

Бранислав Радоњић\*

## КАКО ОД КЛАСИЧНИХ ПРЕКО НОВИХ МАТЕРИЈАЛА И ПРОЦЕСА АЛУМИНИЈУМСКЕ ИНДУСТРИЈЕ ДО ВИСОКИХ ТЕХНОЛОГИЈА

*Апстракт:* У раду је приказан концепт преласка са конвенцијалних на производњу савремених материјала у оквиру алуминијумске индустрије. Дат је преглед савремених материјала и процеса производње и прераде алуминијума, алумине и галијума. Конструкциони материјали од легура алуминијума и композитних материјала са алуминијумском матрицом, конструкциона и фина керамика на бази алумине и електронски материјали на бази галијума чине главне групе материјала и могуће правце технолошког развоја алуминијумске индустрије. Приказана је веза ових материјала и са високим технологијама.

### УВОД

У савременом и интензивном технолошком развоју у свијету практично су општи осмишљавање и стална брига о томе како обезбиједити мјесто у простору и времену коме високе технологије дају посебан печат. Ово се нарочито односи на оне који се баве производњом и прерадом материјала, чији је интерес за увођењем високих технологија у циљу усавршавања материјала, процеса и производа једнако значајан као и интерес за примјеном својих производа у производима и пројектима високих технологија које постају носиоци привредног и општедруштвеног развоја у свијету.

Данас се развијају многе модерне технологије и практично користе у свим врстама индустрије. Овај тренд је показао добре изворе за

\* Др Бранислав РАДОЊИЋ, дипл. инг., ванредни професор на Металуршко-технолошком факултету Универзитета у Подгорици.

нове материјале које треба развијати. Наравно, алуминијум није изузетак; у односу на потребе модерних индустрија, сфера утицаја алуминијума се проширила и сасвим је могуће да се њиме користе нове технологије. У таквој вези са новим технологијама и алуминијум ће се даље развијати.

Како, према томе, да многи произвођачи конвенционалних материјала развију ове до нових и преко њих се укључе у токове технолошког развоја? Како томе да приступи једна земља у развоју, односно у њој једна млада и технолошки у просјеку средње интензивна индустрија каква је индустрија алуминијума? Систематизацијом приступа овом задатку на примјеру алуминијумске индустрије у Црној Гори бави се овај рад. Полази од: (1) стратегија и програма технолошког развоја у свијету као прогнозе будућег отвореног глобалног тржишта за нове материјале, (2) актуелних праваца истраживања и развоја у индустрији алуминијума и њој комплементарним и конкурентним индустријама и (3) структуре и стања алуминијумске индустрије у зони интереса. Из тога се изводе главни правци и програми истраживања и развоја нових материјала и процеса.

### *Стратегије и програми технолошког развоја у свијету*

Што су се високе технологије више развијале све се више долазило до сазнања да су оне мотор целокупног привредног развоја и фактор диференцијације у погледу развијености привреде и других показатеља друштвеног развоја, па и снага политике једне земље. Са овом спознајом све се више пажње поклања технолошком развоју. Као резултат тога настало је више националних и регионалних стратегија и програма технолошког развоја. Њихов изузетан значај је у чињеници да представљају синтезу знања и погледа на технолошку будућност великог броја еминентних научника и научних институција у свијету, и зато им треба поклонити изузетну пажњу.

Један од значајнијих и првих програма технолошког развоја потекао је из Француске. Пројекат је око себе окупио све земље ЕЕЗ. Добро је познат под називом „EUREKA”. Садржи подпројекте EUROMATIC (компјутерски и високобрзи силицијум и галијумарсенид), EUROROBOT (роботику), EUROCOM (телекомуникације), EUROBIO (биотехнологије), EUROMAT (материјале).

Програм USA, коме се замјера да није чисто привредног већ и војног карактера, назван је „РАТ ЗВИЈЕЗДА”.

„ПРОГРАМ КОМПЛЕКСНОГ РАЗВОЈА” земаља Источне Европе, раније рађен у оквиру СЕВ-а, сличан је Еуреци и бави се стратешким пројектима технолошког развоја земаља чланица.

И мање развијене, европске земље на примјер, велику пажњу посвећују научно-технолошком развоју, па и један број земаља у развоју то чини на конкретан начин.

СФР Југославија је маја 1987. године прогласила Одлуку о стратегији технолошког развоја. Сагласно тој Одлуци, основна претпоставка и услов за укључивање у свјетске токове технолошког развоја био је да се технолошки развој заснива, прије свега, на базним технологијама које имају особину универзалне дифузије у свим привредним гранама, производним системима и друштвеним дјелатностима. Технолошки развој носе предузећа, која иницирају, дефинишу и финансирају научноистраживачке и истраживачко-развојне пројекте и програме технолошког развоја из скупа заједничких базичних технологија које су обухваћене Стратегијом технолошког развоја, а то су: *информационе технологије* (микроелектроника, рачунари, телекомуникације), *флексибилне производне технологије и роботика*, *технологije нових материјала*, *биотехнологије*, *енергетске технологије*, *ласерске технологије*, *нуклеарне технологије* и *космичке технологије*.<sup>11</sup>

### ***Технологије нових материјала у Сјраишеђији технолошког развоја Југославије***

Овладавање савременим материјалима је основа за све гранске и друге технологије у којима се употребљавају материјали, а истовремено је и основа за базичне технологије.

