

## Вниманию авторов!

С 2009 г. в соответствии с требованиями ВАКа все статьи, поступающие в редакции научных журналов, должны обязательно проходить рецензирование, иметь ключевые слова, аннотации, фамилию, имя, отчество авторов и название статьи – на русском, украинском и английском языках.

Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Статьи в редакции должны поступать на бумажном и электронном носителях. Для текстовых материалов желательно использовать формат **doc**. Для графических материалов – формат **jpeg**. Графические материалы необходимо сохранять в отдельных файлах. Фотографии, рисунки, графики и чертежи должны быть черно-белыми, четкими и контрастными.

УДК 621.747.54:537.528

**Т. Д. Денисюк**

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

## Расширение возможностей очистки литья электроразрядом

*Предложены пути повышения качества очистки точного литья. Приведены данные, подтверждающие повышение эффективности электроразрядной очистки точного литья в активных разрядных средах, обеспечивающих разупрочнение стержневых и формовочных смесей повышенной прочности. Предложен метод комплексной обработки.*

**Ключевые слова:** электроразрядная очистка литья, поверхностно-активные вещества, рабочая активная среда, поверхностное натяжение

**П**ереход машиностроительного производства на новые экономические и технологические принципы предусматривает значительный рост производства отливок, полученных с использованием специальных способов литья, которые позволяют существенно сократить непроизводственные потери материала и топливно-энергетических ресурсов, улучшить качество продукции и уменьшить загрязнение окружающей среды. Современные условия работы литейных предприятий, сжатые сроки выполнения заказов и повышенный уровень требований, предъявляемых к качеству литья, в значительной степени определяются свойствами применяемых формовочных и стержневых материалов и смесей на их основе. Чтобы увеличить размерную точность отливки, чистоту поверхности для изготовления литейных форм и стержней применяются новые материалы с более высокими прочностными характеристиками, так как на качество литья большое влияние оказывает поверхностная прочность смеси, поскольку динамическое воздействие струи металла воспринимается, в первую очередь, поверхностными слоями формы.

Хорошие результаты по очистке крупного и среднего литья от песчано-глинистых форм достигаются при применении электроразрядного метода очистки [1]. Но этот метод недостаточно освоен при очистке литья сложной конфигурации (с закрытыми стержнями и стержнями малых объемов) от высокопрочных

формовочных материалов. Технологические режимы подобных операций не учитывают локальную жесткость обрабатываемых материалов с переменными характеристиками, что не обеспечивает эффективной очистки зон деталей с элементами жесткости и приводит к повреждению тонкостенных участков изделий.

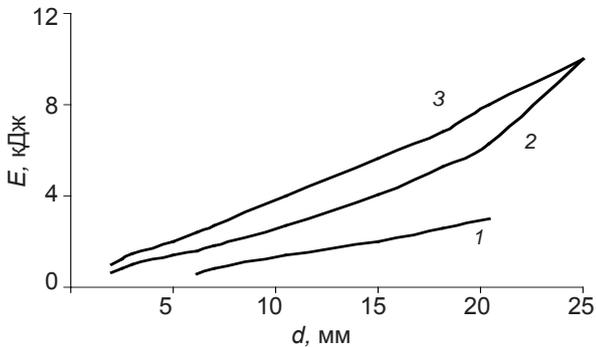
Для разрушения и удаления стержней и остатков высокопрочных формовочных смесей применяются вибрационные и химико-термические средства очистки с использованием специальных размягчающих растворов и расплавов, кипящих растворов щелочей, кислот и солей [2]. Кроме высокой энергоемкости эти способы являются вредными производствами, загрязняют окружающую среду, отрицательно сказываются на чистоте поверхностного пласта отливок, являются причиной образования микротрещин в местах максимального сосредоточения внутренних напряжений.

*Цель настоящей работы* – повышение эффективности электроразрядного способа очистки точного литья за счет использования дополнительных факторов, способствующих разупрочнению форм и стержней в процессе их электроразрядного разрушения, исключающих вредные воздействия электроразряда за счет снижения критических нагрузок на материал отливок.

Результаты ранее проведенных исследований подтвердили, что электроразрядный способ является

эффективным при очистке точного литья и удовлетворяет всем требованиям техники безопасности и экологической безопасности.

Эмпирически установлена зависимость критических энергий электроразрядной очистки (ЭРО) от толщины стенок литья из стальных, чугунных и алюминиевых сплавов (рис. 1) [3].



