

FTAMP 29.19.45  
ЭОЖ 669.715[DOI 10.53002/089](https://doi.org/10.53002/089)

Бекболатова Н.Ә.

<sup>1</sup>Ш. Есенов атындағы Каспий мемлекеттік технологиялар және инженеринг университеті,  
г.Ақтау, Қазақстан  
(E-mail: [bekbolatova.nursulu@mail.ru](mailto:bekbolatova.nursulu@mail.ru))

### **Карбонаттар арқылы алюминий көбікінің шөгудің алдын алу әдісі**

Металл көбік көбік түзуші ретінде титан гидридті пайдалана отырып өндіріледі. Карбонаттар жұқа және біртекті жасуша құрылымы бар алюминий көбігін шығарады. Дегенмен, карбонаттар арқылы өндірілген көбіктер титан гидридті қолданылғаннан анық ерекшеленетін айқын шөгуді көрсетеді. Практикалық қолдану үшін көбіктің шөгудің нақтылау және оның алдын алу әдісін белгілеу өте маңызды. Бұл зерттеуде карбонаттар көмегімен өндірілген алюминий көбікінің шөгуді зерттеу үшін жасуша құрылымдары байқалды. Көбік жасушалары бір-бірімен максималды кеңеюмен байланысты көбіктендіргіш ретінде доломитті қолдану арқылы өндірілген. Көбік түзетін газ қосылған ұяшықтар арқылы сыртқа шығарылады деп есептелді. Өртүрлі учаскелерде жасуша түзілуі жасуша байланысынан туындаған жиырылудың алдын алуда тиімді деп есептелді. Өр түрлі ыдырау температуралары бар доломит пен магний карбонатының бірнеше қосындылары қолданылды. Көптеген қосындылар бар корпустағы көбік 0,66-дан 973 К-ге дейін тығыздықты сақтады, бұл кезде доломитпен өндірілген көбік кішірейді. Карбонаттардың бірнеше рет қосылуы шөгудің алдын алуда тиімді екендігі тексерілді.

*Түйін сөздер:* алюминий көбік, карбонаттар, шөгу, материалтану, ұяшық құрылымы, доломит, магний карбонаты, газ түзілу, термиялық ыдырау, титан гидридті, кеңею, тығыздық, микроқұрылым, көбіктену механизмі, алюминий қорытпасы, құрылымдық материалдар, жеңіл материалдар, механикалық қасиеттер.

### *Кіріспе*

Металл көбіктердің төмен тығыздығы, жақсы энергияны сіңіру қабілеті және төмен жылу өткізгіштігі сияқты бірегей қасиеттері бар. Металл көбіктерді өндіру әдістерінің бірі Фраунгофер әдісі болып табылады. Бұл әдіс прекурсор жасау үшін алюминий матрицалық ұнтағы мен TiH<sub>2</sub> ыстық экструзиясын талап ететін әдеттегі ұнтақ металлургиясының (PM) әдісін пайдаланады, содан кейін алынған өнім желіге жақын пішіндеу үшін көбік алу үшін жабық штампта қыздырылады. TiH<sub>2</sub> алюминий қорытпаларының балку температурасына жақын ыдырау температурасына байланысты танымал көбік түзуші болып табылады. Дегенмен, TiH<sub>2</sub> қымбат.

Авторлардың бірі карбонаттарды TiH<sub>2</sub> балама ретінде ұсынды [2], себебі олар арзан. Кальций карбонаты балқыту жолында TiH<sub>2</sub> қарағанда жұқа жасуша құрылымын береді. Ол сонымен қатар алюминий жасушасының бетін тотықтыратын және тұрақтандыратын CO<sub>2</sub> газын тудырады. Осылайша, карбонаттар арқылы өндірілген алюминий көбік TiH<sub>2</sub> көмегімен өндірілгеннен гөрі жұқа жасуша құрылымына ие. Көбіктің тұрақтануына оксид қабатының әсері басқа зерттеушілерден хабарланған [3,4,5]. Екінші жағынан, TiH<sub>2</sub> арқылы көбік SiO<sub>2</sub> сияқты қатты бөлшектермен тұрақтанады [6].