Стратегијом технолошког развоја Југославије у области нових материјала истраживање и развој су усмјерени на:

а) конвенционалне материјале, ради освајања материјала виших квалитета:

- челика повишене чврстоће, способних за спајање заваривањем и са повишеном отпорношћу на замор и лом;

- легура на бази бакра, алуминијума, цинка и олова са конструкционим карактеристикама које надмашују постојеће;

- металних прахова, платираних метала, врло чистих метала;

- вишег квалитета органско-техничких материјала;

- вишег квалитета осталих материјала.

Код ових материјала правци развоја усмјерени су ка савременим технологијама прераде метала: обликовању, заваривању, термичкој обради, изостатском пресовању и др.;

б) нове савремене материјале:

- метале и легуре посебних карактеристика (аморфне, са ултрафином микроструктуром);

- керамичке материјале;

- полимере;

- нове типове вјештачких смола;
- угљеничка, оптичка и остала влакна, укључујући и влакна од органских материјала;
- композитне материјале;
- магнетне материјале;
- материјале за израду електронских и оптоелектронских компонената;
- оплемењени угаљ као техничку сировину.

Истраживање и развој ових материјала подразумева освајање нових технологија, као што су:

- добијање врло чистих метала и легура топљењем у вакууму, вакуумском дестилацијом и другим методама;
- прерада метала у вакууму, напаривање танких превлака и др.;
- процеси у производњи конструкционих керамичких материјала;
- добијање и обрада монокристала;
- дифузија;
- фотолитографија;
- спајање керамичких и других материјала у циљу физичке, хемијске и електрохемијске заштите површина;
- добијање оптичких влакана и цијеви малог пречника.

Обухваћено је истраживање и развој савремених метода карактеризације материјала и процеса.

### *Достигнућа у истраживању и развоју материјала и процеса алуминијумске индустрије свијета*

Алуминијумска индустрија располаже са три основна материјала који се користе, развијају или предвиђају као база за нове материјале са карактеристикама које ће им обезбиједити мјесто у новом технолошком развоју. Ти основни материјали су: алуминијум, глиница (алумина) и галијум. У досадашњем приступу алуминијумске индустрије, изузимајући донекле индустријски развијене земље и поједине компаније, нови материјали на бази алуминијума какви су композитни материјали с алуминијумском матрицом били су предмет интереса и активности других а не алуминијумске индустрије, глиница је третирана само као производ за металуршке намјене (добијање алуминијума), а галијум је био споредни производ и мали посао о коме се размишљање завршавало код алуминијаса са нивоом мање или више чистог метала.

Алуминијум се, како је могуће видјети из претходног поглавља, у контексту технолошког развоја углавном види као основа

конструкционих материјала у својој групи, глинаца као керамички материјал, а галијум као основа за електронске материјале.

Уважавајући овакав прилаз као шансу алуминијумске индустрије, а тиме и ради обезбјеђења подлоге за реализацију циља овог рада, у наредном тексту дајемо неке глобалне податке о врсти, производњи и примјени нових материјала на бази алуминијума, глинице и галијума. Уз ово се не може заобићи помињање нових процеса, чија разноврсност и сложеност произлазе из различитости особина и примјене ова три основна материјала и нових материјала као њихових „деривата”.

### *Материјали на бази алуминијума*

Материјали на бази алуминијума који привлаче пажњу нових технологија су: суперчисти алуминијум; легуре алуминијум-литијум, легуре алуминијума високе затезне чврстоће; легуре алуминијума високе чврстоће са могућношћу обликовања; легуре алуминијума отпорне на хабање; суперпластичне легуре алуминијума; термо-отпорне алуминијумске легуре; алуминијумске легуре за брзо очвршћавање; алуминијумске легуре за магнетне дискове, полигонална огледала, жицу за електронику, штампана кола, бешумне и силиконске предсензибилизоване бубњење, електролитичке кондензаторе и сл. Посебан интерес се показује за композитне материјале с алуминијумском матрицом.

За производњу наведених материјала могу се користити конвенционалне технологије и опрема, понекад модифициране, али се развијају и сасвим нове. Три групе материјала резултат су и / или мотив за развој нових процеса који омогућавају најкраћи пут од течног метала до коначног производа. Материјали на којима су примјењени ови процеси су: (1) суперчисти алуминијум, (2) материјали за ливење и / или ковање у получврстом стању - ливење и ковање реолошких односно тиксотропских материјала и (3) композитни материјали с алуминијумском матрицом.

### *Суперчисти алуминијум. -*

Примјена суперчистог алуминијума укључује електролитичке кондензаторе, жицу за електронику, полигонална огледала и бубњење за ласерске штампаче и копир-апарате, дискове за компјутере, алуминијумске прахове, високочврсте легуре и ултрачисте бинарне легуре алуминијум-силицијум и алуминијум-бакар и тернерне легуре алуминијум-силицијум-бакар.

