

**Р.А. Апакашев, д.х.н., проф.**

**Н.Г. Валієв, д.т.н., проф.**

**Д.І. Сімісінов, к.т.н., доц.**

*Уральський державний гірничий університет*

**О.О. Кісель, к.т.н., доц.**

*Житомирський державний технологічний університет*

## **ЗАСТОСУВАННЯ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОРОДОРУЙНУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТУ**

*Розглянуто спосіб потокової обробки металевих розплавів, що забезпечує одностадійне отримання мікро- та наноструктурованих металів і сплавів з наведеною текстурою без застосування легуючих добавок і з незначними витратами енергії на обробку. Зазначено перспективність використання даного способу підприємствами, які спеціалізуються на виготовленні різних видів породоруйнуючих інструментів.*

**Вступ.** Основні галузі промисловості, включаючи гірничо-видобувну і переробну, є металоспоживаючими. Тому важливою науково-технічною проблемою є досягнення певного комплексу покращаних фізико-механічних властивостей у конструкційних та інструментальних металах і сплавах. На сьогодні у світовій практиці при отриманні більшості металевих матеріалів необхідні властивості забезпечуються за рахунок управління формуванням структури. При цьому новітніми технологіями, які створюють прорив у розвитку металоконструювання є мікро-і наноструктуровані метали.

В даній роботі викладені науково-технічні основи технологічного методу одностадійної обробки металевих розплавів, що забезпечує їх кристалізацію в мікро-і наноструктурованому стані з відповідним підвищенням їх фізико-механічних властивостей. Актуальність запропонованого методу є беззаперечною у зв'язку з необхідністю проведення модернізації вітчизняного гірничого виробництва, що, в свою чергу, дозволить посилити конкурентні позиції Російської Федерації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій. Постановка завдання.** Формування однорідної і дрібнозернистої структури позитивно впливає на експлуатаційні властивості металевих матеріалів. Існує два підходи до отримання таких матеріалів – метод компактування ультрадрібнодисперсних порошків і метод інтенсивної пластичної деформації [1, 2]. Однак методу компактування притаманні такі недоліки як збереження залишкової пористості, внесення домішок при виготовленні, малі розміри одержуваних металевих заготовок. Ці недоліки можуть бути усунені при використанні іншого підходу, що полягає в подрібненні зерен структури в об'ємних зразках, що відбуваються при їх інтенсивній пластичній деформації. Найбільш поширеними варіантами методу інтенсивної пластичної деформації є метод деформації крученням під високим тиском (ПДК) і метод рівноканального кутового пресування (РКУП).

Обробка вихідної литої заготовки пресуванням, куванням, прокаткою тощо в даний час зазвичай належить типовому технологічному процесу отримання бурового та прохідницького інструменту (долота, шарошки, коронки, бурові головки, калібраторів, розширювачів, шнеків, бар, зубів). При пластичній деформації металів і сплавів структура їх значно змінюється, що призводить до формування металографічної текстури і зміни фізико-механічних властивостей.

Текстура напівфабрикатів або готових металовиробів може формуватися в процесі холодної або гарячої деформації, в ході процесів рекристалізації або фазових перетворень й істотно впливає на технологічні та експлуатаційні властивості. У виробництві породоруйнуючого інструменту для формування текстури металу також застосовуються методи поверхневого пластичного деформування (ППД) [3]. Отже підвищення вимог до якості породоруйнуючого інструменту, збільшення масштабів виробництва при використанні існуючих технологій металургійного і машинобудівного виробництв пов'язане зі значним зростанням енергетичних витрат, необхідних для реалізації різних варіантів механічної і термічної обробки литого металу. Істотні і витрати на відповідне промислове обладнання.

Основною науково-технічною проблемою, що вирішується за допомогою одностадійного об'ємного наноструктурування, є проблема радикального зменшення енерговитрат, зумовлених необхідністю механічної і термічної обробки литих заготовок для традиційного отримання металів і сплавів з поліпшеними властивостями. Перспективним варіантом вирішення проблеми є практичне застосування потокової обробки металевих розплавів [4]. Витрати енергії на поточкову обробку незначні, оскільки направлена передкристалізаційна течія металевого розплаву ініціюється дією сили тяжіння. Запропоновані підходи до вирішення поставленого завдання полягають у наступному.

В сучасній металургії широко поширені способи обробки металевих розплавів, які містять різні фізичні впливи на рідкий метал з метою підвищення якості литого металу за рахунок формування в ньому більш однорідної і дрібнозернистої структури. Однак досить часто вплив на метал на стадії розплаву обмежується лише додатковим легуванням і рафінуванням, з метою оптимізації складу і видалення шкідливих домішок.

