

**О. В. КРАХМАЛЬОВ, О. І. ЗІНЧЕНКО, В.М. КРАСНОКУТСЬКИЙ, Л.В. РАЗАРЬОНОВ**

### ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА СКЛАДНИХ ДЕТАЛЕЙ

Авторами представлені результати розгляду прогресивних технологій ливарного виробництва складних деталей. У машинобудуванні близько 50 % маси машин та механізмів складають виливки, у верстатобудуванні – біля 80 %. Це пояснюється рядом переваг ливарного виробництва порівняно з іншими способами отримання заготовок або готових виробів. Литтям отримують заготовки як простої, так і дуже складної форми з внутрішніми порожнинами, які неможливо або дуже важко отримати іншими способами. Деякі спеціальні способи лиття дозволяють отримати виливки з високою чистотою поверхні та точністю за розмірами, що зменшує або зовсім виключає їх наступну механічну обробку. Спеціальні способи лиття дозволяють частково, а іноді й повністю відмовитись від використання формовочних та стрижневих сумішей, провести комплексну механізацію та автоматизацію усього процесу. У ливарному виробництві прогресивними є такі технологічні процеси: лиття в оболонкові форми та по виплавлених моделях в умовах вакууму, що запобігає окисленню металу; лиття монокристалічних робочих деталей з жароміцних сплавів методом вакуумного всмоктування; лиття за газифікованими моделями; спрейнне лиття; безмодельне лиття.

**Ключові слова:** прогресивна технологія; ливарне виробництво; лиття за газифікованими моделями; спрейнне лиття; безмодельне лиття

**А. В. КРАХМАЛЕВ, Е. И. ЗИНЧЕНКО, В. Н. КРАСНОКУТСКИЙ, Л.В. РАЗАРЕНОВ**

### ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Авторами представлены результаты рассмотрения прогрессивных технологий литейного производства сложных деталей. В машиностроении около 50 % массы машин и механизмов составляют отливки, в станкостроении – около 80 %. Это объясняется рядом преимуществ литейного производства по сравнению с другими способами получения заготовок или готовых изделий. Литьем получают заготовки как простой, так и очень сложной формы с внутренними полостями, которые невозможно или очень трудно получить другими способами. Некоторые специальные способы литья позволяют получать отливки с высокой чистотой поверхности и точностью по размерам, что уменьшает или совсем исключает их последующую механическую обработку. Специальные способы литья позволяют частично, а иногда и полностью отказаться от использования формовочных и стержневых смесей, провести комплексную механизацию и автоматизацию всего процесса. В литейном производстве прогрессивными являются такие технологические процессы, как: литье в оболочечные формы и по выплавляемым моделям в условиях вакуума, что предотвращает окисление металла; процессы получения монокристаллических рабочих деталей из жаропрочных сплавов методом вакуумного всасывания; литье по газифицируемым моделям; спрейнное литье; безмодельное литье.

**Ключевые слова:** прогрессивная технология; литейное производство; литье по газифицируемым моделям; спрейнное литье; безмодельное литье.

**O. KRAKHMALYOV, O. ZINCHENKO, V. KRASNOKUTSKY, L. RAZARYONOV**

### PROGRESSIVE TECHNOLOGIES OF FOUNDRY PRODUCTION OF COMPLEX DETAILS

The authors present the results of consideration of advanced technologies of foundry production of complex parts. In mechanical engineering, about 50% of the mass of machinery and machinery is cast, in machine tools - about 80%. This is explained by the number of advantages of foundry production in comparison with other methods of obtaining blanks or finished products. The molds are provided with blanks of both simple and very complex shape with internal cavities, which are impossible or very difficult to obtain in other ways. Some special casting methods allow castings to be obtained with a high surface cleanliness and precision in size, which reduces or completely eliminates subsequent machining. Special casting methods allow you to partially and sometimes completely abandon the use of molding and core mixtures, to carry out complex mechanization and automation of the whole process. In the foundry industry, the following technological processes are progressive: casting in shell molds and smelting models under vacuum conditions, which prevents oxidation of the metal; casting of single-crystal workpieces from heat-resistant alloys by vacuum suction method; casting by gas models; spray molding; modelless casting.