Дуже вријеме потребе за суперчистим алуминијумом задовољаване су производњом у трослојним електролитичким ћелијама. Међутим,

овај поступак је скуп и не рјешава увијек питање укупне чистоће а нарочито уклањања специфичних примјеса, нарочито жељеза и силицијума.

Фракциона кристализација, која се заснива на контролисаном очвршћавању из растопа, постаје пожељнији поступак и много погоднија технологија за истраживање и флексибилнија за развој и коришћење капацитета.

Основа пречишћавања фракционом кристализацијом лежи у чињеници да прве количине метала који очвршћава у одређеним условима садрже знатно мање количине појединих елемената, као што су жељезо и силицијум, него што је у матичном и нарочито преосталом растопу. На примјер, растоп алуминијума који садржи 0.04% Si при хлађењу и очвршћавању у равнотежним условима непосредно испод 660°C формира прве количине чврсте фазе која садржи само 0.002% Si. Слично, алуминијум који садржи 0.04% Fe почиње очвршћавање кристалима који садрже само 0.001% Fe/2/.

Овај приступ је искоришћен за развој технологије производње суперчистог алуминијума од стране ALCOA-е и Pechiney-а /3,4/. Скорије, Nippon Light Metal Co., Nippon Kokan и Mitsubishi Light Metal Industries су, свако појединачно, развили полуконтинуирани или континуирани поступак фракционе кристализације алуминијума.

### *Материјали за ливење и ковање у получврстом стању.*

Реолошке или получврсле смјесе са кристалима недендритне структуре истражене су и развијене у Массаџусетс Институте оф Теџнолоџи (МИТ) од стране Флемингса, Мехрабијана и Спенцера раних 1970-тих/5/. Концепт производње реолошких материјала заснива се на чињеници да дјелимично очврсли метали и легуре који се континуирано и снажно мијешају током очвршћавања могу формирати кристале недендритне структуре. Ови су материјали флуидни и при високом проценту чврсте фазе, до 50%., па су погодни за ливење. Отуда назив реолошко ливење (Рхеоцастинг).

Дјелимично очврсле смјесе показују тенденцију смањења привидног вискозитета са порастом степена дејства смичућих напона. Ово због тога што примарне чврсте честице постају елипсоидне и оријентишу се у правцу дејства смичућих напона са порастом степена смицања. Ова специфична карактеристика је названа тиксотропија и отуда називи тиксотропско ливење и / или ковање (Thixocasting, Thixoforging). Тиксотропија настаје када материјал показује зависност вискозитета од степена смицања.

Постоје различите методе за производњу материјала са недендритном микроструктуром и способношћу да показују

тиксотропичност. Оне су у основи поступци који обезбјеђују интензивно мијешање током очвршћавања и могу се подијелити на контактне (механичке) и неконтактне (магнето-хидрохемијске). И поступци и материјали су у интензивном развоју, а резултати обећавају значајна достигнућа у побољшању особина постојећих и развоју нових материјала.

### *Композициони материјали с алуминијумском матрицом.*

Од када је Toyota раних 1980-тих почела комерцијалну производњу клипова дизел-мотора од композита - алуминијумских легура ојачаних кратким керамичким влакнима - истраживање и развој композитних материјала са металном матрицом имало је пун замах. Од прије неколико година развијају се композитни материјали са металном матрицом армираном непрекидним влакнима бора, угљеника и силицијум-карбида.

Значајне резултате у овој области постигла је компанија Duralcan USA (подружница Alcan Aluminium Corp.), која је у Сан Диегу увела комерцијалну производњу композитних материјала с алуминијумском матрицом. У њеном патентираном производном процесу fine керамичке честице се мијешају са растопљеним алуминијумом уз интензивно мијешање. Производе се инготи, трупци или блокови који се касније могу претапати и лити или прерађивати пресовањем, ковањем или ваљањем.

Један процес који на погодан начин обликује реолошке, тиксотропске и композитне материјале у коначне очврсле форме је топло ливење под притиском (Squeeze casting), захваљујући погодности ових материјала за третман поменутиим процесом/6/.

Механичке особине ових материјала су знатно боље од стандардних алуминијумских легура. Остале атрактивне особине, као што је коефицијент термичког ширења, отпорност на трење и хабање, око два пута су боље од истих за материјал матрице односно одговарајући неојачани алуминијум или његову легуру.

На примјеру стандардне легуре за ливење А-11 могу се видјети предности описаних процеса односно њихових комбинација на побољшање механичких особина како се види из Табеле I/7/. Интересантно је напоменути да су механичке особине „дурала” топло ливеног под притиском или тиксокованог упоредиве са онима које се постижу скупом конвенционалних операција термомеханичког третмана.