**Рис. 1.** Зависимость допустимых значений энергии разрядов от толщины стенок литых заготовок: отливка Al (1), отливка Сч 28-48 (2), отливка Ст45 (3)

Плотность энергии разряда на единицу площади может быть выражена следующим уравнением:

$$\frac{E}{S} = \frac{E}{2\pi r l + 2\pi r^2} = \frac{E}{2\pi r(l+r)}, \quad (1)$$

где  $E$  – энергия разряда, кДж;  $r$  – радиус эффективного действия разряда, м;  $l$  – разрядный промежуток или высота расширяющегося цилиндра на уровне радиуса расширения, м.

С другой стороны, действия энергии разряда должны быть не меньше прочности формовочных и стержневых смесей [4]

$$E \geq \sigma_{сж} V, \quad (2)$$

где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности на сжатие формовочных и стержневых смесей;  $V$  – объем разрушения от одного разряда.

Значение энергии, выделенной в канале разряда за время  $\tau$ , определяется следующим образом [5]: где  $R$  – радиус канала разряда, м;  $\rho$  – плотность разрядной среды, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma$  – эффективный показатель адиабаты (равен 1,26);  $L$  – индуктивность устрой-

$$E = \frac{R^4 \pi \rho l}{(\gamma - 1) \pi^2 LC}, \quad (3)$$

ства, мкГн;  $C$  – емкость разрядного контура, мкФ. Следовательно,

$$E = \frac{E}{2\pi \tau (r+l)} \pi r^2 = \frac{Er}{2(r+l)}, \quad (4)$$

или

$$\frac{R^4 \pi \rho l}{2(\gamma - 1) \pi^2 LC (r+l)} = k_{п} n \sigma_{сж} V, \quad (5)$$

где  $k_{п}$  – коэффициент пропорциональности (равен 0,8-0,9).

Решение уравнения (5) дает оценку объема разрушения формовочных и стержневых смесей при известных параметрах электроразрядного оборудования.

Полученные результаты энергии, необходимой для разрушения прочных форм и стержней, сравниваем с допустимыми значениями (рис. 1). Недостающая энергия компенсируется разупрочнением материалов форм и стержней путем комплексной электроразрядной очистки и активных разрядных сред. В качестве разрядной среды использован раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ), применение которого обусловлено свойствами адсорбции на границах раздела фаз и способностью понижать поверхностное натяжение [6]. Этот процесс основан на диспергирующем действии ПАВ. Основное свойство ПАВ, определяющее эффективность его действия как диспергатора, является способность смачивать твердую поверхность. Главным экспериментальным показателем этой характеристики является поверхностное натяжение, с понижением облегчается диспергируемость гетерогенных систем. Оценкой диспергирующего действия ПАВ должно служить снижение поверхностного натяжения

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma_A, \quad (6)$$

где  $\sigma_0$  и  $\sigma_A$  – поверхностные натяжения без ПАВ и с ПАВ, эрг/см<sup>2</sup>.

При некоторой концентрации достигается предел растворимости  $\Delta c_p$  и поверхностное натяжение больше не понижается. Максимальный эффект, который может быть достигнут, определяется соотношением  $\Delta\sigma/\Delta c_p$ .

Уравнение, связывающее адсорбцию вещества и вызываемое ею изменение поверхностного натяжения  $\sigma$  с содержанием вещества внутри любой из двух граничных фаз, было впервые получено Гиббсом

$$\frac{-d\sigma_H}{dc} = \frac{\delta RT(c_3 - c_1)}{c_1 \times 10^3} = \frac{\Gamma RT}{c_p}, \quad (7)$$

где  $c_1$  и  $c_3$  – содержание вещества в поверхностном слое и внутри фазы, из которой происходит адсорбция, моль<sup>-1</sup>;  $\Gamma = \delta(c_3 - c_1) / 10^3$  – адсорбция вещества (избыток массы растворенного вещества на  $1 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> поверхностного слоя), М · моль · л;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура, °С;  $c_p$  – концентрация ПАВ в растворе, %;  $\delta$  – толщина слоя,  $10^{-2}$  мм.

Это и есть критерий оценки диспергирующего действия ПАВ. Соотношение  $\Delta\sigma / \Delta c_p$  характеризует зависимость изменения поверхностного натяжения от изменения концентрации ПАВ в водном растворе.

При хрупком разрушении связь прочности  $P$  с поверхностной энергией  $E_{пов}$  описывается уравнением Гриффитса

$$P = \sqrt{\frac{e E_{пов.}}{h}}, \quad (8)$$

где  $e$  – модуль упругости твердого тела;  $h$  – характерный размер существующих в твердом теле или возникающих при предварительном пластическом деформировании дефектов – зародышевых трещин разрушения.