**Keywords:** progressive technology; foundry production; casting by gas models; spray molding; modelless casting.

**Вступ.** Ливарне виробництво є сьогодні основною заготівельною базою машинобудування і в перспективі збереже своє лідируюче положення. На частку литих заготовок і деталей в середньому припадає 50...70% маси (у верстатобудуванні до 90 %) і 20 % вартості машин. Тільки методами лиття можна отримати складні за конфігурацією і геометрією заготовки з чорних і кольорових сплавів з високим (75...95 %) коефіцієнтом використання металу. Як правило, литі деталі несуть високі навантаження в машинах, механізмах і багато в чому визначають їх експлуатаційну надійність, точність і довговічність [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз технологічного процесу виготовлення заготовок для машинобудування, суть якого в заповненні ливарної форми розплавленим матеріалом і подальшій обробці отриманих після затвердіння

виробів, а також виявлення найбільш економічно ефективних способів лиття, наведено в роботах Б. Базарова [2], С. Дорошенко [3, 4], Б. Ладизького [5] та ін.

*Мета статті* полягає у розгляді прогресивних технологій ливарного виробництва складних деталей.

**Основна частина.** Одним із головних завдань ливарного виробництва на теперішній час в Україні є впровадження прогресивних технологічних процесів, а також сучасних матеріалів, які забезпечують виробництво виробів високої якості. Проблема випуску якісних виливків як по щільності і якості поверхонь, так і з розмірної точності, є постійним

© О. В. Крахмальов, О. І. Зінченко,  
В.М. Краснокутський, Л.В. Разарьонов, 2020

предметом уваги фахівців-ливарників [6–8].

Серед безлічі вимог, що пред'являються до виливків, розмірна точність являється однією з домінуючих, забезпечення якої визначається якістю ливарного оснащення.

Ливарне виробництво – технологічний процес отримання фасонних деталей або заготовок шляхом заливання розплавленого металу у форму. Після затвердіння металу з форми виходить вилівок. Заготовки піддаються у подальшому механічній обробці. У машинах і промисловому обладнанні 49% всіх деталей виготовляються методом лиття. Ливарне виробництво є основою заготівельної бази машинобудування. У теперішній час у багатьох машинах та механізмах частка литих деталей із чавуну складає близько 60% їхньої маси, а в металообробних станках, двигунах внутрішнього згоряння, компресорах, насосах та редукторах перевищує 80% [9].

Способи виготовлення виливків класифікують: за кількістю заливань розплавів у ливарну форму (разові та багаторазові); за конструкцією ливарних форм (роз'ємні та нероз'ємні); за матеріалом, з якого виготовляють форми (піщано-глинисті, піщані, графітові, керамічні, металеві тощо); за тиском, під яким перебуває рідкий метал у формі (атмосферний, низький, високий, вакуум); за способом подавання розтоплених стоків у форми (вільне лиття, вакуумне лиття, лиття за допомогою вібрації, ультразвуку, електромагнітних полів тощо). На практиці також застосовують комбіновані способи, тому часто спосіб виготовлення вилівка одночасно належить до різних класифікаційних груп. У літературі можна зустріти поділ способів виготовлення виливків на звичайні, тобто поширені, та спеціальні. Спеціальні дають змогу виготовлення виливків вищої якості, точності розмірів, чистоти поверхні [10]. Аналіз існуючого методу лиття (лиття по виплавлених моделях) доводить його доречність для великосерійного та масового виробництва. Для дослідного або дрібносерійного виробництва цей метод не підходить. Застосування методу отримання ливарної синтез-моделі і синтез-форми за рахунок технологій пошарового синтезу дозволить радикально скоротити час створення нової продукції [11].

