

## Аннотация

### Отливки из алюминиевых сплавов с мелкодисперсной упрочняющей керамикой

Рассмотрены технологические процессы получения композиционных отливок на основе алюминия с использованием мелкодисперсной упрочняющей керамики. Показана возможность существенного повышения физико-механических свойств отливок, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов.

## Abstract

### Casting from aluminium alloys with finely disperse strengthening ceramics

Technological processes of production composition castings on the aluminium base with ultra disperse hardening ceramic are discussed. It is shown possibility of the essential increasing of mechanical and physical properties of castings from aluminium alloys.

УДК.621.783:621.922

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ ДЛЯ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Акулович Л.М., д.т.н., профессор

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь*

Хейфец М.Л., д.т.н., профессор; Зевелева Е.З.

*Полоцкий государственный университет, г. Новополоцк, Республика Беларусь*

**Введение.** Современными тенденциями развития ремонтного производства является внедрение технологических модулей (ТМ), реализующих процессы комбинированной электромагнитной и термомеханической обработки, их оснащение инструментами, установками, устройствами автоматизации. Проектирование такого оборудования – сложная и комплексная проблема производства, имеющая различные решения и широкие диапазоны возможных альтернатив. Решается она структурным синтезом технологических модулей, использующих источники энергии на основе параметрической оптимизации [1, 2].

Технологические основы проектирования ТМ обеспечивают разработчика информацией, необходимой для создания технологических процессов, средств их оснащения и автоматизации. Они содержат рациональные режимы обработки по всем операциям технологического процесса, сведения о конструкции приспособлений, рабочих органов оборудования, установок, программное обеспечение и схемы сопряжения рабочих, обслуживающих, информационных машин и агрегатов технологической системы.

Рациональные режимы и конструкции получают путем оптимизации основных параметров, которые описывают аналитическими и статистическими моделями. В статистических моделях используют многофакторное планирование экспериментов, дисперсионный, регрессионный и ковариационный анализ [3, 4].

При исследовании электромагнитных и термомеханических процессов в рабочей зоне ТМ аналитические модели требуют уточнения, путем планирования отсеивающих,

дискриминирующих экспериментов дисперсионного анализа [3]. Изучение самоорганизации поверхностных явлений по критериям переноса необходимо дополнить статистическим многофакторным анализом процессов и явлений.

Поэтому для изучения электромагнитных и термомеханических процессов и технологических средств формирования эксплуатационных характеристик детали применяется многофакторный регрессионный анализ с ортогональным, рототабельным планированием экспериментов. Последующая оптимизация проводится по полученной поверхности отклика в факторном пространстве, а управление технологическими процессами и средствами осуществляется по критериям с учетом связей между параметрами качества детали.

Изучение комбинированных термомеханических и электромагнитных процессов формирования поверхностного слоя дает возможность рекомендовать рациональные маршруты и оптимальные конструктивно-технологические параметры средств оснащения операций упрочнения и обработки изделий [5, 6].

**Оптимизация конструктивных элементов.** В устройствах для электромагнитной обработки на входе в рабочий зазор и выходе из него концентрируется магнитный поток. Различие площадей рабочего торца полюсных наконечников и поверхности детали обуславливает появление градиента индукции магнитного поля. Поэтому изменением геометрических параметров полюсных наконечников можно регулировать величину магнитных сил и целенаправленно управлять процессом упрочнения.

Важнейшими геометрическими параметрами полюсных наконечников, влияющими на величину градиента индукции магнитного поля, являются угол заострения  $\alpha_n$  и высота рабочего торца  $C$ . Для исследования влияния указанных параметров в процессе, использующем мощные электромагнитные источники для нанесения покрытия, на результат упрочнения и определения их оптимальных значений применялось центральное композиционное рототабельное униформ-планирование [7]. Образцы из стали 20 диаметром 20 мм в процессе электромагнитной наплавки упрочнялись ферробором ФБ-1 при оптимальных режимах. В качестве параметра оптимизации была выбрана производительность наплавки  $Q$ . Варьирование факторов в опытах, план и результаты эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Условие опытов для  $k=2$  при  $\alpha=1,414$