PM жолында кейбір карбонаттар көбік түзетін агенттер ретінде пайдаланылады және олардың нәтижесінде алынған көбік жасушаларының жақсы құрылымын және жақсы механикалық қасиеттерін көрсетеді [7,8]. Дегенмен, PM жолындағы карбонаттардың көбіктенуі әлі де анықталуы керек.

Біз карбонаттармен көбік түзу принципін зерттеп, доломит пен магний карбонаты AlSiCu қорытпасы үшін қолайлы көбік түзетін агенттер екенін анықтадық. Доломит пен магний карбонатын

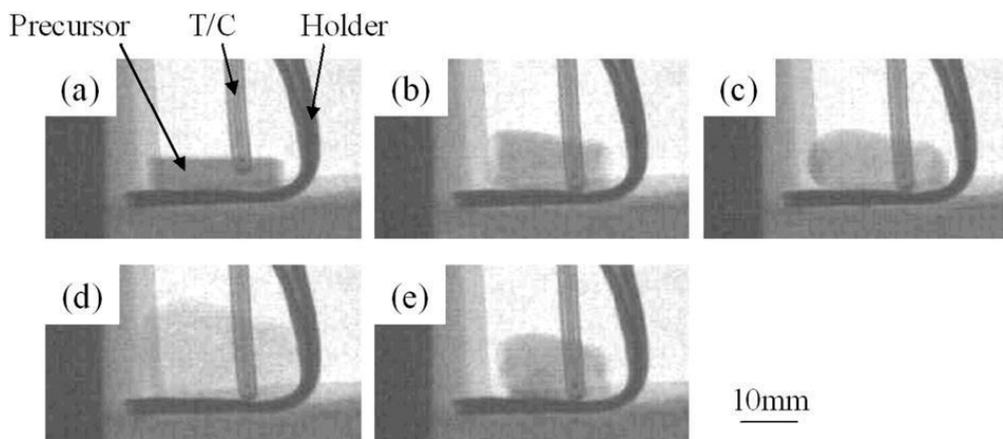
**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

қолдану арқылы өндірілген көбіктер жұқа және біртекті жасушалық құрылымға ие [9,10,11]. TiH<sub>2</sub> көмегімен өндірілген көбік ауырлық әсерінен үзілмес бұрын жасушалардың бірігуін көрсетеді [12,13]. Екінші жағынан, карбонаттарды қолдану арқылы өндірілген көбік TiH<sub>2</sub> көбікінен анық айырмашылығы бар айқын шөгуді көрсетеді. Трансмиссиялық рентгендік жүйені қолдану арқылы белгілі бір температурада алынған массасы 1,2% доломит көбікінің трансмиссиялық кескіндері [11] суретте көрсетілген. Көбік 973 К максималды кеңеюден кейін 1003 К-де айтарлықтай қысқарды. Мұндай айқын шөгу ПМ трассасындағы желіге жақын пішінге теріс әсер етеді. Тиісінше, практикалық қолдану үшін көбіктің шөгуін нақтылау және оның алдын алу әдісін белгілеу өте маңызды.

Осы зерттеуде көбік шөгу кезіндегі жасуша құрылымдары және мұндай шөгудің алдын алу әдісі зерттелді.