Литтям з розпиленням розплавленого металу (спрейне лиття) отримують безволоконні металоматричні композиції, заготовки із сплавів на титановій основі, сталей, нікелевих і мідних сплавів (рис. 1). Цей спосіб забезпечує високу якість лиття. Процес проводиться в одну операцію, при якій досягаються необхідна форма деталі, гомогенність матеріалу, відсутність макросегрегації і повна суцільність без традиційних ливарних дефектів. Спрейне лиття може виконуватися в інертному газовому середовищі, наприклад, в аргоні або у вакуумі.

Для підвищення механічних властивостей, отримані спрейними литтями заготовки можуть піддаватися газостатуванню або розкочуванню.

Основними перевагами спрейного лиття є: по-

рівняно низька вартість, низька трудомісткість, висока продуктивність; отримання заготовок з високою хімічною гомогенністю, дрібнозернистою структурою і високими механічними властивостями матеріалу. Сегрегація зерен відсутня або незначна; можливість отримання заготовок з матеріалів, які важко або не можна використовувати при звичайних способах лиття, зокрема, з інтерметалідних сплавів, при низьких ливарних властивостях та ін.; можливість отримання заготовок різної форми: плоских, циліндричних, фасонних, трубчастих, кільцевих тощо [12].

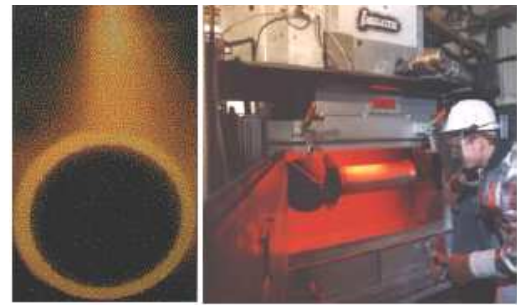


Рисунок 1 – Спрейне лиття трубчастої заготовки (а) і деталі складної форми (б)

Лиття за газифікованими моделями – процес одержання виливків шляхом заповнення форми рідким металом у вакуумовані форми з пінополістироловою моделлю, яка під дією теплоти рідкого металу газифікована (рис. 2). При цьому модель заміщується рідким металом, який надалі кристалізується і твердне у вакуумованій формі з незв'язного кварцового піску [12].

Переваги: досягнення високої точності і низької шорсткості поверхні виливків дозволяє знизити масу литих виробів на 15–30%, підвищити коефіцієнт використання металу до рівня 0,85–0,95, що сприяє зниженню обсягів механічної обробки виливків на 20–40% порівняно з виливками, отриманими в піщано-глинистій і металевій формах. Особливостями цього виду лиття є висока точність і можливість автоматизації процесу виливки [13].

Технологія включає операції виготовлення, складання, фарбування пінополістиролових моделей, формування, заливку, видалення виливків, охолодження і регенерації формувальних матеріалів. Для отримання цих виливків використовується технологія лиття по моделях, що газифікуються (Lost – Foam casting) у вакуумованих формах, суть якої полягає в наступному: спочатку проводиться підготовка полістиролу (блок – схема) для газифікованої моделі (ГМ), основна відмінність якого від інших видів пінопластів полягає у підвищеному вмісті ізопентану. Виготовлення моделей із спіненого пінополістиролу проводиться через 12–24 години шляхом його обробки парою в прес-формах з подальшим охолодженням у воді. Після цього пінополістиролові моделі забарвлюються протипригарним покриттям товщиною 0,4–0,8 мм і піддаються сушці при температурі 50–60°C. Потім, при

необхідності, моделі разом з литниково-живильною системою піддаються складанню у блоки для подальшої заливки. Формування блоку забарвлених пінополістиролових моделей проводиться шляхом встановлення його в контейнер, який засипається сипучим вогнетривким наповнювачем і піддається віброущільненню. Після ущільнення вогнетривкого наповнювача верхня частина контейнера герметизується термостабільним покриттям. Форма перед заливкою піддається вакуумуванню. Після заливки металу в спеціальну литникову систему форма в перебігу заданого технологічного часу додатково вакуумується. Після відключення вакууму від форми виливки в ній охолоджуються ще протягом 10-30 хв. Після закінчення циклу охолодження виливків, контейнер повертається на 180°C та виливки, вогнетривкий наповнювач видаляються з контейнера без застосування традиційної операції вибивки [14].

