

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА



**НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ  
В МАШИНОБУДУВАННІ**

**МАТЕРІАЛИ**

XIII Міжнародної науково-технічної конференції

конференцію присвячено ювілейним датам  
завідувачів кафедри  
ливарного виробництва чорних і кольорових металів:

*120 років від дня народження проф. Ващенко К.І.  
90 років від дня народження проф. Дорошенка С.П.  
80 років від дня народження проф. Сьомика А.П.*

Україна, Київ

2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ІНСТИТУТ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ТА ЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА



**НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ  
В МАШИНОБУДУВАННІ**

**МАТЕРІАЛИ**

XIII Міжнародної науково-технічної конференції

конференцію присвячено ювілейним датам  
завідувачів кафедри  
ливарного виробництва чорних і кольорових металів:

*120 років від дня народження проф. Ващенко К.І.  
90 років від дня народження проф. Дорошенка С.П.  
80 років від дня народження проф. Сьомика А.П.*

Україна, Київ

2021

УДК 621.74-027.31(082)

ББК 34.61я43

Н73

У збірнику представлено матеріали, які висвітлюють актуальні проблеми ливарного виробництва: розроблення прогресивних ресурсозаощадних технологій, одержання литих виробів із різних металів і сплавів у разових ливарних формах і спеціальними способами лиття, фізико-хімічні основи технології металів і сплавів, теорії кристалізації і твердіння виливків, розроблення і використання перспективних формувальних матеріалів і сумішей, сучасні технології виготовлення ливарних форм і стрижнів, моделювання технологічних процесів ливарного виробництва.

XIII Міжнародна науково-технічна конференція Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2021: матеріали науково-технічної конференції, 28...29 квітня 2021 р., м. Київ / загальна редакція Р. В. Лютий, І. М. Гурія. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 206 с.

Відповідальність за інформацію у наданих матеріалах несуть автори.

Технічний редактор: М. М. Ямшинський

Комп'ютерна верстка: І. В. Лук'яненко

УДК 621.74-027.31(082)

ББК 34.61я43

ISSN 2524-0544

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІМЗ ім. Є.О. Патона, 2021

## **ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ**

Голова – Ямшинський М.М., д.т.н., доцент, завідувач кафедри ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

Шинській О.Й., д.т.н., проф., Президент Асоціації ливарників України, м. Київ

Дібров І.А., д.т.н., проф., Президент Російської асоціації ливарників, м. Москва

Корчик Д.О., Голова Асоціації ливарників та металургів Республіки Білорусь, генеральний директор ВАТ «БМЗ»

Савенок А.М., генеральний директор ВАТ «Мінський підшипниковий завод», м. Мінськ

Одарченко І.Б., к.т.н., доцент, декан Механіко-технологічного факультету, ГГТУ імені П.О. Сухого, м. Гомель

Ніколайчик Ю.А., к.т.н., доцент, зав. кафедрою МТЛП, БНТУ, м. Мінськ

Луньов В.В., д.т.н., проф., НУ «Запорізька політехніка»

Верховлюк А.М., д.т.н., проф., ФТІМС НАН України, м. Київ

Пономаренко О.І., д.т.н., проф., віце-президент Асоціації ливарників України

Фесенко А.Н., к.т.н., проф., перший проректор ДДМА, м. Краматорськ

Бурбелко А., проф. AGH University of Science and Technology, м. Краків (Польща)

Дашич Предраг, проф. Вищої технічної школи, м. Трстенец (Сербія)

Рюдигер Бер, проф., зав. кафедрою ЛВі ОМТ Університету ім. Отто фон Геріке, м. Магдебург (Німеччина)

Лисенко Т.В., д.т.н., проф, зав. кафедрою ТУЛП, ОНПУ, м. Одеса

Хричиков В.Є., д.т.н., проф, зав. кафедрою ЛВ, НМетАУ, м. Дніпро

Турчанін М.А., д.х.н., проф, Проректор з наукової роботи, управління розвитком міжнародних зв'язків ДДМА, м. Краматорськ

Іванов В.Г., д.т.н., доцент, завідувач кафедри МОЛВ, НУ «Запорізька політехніка»

Затуловській А.С., д.т.н. проф., ФТІМС НАН України, м. Київ

Лук'яненко І.В., к.т.н. – вчений секретар, кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

Сиропоршнев Л.М., к.т.н., доцент, кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

Гурія І.М., к.т.н., доцент, кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

Могилатенко В.Г., д.т.н., проф., кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

