin pelkistämisen aikana. Tehokkuudet olivat vähintään 60 %, niiden ulottuessa jopa arvoon 71 %. Nämä lukemat määritettiin käyttäen polttoaineena metaania. Reaktion nimellislämpötilassa, joka on noin 2100 °F (1150 °C), hapenpoisto tapahtuu seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti:



jonka mukaan hapen teoreettinen kulutus on 0,165 paunaa metaanin yhtä kuutiojalkaa kohden (0,002 kg/m³). Hapenpoiston samansuuruiset tehokkuudet ovat odotettavia muita polttoaineita käytettäessä. Nämä hapenpoiston tehokkuuteen liittyvät arvot saatiin kooltaan kaupallisissa panoksissa, joiden suuruus oli vähintään 160 tonnia.

Keksintöä sovellettaessa myös lämmön talteenotto oli erittäin suuri. Lämmön talteenottoon liittyvät arvot määritettiin raffinoimalla raakakuparia kuvassa 1 esitetyn kaltaisessa anodiunissa, jonka halkaisija oli 13 jalkaa ja pituus 30 jalkaa (3,96 m ja 7,6 m, vastaavasti). Raffinoinnin aikana vallitsevassa lämpötilassa, joka oli noin 2100 °F (1150 °C), jatkuvan lämpöhäviön ympäristöön laskettiin olevan noin 70 000 Btu/min (17640 kcal/min). Siinä tapauksessa, että kaikki polttoaine muodostaa happea ympäröivän vaipan, oli todellisissa kaupallisissa operaatioissa lämmön talteenotto yli 70 %. Siinä tapauksessa, että vain osa polttoaineesta muodostaa vaipan hapen ja polttoaineen loppuosan ympärille, todettiin jälleen kaupallisissa operaatioissa lämmön talteenoton arvoksi yli 90 %. Vaikka täsmällistä syytä tähän ei tiedetäkään, oletetaan kuitenkin, että lämmön suurempi talteenotto johtuu hapen ja polttoaineen täydellisemmästä sekoittumisesta ja palamisesta edullisessa suoritusmuodossa.

Keksintö johtaa kuparin pelkistämisen aikana poistuvien pakokaasujen opasiteetin merkittävään parantumiseen. Sulan kuparin pelkistämisen aikana pakokaasujen opasiteetiksi saadaan sään-

nöllisesti vähemmän kuin noin 20 %, mikäli injektoitu happimäärä on noin 25...33 % määrästä, joka tarvitaan polttoaineen täydelliseen palamiseen. Näissä olosuhteissa hauteesta poistuvia pakokaasuja ei ole välttämätöntä käsitellä edelleen. Kun injektoitu happimäärä on tämän alueen yläpuolella, mutta kuitenkin vähemmän kuin polttoaineen täydelliseen palamiseen välttämätön määrä, tarvitaan letkusuodatuskammiota tai vastaavaa opasiteetin saattamiseksi arvon 20 % alapuolelle. Opasiteetin alhaiset arvot ovat lisäosoitus keksinnön hyvästä suorituskyvystä ja odottamattomasta parannuksesta nykyiseen tekniikan tasoon verrattuna.

Seuraavilla esimerkeillä pyritään havainnollistamaan keksintöä sitä kuitenkaan millään tavalla rajoittamatta. Esimerkit ovat edustava otos yli 50 kuumennetusta erästä, jotka raffinoitiin kuvassa 1 esitetyn kaltaisessa sylinterimäisessä anodiunissa, jonka ulottuvuudet olivat 13 x 30 jalkaa (3,96 x 7,6 m), ja jonka nimelliskapasiteetti on 250 lyhyttä tonnia (227 metristä tonnia) raakakuparia. Kaksi vaippatyypistä putkea sijoitettiin noin 2,5 jalan (0,76 m) päähän päätyseinämistä ja 2,5...3 jalan (0,76...0,91 m) syvyydelle hauteen pinnasta prosessikaasujen injektointia varten. Uunin yhteen päätyseinämään oli sijoitettu poltin lämpötilan säilyttämiseksi valamisen ja joutoajan aikana; keksinnön mukaista menetelmää havainnollistavat tulokset on määritetty ilman, että päätyseinämän poltin olisi ollut toiminnassa. Kaasujen virtausnopeudet ilmoitetaan tilavuusvirtausnopeuksina yksikössä normaalikuutiojalkaa minuutissa, ja ne määritettiin 70 °F lämpötilassa ja 14,7 psi:n paineessa (normaalikuutiometriä minuutissa 21 °C lämpötilassa yhden ilmakehän paineessa). Käytetyn hapen puhtaus oli 99 %.