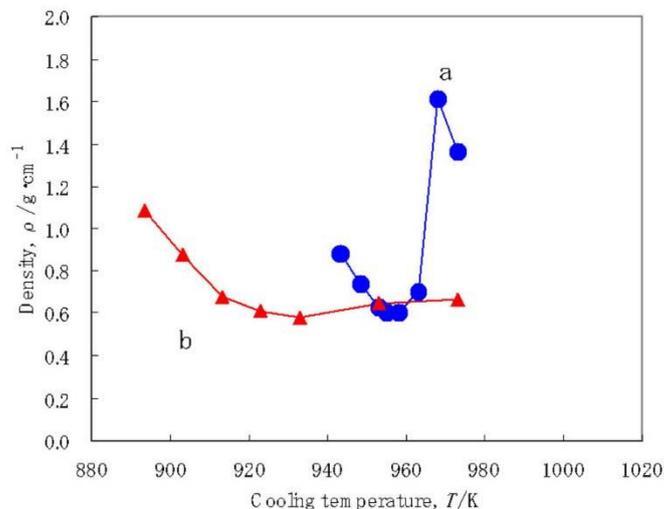
*Методология*

Доломит көмегімен өндірілген көбіктің жасушалық құрылымдары карбонатты көбік түзетін агенттермен туындаған көбік шөгуін нақтылау үшін байқалды. Массасы 2,0% доломитті қолдану арқылы өндірілген көбіктердің салқындату температурасы мен тығыздығы 2(a) суретте көрсетілген. Көбік 943 К-де 0,88 тығыздыққа дейін кеңейді. Содан кейін ол 958 К-де 0,60 тығыздықта максималды кеңеюді көрсетті. Осыдан кейін ол 968 К-де 1,61 тығыздықты көрсетуге дейін кішірейді. Көбіктер және олардың көлденең қимасы 39-суретте және К39-да көрсетілген. жасуша құрылымдары. 963 К-де көбік кішірейіп, оның жасушаларының саны азайды.

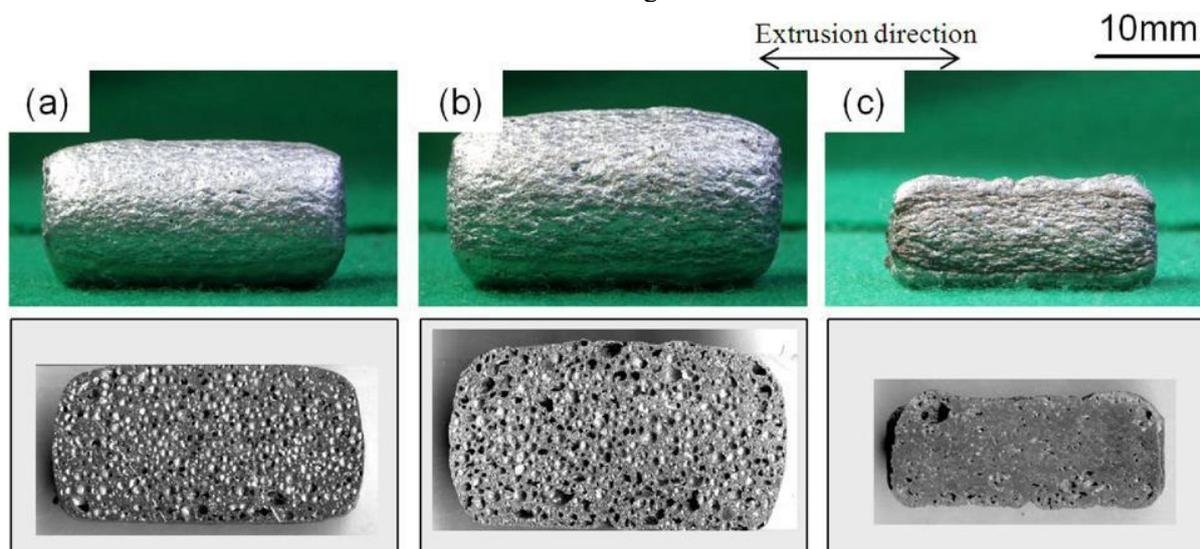


Сурет 1. Трансмиссиялық рентгендік жүйемен бақыланатын 1,2 массалық% доломитпен өндірілген көбіктер: (a) іске қосу; (b) 863 К; (c) 873 К; (г) 973 К және (e) 1003 К

**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

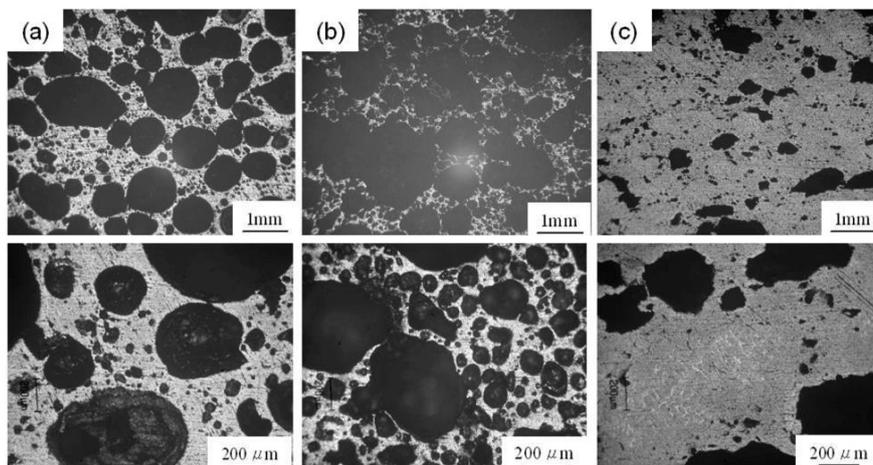


Сурет 2. Көбіктердің тығыздығы: (а) 2,0 масса% доломит және (б) 2,0 масса% доломит және 1,0 масса% MgCO<sub>3</sub>



