

---

# КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ СПЛАВОВ

УДК 669.715:66.067

**В. П. Головаченко**, науч. сотр., e-mail: onmlptima@ukr.net

**Н. П. Исайчева**, гл. технолог

**А. Р. Вернидуб**, гл. технолог

**В. М. Дука**, мл. науч. сотр.

**Т. Г. Цир**, мл. науч. сотр.

**Л. К. Шеневидько**, науч. сотр.

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины (Киев, Украина)

## ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ СПОСОБ ФИНИШНОГО РАФИНИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработан и прошел опытно-промышленную проверку новый способ финишного роторного рафинирования алюминиевых сплавов, суть которого заключается в следующем: дозу алюминиевого расплава обрабатывают эксцентриковым вращающимся ротором, который за счет эксцентриситета развивает мощные внутренние гидроциркуляционные потоки, скорость которых составляет 5–6 см/с, с одновременным, за счет дисбаланса, наложением низкоамплитудной вибрации ( $A = 0,05–0,1$  мм). Такое совместное воздействие сил на расплав вызывает, с одной стороны, локальное образование зон разряжения, куда устремляется растворенный в расплаве алюминия атомарный водород, образуя молекулы и газовые пузырьки, с другой (за счет вибрации) – разрыв сплошности среды в реакционной зоне «расплав – поверхность вращающего ротора», вследствие инерции скорость возвратно-поступательного движения отдельных частиц будет различной, что приводит к образованию микрополостей с пониженным давлением, куда устремляется растворенный в расплаве водород, образуя газовые пузырьки. Для визуализации процесса роторной обработки использовали воду с различным газосодержанием  $CO_2$ , что позволило проследить за процессом газовыделения и определить скорость движения газовых пузырьков в воде. При этом установлено, что газовые пузырьки диаметром меньше 1 мм из-за низких скоростей перемещения не могут преодолеть поверхностное натяжение воды и скапливаются на нижней его поверхности. Опытное-промышленное опробование нового экологически чистого способа рафинирования позволило увеличить выход годных кокильных алюминиевых отливок массой 4 и 8 кг до 100 %.

**Ключевые слова:** ротор, рафинирование, газовые пузырьки, газонасыщенная вода, гидро-моделирование, алюминиевые сплавы.

**В**се возрастающие требования к защите окружающей среды стимулируют поиск и разработку новых эффективных экологически чистых методов рафинирования алюминиевых расплавов от газов и неметаллических включений. Актуальной зада-

чей литья алюминиевых сплавов в кокиль является решение вопросов, связанных с получением качественного металла отливки (без газовых раковин) в проблемных местах, удаленных от зоны действия прибыли. Новый способ рафинирования использует принцип: нет газов в расплаве – нет газовых раковин в отливке.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработан новый способ финишного роторного рафинирования алюминиевых сплавов, суть которого заключается в следующем: дозу алюминиевого расплава обрабатывают эксцентриковым вращающимся ротором, который за счет эксцентриситета развивает мощные внутренние гидроциркуляционные потоки ( $V = 5\text{--}6$  см/с) с одновременным, за счет дисбаланса, наложением низкоамплитудной вибрации ( $A = 0,05\text{--}0,1$  мм). Такое совместное воздействие сил на расплав вызывает, с одной стороны, локальное образование зон разрыхления, куда устремляется растворенный в расплаве алюминия атомарный водород, образуя молекулы и газовые пузырьки, с другой (за счет вибрации) – разрыв сплошности среды в реакционной зоне «расплав – поверхность вращающегося ротора». Вследствие инерции скорость возвратно-поступательного движения отдельных частиц будет различной, что приводит к временному разрыву сплошности среды и образованию микрополостей с пониженным давлением, в которое устремляется растворенный в расплаве водород [1], образуя газовые пузырьки.