Кочешков А.С., к.т.н., доцент, кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

Лютий Р.В., к.т.н., доцент, кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. І. Сікорського

## **ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ**

Смірнова Я.О., кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Тишковець М.В., кафедра ЛВЧКМ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

<i>Семенко А.Ю.<sup>1</sup>, Верзілов О.П.<sup>1</sup>, Ворон М.М.<sup>1</sup>, Шемет В.Ж.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ФТІМС НАН України; <sup>2</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ) РОЗРОБКА ЕКОНОМНОЛЕГОВАНИХ ВИСОКОМІЦНИХ ТWІP-СТАЛЕЙ Fe-Mn-Al-C ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЛИТОМУ СТАНІ.....</i>	<i>152</i>
<i>Сергиенко Р.А.<sup>1</sup>, Щерецький А.А.<sup>1</sup>, Науменко М.И.<sup>1</sup>, Лукашук А.И.<sup>2</sup>, Верховлюк А.М.<sup>1</sup> (<sup>1</sup>ФТІМС НАН України; <sup>2</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ) РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА В96Ц (7050) .....</i>	<i>154</i>
<i>Смирнов А.Н.<sup>1</sup>, Лысенко Т.В.<sup>2</sup>, Васильев Д.С.<sup>2</sup>, Киселев К.А.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ФТІМС НАН України, г. Киев; <sup>2</sup>ОНПУ, г. Одесса) АНАЛИЗ ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ «ЗАГОТОВКА – КРИСТАЛЛИЗАТОР МНЛЗ» .....</i>	<i>161</i>
<i>Сокольский В.Э., Роик А.С., Казимиров В.П., Яковенко А.М. (Киевский университет имени Тараса Шевченко, г. Киев) ОКСИДНЫЕ РАСПЛАВЫ: ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ.....</i>	<i>163</i>
<i>Солоненко Л.І.<sup>1</sup>, Реп'ях С.І.<sup>2</sup>, Білий О.П.<sup>2</sup>, В'юнник І.В.<sup>1</sup> (<sup>1</sup>ОНПУ, м. Одеса; <sup>2</sup>НМетАУ, м. Дніпро) МАСОПЕРЕНОС СИЛІКАТУ НАТРІУ В КАПЛЯХ ЩІЛИННОГО ТИПУ.....</i>	<i>165</i>
<i>Солоненко Л.І.<sup>1</sup>, Реп'ях С.І.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>ОНПУ, м. Одеса; <sup>2</sup>НМетАУ, м. Дніпро) СТРУКТУРУВАННЯ ПЛАКОВАНОГО КВАРЦОВОГО ПІСКУ ПАРО-МІКРОХВИЛЬОВИМ ЗАТВЕРДІННЯМ....</i>	<i>168</i>
<i>Степанчук А.М., Тесля С.Ю., Степаніко І.О., Кучер О.С., Кружкова М.А. (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ) ОТРИМАННЯ ПОРОШКІВ СПЛАВІВ Al-Fe ПОДРІБНЕННЯМ У КУЛЬОВИХ ТА ПЛАНЕТАРНИХ МЛИНАХ.....</i>	<i>170</i>
<i>Титаренко В.В., Заблудовський В.О., Титаренко І.В. (ДНУЗТ, м. Дніпро) ПРОГРАМНІ РЕЖИМИ ІМПУЛЬСНОГО СТРУМУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ.....</i>	<i>176</i>
<i>Титаренко В.В., Заблудовський В.О. (ДНУЗТ, м. Дніпро) МІКРОШАРУВАТІ НІКЕЛЕВІ ПОКРИТТЯ, ОТРИМАНІ ПРОГРАМНО-КЕРОВАНИМ СТРУМОМ.....</i>	<i>178</i>
<i>Токова О.В.<sup>1</sup>, Дорошенко В.С.<sup>2</sup>, Кравченко В.П.<sup>2</sup> (<sup>1</sup>МННЦІТС НАН та МОН України; <sup>2</sup>ФТІМС НАН України, м. Київ) ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА ІНДУКТИВНИМ МЕТОДОМ.....</i>	<i>180</i>
<i>Упатов М.І., Єфіменко М.Ю., Богомол Ю.І. (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ) СПРЯМОВАНО ЗАКРИСТАЛІЗОВАНИЙ ТРИФАЗНИЙ ЕВТЕКТИЧНИЙ КОМПОЗИТ СИСТЕМИ V<sub>4</sub>C-TaV<sub>2</sub>-SiC .....</i>	<i>181</i>
<i>Упатов М.І., Єфіменко М.Ю., Богомол Ю.І. (КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ) МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕВТЕКТИЧНОГО КОМПОЗИТУ СИСТЕМИ V<sub>4</sub>C-TaV<sub>2</sub>-SiC .....</i>	<i>183</i>
<i>Феденюк Д.В., Шелковий О.М., Леетюк В.І., Гуцаленко Ю.Г. (НТУ «ХПІ», м. Харків) ВИБІР ПОСЛІДОВНОСТІ СКЛАДАННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНО-СКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ЧАСУ ВИПУСКУ ГОТОВОГО ВИРОБУ ...</i>	<i>186</i>
<i>Федоров М.М., Дьяченко Ю.Г. (ДДМА, м. Краматорськ) ВПЛИВ КВАРЦОВОГО ПІСКУ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІЩАНО-ГЛИНЯСТИХ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ.....</i>	<i>187</i>
<i>Чейлях А.П.<sup>1</sup>, Чейлях Я.А.<sup>1</sup>, Каймінг Ву<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Призовський державний технічний університет, м. Маріуполь, Україна; <sup>2</sup>Уханський університет науки і технологій, м. Ухань, КНР) ВПЛИВ ГАРТУВАННЯ НА ФАЗОВО-СТРУКТУРНИЙ СКЛАД, МЕТАСТАБІЛЬНІСТЬ АУСТЕНІТУ ТА ВЛАСТИВОСТІ НОВИХ БЕЗНІКЕЛЕВИХ КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ ЛИТИХ СТАЛЕЙ АУСТЕНІТНО-ФЕРИТНОГО КЛАСУ .....</i>	<i>190</i>
<i>Чейлях А.П., Чейлях Я.А. Призовский государственный технический университет, г. Мариуполь) ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ БРОНЕВЫХ СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТОВ МЕТАСТАБИЛЬНОСТИ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ МАРТЕНСИТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ .....</i>	<i>192</i>