Сурет 3. Массасы 2,0% доломит пен олардың көлденең қимасы бойынша алынған көбіктер: (а) 943 К, ρ:0,88 г/см<sup>3</sup>, (б) 958 К, ρ:0,60 г/см<sup>3</sup> және (в) 968 К, ρ:1,61 г/см<sup>3</sup>.

Көбіктердің жасушалық құрылымдары оптикалық микроскопия арқылы бақыланды, оның нәтижелері 4-суретте көрсетілген. Көбіктерде 943 және 958 К температурада әртүрлі өлшемдегі екі ұяшық байқалды. Өлшемі 1 мм-ге жуық ірі жасушалар AlSiCu ұнтағының бетіне сіңген су буының әсерінен индукцияланды және майда жасушалардың мөлшері 7 μ50 м-ге жуық болды. доломиттің ыдырауымен [11]. 943 К-де негізінен ірі жасушалар байқалды. 958 К-де майда жасушалардың саны айтарлықтай өсті. Дөрекі жасушалар бір-бірімен жұқа жасушалар арқылы байланысқан. Жасушалар ашық жасуша құрылымы ретінде пішінін сақтап қалды. Карбонаттар көбікінде тұрақты тотыққан жасуша қабырғалары бар [2,3,4,5], бұл жасушалардың бірігуіне жол бермейді. 968 К-де жасушалардың көпшілігі жоғалып кетті.

**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

Сурет 4. Массасы 2,0% доломитпен өндірілген көбіктердің микроқұрылымдары, төменгі суреттер жоғарғы қатардағы үлкейтілген кескіндер: (a) 943 К,  $\rho$ : 0,88 г/см<sup>3</sup>; (b) 958 К,  $\rho$ : 0,60 г/см<sup>3</sup> және (c) 968 К,  $\rho$ : 1,61 г/см<sup>3</sup>

*Қорытынды*

Бұл зерттеуде көбіктердің карбонатпен шөгуі және оның алдын алу әдісі талқыланды. Жасуша құрылымдарын бақылау нәтижесінде әртүрлі учаскелерде жасуша түзілуі жасуша байланыстарынан туындаған жиырылудың алдын алуда тиімді деп есептелді. Шөгудің алдын алуда 2,0 массалық% доломит пен 1,0 массалық% магний карбонатын бірнеше рет қосу тиімді екендігі тексерілді. Бірнеше рет қосылатын көбік бір доломитке қарағанда 0,87 тығыздықтағы жасуша құрылымына ие, бірақ біртекті жасуша құрылымын төменірек тығыздықта ұстауда проблемалар бар.