З іншого боку, наприклад, у випадку розвитку кристалізаційних процесів у силікатних розплавах, поміщених у капілярні трубки, виростають кристали з різко вираженим волокнистим габітусом. При паралельному спостереженні кристалізації тих же систем у «вільному» просторі замість подібних кристалічних волокон утворюються, як правило, сфероліти [5].

Прикладом впливу аналогічної передісторії рідини на характер утворюваних в ній кристалів служать результати роботи [6]. В результаті проведених експериментів її автори виявили певну закономірність. З'ясувалося, що механічна дія на розчин реагентів шляхом пропускання його через трубку (сифон) впливає на зовнішній вигляд утворюваних кристалів. Пропускання розчину реагентів через трубку викликає масове двійникування кристалів.

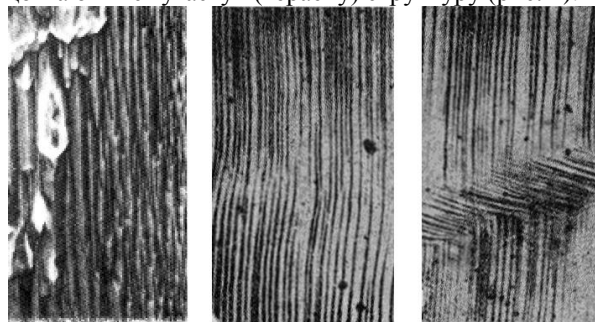
Більш глибокі дослідження в цьому напрямку були виконані раніше при вивченні електропровідності поточного розплаву. Автори роботи [7] експериментально встановили наявність анізотропії електропровідності в струмені оксидного розплаву при організації його спрямованої течії.

При цьому прозора в'язка рідина, наприклад, високотемпературний силікатний розплав, в процесі переносу викликає появу в об'ємі рідкої системи локальних областей оптичної неоднорідності у вигляді смуг ковзання або ліній зсуву, що нагадують текстуру деформованого кристала [8]. Зміну ізотропного характеру властивостей рідини, що відбувається в результаті течії, вдається фіксувати структурно-чутливим методом формування тіньового зображення зразка. Причому, утворені під час течії смуги (сліди) ковзання для високо- і низькотемпературних систем, які спостерігаються за допомогою оригінальної оптичної установки, візуально практично подібні [8]. Це дозволяє зменшити трудомісткість досліджень, вивчаючи як модельну системну рідину кімнатної температури.

Цікавим є те, що при охолодженні рідини має місце «заморожування» смуг ковзання. Більш того, для склоутворюючих розплавів смуги ковзання не тільки зберігаються при склуванні і спостерігаються в твердому стані, але і деякий час їх видно при зворотному плавленні.

Відомо, що, якщо розплав отримується плавленням грубозернистого металевого зразка, то при його зворотній кристалізації знову можна отримати грубозернистий матеріал; плавлення і кристалізація дрібнозернистого зразка зазвичай дає дрібнозернистий матеріал. Показано, що за відповідними умовами можна навіть розплавити монокристал (вісмуту) і при зворотній кристалізації знову отримати монокристал тієї ж орієнтації [9, 10].

Для з'ясування причин виникнення «смугастості» у випадку металевих кристалів, у роботі [11] проводилося дослідження впливу потокової обробки металевого розплаву на дане явище. Обробка полягала у відборі проби рідкого, нагрітого вище температури плавлення на 70–100 К, металу в кварцеву або алундову трубку, з подальшою кристалізацією охолодженням на повітрі. За допомогою растрової електронної мікроскопії показано, що твердий метал після потокової обробки в розплавленому стані складається з окремих зерен, що мають «смугасту» (терасну) структуру (рис. 1).



а)

б)

в)

Рис. 1. Структура металу, що зазнав потокову обробку в розплавленому стані (а) та інтенсивну пластичну деформацію у твердому стані (б, в) [11, 12]

Кожна зі смуг складається з безлічі пластин товщиною близько 300 нм. Метал, виготовлений у вигляді стрижня і вставлений в трубку, де він плавиться і потім знову кристалізується, «смугастості» немає. Важливо, що зовнішній вигляд «смугастої» (терасної) структури подібний слідам ковзання на поверхні металу, що зазнав пластичну деформацію.

При ламінарній течії по трубці мікрооб'єми рідини зазнають велику деформацію зрушення і розтягуються у напрямку течії. З рівнянь течії випливає, що ступінь розтягування мікрооб'ємів по довжині трубки досягає величини порядку відношення довжини трубки до діаметра. Якщо це відношення має величину порядку 100 і вихідні «зерна» розміром 10 мкм були рівновісними, то вони витягнуться в стрічки довжиною близько 1000 і завтовшки 0,1 мкм [10]. Проведені на кафедрі хімії ФГБОУ ВПО «УГГУ» експерименти підтверджують, що збільшення відношення довжини трубки до її діаметра дійсно спричиняє зменшення товщини смуг ковзання і пластин в «смугастій» структурі металу, що зазнав потокову обробку до величини близько 80 нм.