На первом этапе исследований посредством гидромоделирования процесса роторной обработки с использованием полистироловых шариков диаметром 1 мм с удельной плотностью  $1$  г/см<sup>3</sup> изучали изменение скорости движения ( $V$ ) частиц в моделирующей прозрачной емкости с водой в зависимости от числа оборотов эксцентрикового ротора ( $n$ ) (рис. 1) (как известно, кинематическая вязкость воды при  $20$  °С близка к вязкости алюминия при температуре  $700$  °С). Так, скорость движения частиц в потоке при  $n = 400$  об/мин составляла  $5,5$  см/с с тенденцией

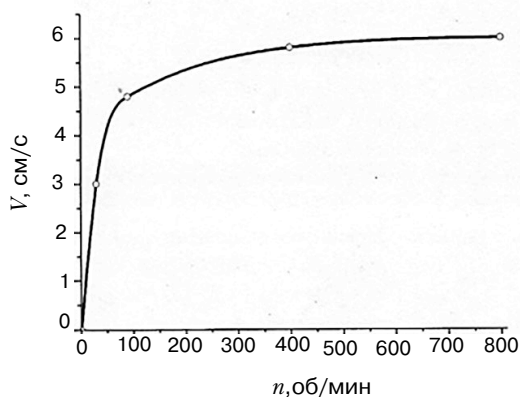


Рис. 1. Изменение скорости движения частиц в форме ( $V$ ) в зависимости от числа оборотов эксцентрикового конусного ротора ( $n$ )

Гидромоделирование проводили с использованием конусного графитового ротора, верхний диаметр которого составлял  $40$  мм, нижний –  $30$  мм, что позволило обеспечить циркуляцию гидравлических потоков с различной скоростью по высоте обрабатываемой жидкости. Внутренний диаметр прозрачной стеклянной емкости составлял  $80$  мм.

В процессе обработки расплава частично погруженным в него ротором (рис. 2, а) на выступающей поверхности ротора образуются вспученные оксиды алюминия, которые необходимо удалять, что усложняет процесс.

По этой причине гидромоделирование и практическую реализацию роторной обработки проводили под уровнем жидкости (рис. 2, б) с металлическим

в дальнейшем к замедлению ее роста. При  $n = 800$  об/мин ее величина достигает  $6$  см/с. Величина силы потока, развиваемого ротором, ощущается при перемещении ротора в противоположном направлении (противоход).

На втором этапе исследований для визуализации процесса выделения и поведения газовых пузырьков в процессе роторной обработки использовали бутылированную воду с различной степенью газонасыщения углекислым газом  $\text{CO}_2$ : дистиллированную, негазированную, слабогазированную (содержание  $\text{CO}_2 = 0,2\%$ ), среднегазированную ( $\text{CO}_2 = 0,3\text{--}0,4\%$ ), сильногазированную ( $\text{CO}_2 > 0,4\%$ ).