На сучасному етапі М. Буровським та ін. розроблено три способи виготовлення екзотермічних вставок із використанням газифікованої моделі як несучої конструкції. Способи включають застосування вуглеводневих матеріалів без додаткового забруднення піщаної формувальної суміші, що багаторазово використовується у процесах лиття за газифікованими моделями. Розрахунок витрат на виробництво розроблених екзотермічних вставок за рахунок вибору оптимальної сировини, наявної на вітчизняному ринку, показав ефективність їх застосування. Також науковцями запропоновано концепцію комп'ютерного моделювання геометричної форми надливу в умовах лиття за газифікованими моделями [15].

Застосування пінополістиролової моделі, яка газифікована при заповненні форм рідким металом, дозволяє забезпечити високі техніко-економічні показники: коефіцієнт використання металу 80–90%; вихід придатного металу 50–80%; підвищення механічних характеристик матеріалу виливків на 10–15%; зниження маси виливків на 15–25%; зниження витрат шихтових матеріалів і феросплавів на 15–25%; зниження витрат формувальних і стрижневих матеріалів на 80–90%; зниження капітальних витрат у 2–2,5 рази; зменшення виробничих площ у 3–4 рази; зменшення трудовитрат на 30–50%.



Рисунок 2 – Лиття за газифікованими моделями

Традиційні методи виготовлення ливарних форм і стрижнів зі складною геометрією вимагають значних часових витрат і сьогодні є неефективними.

Способи безмодельного лиття: на основі використання технологій швидкого прототипування, недоліком якого є висока вартість обладнання, порівняно низька точність і висока шорсткість одержуваних форм; Direct mold milling (DMM) – на основі виготовлення ливарних форм високошвидкісною механічною обробкою на верстатах з ЧПК з попередньо підготовлених брикетів модельного матеріалу (піску, графіту або сумішей холодного твердіння) [12]. Остання технологія на теперішній час отримує широке застосування на підприємствах, що працюють в умовах багатонаменклатурного дрібносерійного виробництва.

Переваги безмодельного лиття (DMM): швидке отримання ливарної форми, що досягається усуненням часу виготовлення моделі і винятком додаткових операцій по вилученню моделей; можливість отримання складних виливків, які неможливо або складно отримати традиційними способами модельного лиття; не потрібні ливарні ухили.

Методи порошкової металургії дозволяють отримувати вироби з закономірно змінюваним за глибиною хімічним складом або мають в базовому матеріалі порошок (гранул) елементи з інших матеріалів, отриманих литтям, тиском чи іншими способами. Розширюється застосування технологій порошкової металургії, які дозволяють отримувати сплави з високим рівнем легування і механічних властивостей із забезпеченням однорідності хімічного складу і структури. Характерною особливістю технологічних методів порошкової металургії є економія металу та підвищення продуктивності виробництва. Вироби конструкційного призначення, отримані методом порошкової металургії, наприклад шестерні, кільця підшипників, фланці, сепаратори, в ряді випадків піддаються механічній обробці для видалення дефектного поверхневого шару і забезпечення потрібної точності та якості поверхні деталі. Якість деталі визначається як геометричними показниками, такими як точність розмірів і форми, так і шорсткістю та властивостями поверхневого шару матеріалу [16].

Метод гарячого ізостатичного пресування (HIP – Hot isostatic pressing), розроблений для виготовлення деталей складної техніки, не в повній мірі забезпечує зниження матеріаломісткості виробництва, для обробки заготовки до необхідних розмірів і підвищення якості поверхні деталі завжди потрібна додаткова механічна обробка.