**Солоненко Л.І.<sup>1</sup>, Реп'ях С.І.<sup>2</sup>, Білий О.П.<sup>2</sup>, В'юнник І.В.<sup>1</sup>**  
**(<sup>1</sup>ОНПУ, м. Одеса; <sup>2</sup>НМетАУ, м. Дніпро)**  
**МАСОПЕРЕНОС СИЛКАТУ НАТРІЮ В КАПІЛЯРАХ**  
**ЩІЛИННОГО ТИПУ**  
**E-mail: solonenkoli14@gmail.com**

Рідке скло (РС) – узагальнена назва водних лужних розчинів силікатів натрію (калію, літію), які широко використовують у ливарному виробництві, будівництві, паперовому виробництві тощо, як екологічно безпечний, вітчизняний, великотонажно вироблений і недорогий водорозчинний матеріал, що володіє сполучними властивостями. Сполучні властивості РС проявляються практично при будь-якому вмісті в ньому води менше 22...17% (за масою). При цьому особливістю такого РС є його спінювання при швидкому нагріванні, зокрема при його обробці мікрохвильовим випромінюванням (МВ). На сьогоднішній день, зокрема, дані про спінювання РС в капілярах при впливі МВ носять фрагментарний характер, не до кінця вивчено механізм масопереносу в капілярно-пористому середовищі і т. п.

У дослідженнях використовували содове натрієве РС з силікатним модулем 2,8...3,0 і питомою щільністю 1,43...1,46 г/см<sup>3</sup>. Обробку водного розчину силікату натрію (вміст води 60%, за масою), а також висушеного силікату натрію з масовим вмістом вологи в ньому до 19% проводили МВ при номінальній потужності магнетрона 700 Вт і частотою випромінювання 2,45 ГГц в капілярі щілинного типу. Для цього використовували дві скляні пластини, між якими поміщали краплю РС. Відстань між паралельно розташованими пластинами (товщина капілярного каналу) становило 30...40 мкм. Для обробки МВ пластини поміщали в горизонтальному положенні в центр обертового стола мікрохвильової печі. Час обробки РС мікрохвильовим випромінюванням ~ 60...90 с. Після закінчення обробки пластини охолоджували на повітрі, визначали товщину плоского капіляра і механічно відокремлювали один від одного. Структури, що утворилися у щілинному капілярі, твердих утворень

силікату натрію досліджували з використанням мікроскопа при збільшеннях до 100 крат.

Види обробленого МВ затверділого в плоскому капілярі щілинного типу РС, висушеного РС з вмістом залишкової вологи 19% і висушеного РС з вмістом залишкової вологи 19% після впливу пари наведені на рис. 1.