**Әдебиеттер тізімі**

1. Baumeister, J. Key метал денелерін өндіру әдісі. DE4018360, 8 6 1990.
2. Nakamura, T.; Gnyloskurenko, S.V.; Sakamoto, K.; Byakova, A.V.; Ishikawa, R. Металл көбігін өндіруге арналған жаңа көбіктендіргішті әзірлеу. Mater. Trans. 2002, 43, 1191–1196.
3. Gergely, V.; Curran, D.C.; Clyne, T.W. Foamcarp процесі: алюминий MMC-лерін бор мен алюминий реакциясы арқылы көбіктендіру. Compos. Sci. Technol. 2003, 63, 2301–2310.
4. Papadopoulos, D.P.; Omar, H.; Stergioudi, F.; Tsipas, S.A.; Lefakis, H.; Michailidis, N.J. Алюминий көбіктерін өндірудің жаңа әдісі және олардың қысу мінез-құлқын бағалау. J. Porous Mater. 2010, 17, 773–777.
5. Papadopoulos, D.P.; Omar, H.; Stergioudi, F.; Tsipas, S.A.; Michailidis, N. Доломитті көбіктендіргіш ретінде пайдалану және оның алюминий металл көбіктерінің микроқұрылымына әсері – титан гидридiмен салыстыру. Colloids Surf. A 2011, 382, 118–123.
6. Ip, S.W.; Wang, Y.; Toguri, J. Алюминий көбігін қатты бөлшектермен тұрақтандыру. Can. Metall. Quart. 1999, 38, 81–92.
7. Cambronero, L.E.G.; Ruiz-Roman, J.M.; Corpas, F.A.; Ruiz Prieto, J.M. Кальций карбонатын көбіктендіргіш ретінде пайдаланып, Al-Mg-Si қорытпасынан көбікті материал жасау. J. Mater. Process. Technol. 2009, 209, 1803–1809.
8. Haesche, M.; Lehnhus, D.; Weise, J.; Wichmann, M.; Mocellin, I.C.M. Чип негізіндегі алюминий көбікті дайындау үшін карбонаттарды көбіктендіргіш ретінде қолдану. J. Mater. Sci. Technol. 2010, 26, 845–850.
9. Koizumi, T.; Kido, K.; Kita, K.; Mikado, K.; Gnyloskurenko, S.V.; Nakamura, T. Ұнтақты металлургия әдісі арқылы алюминий көбігін өндіруге арналған көбіктендіргіштер. Mater. Trans. 2011, 52, 728–733.

**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

10. Koizumi, T.; Kido, K.; Kita, K.; Mikado, K.; Gnyloskurenko, S.V.; Nakamura, T. Металл көбіктерінің механикалық қасиеттерін карбонаттарды көбіктендіргіш ретінде пайдалану арқылы жақсарту. J. Jpn. Inst. Metals 2011, 75, 355–360.
11. Koizumi, T.; Kido, K.; Kita, K.; Mikado, K.; Gnyloskurenko, S.V.; Nakamura, T. Al көбігінің көбіктену мінез-құлқына доломиттің массалық үлесінің әсері. Metallur. Trans. A 2011. жариялауға ұсынылған.
12. Duarte, I.; Banhart, J. Алюминий көбігінің түзілуі – кинетикасы және микроқұрылымын зерттеу. Acta Mater. 2000, 48, 2349–2362.
13. Banhart, J. Металл көбіктері: өндіру және тұрақтылық. Adv. Eng. Mater. 2006, 8, 781–794.

Бекболатова Н.Ә

**Способ предотвращения осаждения алюминиевой пены карбонатами**

Металлическая пена производится с использованием гидрида Титана в качестве пенообразователя. Карбонаты производят алюминиевую пену с тонкой и однородной клеточной структурой. Однако пены, производимые карбонатами, демонстрируют явное осаждение, которое явно отличается от использования гидрида титана. Для практического применения очень важно уточнить усадку пены и установить способ ее предотвращения. В этом исследовании наблюдались клеточные структуры для изучения осаждения алюминиевой пены, производимой с использованием карбонатов. Пенные клетки производятся с использованием доломита в качестве пенообразователя, связанного с максимальным расширением друг друга. Считалось, что газ, образующий пену, выбрасывается через подключенные ячейки. Считалось, что образование клеток на различных участках эффективно предотвращает сокращение, вызванное клеточной связью. Было использовано несколько соединений доломита и карбоната магния с разными температурами разложения. Пена в корпусе с множеством включений сохраняла плотность от 0,66 до 973 К, при этом пена, произведенная доломитом, сжималась. Было проверено, что многократное добавление карбонатов эффективно предотвращает усадку.

*Ключевые слова:* алюминиевая пена, карбонаты, осаждение, материаловедение, клеточная структура, доломит, карбонат магния, газообразование, термическое разложение, гидрид титана, расширение, плотность, микроструктура, механизм вспенивания, алюминиевый сплав, конструкционные материалы, легкие материалы, механические свойства.

Bekbolatova N. A

**How to prevent the shrinkage of aluminum foam through carbonates**

Metal foam is produced using titanium hydride as a foaming agent. Carbonates produce aluminum foam with a thin and homogeneous cell structure. However, foams produced using carbonates show a pronounced shrinkage, which is clearly different from the one in which titanium hydride is used. For practical use, it is very important to clarify the shrinkage of the foam and establish a method of its prevention. In this study, cell structures were observed to study the shrinkage of aluminum foam produced using carbonates. Foam cells are associated with each other with maximum expansion produced using dolomite as a foaming agent. It was believed that the foaming gas was expelled to the outside through the connected cells. Cell formation at different sites has been thought to be effective in preventing contractions caused by cell bonding. Several inclusions of dolomite and magnesium carbonate with different decomposition temperatures were used. The foam in the case with many inclusions maintained a density of 0.66 to 973 K, when the foam produced with dolomite shrank. Repeated addition of carbonates has been tested to be effective in preventing shrinkage.