Esimerkeissä 1...4 havainnollistetaan keksinnön mukaisen menetelmän toteuttamista käyttäen kaksivaippaisia putkia, jotka ovat kuvassa 3 kuvatun putken kaltaisia, jolloin virtaavassa muodossa olevaa polttoainetta injektoidaan keskuskanavan ja uloimman rengasmaisen kanavan läpi, ja jolloin happi injektoidaan sisemmän rengasmaisen kanavan läpi. Polttoaineen mainittu jakautuminen keskuskanavan ja uloimman rengasmaisen kanavan

välille pysyi vakiona raffinoimisen aikana kussakin esimerkissä.

Esimerkki 1

Anodiuniin laitettiin 225 lyhyttä tonnia (204 metrissä tonnia) sulaa raakakuparia. Rikin ja hapen alkuperäiset pitoisuudet tässä panoksessa olivat 0,022 % ja 0,1933 % vastaavasti.

Hauteeseen puhallettiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:1. Hapen virtausnopeus oli 400 ft³/min (11,3 m³/min) ja maakaasun virtausnopeus oli 200 ft³/min (5,7 m³/min). Kaasujen puhaltamiseen käytettiin kaksivaippaista putkea, jolloin 45 % maakaasusta injektoitiin uloimman rengasmaisen kanavan läpi ja loppuosa injektoitiin keskuskanavan läpi. Happi injektoitiin sisemmän rengasmaisen kanavan läpi. Puhaltamista jatkettiin 37 minuuttia. Tänä aikana hauteeseen lisättiin vähitellen 9,6 lyhyttä tonnia (8,7 metrissä tonnia) romumetallia ja se sulatettiin hauteessa; hauteen lämpötila nousi arvosta 2042 °F (1116 °C) alueella 2055...2100 °F (1124...1150 °C) olevaan arvoon. Tämän ensimmäisen puhallusvaiheen aikana saatavilla olevan lämmön talteenotto oli 95 %. Puhallusvaiheen jälkeen rikin ja hapen pitoisuudet olivat 0,003 % ja 0,270 %, vastaavasti.

Tämän jälkeen hapen ja maakaasun virtaukset asetettiin siten, että hapen virtausnopeus oli 167 ft³/min (4,7 m³/min) ja maakaasun virtausnopeus oli 250 ft³/min (7,1 m³/min), jolloin tilavuusvirtauksien suhde oli 2:3. Tämä toinen puhallusvaihe kesti 52 minuuttia. Tänä aikana hauteeseen lisättiin vähitellen 5,4 lyhyttä tonnia (4,9 metrissä tonnia) romukuparia, ja se sulatettiin; hauteen lämpötila oli alueella 2057...2148 °F (1125...1176 °C). Saatavilla olevan lämmön talteenotto tämän vaiheen aikana oli 93 % ja hapenpoiston tehokkuus 60 %. Happipitoisuus pieneni arvoon 0,093 %.

Tässä vaiheessa uunista poistettiin 72 lyhyttä tonnia (66 metrissä tonnia) kuparia, joka valettiin anodeiksi. Rikin ja

hapen pitoisuudet valetuissa anodeissa olivat 0,003 % ja 0,11 %, vastaavasti.

Sulasta panoksesta jäljelle jääneeseen osaan puhallettiin kerran happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:1. Hapen virtausnopeus oli 400 ft³/min (11,3 m³/min) ja maakaasun virtausnopeus oli 200 ft³/min (5,7 m³/min). Kolmas puhallusvaihe kesti 71 minuuttia, jona aikana hauteessa sulatettiin 17 lyhyttä tonnia (15,5 metristä tonnia) romua. Hauteen lämpötila oli alueella 2064...2145 °F (1129...1174 °C). Tämän vaiheen aikana saatavilla olevan lämmön talteenotto oli 96 %. Panoksen happipitoisuus nousi arvoon 0,13 %.