Вирішуючи завдання підвищення якості деталей при застосуванні порошкової металургії, технологи поліпшили процес виготовлення форм і спеціальної оснастки для формування деталі з порошку. Завдяки використанню комп'ютерного моделювання вдалося підвищити точність виготовлення, а сучасні ультразвукові вібраційні методи допомогли поліпшити щільність засипання порошку у форму. При цьому значно покращилася якість

виготовленої деталі. Новий метод назвали «точне гаряче ізостатичне пресування» (NetShape Powder HIP) (рис. 3). Цей метод дозволяє отримувати великорозмірні вироби (включаючи тонкостінні з товщиною стінок до  $0,4 \div 1$  мм), що мають структури з меншим розміром зерен, ніж забезпечується при традиційному методі лиття.

Гаряче ізостатичне (газостатичне) пресування (ГІП) (Hot Isostatic Processing) засноване на одночасному впливі на заготовку високої температури і високого тиску газу (зазвичай аргону). Ця технологія отримує широке застосування у виробництві складних деталей в цілях: зниження пористості і усунення усадочних раковин у відливках; спікання порошкових матеріалів; реакційного спікання конструкційних керамік; дифузійного зварювання однойменних і різнорідних матеріалів; отримання композиційних матеріалів з керамічною та металевою матрицею; поверхневого фізико-хімічного модифікування та ін.



Рисунок 3 – Точне гаряче ізостатичне пресування (NetShape Powder HIP)

Ще один метод порошкової металургії знайшов застосування при виготовленні авіаційних деталей. Це Metal Injection Molding (MIM) – формування металу методом вприскування (рис. 4).



Рисунок 4 – Формування металу методом вприскування

Технологія пошарового лазерного спікання порошків (LAM – laser additive manufacturing) запропонована компанією AeroMet. Її суть полягає у використанні скануючого лазерного променя для розплавлення порошкових матеріалів і пошарового виплавлення деталі заданої форми. Метод LAM дозволяє отримати однорідне з'єднання двох деталей без тріщин, пор і раковин (рис. 5) [12; 17; 18].



Рисунок 5 – Деталі, отримані за допомогою методу LAM

Основні переваги методу пошарового лазерного спікання: автоматизований режим фактичної побудови готових просторових деталей (виробів) з комп'ютерної 3D-моделі; скорочення часу і витрат на отримання виробу за рахунок виключення проміжних стадій виготовлення оснастки та пресформ; відсутні дефекти лиття; знижується трудомісткість фінішної механічної обробки [19]. Технології 3D друку дозволили об'єднати в собі не тільки переваги порошкової металургії, такі як високий коефіцієнт використання матеріалу, що не виходить досягти методами лиття, а також і переваги ливарного виробництва (отримання деталей складної форми і різної конфігурації). Такі технології дозволили навіть перевершити їх [20].

**Висновки.** Спеціальні способи лиття дозволяють частково, а іноді й повністю відмовитись від використання формовочних та стрижневих сумішей, провести комплексну механізацію та автоматизацію усього процесу.

У ливарному виробництві прогресивними є такі технологічні процеси, як: лиття в оболонковій формі та по виплавлених моделях в умовах вакууму, що запобігає окисленню металу; процеси одержання монокристалічних робочих деталей з жароміцних сплавів методом вакуумного всмоктування; лиття за газифікованими моделями; спрейнне лиття; безмодельне лиття.

#### Список літератури

1. Пупань Л. И., Кононенко В. И. *Перспективные технологии получения и обработки материалов* : учеб. пособие. Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. 261 с.
2. Базров Б. М. *Основы технологии машиностроения* : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2005. 736 с.
3. Дорошенко В. С., Бердыев К. Х. *Изготовление литейных моделей из пенополистирола. Станочный парк*. Санкт-Петербург. 2010. № 6. С. 120.
4. Джуган О.А., Овчинников О. В., Ольшанецкий В. Ю. Аддитивні технології і можливості їх застосування в сучасних умовах (огляд). *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2014. № 2. С. 96-101.
5. Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А. Аддитивные технологии и изделия из металла. *Библиотека литейщика*. 2014. № 9. С. 14–71.
6. Оболенцев Ф. Д. *Точность и качество поверхности отливок*. М. : Машгиз, 1962. 152 с.
7. *Точность отливок* / Под ред. Б. Б. Гуляева. М. : Машгиз, 1960. 205 с.
8. *Точность отливок и эффективность литейного производства* / Под ред. Л. Л. Яценко. Л. : Машгиз, 1981. 278 с.
9. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. *Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва* : навч. посібник / За ред. академіка НАН України В. Л. Найдека. К. : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.