В соответствии с соотношением Гриффитса, справедливым в условиях хрупкого разрушения, отношение прочностей материала  $P_A$  и  $P_0$ , в присутствии и в отсутствие среды, равно корню квадратному из отношения соответствующих поверхностных энергий

$$\frac{P_A}{P_0} = \sqrt{\frac{E_{\text{пов}A}}{E_{\text{пов}0}}}, \quad (9)$$

где  $E_{\text{пов}A}$  и  $E_{\text{пов}0}$  – поверхностные энергии с ПАВ и без него, МПа.

Сопоставляя соотношение Гриффитса с адсорбционным уравнением Гиббса, можно непосредственно связать адсорбцию с прочностью  $P$

$$\Gamma = \frac{2E_{\text{об}A}P_A}{P_0^2RT} \frac{dP_A}{d \cdot \ln c}. \quad (10)$$

В качестве активной среды использован раствор адипиновой кислоты, относящейся к классу ПАВ-диспергаторов [7]. Показателем активности среды является величина, характеризующаяся отношением поверхностного натяжения среды к оптимальной концентрации в растворе ПАВ. Максимально возможная активность экспериментально установлена при 30%-ном водном растворе адипиновой кислоты. Коэффициент поверхностного натяжения среды установлен по показателю смачиваемости поверхности формовочных смесей, по сравнению с водой он в 2 раза ниже, то есть равен примерно 36 эрг/см<sup>2</sup>. Поскольку молекулы адипиновой кислоты (химическая формула  $(\text{CH}_2)_4(\text{COOH})_2$ ) дефильны, состоят из полярной части  $(\text{COOH})_2$  и неполярной  $(\text{CH}_2)_4$ , механизм разупрочнения формовочных смесей можно характеризовать адсорбционными явлениями, происходящими на границе полярных тел – формовочной керамической смеси  $\text{SiO}_2$  и раствора с его полярной составляющей.

Молекула адипиновой кислоты полярной частью ориентируется к поверхностям форм и стержней. Подвижность молекул адипиновой кислоты примерно в 2 раза выше подвижности молекул воды, и они значительно глубже проникают в микротрещины формовочных смесей, образовавшихся во время спекания форм и стержней, и стремятся их раздвинуть до критических размеров. В процессе ЭРО растет температура активной разрядной среды, и адсорбционные явления значительно активизируются. Их максимальная активность, как показали эксперименты, наступает при температуре среды около 60 °С.

Как опытный образец применили отливку из стали марки Ст45 с толщиной стенок от 6 до 10 мм, полученную в керамической литейной форме, прочность на сжатие которой – 12 МПа, объем закрытых и полужакрытых полостей в отливке составляет до 25 %. Максимальная масса отливки – 25 кг. Для разрушения стержня требуется энергия в разряде порядка

5 кДж, а это возможно для отливок с минимальной толщиной стенок (см. рис. 1) не меньше 15 мм [5].

ЭРО опытной отливки проводилась разрядами с энергией 2,5 кДж, недостаток энергии разрушения восполнялся за счет активности разрядной среды. На рис. 2 представлена зависимость полноты очистки

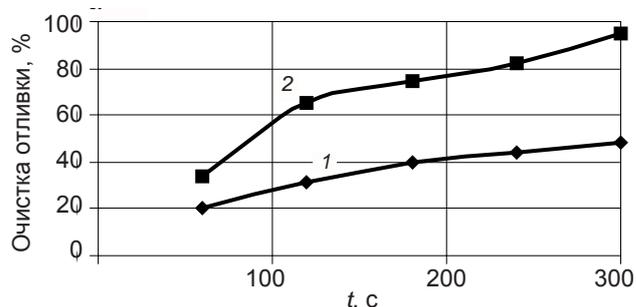


Рис. 2. Зависимость полноты очистки отливки от времени ЭРО при температуре разрядной среды до 60 °С: 1 – активная среда, 2 – водная среда

опытной отливки от времени ЭРО в активной разрядной среде – 30%-ном водном растворе ПАВ – адипиновой кислоты при температуре до 60 °С. Для сравнения показаны результаты экспериментальной ЭРО аналогичной отливки в водной разрядной среде разрядами с теми же параметрами. Полнота очистки определялась путем взвешивания выбитого стержня в процентном отношении к первоначальной его массе.

Показатель полноты очистки отливки при ЭРО в активной среде в 2 раза выше, чем при ЭРО в водной среде и составляет 98 %.

Сравнительный показатель энергозатрат при электроразрядной и гидромеханической очистках литья представлен на рис. 3.