Neljännessä puhallusvaiheessa, joka kesti 66 minuuttia, hauteeseen puhallettiin 300 ft³/min (8,5 m³/min) happea ja 200 ft³/min (5,7 m³/min) maakaasua, jolloin hapen ja maakaasun tilavuusvirtauksien välinen suhde oli 3:2. Tämän puhallusvaiheen aikana hauteessa sulatettiin yhteensä 13 lyhyttä tonnia (11,8 metristä tonnia) romua. Happipitoisuus laski arvoon 0,068 % ja saatavilla olevan lämmön talteenotto oli 94 %.

Viidennessä ja viimeisessä puhallusvaiheessa, jonka pituus oli 48 minuuttia, hauteeseen johdettiin 167 ft³/min (4,7 m³/min) happea ja 250 ft³/min (7,1 m³/min) maakaasua, jolloin hapen ja maakaasun tilavuusvirtauksien välinen suhde oli 2:3. Tämän puhallusvaiheen aikana hauteeseen lisättiin 12 lyhyttä tonnia (10,9 metristä tonnia) romua. Lopullinen happipitoisuus oli 0,032 %. Saatavilla olevan lämmön talteenotto oli 94 %.

Esimerkki 2

Anodiuniin laitettiin 161 lyhyttä tonnia (147 metristä tonnia) sulaa raakakuparia, joka sisälsi 0,265 % happea ja 0,0096 % rikkiä. Sulaan hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:1, hapen virtausnopeuden ollessa 400 ft³/min (11,3 m³/min) ja maakaasun

virtausnopeuden ollessa $200 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($5,7 \text{ m}^3/\text{min}$). Injektoitiin käytettiin kaksivaippaisia putkia, jolloin 35 % maakaasusta injektoitiin putkeen kuuluvan uloimman rengasmaisen kanavan läpi ja loput 65 % injektoitiin keskuskanavan läpi.

Tämän 96 minuuttia kestävän puhallusvaiheen aikana, edellä esitettyä suhdetta käyttäen, hauteeseen lisättiin 16 lyhyttä tonnia (14,6 metristä tonnia) romua ja se sulatettiin hauteessa. Hauteen lämpötila kohosi arvosta $1980 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1082 \text{ }^\circ\text{C}$) arvoon $2090 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1143 \text{ }^\circ\text{C}$) tänä aikana. Tässä vaiheessa laskettu lämmön talteenotto oli 97 %. Hauteen happipitoisuus oli laskenut arvoon 0,233 % ja rikkipitoisuus oli laskenut arvoon 0,0004 %.

Tämän jälkeen hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien välinen suhde oli 2:3, hapen virtausnopeuden ollessa $167 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($4,7 \text{ m}^3/\text{min}$) ja maakaasun virtausnopeuden ollessa $250 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($7,1 \text{ m}^3/\text{min}$). Kun puhaltamista oli jatkunut tätä suhdetta käyttäen 40 minuuttia, oli happipitoisuus pudonnut arvoon 0,071 % ja hauteen lämpötila oli kohonnut arvosta $2060 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1127 \text{ }^\circ\text{C}$) arvoon $2106 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1152 \text{ }^\circ\text{C}$). Tämän vaiheen aikana laskettu lämmön talteenotto oli 98 % ja hapenpoiston tehokkuus oli 68 %. Tämän vaiheen aikana pakokaasuissa ei myöskään todettu nokea, ja pakokaasujen opasiteetti oli keskimäärin 15 %.

