
ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ, МЕХАНИЗАЦИИ И КОМПЬЮТЕРИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ

УДК 621.926.084:537.52

Т. Д. Денисюк, Ю. В. Голень

Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОЧИСТКИ ТОЧНОГО ЛИТЬЯ

Установлены степень разупрочнения форм и стержней точного литья, позволяющая сбалансировать импульсное нагружение, требуемое для их разрушения, и допустимый уровень деформации самой отливки. Рекомендованы параметры электроразрядной обработки, при которых создаваемые нагрузки были бы достаточны для разрушения стержней и форм без нарушения структуры материала отливки и ее формы.

Ключевые слова: электроразрядное разрушение, давление волн сжатия, радиус разрушения, объем разрушения, поверхностно-активные вещества, производительность электроразрядного разрушения.

Встановлені ступінь знеміцнення форм і стрижнів точного лиття, що дозволяє збалансувати імпульсне навантаження, яке необхідне для їх руйнування, та допустимий рівень деформації самого виливка. Рекомендовано параметри електророзрядної обробки, за яких навантаження, що створюються, були б достатні для руйнування стрижнів і форм без порушення структури матеріалу виливки і її форми.

Ключові слова: електророзрядне руйнування, тиск хвиль стиснення, радіус руйнування, обсяг руйнування, поверхнево-активні речовини, продуктивність електророзрядного руйнування.

It was examined the grade of harden molds and cores of precision casting that allows to balance impulse loading, that are required for their destruction, and the permissible level of deformation of the casting itself. There are recommended parameters electro processing, in which the load generated would be sufficient to destroy cores and molds without breaking the structure of the material and its casting form.

Keywords: the electric discharge destruction, the pressure of wave compression, fracture radius, volume fracture, surface active substance, capacity of an electric discharge.

Необходимость решения проблемы получения качественных литых заготовок привела к увеличению объемов точного литья, позволяющего максимально приблизить отливки к готовой детали, а также к созданию деталей, которые не выполняются другими видами обработки. Очистка такого литья весьма проблематична. В некоторых случаях наличие высокопрочных стержней, сложность их разрушения и удаления сдерживают конструктивные улучшения детали. Поэтому поиск

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

эффективных методов очистки литья является актуальным особенно в настоящее время, при переходе производств на новые прогрессивные технологические основы с учетом высоких требований к качеству литых изделий.

Разработанная ранее электроразрядная технология, основанная на использовании мощных импульсов энергии высокой плотности, не всегда может применяться при очистке тонкостенных литых заготовок из-за дисбаланса импульсного нагружения, требуемого для разрушения высокопрочных форм и стержней, и допустимого уровня деформации самой отливки. Использовать электроразрядную очистку для тонкостенного литья, полученного в высокопрочных формах и с высокопрочными стержнями, можно только в том случае, если энергия импульсного нагружения при разрушении форм и стержней не превышает прочности самой отливки.

Целью работы являются анализ некоторых особенностей разрушения высокопрочных форм и стержней, а также поиск путей повышения эффективности электроразрядного способа очистки точного литья.

Для эффективного применения электроразрядной технологии при очистке точного литья необходимо:

– установить связь между параметрами электроразрядного контура, объемом разрушения стержней и форм с их прочностными характеристиками и сложностью точного литья;

– определить степень снижения интегральной прочности форм и стержней при комплексной электроразрядной обработке.

Для определения разрушающих усилий высоковольтного импульсного разряда необходимо установить величину давления волн сжатия. Для мощных разрядов, используемых при разрушении форм и стержней точного литья, определена эмпирическая зависимость для оценки давления волн сжатия за пределами канала разряда [1]

$$P = f \left(\frac{\sqrt{E}}{r} \right), \quad (1)$$

где P – давление волны сжатия, Па; f – коэффициент пропорциональности (установлен экспериментально), для керамических материалов он равен 6; E – энергия разряда, Дж; r – радиус эффективного действия волн сжатия, м.

Радиус эффективного действия волн сжатия определили эмпирически в зависимости от прочности материала и давления волн сжатия в канале разряда [2]

$$r = \sqrt{\frac{P_{к.р}}{\sigma_{сж}}} \cdot 10^{-2}, \quad (2)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности стержня или формы на сжатие, Па.

Изменение радиуса разрушения в зависимости от давления волн сжатия в цилиндрической зоне разрушения керамических стержней за каналом разряда для энергий, характерных для электроразрядной очистки точного литья, показано на рис. 1.

По радиусу цилиндрической области разрушения стержня можно определить объем разрушения от одного разряда

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot l, \quad (3)$$

где V_1 – объем разрушения стержня от одного разряда, м³; l – расстояние между электродами, м.