**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

*Keywords:* aluminum foam, carbonates, shrinkage, materials science, cell structure, dolomite, magnesium carbonate, gas formation, thermal decomposition, titanium hydride, expansion, density, microstructure, foaming mechanism, aluminum alloy, structural materials, lightweight materials, mechanical properties.

## References

1. Baumeister, J. Keu metal denelerin öndiru ädisi. DE4018360, 8 6 1990.
2. Nakamura, T.; Gnyloskurenko, S.V.; Sakamoto, K.; Byakova, A.V.; Ishikawa, R. Metall köbigin öndirwge arnalğan jaña köbiktenndirgişti äzirlew. Mater. Trans. 2002, 43, 1191–1196.
3. Gergely, V.; Curran, D.C.; Clyne, T.W. Foamcarp protsesi: aluminii MMC-lerin bor men aluminii reaksiyası arqyly köbiktendirw. Compos. Sci. Technol. 2003, 63, 2301–2310.
4. Papadopoulos, D.P.; Omar, H.; Stergioudi, F.; Tsipas, S.A.; Lefakis, H.; Michailidis, N.J. Aluminii köbiklerin öndirwdiñ jaña ädisi jäne olardyn qysw minez-qulqyn bağalaw. J. Porous Mater. 2010, 17, 773–777.
5. Papadopoulos, D.P.; Omar, H.; Stergioudi, F.; Tsipas, S.A.; Michailidis, N. Dolomitti köbiktenndirgiş retinde paidalanu jäne onyn aluminii metall köbikteriniñ mikroqurylymyna äsëri – titan gidridimen salystyrw. Colloids Surf. A 2011, 382, 118–123.
6. Ip, S.W.; Wang, Y.; Toguri, J. Aluminii köbigin qattı bölşektermen turaqtandyrw. Can. Metall. Quart. 1999, 38, 81–92.
7. Cambroner, L.E.G.; Ruiz-Roman, J.M.; Corpas, F.A.; Ruiz Prieto, J.M. Kalcii karbonatyn köbiktenndirgiş retinde paidalanyp, Al-Mg-Si qorytpasynan köbikti material jasaw. J. Mater. Process. Technol. 2009, 209, 1803–1809.
8. Haesche, M.; Lehmhus, D.; Weise, J.; Wichmann, M.; Mocellin, I.C.M. Chip negizindegi aluminii köbikti daryndaý üşin karbonattardy köbiktenndirgiş retinde qoldanw. J. Mater. Sci. Technol. 2010, 26, 845–850.
9. Koizumi, T.; Kido, K.; Kita, K.; Mikado, K.; Gnyloskurenko, S.V.; Nakamura, T. Üntaqty metallurgıa ädisi arqyly aluminii köbigin öndiriwge arnalğan köbiktenndirgişter. Mater. Trans. 2011, 52, 728–733.
10. Koizumi, T.; Kido, K.; Kita, K.; Mikado, K.; Gnyloskurenko, S.V.; Nakamura, T. Metall köbikteriniñ mekhanikalyq qasıetterin karbonattardy köbiktenndirgiş retinde paidalanu arqyly jaqsartu. J. Jpn. Inst. Metals 2011, 75, 355–360.
11. Koizumi, T.; Kido, K.; Kita, K.; Mikado, K.; Gnyloskurenko, S.V.; Nakamura, T. Al köbiginiñ köbiktenw minez-qulqyna dolomittiñ massalyq ülesiniñ äsëri. Metallur. Trans. A 2011. Jarıalayığa usynylğan.
12. Duarte, I.; Banhart, J. Aluminii köbiginiñ tüzilwi – kinetikasy jäne mikroqurylymyn zerttew. Acta Mater. 2000, 48, 2349–2362.
13. Banhart, J. Metall köbikteri: öndiriw jäne turaqtylyq. Adv. Eng. Mater. 2006, 8, 781–794.