Табела 1: Упоредње механичких особина материјала на бази исте легиуре алуминијума

ПРОЦЕС	Побољшање особина у поређењу са онима које се постижу ливењем у пијеску, %		
	Rm, МПа	A, %	НВ
Rheo	42	35	/
Thixo	48	40	20
Squeeze	50	42	22
Rheo - Squeeze	111	120	103
Thixo - Squeeze	112	122	105
Compo - Squeeze	105	110	85

Зато што су трошкови производње ових материјала релативно ниски и зато што дају коначне форме, они се све више прихватају за многе примјене у аутомобилској индустрији, авио-индустрији, индустријској опреми, спортској опреми и др. Данас постоји више од педесет ливница у свијету које имају искуство у ливењу ових материјала.

### **Керамика на бази $Al_2O_3$**

Историја човјечанства јесте у одређеној мјери и историја материјала. Човјек је од давнина научио да обликује глину и да печењем добија посуде за кување хране и чување воде. Развојем индустрије човјек развија нове материјале, без којих се савремено доба не може замислити.

У такве материјале спада и оксид алуминијума, који је најраспрострањенији метални оксид Земљине коре, који данас има, осим за добијање металног алуминијума, и широк спектар примјене за различите производе конструкционе и fine керамике. С обзиром на његове специфичне особине и све већу примјенљивост,  $Al_2O_3$  многи зову „материјал будућности”, а 21. вијек „другим неолитом” или „вијеком fine техничке керамике”. Само ради илустрације на Сл. 1 схематски је приказана леза функција, особина и примјене керамика високих технологија/8/.

У 1986. години продато је у свијету керамичких производа за 30 милијарди US долара, од чега се 50% односи на  $Al_2O_3$  керамику. Цијене специјалних прахова од алуминијум-оксида за потребе fine



керамике достижу вриједност и до 10.000 USD за килограм, а керамички производи се умножавају за 2-10 пута. Економска предвиђања о производњи и комерцијалном пласману модерне керамике су врло оптимистичка. На Сл. 2 приказана је прогноза вриједности керамичких материјала и производа у Јапану до 2000. године/9/.

Од нарочитог значаја за развој производње керамике је технолошки прогрес, као што ће и развој керамичких материјала утицати, повратно, на развој других технологија. На примјер, суперлегуре као термоотпорни материјали су развијене до горње границе својих могућности, па се очекује да керамика може омогућити додатних 200°C радне температуре мотора и турбина и у складу са тим повећати коефицијент искоришћења топлоте.

Као и у случају многих других технологија нових материјала, технологије производње и процесирања керамичких прахова и израде компоненти доста су флексибилне у погледу капацитета, што ће рећи да улазак у њихову производњу не захтијева неопходно велика капитална улагања. Од кључног су значаја, потребна фундаментална и технолошка знања и пратеће истраживачко-развојне активности на добро осмишљеним програмима.

### ***Материјали на бази галијума***

Области примјене галијума већ 1983. године биле су: свјетлеће диоде 66.9%; микроталасне (аналогне) јединице 10%; мјехурасте меморије 5.3%; ласери 1.3%; фотонапонске ћелије 0.9% и остало (знатно у суперпроводним магнетима) 0.3%/10/.

Свјетска потрошња примарног и секундарног галијума у 1984. години дате су у Табели II. Као главни и практично једини потрошачи јављају се Јапан, САД и земље Западне Европе, што говори о томе да га користе само индустријски и технолошки развијене земље, односно то да је галијум материјал за производе високих технологија.

Годишња стопа раста потрошње од 20% почетком 1980-тих такође је показатељ развоја примјене овог материјала са продором високих технологија. Зависно од развоја производње чипова и фотонапонских ћелија и цијене њихове производње, прогнозира се, зависно од извора података, раст потрошње галијума на 80-400 тона годишње у 1995. години, да би 2000. она износила 500 а 2020. године 1500 тона.

Табела II: Свјетлосна потрошња галијума у 1984. години <sup>4/</sup>.

Земља/Област	Галијум Примарни	Галијум Секундарни	Укупно
Јапан	18 - 22	6 - 7	24 - 29
САД	7 - 8	2	9 - 11
Западна Европа	2 - 4	/	3 - 4
<b>УКУПНО</b>	<b>27 - 34</b>	<b>6 - 9</b>	<b>36 - 44</b>

Очекује се да ће произвођачи свјетлећих диода остати главни потрошачи галијума током наредних година, али да ће друге намјене добити на значају. Чипови на бази галијум-арсенида сматрају се супериорним над оним од силицијума у брзини, снази, капацитету и отпорности на зрачење. Високозахтјевни компјутери и супербрза процесна опрема требају ове предности. Очекује се значајан раст потрошње галијума за интегрална кола, али још увијек умјерен у поређењу са силицијумом.

Друга примјена са значајним потенцијалом су периферне меморије и фотонапонске ћелије. Периферне меморије на бази галијум-годолинијум-гарнета (GGG) нуде већу густину од силиконских и имају особину да не долази до губитка података при испаду струје („ненапонска меморија”). Периферне меморије од GGG су такође способне да функционишу под веома оштрим условима. У фотонапонским ћелијама замјена силицијума галијумом доводи до повећања искоришћења за 50%. Ћелије од галијум-арсенида, мада скупље, лакше су, могу радити код виших температура и отпорније су на зрачење.