Esimerkki 3

Anodiuniin laitettiin 239 lyhyttä tonnia (217 metristä tonnia) sulaa raakakuparia, joka sisälsi 0,342 % happea ja 0,276 % rikkiä. Sulaan hauteeseen injektoitiin ilmaa nopeudella $500 \text{ ft}^3/\text{min}$, ($14,2 \text{ m}^3/\text{min}$) käyttäen kaksivaippaisia putkia. Kun ilmaa oli puhallettu mainittua suhdetta käyttäen 70 minuuttia, oli rikkipitoisuus laskenut arvoon 0,005 % ja happipitoisuus oli noussut arvosta 0,342 % arvoon 0,354 %.

Sitten hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:3, hapen virtausnopeuden ollessa $167 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($4,7 \text{ m}^3/\text{min}$) ja maakaasun virtausnopeuden

ollessa $250 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($7,1 \text{ m}^3/\text{min}$). Tässä vaiheessa käytettiin jälleen kaksivaippaisia putkia, ja 41 % maakaasusta injektoidiin uloimman rengasmaisen kanavan läpi. Tällä suhteella puhaltaminen kesti 81 minuuttia, jona aikana hauteeseen lisättiin 8 lyhyttä tonnia ($7,3 \text{ metristä tonnia}$) romua ja se sulatettiin. Hauteen happipitoisuus laski arvosta 0,354 % arvoon 0,080 % ja hauteen lämpötila nousi tänä aikana arvosta $2127 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1164 \text{ }^\circ\text{C}$) arvoon $2142 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1172 \text{ }^\circ\text{C}$). Laskettu lämmön talteenotto oli 97 %, hapenpoiston tehokkuus oli 71 % ja pakokaasujen opasiteetti oli keskimäärin 15 % tässä vaiheessa.

Esimerkki 4

Anodiuniin laitettiin 197 lyhyttä tonnia ($179 \text{ metristä tonnia}$) sulaa raakakuparia, joka sisältää 0,298 % happea ja 0,0010 % rikkiä. Hauteeseen injektoidiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:1, hapen virtausnopeuden ollessa $400 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($11,3 \text{ m}^3/\text{m}$) ja maakaasun virtausnopeuden ollessa $200 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($5,7 \text{ m}^3/\text{min}$). Injektoiminen toteutettiin kaksivaippaisilla putkilla, ja 45 % maakaasusta injektoidiin uloimman rengasmaisen kanavan läpi.

Puhaltaminen tätä suhdetta käyttäen kesti 42 minuuttia, jona aikana hauteeseen lisättiin yhteensä 12 tonnia romua ja se sulatettiin hauteessa. Hauteen lämpötila kohosi arvosta $2073 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1134 \text{ }^\circ\text{C}$) arvoon $2142 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1172 \text{ }^\circ\text{C}$) tämän vaiheen aikana, ja laskettu lämmön talteenotto oli 93 %.

Tämän jälkeen hauteeseen injektoidiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtausten suhde on 1:1, hapen virtausnopeuden ollessa $300 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($8,5 \text{ m}^3/\text{min}$) ja maakaasun virtausnopeuden ollessa $300 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($8,5 \text{ m}^3/\text{min}$). Puhaltaminen tätä suhdetta käyttäen kesti 43 minuuttia, minkä jälkeen hauteessa sulatettiin yhteensä 6 lyhyttä tonnia ($5,5 \text{ metristä tonnia}$) romua, ja hauteen lämpötila nousi arvosta $2062 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1128 \text{ }^\circ\text{C}$) arvoon $2128 \text{ }^\circ\text{F}$ ($1164 \text{ }^\circ\text{C}$). Täna aikana laskettu lämmön talteenotto oli 88 %. Hauteen hapipitoisuus laski arvoon 0,185 %.

Tämän jälkeen hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:3, jolloin hapen virtausnopeus oli 167 ft³/min (4,7 m³/min) ja maakaasun virtausnopeus oli 250 ft³/min (7,1 m³/min). Puhaltaminen tätä suhdetta käyttäen kesti 39 minuuttia, minkä jälkeen hauteen lämpötila oli kohonnut arvosta 2070 °F (1132 °C) arvoon 2106 °F (1152 °C), ja hauteen happipitoisuus oli laskenut edelleen arvosta 0,185 % arvoon 0,064 %. Tämän vaiheen aikana laskettu lämmön talteenotto oli 92 %, hapenpoiston tehokkuus oli 64 % ja pakokaasujen keskimääräinen opasiteetti oli 15 %.