10. Сігова В. І. *Система технологій*: навчальний посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2008. 209 с.
11. Перерва В. О., Пшенорлінський П. М. Дослідження можливості використання адитивних технологій в ливарному виробництві деталей складної форми. *Міжнародна науково-практична конференція «Людина і Космос»*. 2017. Вип. 19. С. 380.
12. Бойцов А. Г. *Инновационные технологии производства изделий ракетно-космической техники*. М., 2015. 382 с.
13. *Про державне регулювання діяльності у сфері трансферту технологій*: Закон України від 14.09.2006 р. № 143-V// Відом. Верхов. Ради України. 2006. № 45.
14. Шуляк В. С. *Литье по газифицируемым моделям*. СПб.: НПО «Профессионал», 2007. 380 с.
15. Буровський М. Й., Дорошенко В. С. Екзотермічний обігрів надливів в процесі лиття за газифікованими моделями. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 3. С. 98–103.
16. Рудь В. Д., Божко Т. Є. Порівняння способів обробки пористих спечених матеріалів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні»*. 2012. № 746. С. 224–227.
17. Ладзьжский Б. Н. *Литейное производство*. М.: Машиностроение, 1953. 207 с.
18. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. *Аддитивные технологии в машиностроении*. Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2013. 221 с.
19. Харанжевский Е. В., Ипатов А. Г. Структура и топография поверхностных слоёв, полученных лазерным высокоскоростным спеканием порошков Fe-C-Ni, Fe-C-Cu. *Вестник Удмуртского Университета. Физика. Химия*. 2010. № 1. С. 76–85.
20. Дорошенко С. П. *Ливарне виробництво: Вступ до спеціальності*. К.: Вища школа, 1987. 182 с.
- lurgiyi ta mashynobuduvanni*. 2014, no. 2, pp. 96–101.
5. Dovbysh V.M., Zabednov P.V., Zlenko M.A. *Additivnyie tehnologii i izdeliya iz metalla*. Bibliotekha liteschika. 2014, no. 9, pp. 14–71.
6. Obolentsev F.D. *Tochnost i kachestvo poverhnosti otlivok*. M.: Mashgiz, 1962. 152 p.
7. *Tochnost otlivok* / Pod red. B. B. Gulyaeva. M.: Mashgiz, 1960. 205 p.
8. *Tochnost otlivok i effektivnost liteynogo proizvodstva* / Pod red. L. L. Yatsenko. L.: Mashgiz, 1981. 278 p.
9. Verxovlyuk A. M., Narivs'kyj A. V., Mogy'latenko V. G. *Tehnologiyi oderzhannya metaliv ta splaviv dlya ly'varnogo vy'robny'ctva*: navch. posibny'k / Za red. akademika NAN Ukrainy' V. L. Najdeka. K.: Vy'davny'chy'j dim «Vinichenko», 2016. 224 p.
10. Sigova V. I. *Systema tehnologiy: navchal'ny'j posibny'k*. Sumy': Vy'd-vo SumDU, 2008. 209 p.
11. Pererva V. O., Pshenorlins'ky'j P. M. *Doslidzhennya mozhl'y'vosti vy'kory'stannya ady'ty'vny'x tehnologiy v ly'varnomu vy'robny'ctvi detalej skladnoyi formy'.* *Mizhnarodna naukovoprakty'chna konferenciya «Lyudy'na i Kosmos»*. 2017, iss. 19, pp. 380.
12. Boytsov A. G. *Innovatsionnyie tehnologii proizvodstva izdeliy raketno-kosmicheskoy tehniki*. M., 2015. 382 p.
13. *Pro derzhavne reguluyuvannya diyal'nosti u sferi transfertu tehnologiy*: Zakon Ukrainy' vid 14.09.2006 r. No. 143-V// Vidom. Verxov. Rady' Ukrainy' . 2006. No. 45.
14. Shulyak V. S. *Lite po gazifitsiruemyim modelyam*. SPb.: NPO «Professional», 2007. 380 p.
15. Burovsky M.I., Doroshenko V.S. *Exothermic heating of overflows in the process of casting by gasified models*. *Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute*. 2017, no. 3, pp. 98–103.
16. Rud' V. D., Bozhko T. Ye. *Porivnyannya sposobiv obrobky' pory'sty'x specheny'x materialiv*. *Visnyk Nacional'nogo universy'tetu «Lviv's'ka politexnika»*. Seriya «Optymizaciya vy'robny'chy'x procesiv i texnichny'j kontrol' u mashynobuduvanni ta pry'ladobuduvanni» . 2012, no. 746, pp. 224–227.
17. Ladiyzhskiy B. N. *Liteynoe proizvodstvo*. M.: Mashinostroe-nie, 1953. 207 p.
18. Zlenko M. A., Popovich A. A., Mutyilina I. N. *Additivnyie tehnologii v mashinostroenii*. Sankt-Peterburg: Izdatels'tvo politehnicheskogo universiteta, 2013. 221 p.
19. Haranzhevskiy E. V., Ipatov A. G. *Struktura i topografiya poverhnostnyih sloyov, poluchennyih lazernym vyisokoskorostnym spekaniem poroshkov Fe-C-Ni, Fe-C-Cu*. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Fizika. Himiya*. 2010, no. 1, pp. 76–85.
20. Doroshenko S. P. *Ly'varne vy'robny'ctvo: Vstup do special'nosti*. K.: Vy'shha shkola, 1987. 182 p.