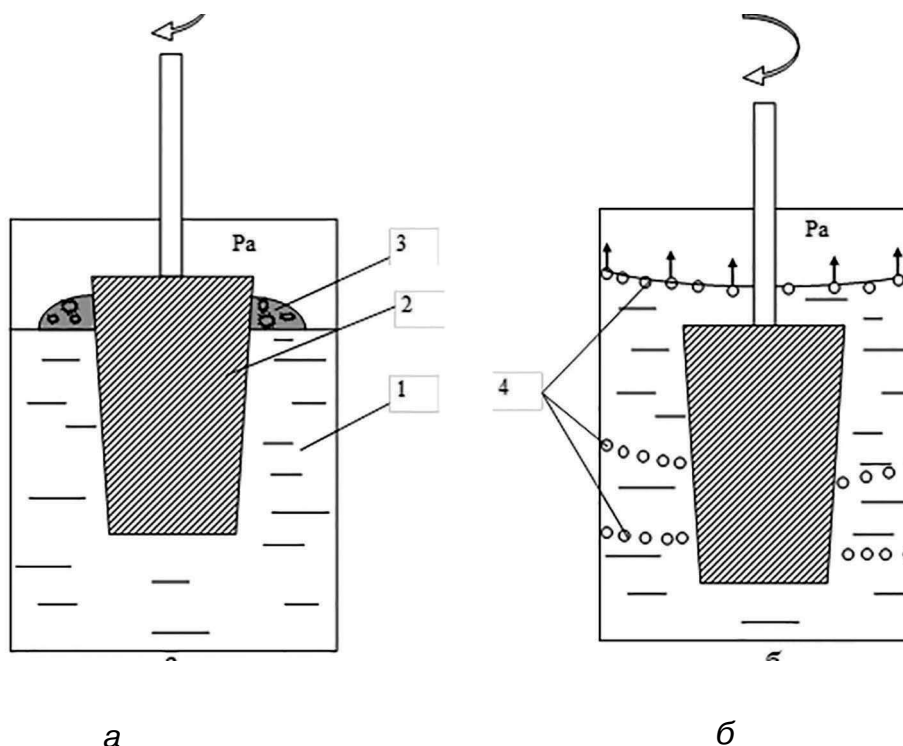


Рис. 2. Схема работы ротора: а – частично погруженный в расплав; б – полностью погруженный в расплав (1 – расплав металла; 2 – ротор; 3 – скопившийся шлак; 4 – пузырьки газа)

хвостовиком ротора диаметром 8 мм, что практически не вызывает образование вспученного шлака, состоящего из оксидов алюминия.

На рис. 2, б приведена схема гидравлического моделирования процесса роторной обработки с использованием бутилированной газонасыщенной воды. Непосредственно в реакционной зоне «поверхность вращающегося ротора – вода» происходит в безинерционном режиме образование газового потока, направленного вверх под углом  $5-10^\circ$ .

Так, размер газовых пузырьков для слабо насыщенной газами  $CO_2$  воды составляет 1–1,5 мм. Характерной особенностью газовой выделения является то, что недостаточная скорость внутреннего гидроциркуляционного потока способствует адгезии пузырьков на боковой поверхности стеклянной емкости. Увеличение скорости потока до 5–6 см/с способствует смыву газовых пузырьков с поверхности моделирующей емкости, вызывает их хаотическое движение и последующее всплытие на поверхность воды и удаление в атмосферу.

Следует отметить, что в естественных условиях пузырьки малого диаметра меньше 1 мм скапливаются на внутренней поверхности мениска воды. Их низкая кинетическая энергия не может преодолеть поверхностное натяжение воды. Для их удаления необходимо перемешивать поверхность моделирующей жидкости, что и происходит в процессе роторной обработки.

В реальных условиях обработки алюминиевых расплавов рафинирующими флюсами выделяется в поверхностном слое множество мелких газовых пузырьков. Для преодоления ими поверхностного натяжения расплава необходимо очистить шлак и перемешать его поверхностный слой.

В расплавах скорость всплытия пузырьков малых размеров может быть рассчитана по формуле Стокса:

$$V = \frac{2r^2 g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{г}})}{9\eta},$$

где  $r$  – радиус пузырька;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\rho_{\text{ж}}$  и  $\rho_{\text{г}}$  – плотность расплава и водорода;  $\eta$  – вязкость расплава.

По данным [2], если принять вязкость силумина при 750 °С равной 0,0085 пуаза и  $\rho_{\text{ж}} = 2,4 \text{ г/см}^3$ , то расчетная скорость всплывания пузырька радиусом 0,01 мм составляет 37 мм/мин. По данным [3], пузырьки диаметром 0,01 мм всплывают со скоростью 0,3 м/мин.

Способ визуализации гидромоделирования с использованием газонасыщенной жидкости позволяет достаточно точно определить скорость движения пузырьков любых размеров: так, скорость пузырьков диаметром 1 мм составила 48 мм/с, а скорость движения пузырьков диаметром 3 мм составила 95 мм/с, что является достаточным для преодоления поверхностного натяжения воды, что и наблюдается на ее поверхности (вода «кипит» от выделения расширившихся и лопнувших в среде атмосферы газов) (рис. 3).