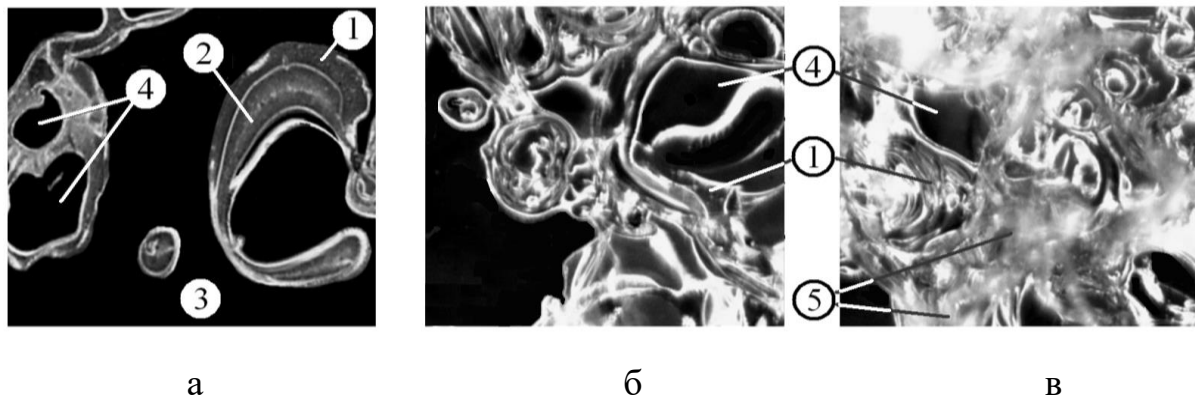


Рис. 1. Вид обробленого МВ затверділого в плоскому капілярі щілинного типу РС (а), висушеного РС з вмістом залишкової вологи 19% (б), висушеного РС з вмістом залишкової вологи 19% після впливу пари (в) при збільшенні  $\times 100$ :

1 – зневоднений силікат натрію; 2 – водний розчин силікату натрію; 3 – паровий канал; 4 – парова бульбашка; 5 – гідратований силікат натрію

За результатами візуальної оцінки структури РС, затверділого в плоскому капілярі щілинного типу (див. рис. 1, а), встановлено, що в процесі обробки РС мікрохвильовим випромінюванням вільна вода, що знаходиться в РС, перетворюється в пару. При виході пари з виниклих бульбашок в РС утворюється зневоднений силікат натрію 1, а так само ділянки, які ще не встигли віддати воду і знаходяться в стані водного розчину силікату натрію 2. Пара в бульбашках 4, під власним тиском, розриває висушені оболонки силікату натрію і виходить з нього, утворюючи парові канали 5. Цей процес триває до тих пір, поки вся вільна вода не вийде з РС або поки не завершиться вплив на нього МВ.

При обробці МВ висушеного РС з вмістом залишкової вологи 19% (див. рис. 1, б), відбувається його нагрівання з наступним видаленням гідратної води, яка, перетворюючись на пару, в сухих оболонках силікату натрію 1 утворює парові бульбашки 4.

При короткочасній паровій обробці МВ висушеного РС з вмістом залишкової вологи 19% (див. рис. 1, в), утворюється конденсат пари на частинках сухого РС 1, що частково розчиняє їх, роблячи їх гідратованими 5 та рідкорухливими. При цьому, гідратна вода в РС при обробці МВ утворює парові бульбашки 4 подібно опису схеми на рис. 1, б.

Виходячи з особливостей отриманих структур, можна констатувати, що масоперенос РС в плоскому капілярі щілинного типу і, відповідно, в капілярно-пористому середовищі під дією МВ подібний впливу на РС швидкого нагрівання (теплого «удару») і обумовлений спінюванням РС. Однак механізм спінювання, як і властивості рідкоскляної піни, що утворюється, при зовнішньому тепловому «ударі» і під дією МВ різні. Зокрема, механізм масопереносу РС під дією МВ характеризується багатоетапністю і проходить за принципом ланцюгової реакції. Така закономірність, мабуть, обумовлена селективністю швидкості нагрівання МВ складових РС. Дана обставина, в сукупності з короткочасністю і селективністю нагрівання, властивим мікрохвильовому сушінню, дозволяє розглядати дану технологію спінювання як найбільш ефективну і перспективну з точки зору розробки нових способів і підходів у вирішенні проблеми зниження енерговитратності при отриманні дрібнодисперсних зневоднених силікатів натрію і структурування зернистих матеріалів і, зокрема, для виробництва піщаних ливарних форм і стрижнів.