Надійшла (received).30.04.2020

#### References (transliterated)

1. Pupan L.I., Kononenko V.I. *Perspektyvnyie tehnology'ya polucheny'ya y' obrabotky' materiy'alov* [Prospective technologies of materials receipt and processing: textbook. manual]. Kharkov: NTU "KhPI", 2008. 261 p.
2. Vazrov V.M. *Osnovy tehnology'ya mashynostroeny'ya* [Fundamentals of technology engineering]: a textbook for universities. M.: Mechanical Engineering, 2005. 736 p.
3. Doroshenko V.S., Berdyev K. Kh. *Izgotovlenie liteynyih modeley iz penopolistirola. Stanochnyiy park* [Production of foundry models from polystyrene foam. *Machine park*]. St. Petersburg. 2010, no. 6, pp. 120.
4. Dzhugan O.A., Ovchinnikov O.V., Olshanets'kyi V. Y. *Ady'ty'vni tehnologiyi i mozhl'y'vosti yix zastosuvannya v suchasny'x umovax (oglyad). Novi materialy' i tehnologiyi v meta-*

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Крахмальов Олександр Вікторович (Крахмалев Александр Викторович, Krakhmal'ov Oleksandr)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Зварювання», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3338-9724>; e-mail: [krakhmal'ov1@gmail.com](mailto:krakhmal'ov1@gmail.com)

**Зінченко Олена Іванівна (Зинченко Елена Ивановна, Zinchenko Olena)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2961-5861>; e-mail: [zinchenko.zinchenko@gmail.com](mailto:zinchenko.zinchenko@gmail.com)

**Краснокутський Володимир Миколайович (Краснокутский Владимир Николаевич, Krasnokutskiy Volodimir)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», м. Харків, Україна; e-mail: [hvukvn@ukr.net](mailto:hvukvn@ukr.net)

**Разарьонов Леонід Володимирович (Разаренок Леонид Владимирович, Razarenov Leonid)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри будівельних та дорожніх машин ім. А. М. Холодова, м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7597-2053>; e-mail: [lrzarenof@gmail.com](mailto:lrzarenof@gmail.com)