Esimerkeissä 5 ja 6 havainnollistetaan keksinnön mukaisen menetelmän toteuttamista käyttäen kuvassa 2 esitetyn kaltaisia yksivaippaisia putkia, jolloin virtaavassa muodossa oleva polttoaine injektoidaan ulomman rengasmaisen kanavan läpi ja happi injektoidaan keskuskanavan läpi.

Esimerkki 5

Anodiuniin laitettiin 189 lyhyttä tonnia (172 metristä tonnia) sulaa raakakuparia, joka sisälsi 0,360 % happea ja 0,0207 % rikkiä. Hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 4:3, hapen virtausnopeuden ollessa 400 ft³/min (11,3 m³/min) ja maakaasun virtausnopeuden ollessa 300 ft³/min (8,5 m³/min).

Puhaltaminen tätä suhdetta käyttäen kesti 74 minuuttia, jona aikana hauteeseen lisättiin 5,3 lyhyttä tonnia (4,8 metristä tonnia) romua ja se sulatettiin hauteessa. Hauteen lämpötila nousi arvosta 2079 °F (1137 °C) arvoon 2138 °F (1170 °C). Tänä aikana laskettu lämmön talteenotto oli 69 %. Kuparin happipitoisuus laski arvoon 0,316 % ja rikkipitoisuus laski arvoon 0,0075 %.

Tämän jälkeen hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde on 2:3, hapen virtausnopeuden ollessa tällöin 200 ft³/min (5,7 m³/min) ja maakaasun virtausnopeuden ollessa 300 ft³/min (8,5 m³/min). Puhaltaminen

tätä suhdetta käyttäen kesti 61 minuuttia, minkä jälkeen hauteen lämpötila oli kohonnut arvosta 2094 °F (1146 °C) arvoon 2137 °F (1170 °C). Laskettu lämmön talteenotto tänä aikana oli 71 %. Tänä aikana hauteen happipitoisuus laski edelleen arvoon 0,031 %. Hapenpoiston tehokkuus oli 62 %.

Esimerkki 6

Anodiuniin laitettiin 222 lyhyttä tonnia (202 metristä tonnia) sulaa raakakuparia, joka sisälsi happea 0,319 % ja rikkiä 0,0146 %. Sulaan hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua käyttäen yksivaippaisia putkia. Hapen virtausnopeus oli 400 ft³/min (11,3 m³/min) ja maakaasun virtausnopeus oli 300 ft³/min (8,5 m³/min). Puhaltaminen tätä suhdetta käyttäen kesti 98 minuuttia, jona aikana hauteeseen lisättiin 6 lyhyttä tonnia (5,5 metristä tonnia) romua ja se sulatettiin hauteessa. Hauteen lämpötila nousi arvosta 2067 °F (1131 °C) arvoon 2135 °F (1168 °C) ja happipitoisuus laski arvoon 0,274 %. Tänä aikana laskettu lämmön talteenotto oli 73 %.

Tämän jälkeen sulaan hauteeseen injektoitiin happea ja maakaasua siten, että tilavuusvirtauksien suhde oli 2:3, 53 minuutin ajan, hapen virtausnopeuden ollessa 200 ft³/min (5,7 m³/min) ja maakaasun virtausnopeuden ollessa 300 ft³/min (8,5 m³/min). Tämän vaiheen aikana hauteen lämpötila nousi arvosta 2120 °F (1160 °C) arvoon 2150 °F (1177 °C), ja laskettu lämmön talteenotto oli 71 %. Tänä aikana hauteen happipitoisuus laski edelleen arvoon 0,064 %. Hapenpoiston tehokkuus oli 70 %.