Радиус зоны разрушения связан с параметрами разряда и давлением волн сжа-

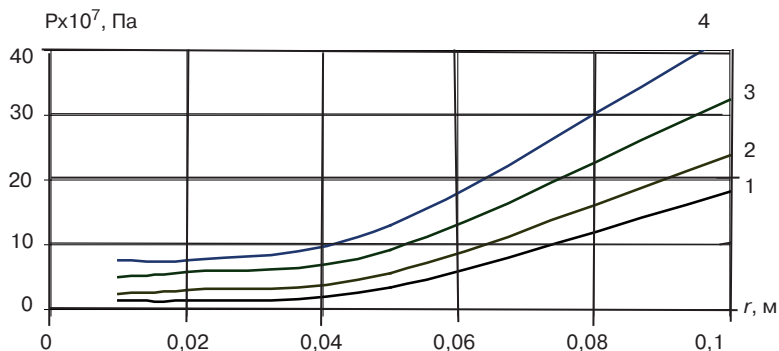


Рис. 1. Изменение радиуса разрушения в зависимости от давления волн сжатия, Дж: 1 – 625; 2 – 1250; 3 – 2500; 4 – 5000

тия, при котором керамические стержни начинают разрушаться (то есть $P \geq \sigma_{сж}$), и определяется следующей зависимостью [3]:

$$r = \frac{U}{P} \sqrt{L}, \quad (4)$$

где U – напряжение заряда батареи, В; L – индуктивность разрядного контура, Гн. Тогда выражение (3) с учетом (4) примет вид

$$V_1 = \pi \cdot r^2 \cdot l = \pi \frac{U^2 \cdot l^2}{P^2 \cdot L}. \quad (5)$$

Из зависимости для вычисления энергии конденсаторной батареи

$$E_0 = \frac{C \cdot U^2}{2}, \quad (6)$$

где E_0 – энергия конденсаторной батареи, Дж; C – емкость конденсаторной батареи, Ф.

Можно выразить напряжение заряда батареи, соответствующее энергии заряда и, подставив его в зависимость (8), получить зависимость объема разрушения стержня от энергии заряда батареи

$$V_1 = 2\pi \frac{E_0 \cdot l^2 \cdot k_E}{C \cdot P^2 \cdot L}, \quad (7)$$

где k_E – акустический коэффициент прохождения энергии в керамическом стержне, который зависит от плотности стержня или формы и плотности рабочей среды, а также скорости распространения звука в рабочей среде и в материале стержня или формы [4].

Производительность электроразрядной очистки литья зависит от частоты следования разрядов f , количества разрядов n и времени обработки, необходимых для разрушения и измельчения керамических стержней от начального объема до фрагментов с размерами, обеспечивающими их удаление из полости отливки

$$G = V_1 f n, \quad (8)$$

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

где f – частота следования разрядов, Гц; m – коэффициент пористости керамического стержня.

Для определения необходимого количества разрядов рассмотрим процесс изменения объема керамических блоков после каждого разряда

$$\frac{V_0}{V_1} \cdot \frac{V_1}{V_2} \cdot \dots \cdot \frac{V_i}{V_{i+1}} \cdot \dots \cdot \frac{V_n}{V_{\min}} = \frac{V_0}{V_{\min}}, \quad (9)$$

где i – порядковый номер разряда.

Относительное уменьшение объемов образовавшихся частиц практически не зависит от порядкового номера разряда

$$\frac{V_i}{V_{i+1}} = \text{const.} \quad (10)$$

С учетом выражения (10) можно записать зависимость

$$\frac{V_0}{V_{\min}} = \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^n. \quad (11)$$

Из уравнения (11) определим количество разрядов, необходимое для измельчения керамического стержня объемом V_0 до частиц минимального объема V_{\min} , задаваемого диаметром полости отливки

$$n = \frac{\ln(V_0 / V_{\min})}{\ln(V_0 / V_1)}. \quad (12)$$

Дезинтеграция керамического стержня происходит в области с переменным давлением, изменяющимся от максимального в канале разряда P_{\max} до P_{\min} на границе области разрушения стержня по гиперболической зависимости. Среднее давление рабочей среды определим как среднее интегральное на интервале от радиуса канала разряда R_0 , при котором давление в канале разряда достигает максимального значения P_{\max} , до границы области разрушения радиусом r

$$P_{\text{cp}} = \frac{1}{r - R_0} \int_{R_0}^r P dr. \quad (13)$$

Результаты расчетов технологических параметров очистки точного литья представлены в табл. 1.

Полученные расчетные значения давления волн сжатия, обеспечивающие эффективную очистку точного литья, сравниваем с допустимыми значениями, безопасными для самой отливки. Известны критические давления волн сжатия при электроразрядной обработке для точного литья ряда сплавов (рис. 2) [5].