Для реализации технологического процесса и технологических требований разработана установка «Искра-40», которая предназначена для электроразрядной очистки чугунных и стальных отливок массой до 20 кг в опытно-экспериментальном производстве.

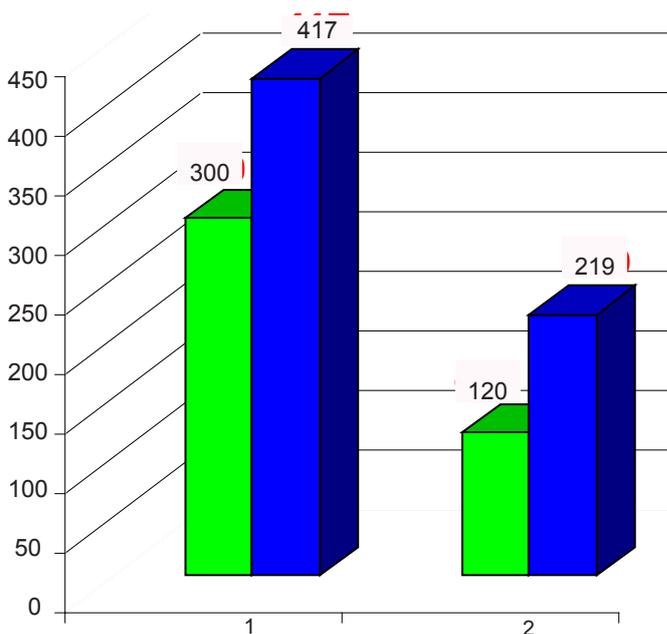


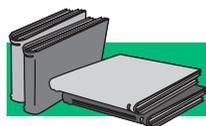
Рис. 3. Сравнительный показатель энергозатрат: гидромеханическая очистка (1), ЭРО в активных средах (2); ■ – время обработки, с, ■ – энергозатраты, Вт · ч

Таким образом, применение активных разрядных сред расширит возможности электроразрядной технологии очистки литья, позволит повысить ее эффективность, исключит вредное воздействие на материал отливки за счет снижения критических нагрузок.

### Выводы

Полученные результаты направлены на создание новых, более эффективных электроразрядных установок для очистки литья от высокопрочных форм и стержней, очистки оборудования от нежелатель-

ных покрытий и загрязнений. Внедрение комплексных технологий позволит снизить время обработки, энергозатраты в 2 и более раз, обеспечит высокую полноту очистки поверхности оборудования, позволит достичь конкурентоспособной стоимости продукции, значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда и оздоровления экологии. Это актуально для современного машиностроения при вхождении в международную структуру промышленного производства востребованных наукоемких изделий.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ризун А. Р. Исследование и оптимизация технологии электрогидроимпульсной выбивки стержней и очистки отливок: Дис ... канд. техн. наук. – Киев, 1984. – 200 с.
2. Специальные способы литья / Под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 734 с.
3. Денисюк Т. Д., Ризун А. Р. Электроразрядная очистка точного литья // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 3. – С. 83-85.
4. Пат. 20898 Украины, МПК (2007) B22D29/00. Способ очистки отливок точного литья / Т. Д. Денисюк, А. Р. Ризун, И. С. Швец, Ю. В. Голень. – Опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.
5. Методика расчета гидродинамических и электрических характеристик канала разряда электрогидравлических установок / А. Р. Ризун, В. В. Иванов, О. М. Рыбка. – Киев: Наук. думка, 1982. – 28 с.
6. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.
7. Денисюк Т. Д., Ризун А. Р. Предпосылки к использованию поверхностно-активных веществ для электроразрядной среды при разрушении формовочных смесей // Электронная обработка материалов. – 2004. – № 5. – С. 76-79.

### Анотація

Денисюк Т. Д.

Розширення можливостей очищення литва електророзрядом

Запропоновано шляхи підвищення якості очищення точного лиття. Наведені дані підтверджують підвищення ефективності електророзрядного очищення точного лиття в активних розрядних середовищах, що забезпечують знеміцнення стрижневих і формувальних сумішей підвищеної міцності. Запропоновано метод комплексної обробки.

### Ключові слова

електророзрядне очищення литва, поверхнево-активні речовини, робоче активне середовище, поверхневий натяг

### Summary

Denisyuk T.

Empowering clear casting electric discharge

The ways of improving of refinement quality of precision molding are proposed. The data, supporting the increase of effectiveness of electric-discharge refinement of precision molding in active discharge media providing the softening of core sand and sand mixtures of improved strength are cited, and the method of complex treatment is proposed.

### Keywords

electrical discharge cleaning of casting, surface-active substances, active working environment, the surface tension

Поступила 02.02.10