Технологије производње галијума и галијум-арсенида /-фосфида, -антимонида, - нитрида / претежно спадају у домен високих технологија и њихова доступност је веома ограничена. Отуда је сопствено истраживање у овој области скоро неизбјежно за постизање и почетних и коначних развојних резултата.

### ***Концепт развоја нових материјала и процеса у оквиру алуминијумске индустрије и повезивање са високим технологијама***

У формирању концепта развоја нових материјала полази се, како се из горњег излагања може закључити, од алуминијума, глинице и галијума, као основних материјала. Алуминијум и глиница спадају у

групу материјала који се производе у великим количинама у свијету, а галијум спада у групу „егзотичних” материјала и захтијева посебан приступ у развоју/11/.

Ако се пође од класификације материјала, може се запазити да најзначајнији капацитети и вриједности продаје припадају металима (у оквиру којих је алуминијум), керамици (у оквиру које је  $Al_2O_3$  керамика), полимерима и композитним материјалима (у оквиру којих су композитни материјали с алуминијумском матрицом). Ови материјали, коначно, и чине конкуренцију једни другима. Отуда је могуће за случај индустрије алуминијума учинити неколико рјешења ради обезбјеђења мјеста на тржишту материјала: (1) специјализирати алуминијум и на традиционалан начин се укључити у конкуренцију са другим материјалима; (2) поред алуминијума развијати керамику на бази  $Al_2O_3$  као нетрадиционални материјал за алуминијумску индустрију; (3) уз претходно комбиновати сопствене базне материјале у кермете и композите с алуминијумском матрицом ојачане  $Al_2O_3$  и другим керамичким честицама и влакнима; (4) у развојне програме укључити суперчисте и екстремночисте метале као што су алуминијум и галијум са којима се улази у групу материјала за информационе, али и друге технологије.

На Сл. 3 илустративно су приказане четири главне групе материјала које чине велику већину укупне количине материјала који се производе у свијету: метали (алуминијум), керамика, полимери и композитни материјали/12/. Алуминијум и легуре алуминијума које задовољавају захтјеве нових технологија, керамика на бази алуминијум-оксида, кермети и композитни материјали с алуминијумском матрицом могу израсти као природан развојни производ алуминијумске индустрије, која са својим основним материјалима представља њихов ресурс. Тако би алуминијумска индустрија на тржишту материјала количином својих производа задржала мјесто, а њиховом структуром обезбиједила предност у односу на садашње стање. Њена конкурентност и флексибилност би тиме свакако порасле.

Онима који се баве материјалима, па и само на основу претходно реченог, није тешко наћи примјер актуелне и могуће примјене било којег од основних материјала, валоризованих у складу са захтјевима технолошког развоја, у неком од производа било које базичне технологије. Генерално, то се погодно може приказати Сликаом 4, а конкретни развојни програми полазе од тржишта и технологије конкретних производа. Овим приступом учињено је неколико конкретних корака у истраживању и иницијалном развоју на три правца: нових материјала на бази алуминијума, керамике на бази алуминијум-оксида и галијума, што је послужило за елаборирање пројекције развоја Комбината алуминијума у Подгорици до 2000-те године.

Ићи усусрет овако озбиљном задатку као што је развој алуминијумске индустрије у правцу нових материјала и процеса, с амбицијом да се са њима уђе у производе нових технологија и одржи корак са технолошким развојем, могуће је само ако се настави са интензивним истраживањем и иницијалним развојем. Наравно, мора се довољно ваљано одредити концентрација тих активности. У том смислу предлаже се један број технологија, које представљају иницијалне истраживачке, а у даљој фази развојне пројекте и /или правце производње нових материјала.

### ***Предлоḡ технологија за истраживање и развој нових материјала на бази алуминијума, злинице и галијума***

Технологија производње и прераде легура алуминијума посебних особина и намјене. - Овдје се прије свега мисли на високочврсте легуре са значајном пластичношћу, легуре отпорне на повишене температуре, легуре отпорне на хабање, легуре отпорне на корозију и суперпластичне легуре. Посебно поглавље је група легура Al-Li-Zr-X.

### ***Технологије очвршћавања и ливења /ковања без остайка. -***

Овдје се подразумевају технологије производње реолошких и тиксотропских поличврстих недендритних смјеса и њихово ливење и ковање „без остатка”. Овим технологијама добијене недендритне полуврсте композиције један је од начина и подлога за композитне материјале са металном матрицом.

### ***Технологије брзоḡ очвршћавања. -***

Поступком атомизације у ваздуху производе се прахови уз достизање брзине хлађења до највише  $10^{40}$  °C/цес. Другим експерименталним технологијама остварују се брзине хлађења до  $10^{10}$  °C/сес. Многи метали и легуре преводе се у овим условима у аморфно стање. Као резултат тога постижу се посебне физичко-хемијске, механичке и друге особине материјала. Осим тога, могуће је легирање уз виши садржај легираната.