Если прочностные характеристики форм и стержней превышают прочностные характеристики литья, используется энергия разрядов меньшей величины, а недостающее давление для разрушения компенсируется разупрочнением форм и стержней. Требуемый коэффициент разупрочнения устанавливается следующим соотношением:

$$k_p = P_p / P_{\text{доп}}, \quad (14)$$

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

где k_p – коэффициент разупрочнения; P_p – давление воли сжатия, достаточное для разрушения керамических стержней, Па; $P_{дон}$ – допустимое давление волн сжатия, безопасное для отливки, Па.

Таблица 1. Технологические параметры очистки точного литья

$\sigma_{сж} \cdot 10^{-6}$, Па	$r \cdot 10^{-2}$, м	$P \cdot 10^6$, Па	$V \cdot 10^{-6}$, м ³
5	13	9,2	722
8	13	5,2	1228
15	13	8,9	880
20	13	10,3	1124
25	13	10,3	590
30	13	8,9	750
40	13	10,3	900
45	8	18,7	360
50	8	16,8	440
60	8	18,7	510
70	8	20,6	230
80	8	16,8	270
90	8	18,7	320

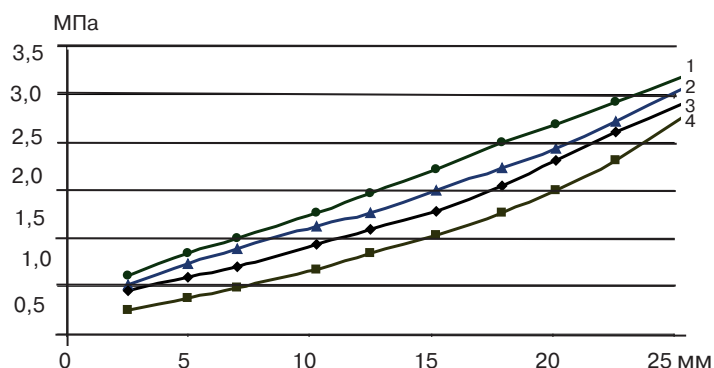


Рис. 2. Критические давления волн сжатия при электроразрядной обработке для тонкостенного точного литья: 1 – сталь 45; 2 – 9ХС; 3 – ВТ6; 4 – ВТ1

Выражение для определения радиуса цилиндрического разрушения с учетом разупрочнения можно представить в виде

$$r = \sqrt{\frac{P_{дон} \cdot k_p}{\sigma_{сж}}} \cdot 10^{-2}. \quad (15)$$

Разупрочнение форм и стержней можно достичь путем комплексирования электроразрядной очистки в активных рабочих средах. Установили, что обработка керамических стержней в растворе поверхностно-активных веществ (ПАВ), применение которых обусловлено свойствами адсорбции на границах раздела фаз и способностью понижать поверхностное натяжение, обеспечивает разупрочнение материалов, достаточное для эффективной и качественной очистки точного литья [6].

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

Для примера объектами экспериментальных исследований выбрали отливки средней и высокой сложности. Средней сложности (I) – это отливка с открытыми и полукрытыми полостями, выполненная из легированной стали, минимальная толщина стенок отливки – 8 мм. Отливка высокой сложности (II) – с тонкими перегородками и большим количеством малых диаметров полукрытых полостей с минимальной толщиной стенок 3 мм (табл 2). Для производства такого литья используют литейные формы и стержни из высокопрочных материалов, прочность на сжатие которых достигает порядка 30 МПа и выше, для их разрушения требуется энергия от 5 кДж и выше, являющаяся критической для материала отливки. Следовательно, требуется снизить прочность стержней в отливке.

Таблица 2. Результаты электроразрядной очистки литья в 30 %-ном водном растворе адипиновой кислоты

Номер группы опытов	Объект исследований	Частота исследования импульсов, Гц	Время обработки, с	Полнота очистки, %
1 (1-10)	I	4	180	98
2 (1-10)		4	300	100
3 (1-10)	II	4	240	85
4 (1-10)		4	300	99

В качестве активной разрядной среды использовали раствор адипиновой кислоты (химическая формула $(\text{CH}_2)_4(\text{COOH})_2$), которая широко применяется в промышленности для очистки оборудования от твердых отложений. Кислота хорошо растворима в воде и не токсична. Экспериментально установили, что при электроразрядной очистке точного литья наиболее эффективен ее 30 %-ный водный раствор [7].

Обработку проводили при температурном режиме разрядной среды 60°C , который обеспечил наибольшую активность рабочей среды без кипения и испарения жидкости, и при следующих параметрах разрядного контура: индуктивность $L = 8 \cdot 10^{-6}$ Г; рабочее напряжение $U = 50 \cdot 10^3$ В; емкость конденсаторных батарей $C = 1$ мкФ. При таких параметрах электроразрядное воздействие приводит к снижению поверхностного натяжения раствора ПАВ и усилению его диспергирующих свойств [8, 9].