При волочінні дроту зерна металу також витягуються вздовж однієї осі, в напрямку розтягування металу; при глибокій витяжці ступінь розтягування зерен може досягати, наприклад, 100-кратної величини, як і при потоковій обробці рідкого металу за відношенням довжини капіляра до його діаметра, рівному 100 [10].

Звідси випливає підхід до вирішення поставленого завдання: можна формувати мікро- і наноструктуру твердого металу, отримувати текстуру, поліпшувати фізичні і механічні властивості металу шляхом обробки не в твердому, а ще в рідкому стані, з незначними енергетичними витратами на деформацію. Можна виконувати «обробку металу тиском», «волочінням» або «штампуванням» ще до кристалізації. У рідкому стані можна провести і набагато більш глибоку деформацію речовини порівняно з деформацією, що досягається в твердому стані. Зменшуючи радіус капіляра і збільшуючи його довжину, можна збільшити «глибину витяжки» або ступінь деформації мікрооб'ємів.

**Викладення основного матеріалу.** Беручи до уваги зазначені вище дані, в цій роботі були проведені експерименти з метою вивчення впливу спрямованої течії розплавленого металу на фізичні властивості утвореного при подальшій кристалізації злитка, зокрема – на його твердість і стирання. Як об'єкти дослідження були обрані мідь, алюміній, сталь 12ХН3А і сірий чавун.

Методика експериментів полягала в наступному. Метали плавили в алунових тиглях у печі опору з графітовим нагрівачем. Течію розплаву направлено формували, пропускаючи його через капілярні трубки круглого перерізу. Для цього в отвір у дні тигля за допомогою вогнетривкої замазки кріпили в'язку з алунових трубок з внутрішнім діаметром 1,4 і довжиною 90 мм кожна. Для обробки розплавленої сталі використовували трубки довжиною 130 мм. У міру плавлення рідкий метал стікав через трубки в іншій, менш нагрітій тигель і кристалізувався. Потім затверділий метал знову нагрівали до плавлення і, щоб уникнути утворення усадочних раковин охолоджували в робочій зоні печі із швидкістю 0,2–0,3 К/с. Для подальших порівняльних випробувань в аналогічному температурному режимі також проводили контрольне плавлення і кристалізацію досліджуваних металів, міняючи стадію спрямованої течії в рідкому стані.

Через наявність оксидної плівки розплавлений алюміній не витікав з тигля через трубки малого діаметра (1,4 мм). Тому направлену течію розплаву даного металу здійснювали через кварцеву трубку діаметром 2,9 мм.

Отримані злитки металів циліндричної форми ділили на рівні частини. Для запобігання зміни фізичних властивостей металу в область різання подавали спеціальну рідину для змащення й охолодження. Плоскі поверхні отриманих зразків піддавали ручному поліруванню до дзеркального блиску. Зразки алюмінію та чавуну мали діаметр 30, висоту 10, міді і сталі – 20 і 7 мм. Всього для кожного металу готували по 8 зразків. Чотири з них були контрольними, не зазнали протягу через трубки в рідкому стані.

Для контролю хімічного складу металів проводили спектральний хімічний аналіз проб отриманих злитків. При цьому було встановлено, що матеріал застосованих трубок у металічних розплавах за час контакту не розчиняється.

Стирання металів, що характеризує їх зносостійкість, вивчали за порівняльною методикою. Для цього визначали зменшення маси зразків після циклу тертя в ідентичних умовах. Досліди проводили на установці по вивченню фрикційних властивостей гірських порід та мінералів. Зважували зразки на аналітичних вагах з точністю  $\pm 2,10\text{--}5$  м. Розрахункова відносна похибка визначення стирання складала 6 %.

Зразки металів, які зазнали передкристалізацію направленою течією, показали підвищення стійкості до стирання. У проведених серіях експериментів для чавуну відповідне зменшення втрати маси зразків

при терті склало 15–20 %, для сталі – 14–18 %, міді – 11–15 %, алюмінію – 10–11 %.

Виміри твердості металів проводили методом Брінелля. Представлені в таблиці значення чисел твердості міді та алюмінію розраховані за даними двох незалежних серій дослідів, виконаних у різний час для вивчення відтворюваності виявленого явища. При цьому значення чисел твердості контрольних зразків металів у серіях і між ними відрізнялися не більше ніж на 2 %, а випробуваних течією в рідкому стані – на 4 % (табл. 1). Точність показів вимірювального приладу в кожній серії вимірювань контролювали за зразковою мірою твердості. Розрахункова похибка за даними вимірювань твердості зразкової міри склала 2 %.