Для больших объемов алюминиевых расплавов роторное рафинирование следует осуществлять по схеме типа «улитка»: первоначально обрабатывают центральный объем расплава в ковше, а последующие объемы – по спирали, приближаясь к поверхности ковша, но не касаясь его стенок.

На рис. 4 приведен стоп-кадр видеокамеры, на котором показано распределение газовых пузырьков диаметром ~1 мм, образовавшихся в процессе роторной обработки газонасыщенной воды. Обращает на себя внимание равномерность газовой выделения и только в верхней части образуется активная неглубокая (высотой до 20 мм) конусная воронка на вогнутом мениске емкости с водой.

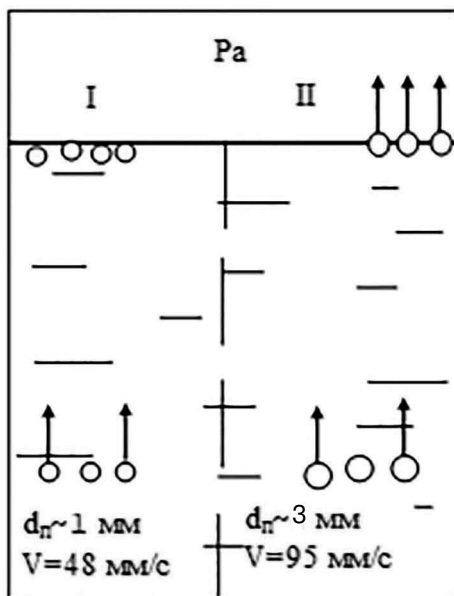


Рис. 3. Схема движения газовых пузырьков: I – зона мелких и II – крупных пузырьков



Рис. 4. Моделирование процессов роторной обработки расплава

Как показали опытно-промышленные испытания, при производстве алюминиевых отливок массой 4 и 8 кг в условиях Таврической литейной кампании ТАЛКО новый способ роторного финишного рафинирования отличается экологической чистотой, технологической оперативностью, позволяет повысить выход годного без газовых раковин на обработанных поверхностях до уровня 100 %, что снижает трудозатраты, экономит энергоресурсы на единицу литейной продукции.

## Список літератури

1. Лебедев В. М., Мельников А. В., Николаенко В. В. Отливки из алюминиевых сплавов. – Машиностроение, 1970. – 216 с.
2. Коротков В. Г. Рафинирование литейных алюминиевых сплавов. – М.: Свердловск: Mashgiz, 1963. – 128 с.
3. Алов А. А. Легирование и обработка легких сплавов. – М: Наука, 1981. – С. 54–60.

Поступила 18.07.2019

## References

1. Lebedev, V. M., Melnikov, A. V., Nikolaenko, V. V. (1970) Aluminum alloy castings. Mechanical Engineering, 216 p. [in Russian].
2. Korotkov, V. G. (1963) Refining of cast aluminum alloys. Moscow, Sverdlovsk: Mashgiz, 128 p. [in Russian].
3. Alov, A. A. (1981) Doping and processing of light alloys. Moscow: Nauka, pp. 54–60 [in Russian].

Received 18.07.2019

**В. П. Головаченко**, наук. співр., e-mail: onmlptima@ukr.net

**Н. П. Ісайчева**, гол. технолог

**А. Р. Вернидуб**, гол. технолог

**В. М. Дука**, мол. наук. співр.

**Л. К. Шеневідько**, наук. співр.

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

## ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІЙ СПОСІБ ФІНІШНОГО РАФІНУВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