Степень разупрочнения керамического стержня при комплексной электроразрядной обработке в активной рабочей среде (растворе адипиновой кислоты) и водной рабочей среде определили по диаграмме удельной работы деформации керамических образцов по методике, описанной в [10], (рис. 3).

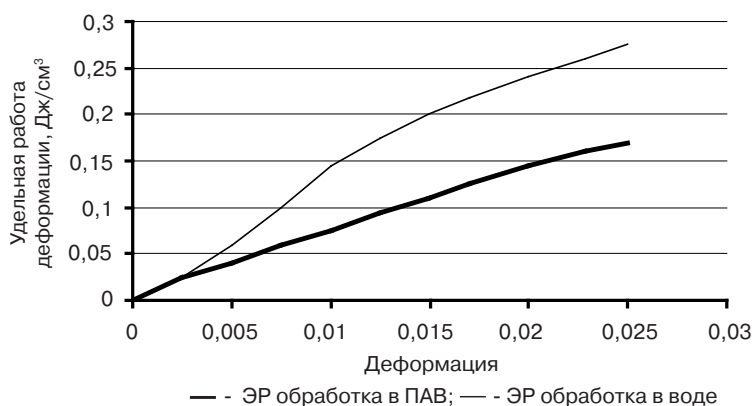


Рис. 3. Диаграмма удельной работы деформации керамического стержня

Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

Анализ диаграммы позволяет отметить, что предел прочности на сжатие образцов керамического стержня снизился до 2,8 раз.

Допустимые критические напряжения для отливок определены по зависимостям, приведенным на рис. 2.

Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

В результате экспериментов установили, что комплексирование электроразрядной обработки в водном растворе адипиновой кислоты в качестве активной рабочей среды позволяет получить качественную очистку изделий точного литья любой сложности.

Выводы

В результате выполненных исследований установлена возможность:

– оценить необходимую степень разупрочнения, позволяющую сбалансировать импульсное нагружение, требуемое для разрушения высокопрочных форм и стержней, и допустимый уровень деформации самой отливки;

– рекомендовать параметры электрогидроимпульсной обработки, при которых создаваемые нагрузки были бы достаточны для разрушения стержней и форм без нарушения структуры материала отливки и ее формы.

С помощью методов комплексной электроразрядной обработки точного литья в активных рабочих средах на основе ПАВ можно достичь высокой производительности очистки точного литья любой сложности при выполнении условия сохранения целостности материала и изделия в целом.

Полученные результаты направлены на создание новых, более эффективных, электрогидроимпульсных установок для очистки точного литья от высокопрочных форм и стержней, а также оборудования от нежелательных покрытий и загрязнений.



Список литературы

1. Ризун А. Р., Голень Ю. В., Денисюк Т. Д. Определение характеристик импульсного электроразрядного разрушения керамических стержней // Процессы литья. – 2012. – № 4 (94). – С. 68-73.
2. Ризун А. Р., Цуркин В. Н. Электроразрядное разрушение неметаллических материалов // Электронная обработка материалов. – 2002. – № 1 (213). – С. 83-85.
3. Наугольных К. А., Рой Н. А. Электрические разряды в воде. – М.: Мир, 1971. – 322 с.
4. Пейн Г. Физика колебаний и волн. – М.: Мир, 1979. – 389 с.
5. Денисюк Т. Д., Ризун А. Р. Электроразрядное разрушение литейных форм и стержней в различных разрядных средах // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 6. – С. 83-85.
6. Денисюк Т. Д. Расширение возможностей очистки литья электроразрядом // Металл и литье Украины. – 2010. – № 5. – С. 10-13.
7. Пат. № 20898 Украина. 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.
8. Влияние высоковольтных импульсных разрядов в растворах поверхностно-активных веществ на их основные свойства / О. Н. Сизоненко, Э. И. Тафтай, Р. И. Малая и др. // Вест. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – № 21. – С. 124-134.
9. Ризун А. Р., Денисюк Т. Д., Симановский В. М. Электроразрядный метод удаления керамических стержней из полости отливки // Импульсные процессы в механике сплошных сред: Матер. IX Междунар. науч. конф. (15-19 августа 2011 г.). – Николаев: КП «Микол. обл. друкарня», 2011. – С. 333-336.
10. Ризун А. Р., Денисюк Т. Д., Голень Ю. В. Определение характеристик импульсного электроразрядного разрушения керамических стержней // Процессы литья. – 2012. – № 4. – С. 68-73.

Поступила 27.12.2014