### ***Металургија праха. -***

Прахови добијени брзим очвршћавањем или на било који од доста других начина имају за циљ да сачувају достигнуте особине материјала у праху и да га трансформишу у производ „без остатка”. То се остварује компактирањем и синтеровањем праха, али је могуће последије компактирања у одређену форму вршити даљу пластичну прераду ваљањем, пресовањем и ковањем.

Технологије производње прахова и керамике на бази  $Al_2O_3$ . - Ови процеси имају за циљ производњу синтерабилних  $Al_2O_3$ , али и других прахова, а затим њихово процесирање до коначних компоненти. Производња алуминијум-оксида осим Вауег-овим остварује се и другим поступцима. Производња других прахова, као што су алуминијум-нитрид, мулит и сиалони, за потребе керамике само је шира верзија прилаза овом питању.

#### ***Технологија синџеровања. -***

Овај пројекат представља најмање по једну, али централну, фазу у технологији керамике и синтерметалургије. Другим ријечима, производња керамике и синтерметалургије би се окупили око пројекта синтеровања као њихове централне и фундаменталне фазе.

#### ***Технологија композиционих материјала. -***

Најповољнија варијанта истраживања и експерименталног технолошког развоја композитних материјала је она која се базира на полуочврслом или течном металу. Дакле, ливени композити са металном матрицом. Топло ливење под притиском (Squeeze casting) за ливачке материјале и полуконтинуирано ливење за материјале за пластичну прераду, као у случају реолошких и тиксотропских смјеса, биле би релевантне технологије ливења композитних материјала.

#### ***Технологија производње и прераде галијума и његових једињења. -***

Деведесет процената свјетске производње галијума потиче из боксита и остварује се екстракцијом из алуминатних раствора у којима се галијум концентрише током процеса производње глинице. Електролиза са живином електродом је технологија прошлости, солвентна екстракција технологија наших дана, а јонска измена технологија која најављује примат у екстракцији галијума. Метални галијум се мало користи. Најчешће се користе његова једињења: галијум-арсенид, галијум-фосфид, галијум-антимонид, галијум-нитрид и многе двојне соли галијума са другим металима, најчешће у форми монокристала, због чега се требају развијати одговарајуће технологије.

#### ***Технологија производње високочистих материјала. -***

Алуминијум и галијум се у производима високих технологија било метални или за производњу легура и / или једињења користе као високочисти, суперчисти и / или екстремно-чисти. То захтијева пречишћавање техничких метала, за шта се користе различите

методе: хидрохемијске (солвентна екстракција), електрохемијске (диполарна електролиза), кристализационе (фракциона кристализација, зонално топљење), термијске (дестилација у вакууму), и др.