**Солоненко Л.І.<sup>1</sup>, Реп'ях С.І.<sup>2</sup>**  
**(<sup>1</sup>ОНПУ, м. Одеса; <sup>2</sup>НМетАУ, м. Дніпро)**  
**СТРУКТУРУВАННЯ ПЛАКОВАНОГО КВАРЦОВОГО ПІСКУ**  
**ПАРО-МІКРОХВИЛЬОВИМ ЗАТВЕРДІННЯМ**  
**E-mail: solonenkoli14@gmail.com**

Паро-мікрохвильове затвердіння (ПМЗ) – спосіб структурування (затвердіння) піщано-рідкоскляних сумішей, що використовують для виготовлення ливарних форм і стрижнів. Спосіб ПМЗ відноситься до числа екологічно та санітарно-гігієнічно безпечних, енергозберігаючих та економічних способів. В даний час, через відсутність відповідного промислового обладнання, даний спосіб орієнтований на виготовлення ливарних форм і стрижнів дрібних і середніх виливків загальномашинобудівного призначення із залізвуглецевих і легкоплавких кольорових сплавів.

Суть способу ПМЗ полягає в тому, що сухий, плакований водорозчинним сполучним матеріалом пісок засипають в модельно-опочну оснастку (стрижневий ящик), в якому попередньо розміщують один і більше водяних зарядів (ВЗ), віброуцільнюють плакований пісок і обробляють мікрохвильовим випромінюванням. Водяний заряд – це дозована кількість води, якою, наприклад, просочують поліуретанову губку, гіпс і т.п.

Плаковану суміш виготовляють з вогнетривкого наповнювача (кварцовий пісок, шамотний пісок і т.п.) і водорозчинного сполучного матеріалу, наприклад, рідкого скла, масою від 0,5% до 3,5% (за масою, понад 100% піску). Для плакування суміш піску і сполучного матеріалу механічно перемішують, потім сушать до вмісту в рідкому склі залишкової води 17...20%, після чого підсушують до меншого вмісту гідратної води в ньому.

Для виготовлення ливарної форми або стрижня суху суміш (плакований пісок) засипають у відповідну оснастку і вібраційно ущільнюють протягом 5...40 с, що забезпечує «розтікання» плакованого піску і його ущільнення у всіх робочих порожнинах використовуваного оснащення.

Заповнене плакованим піском оснащення встановлюють у робочий простір мікрохвильової печі і в залежності від маси і габаритів ливарної форми/стрижня обробляють мікрохвильовим випромінюванням протягом 2...15 хвилин.

В процесі мікрохвильового впливу з ВЗ починає випаровуватися вода, перетворюючись в насичену пару. Проходячи по капілярних каналах суміші, водяна пара конденсується на їх поверхнях, підвищуючи їх температуру і утворюючи на них шар води – конденсат. Під дією високочастотного випромінювання конденсат нагрівається і випаровується, що також призводить до підвищення температури суміші. Багаторазовість повторення процесу конденсація-випаровування між молекулами пари і конденсату призводить не тільки до підвищення температури суміші, а й до тимчасового насичення силікату натрію (спочатку висушеного рідкого скла на поверхні піщинок) водою і його переходу в рідкорухливий стан. Рідке скло, змочуючи поверхню зерен вогнетривкого матеріалу, переміщується під дією капілярних сил до точок міжзернового зіткнення. Заповнюючи міжзерновий простір, рідке скло утворює між зернами піску рідкі манжети. Після досягнення сумішшю точки роси, конденсація пари припиняється. З цього моменту вода, що знаходиться в капілярах у вільному стані, випаровується, а з рідкого скла випаровуються залишки пов'язаної (гідратної) води. Ці процеси призводять до того, що манжети між зернами піску з рідкорухливої рідини перетворюються в твердий зневоднений силікат натрію. На цьому процес структурування матеріалу форми/стрижня за способом ПМЗ завершується.

Виготовлені стрижні і форми по даному технічному рішенню відразу після виготовлення придатні до використання, оскільки мають високу міцність і газопроникність, практично не містять вологи і, відповідно, практично не газотвірні. Пропонованим способом можна виготовляти стрижні і форми будь-якої складності, а їх обмеження за масою і розмірами будуть обумовлені тільки вантажопідйомністю і розмірами робочого простору використовуваної мікрохвильової камери.