Vaikka keksintö kuvataankin erityisten suoritusmuotojensa avulla, on kuitenkin alan asiantuntijalle selvää, että muunnokset ovat mahdollisia keksinnön hengestä ja tavoitteista poikkeamatta, ja että keksinnön on tarkoitus kattaa kaikki muutoksensa ja muunnoksensa, jotka kuvattiin edellä keksinnön havainnollistamiseksi keksinnön hengestä ja tavoitteista kuitenkään poikkeamatta.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä sulan materiaalin jalostamiseksi, jonka materiaalin kyky vastustaa hiilidioksidin ja veden aiheuttamaa hapettumista hauteen lämpötilassa on vähintään sama kuin nikkelin, t u n n e t t u siitä, että menetelmä käsittää vaiheet, joissa:
- a) muodostetaan sulaa materiaalia sisältävä haude, joka sisältää hapettuvia epäpuhtauksia ja happea sisältäviä epäpuhtauksia;
 - b) mainittuun hauteeseen injektoidaan happea ja virtaavassa muodossa olevaa polttoainetta hauteen pinnan alapuolella sijaitsevan putken läpi siten, että vähintään osa mainitusta polttoaineesta muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan,
 - c) injektoidun hapen määrä suhteessa virtaavassa muodossa olevaan polttoaineeseen säädetään vähintään sellaiseksi, joka tarvitaan mainitun polttoaineen täydelliseen palamiseen;
 - d) saatetaan injektoitu happi, polttoaine ja hapettuvat epäpuhtaudet reagoimaan hauteessa mainittujen hapettuvien epäpuhtauksien poistamiseksi;
 - e) asetetaan injektoidun hapen määrä suhteessa virtaavassa muodossa olevaan nestemäiseen polttoaineeseen määrään, joka on pienempi kuin se määrä, joka tarvitaan mainitun polttoaineen täydelliseen palamiseen;
 - f) saatetaan injektoitu happi, polttoaine ja happea sisältävät epäpuhtaudet reagoimaan hauteessa mainittujen happea sisältävien epäpuhtauksien poistamiseksi; ja
 - g) minkä tahansa vaiheen b)...f) aikana:
 - (I) lisätään kiinteää materiaalia mainittuun sulaan materiaaliin;
 - (II) sulatetaan mainittu kiinteä materiaali hauteessa ensisijaisesti vaiheissa d) tai f) kehitetyllä lämmöllä; ja
 - (III) mainitun hauteen lämpötila säilytetään vähintään arvossa, joka on noin 2000°F (1090°C) siinä tapauksessa, että sulana materiaalina on kupari, tuomatta hauteeseen ulkopuolista lisälämpöä.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että injektoidun hapen puhtausaste on vähintään 80%.
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että kaikki mainittu virtaavassa muodossa oleva polttoaine muodostaa injektoitua happea ympäröivän vaipan.
4. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että osa mainitusta virtaavassa muodossa olevasta polttoaineesta muodostaa sekä injektoitua happea että mainitun polttoaineen jäljelle jäävää osaa ympäröivän vaipan.
5. Patenttivaatimuksen 1 tai 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaipan muodostava osa virtaavassa muodossa olevasta polttoaineesta on noin 10...50 % mainitun putken läpi injektoidun polttoaineen kokonaismäärästä.
6. Patenttivaatimuksen 1 tai 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että injektoitu happi muodostaa vaipan mainitun polttoaineen jäljelle jäävän osan ympärille.
7. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu kiinteä aine sulamisen jälkeen käsittää vähintään 5 % mainitusta sulasta materiaalista.
8. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu virtaavassa muodossa oleva polttoaine valitaan vedyn, maakaasun, metaanin, etaanin, propaanin, butaanin sekä niiden yhdistelmien muodostamasta ryhmästä.
9. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheessa c) injektoidun hapen määrä on noin 100...450 %, edullisesti noin 100...300 % siitä määrästä, joka tarvitaan mainitun virtaavassa muodossa olevan polttoaineen täydelliseksi polttamiseksi.

10. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheessa e) injektoidun hapen määrä on noin 25 prosentista, edullisesti noin 33 prosentista alle 100 prosenttiin siitä määrästä, joka tarvitaan mainitun virtaavassa muodossa olevan polttoaineen täydelliseksi polttamiseksi.

11. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaiheessa e) mainitun injektoidun hapen määrä on noin 25...33 % siitä määrästä, joka tarvitaan mainitun virtaavassa muodossa olevan polttoaineen täydelliseksi polttamiseksi, ja että vaiheessa f) muodostuu reaktiotuotteita, jotka poistuvat hauteesta poistokaasuna, jolloin poistokaasun himmeys on korkeintaan 20 %.

12. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu materiaali on metallia, joka valitaan kuparin, nikkelin, palladiumin, osmiumin, kullan ja hopean muodostamasta ryhmästä.

13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu metalli on kuparia.

14. Jonkin patenttivaatimuksen 1...11 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että mainittu materiaali on muuta kuin metallia, joka valitaan piidioksidin, alumiinioksidin sekä silikaatteja, metallien oksideja ja kalkkia sisältävien kuona-aineiden muodostamasta ryhmästä.

Patentkrav

1. Förfarande för raffinering av smultet material som har minst samma motstånd mot oxidation av koldioxid och vatten vid badets temperatur som nickel, k ä n n e t e c k n a t av att förfarandet omfattar stegen, där
 - a) man åstadkommer ett bad av smultet material med oxiderbara föreningar och syrehaltiga föreningar;
 - b) man injicerar syre och ett bränsle i flytande form in i badet genom en forma under ytan på badet så, att åtminstone en del av bränslet i flytande form bildar ett hölje som omger det injicerade syret;
 - c) man kontrollerar mängden av det injicerade syret i förhållande till bränslet i flytande form till ett värde som är minst lika med det som behövs för fullständig förbränning av bränslet;
 - d) man bringar det injicerade syret, bränslet samt oxiderbara föreningar att reagera i badet för att avlägsna nämnda oxiderbara föreningar;
 - e) man justerar mängden av nämnda syre som injiceras i förhållande till bränslet i flytande form till ett värde som är mindre än det som behövs för fullständig förbränning av bränslet;
 - f) man bringar nämnda injicerade syre, bränslet och syrehaltiga föreningar att reagera i badet för att avlägsna nämnda syrehaltiga föreningar; och
 - g) under vilket som helst av stegen b)... f)
 - (I) man tillför fast material till det smultna materialet;
 - (II) man smälter det fasta material i badet primärt medelst den värme som genereras i stegen d) eller f); och
 - (III) man bibehåller badets temperatur vid minst ca 2000°F (1090°C) för det fall att det smultna materialet är koppar, utan att tillföra ytterligare extern värme.
2. Förfarande enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t av att det injicerade syret har en renhetsgrad om minst 80%.

3. Förfarande enligt patentkravet 1 eller 2, k ä n n e - t e c k n a t av att hela mängden av bränslet i flytande form bildar ett hölje kring det injicerade syret.
4. Förfarande enligt patentkravet 1 eller 2, k ä n n e - t e c k n a t av att en del av bränslet i flytande form bildar ett hölje som omger både det injicerade syret och resten av bränslet i flytande form.
5. Förfarande enligt patentkravet 1 eller 3, k ä n n e - t e c k n a t av att bränslet i flytande form som bildar ett hölje utgör ca 10...50 % av det totala bränsle som injiceras genom forman.
6. Förfarande enligt patentkravet 1 eller 3, k ä n n e - t e c k n a t av att det injicerade syret bildar ett hölje som omger den återstående delen av bränslet.
7. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att det fasta materialet utgör minst 5 % av det smultna materialet.
8. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att bränslet i flytande form väljs ur en grupp som består av väte, naturgas, metan, etan, propan, butan och kombinationer av dessa.
9. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att mängden av syre som injiceras i steg c) är ca 100...450 %, fördelaktigt ca 100...300 % av den mängd som behövs för en fullständig förbränning av bränslet i flytande form.
10. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att mängden av syre som injiceras i steg e) är från 25 %, fördelaktigt från 33 % till mindre än 100 % av den mängd som behövs för en fullständig förbränning av bränslet i flytande form.

11. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att den mängd syre som injiceras under steget e) är ca 25...33 % av den mängd som behövs för en fullständig förbränning av bränslet, och att under steg f) bildas reaktionsprodukter som avgår ur badet som avgaser, och att opaciteten hos avgaserna inte överstiger 20 %.

12. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att det nämnda materialet är en metall som väljs från en grupp som består av koppar, nickel, palladium, osmium, guld och silver.

13. Förfarande enligt patentkravet 12, k ä n n e t e c k -
n a t av att metallen är koppar.

14. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven 1...11, k ä n n e t e c k n a t av att det nämnda materialet är ett icke-metalliskt material som väljs ur gruppen som består av kiseldioxid, aluminiumdioxid och slagg som innehåller silikater, metalloxider och kalk.

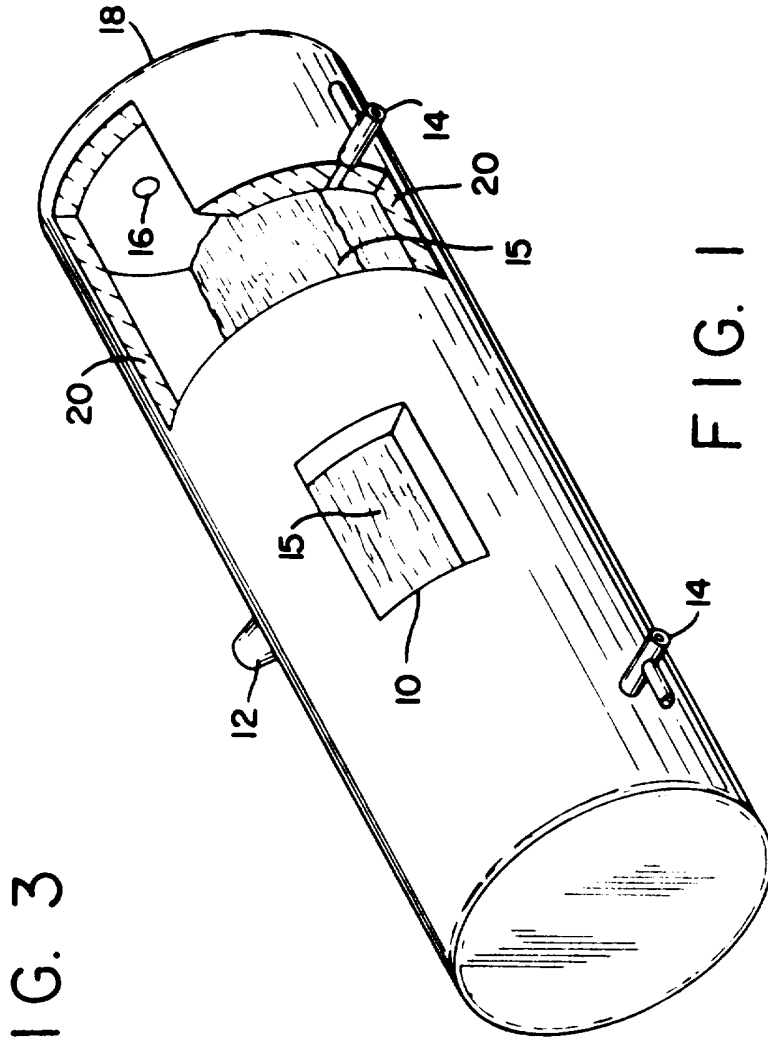


FIG. 3

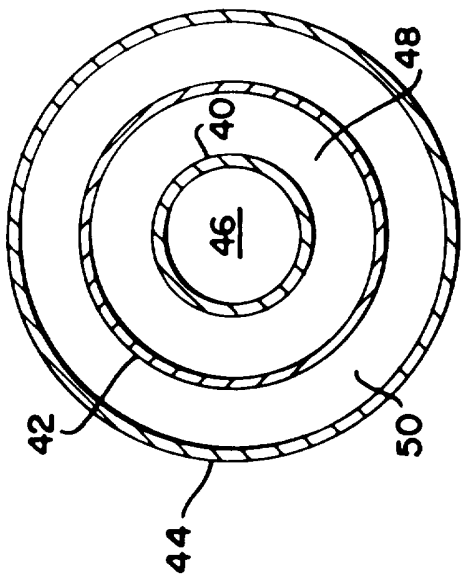


FIG. 2