У Фізико-технологічному інституті металів і сплавів НАН України розроблено і пройшов дослідно-промислово перевірку новий спосіб фінішного роторного рафінування алюмінієвих сплавів, який полягає в наступному: дозу алюмінієвого розплаву обробляють ексцентриковим обертовим ротором, який за рахунок ексцентриситету розвиває потужні внутрішні гідроциркуляційні потоки, швидкість яких становить 5–6 см/с з одночасним, за рахунок дисбалансу, накладенням низькоамплітудної вібрації ( $A = 0,05\text{--}0,1$  мм). Такий спільний вплив сил на розплав викликає, з одного боку, локальне утворення зон розрядження, куди спрямовується розчинений у розплаві алюмінію атомарний водень, утворюючи молекули і газові бульбашки, з іншого (за рахунок вібрації) розрив суцільності середовища в реакційній зоні «розплав – поверхня обертаючого ротора», внаслідок інерції швидкість зворотньо-поступального руху окремих частинок буде різною, що призводить до утворення мікропорожнин зі зниженим тиском, куди спрямовується розчинений у розплаві водень, утворюючи газові бульбашки. Для візуалізації процесу роторної обробки використовували воду з різним вмістом  $\text{CO}_2$ , що дозволило простежити за процесом газовиділення і визначити швидкість руху газових бульбашок у воді. При цьому встановлено, що газові бульбашки діаметром менше 1 мм через низьку швидкості переміщення не можуть подолати поверхневий натяг води і скупчуються на нижній його поверхні. Дослідно-промислове випробування нового екологічно чистого способу рафінування дозволило збільшити вихід придатних кокільних алюмінієвих виливків масою 4 і 8 кг до 100 %.

**Ключові слова:** ротор, рафінування, газові бульбашки, газонасичена вода, гідромодельування, алюмінієві сплави.

**V. P. Golovachenko**, Researcher, e-mail: onmlptima@ukr.net

**N. P. Isaicheva**, Chief Technologist

**A. R. Vernydub**, Chief Technologist

**V. M. Duka**, Junior Researcher

**T. G. Tsir**, Junior Researcher

**L. K. Shenevidko**, Researcher

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

### ENVIRONMENTALLY FRIENDLY METHOD TO FINISH REFINING ALUMINUM ALLOYS

*At the Physical-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, a new method of final rotary refining of aluminum alloys has been developed and tested. The essence of the method is as follows: a dose of aluminum melt is treated with an eccentric rotating rotor, which develops powerful internal hydrocirculation flows due to eccentricity is 5–6 cm / s with simultaneous, due to imbalance, the imposition of low-amplitude vibration ( $A = 0.05–0.1$  mm). Such a joint effect of the forces on the melt on the one hand causes local formation of discharge zones where atomic hydrogen dissolved in the aluminum melt rushes to form molecules and gas bubbles, on the other hand (due to vibration) a discontinuity of the medium in the reaction zone «melt - rotating rotor surface», due to inertia, the speed of the reciprocating motion of individual particles will be different, which leads to the formation of microcavities with reduced pressure, where the water dissolved in the melt od, forming gas bubbles. For visualization of the rotor processing process, water with different  $CO_2$  gas content was used, which made it possible to follow the process of gas evolution and determine the speed of movement of gas bubbles in the water. It was found that gas bubbles with a diameter of less than 1 mm due to low speeds of movement can not overcome the surface tension of water and accumulate on its lower surface. Pilot testing of a new environmentally friendly method of refining allowed us to increase the yield of chill aluminum castings weighing 4 and 8 kg to 100 %.*

**Keywords:** rotor, refining, gas bubbles, gas-saturated water, hydro modeling, aluminum alloys.

#### **УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!**

**Подписка журнала**

**«ПРОЦЕССЫ ЛИТЬЯ»**

проводится через редакцию.

Журнал выходит 4 раз в год.

Для получения журнала с любого номера

необходимо направить письмо-запрос

по адресу: 03142, г. Киев-142,

б-р Вернадского, 34/1,

ФТИМС НАН Украины с пометкой

«Журнал «Процессы литья» либо

по факсу: (044) 424-35-15; e-mail: proclit@ptima.kiev.ua.

Счет-фактуру согласно запросу редакция высылает  
письмом, по факсу или по e-mail.

Стоимость одного журнала на 2020 г. — 100 грн.

Годовая подписка с учетом почтовых расходов — 480 грн  
(для Украины).

В редакции можно также приобрести  
электронную версию журнала.