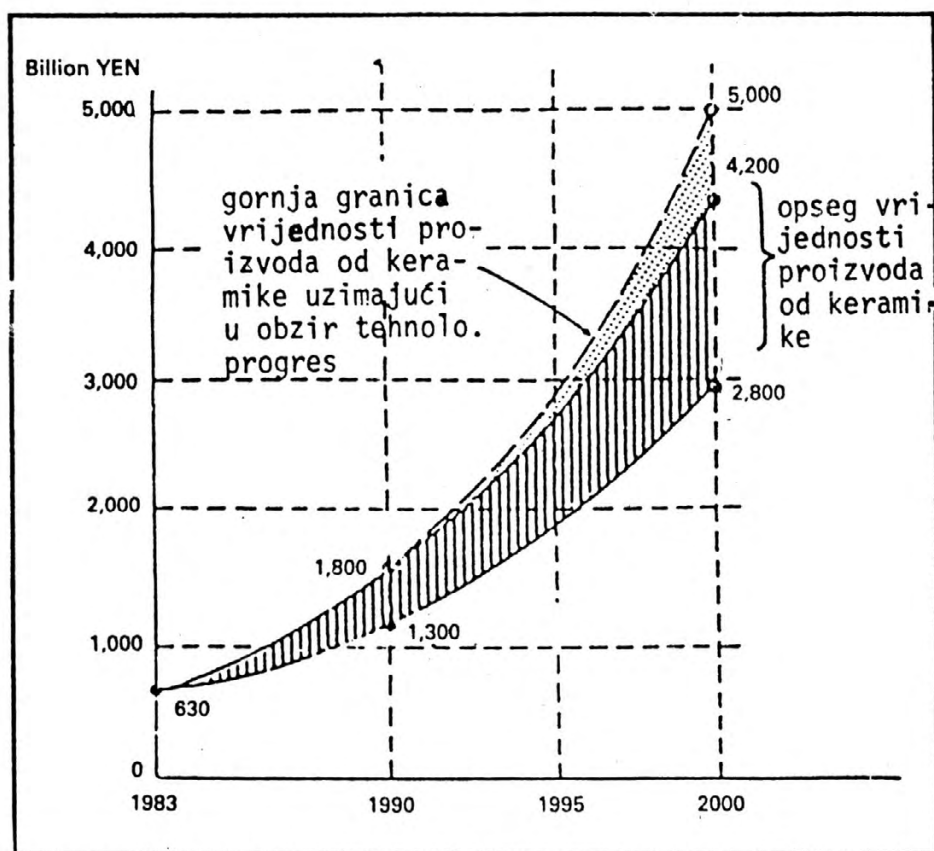
### Закључак

Постоји мноштво материјала на бази алуминијума, глинице и галијума који задовољавају захтјеве високих технологија. Односно, није уопште тешко наћи производе високих технологија у којима има или може бити мјеста за материјале као што су суперчисти алуминијум и галијум или њихова једињења и легуре. Далеко је теже направити селекцију производа и истраживачко-развијних пројеката којима би се на најбољи начин направила трансформација класичних у нове материјале и компоненте примјенљиве у производима високих технологија. Ово је везано за мноштво процеса / технологија, од којих се прије свега намећу технологије очвршћавања и ливења, укључујући нарочито процесе распојеле и преноса масе и топлоте током очвршћавања, затим синтеровање и формирање композита, што захтијева овладавање процесима у чврстом стању, од којих поново кључни значај има пренос масе, и не мањи физика површина.

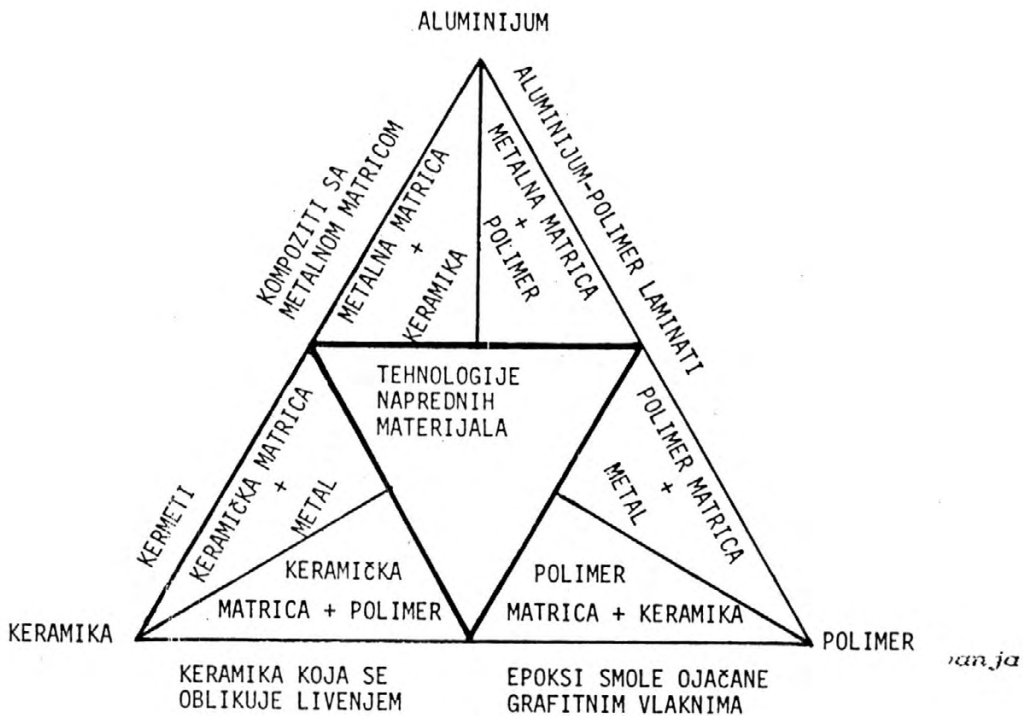
Без обзира на сложеност и обимност истраживачко-развијних активности, неки већ постигнути резултати безмало у свим материјалима (суперчисти алуминијум, реолошке смјесе, субмикронски прахови глинице и фина керамика квалитета резних алата и галијум) и процесима (пречишћавање галијума и алуминијума контролисаним растом кристала, односно фракционим кристализацијом, солвентна екстракција галијума из алуминатних раствора, производња субмикронских прахова глинице термичким разлагањем органских соли, компактирање и синтеровање праха глинице) остварени на оваквом концепту у Институту за истраживање и развој алуминијума указују на могућност, оправданост и, ставише, неопходност даљих активности у овом правцу.