Таблиця 1

*Вплив передкристалізаційної течії металевого розплаву на твердість металу*

Метал	Число твердості (НВ)	
	контрольний зразок	зразок металу, що зазнав протягу в розплавленому стані
Алюміній	20,0±0,1	21,7±0,1
Мідь	56,2±1,1	63,2±1,4
Чавун	162±3,2	189±5,0
Сталь	217±4,3	256±7,1

*Примітка:* Довірчий інтервал середніх значень чисел твердості металів розрахований при значенні довірчої ймовірності 0,95

**Висновок.** Практична реалізація способу потокової обробки металевого розплаву веде до досягнення важливого технічного результату – можливості одностадійного отримання мікро- та наноструктурованих металів і сплавів з наведеною текстурою без застосування легуючих добавок і з незначними витратами енергії на обробку.

Метод потокової обробки металевих розплавів перспективний для використання підприємствами, які спеціалізуються на виготовленні різних видів породоруйнуючих інструментів. При цьому важливим є те, що чим складніша форма деталі і чим вища вартість вихідного матеріалу, з якого вона виготовлена, тим пріоритетнішим є використання лиття, що дозволяє не тільки проводити потокову обробку розплаву, але і підвищити коефіцієнт використання металу.

#### Список використаної літератури:

1. Ваганов В.Е. Современные достижения по получению материалов с нанокристаллической структурой / В.Е. Ваганов, В.А. Кечин, И.А. Евдокимов // Вестник научно-технического развития. – 2010. – № 6 (34). – С. 3–11.
2. Лякишев Н.П. Наноматериалы конструкционного назначения / Н.П. Лякишев, М.И. Алымов // Российские нанотехнологии. – 2006. – Т. 1–2. – С. 71–81.
3. Боярских Г.А. Сравнительная оценка эффективности упрочнения элементов опоры шарошечных долот / Г.А. Боярских, Д.И. Симисинов // Горный журнал. – 2002. – № 5. – С. 65–72.
4. Способ обработки металлического расплава. Пат. 2445187 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> В22Д 7/00. / Апакашев Р.А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «УГТУ». № 2010121283 ; заявл. 25.05.2010 ; опубл. 27.11.2011, Бюл. № 33.
5. Эйтель Б. Физическая химия силикатов / Б.Эйтель. – М. : Иностранная литература. – 1962. – 1055 с.
6. Нардов А.А.. Влияние механической предистории раствора на двойникование кристаллов гипса / А.А. Нардов, Г.В. Руссо, Т.Г. Петров // Кристаллография и кристаллохимия. – Л. : ЛГУ, 1985. – Вып. 5. – С. 85–90.
7. Лепинских Б.М. Анизотропия электропроводности в струе расплавленного силиката натрия / Б.М. Лепинских, О.А. Есин // Журнал физической химии. – 1958. – № 8. – С. 1874.
8. Апакашев Р.А. Исследование вязкого течения расплавов методом формирования теневого изображения образца / Р.А. Апакашев // Расплавы. – 2001. – № 6. – С. 81–84.
9. Есин О.А. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. 2. / О.А. Есин, П.В. Гельд. – М. : Металлургиздат, 1966. – 720 с.

10. Павлов В.В. О «кризисе» кинетической теории жидкости и затвердевания / В.В. Павлов. – Екатеринбург : Изд-во УГГА, 1997. – 392 с.
11. Майборода В.П. Влияние потоковой обработки расплава на структуру алюминия, никеля и меди / В.П. Майборода // Расплавы. – 1991. – № 3. – С. 115–117.
12. Бунин К.П. Металлография / К.П. Бунин, А.А. Баранов. – М. : Metallurgia, 1970. – 312 с.

АПАКАШЕВ Рафаїл Абдрахманович – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри хімії Уральського державного гірничого університету.

Наукові інтереси:  
– матеріалознавство.

ВАЛІЄВ Ніяз Гадим-огли – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гірничої справи Уральського державного гірничого університету.

Наукові інтереси:  
– технологія гірничих робіт.

СІМІСІНОВ Денис Іванович – кандидат технічних наук, доцент, заступник проректора з наукової роботи Уральського державного гірничого університету.

Наукові інтереси:  
– надійність і ефективність бурового інструменту.

КІСЄЛЬ Олена Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:  
– гірництво;  
– маркшейдерська справа.  
Тел.: (067)369–72–29.  
E-mail: kisel-elena@rambler.ru

Стаття надійшла до редакції 09.10.2012