Сл. 1 - Функције, особине и примјена  $Al_2O_3$  керамике



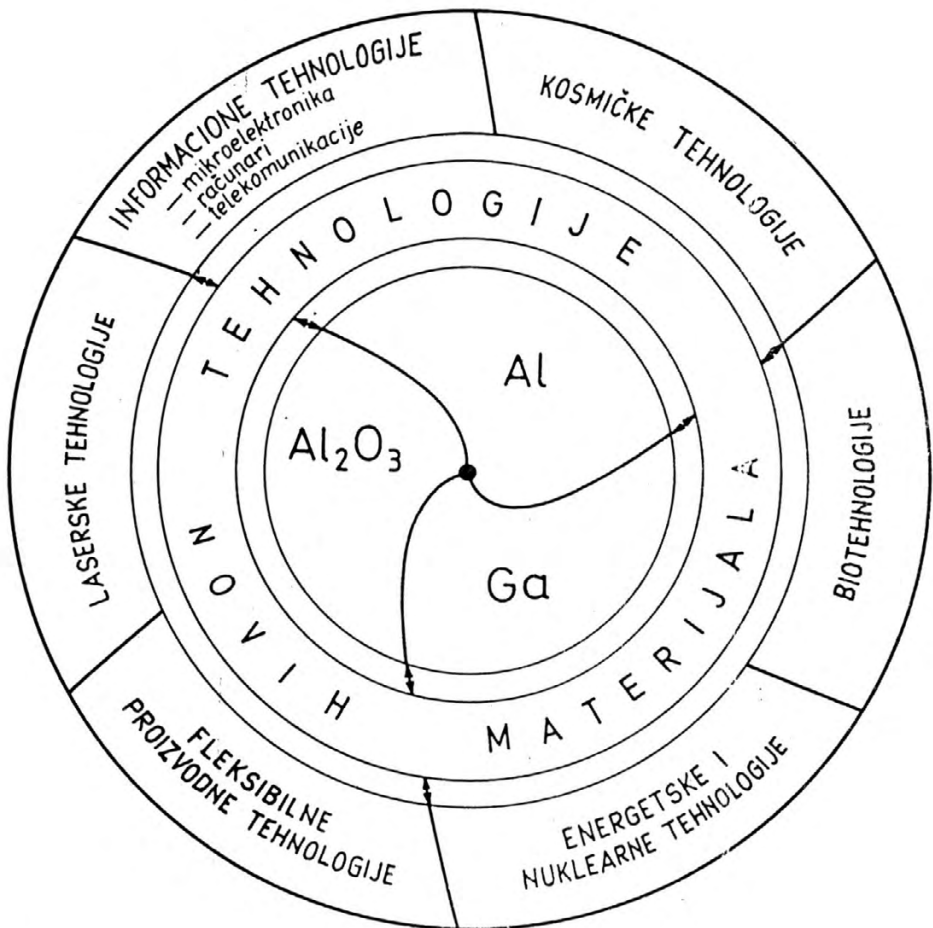


Сл. 2. - Прогноза вриједности и производње керамичких материјала и компоненти у Јапану до 2000-те године



Сл. 3. - Метали, керамика, полимери и композициони чине четири групе материјала са далеко највећом производњом и употребом у свијету. Алуминијум и његове легуре, керамика на бази глинине и композициони материјали са алуминијумском матрицом могу алуминијумску индустрију увести у ширу област материјала





Сл. 4. - Алуминијум, глинаца и галијум као основни материјали индустрије алуминијума помоћу технологија нових материјала могу се „оилеменијти“ до материјала који задовољавају употребе нових технологија

## ЛИТЕРАТУРА

1. Strategija tehnološkog razvoja Jugoslavije, Sl. list SFRJ br. 32. od 08.05.1987, 810-819.
2. A. S. Russell, S.C. Jacobs, N. Jarrett, B.M. Starner, *A. New Process To Produce High-Purity aluminum*, Transactions of the Metallurgical Society of AIME, 239, 10, 1967 po 1630-1633.
3. U.S. Patent, 4,294,612, Oct, 1981.
4. U.S. Patent, 4,456, 480, Jun, 1984.
5. M.C.Flemings, *Rheo casting process*, AFS, Int. Cast Metals J., Sep., 1976, 11.
6. I.Chambell, *Proc. Advances in Casting Technology*, AGARD, 1982, 384, 10.
7. M.P. Chowdalah, M. Jebaraj, S.C. Sharma, *Future of Casting as a Forming Process or aluminium*, INCAL-91, The Aluminu, Association of India, Bangalore, 2, 1991, 241-243.
8. I.Forster Ed., *Materials Revolution*, The MIT Press, Cambridg, 1988.
9. J. Perry, *Ceramics as Evryday Engineering Components*, Ceramics Industries Journal, Dec., 1985, pp 21-23.
10. I.R. Grant, *Gallium Arsenide from Mine to Microcircuit*, Proceedings of the Twelfth Anual Commodity Meeting of the IMM, London, Dec. 3, 1987, pp 48-52.
11. B. Radonjić, *Strategija tehnološkog razvoja aluminijumske industrije u SR Crnoj Gori*, Institut za istraživanje i razvoj aluminijuma, Titograd, 1986.
12. R.A. Bonewitz, *Materials Technology: 2000 and Beyond, international Congress on Technology and Technology Exchange*, Pittsburg, PA., 1986, Oct. 07.

*B. Radonjić\* Ph. D., M. Sc., B. Sc. (Eng.), assoc. Prof. Faculty of Metallurgy, University of Montenegro, Yugoslavia.*

## HOW FROM CONVENTIONAL THROUGH ADVANCED MATERIALS AND PROCESSES OF ALUMINIUM INDUSTRY TO HIGH TECHNOLOGIES

### Summary

A conception of transition from the conventional to advanced materials and processes of the aluminum industry is shown in this paper. A review of advanced aluminium, alumina and gallium base materials and related processes is also given. The structural and other engineering aluminium alloys, aluminium matrix composites, structural and fine engineering alumina ceramics and gallium base electronic materials present groups of the main materials and possible technological development options of the aluminum industry. Relations of these materials to high-tech application are illustrated.