Уровни факторов $X_i$	Фактор	
	$X_1, \alpha_n$ , град	$X_2, C$ , мм
$-\alpha$	18	2,2
-	30	3
0	60	5
+	90	7
$+\alpha$	102	7,8

В результате обработки экспериментальных данных получена зависимость производительности наплавки от геометрических параметров полюсных наконечников

$$Q = Y = 2,84 - 0,51X_1 + 0,07X_2 - 0,19X_1X_2 - 0,07X_1^2 - 0,43X_2^2.$$

Коэффициенты уравнения регрессии значимы с 90%-ной доверительной вероятностью, а модель адекватна при 5%-ном уровне значимости.

Графически зависимость изображена на рисунке 1, из которого видно, что с увеличением угла заострения полюсных наконечников производительность наплавки резко уменьшается. Это объясняется тем, что при больших углах заострения магнитный поток рассеяния возрастает и, следовательно, значительно уменьшается градиент магнитной ин-

дукции. Вследствие этого порошок хуже удерживается в рабочем зазоре и уносится из него. Таким образом, значение угла  $\alpha$  определяется допустимым наименьшим его значением.

Таблица 2 – Матрица ЦКРУП и результаты эксперимента

№	$X_1, \alpha_n, \text{град}$	$X_2, C, \text{мм}$	$Y, Q, \text{г/дм}^2$
1	+	+	1,87
2	-	+	3,44
3	+	-	1,79
4	-	-	2,57
5	$+\alpha$	0	1,99
6	$-\alpha$	0	3,24
7	0	$+\alpha$	1,75
8	0	$-\alpha$	2,06
9	0	0	2,89
10	0	0	2,56
11	0	0	2,87
12	0	0	3,04
13	0	0	2,86

При высоте рабочего торца наконечников 5-6 мм производительность наплавки имеет максимальное значение (см. рисунок 1, кривая 2). При отклонении высоты торца от этого значения производительность наплавки уменьшается, так как нарушается электрическая проводимость зазора, соответствующая оптимальной плотности разрядного тока.

Учитывая ограничения, накладываемые технологичностью конструкций, оптимальными значениями можно считать  $X_1 = \alpha_n = 12^\circ$  и  $X_2 = C = 5,7$  мм.

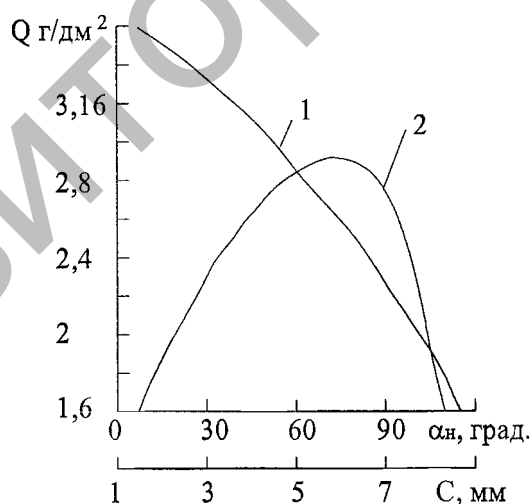


Рисунок 1 – Зависимость производительности наплавки от геометрических параметров полюсных наконечников: 1 – зависимость от величины угла заострения  $\alpha_n$ , 2 – зависимость от высоты рабочего торца  $C$

**Оптимизация технологических факторов.** Образование в рабочем зазоре цепочек из зерен ферромагнитного порошка происходит хаотично. Струйная подача упрочняющего

порошка предполагает образование одновременно нескольких токопроводящих цепочек в малом объеме рабочего зазора.

Идеальным условием для того, чтобы все зерна порошка участвовали в процессе, является расположение цепочек на таком удалении друг от друга, при котором устойчивость процесса была максимальной. Технологическое решение, приближающее к идеальному условию, – применение широкого полюсного наконечника и подача порошка широкой струей, для этого целесообразно использовать смеситель, снабженный широким выходным соплом и специальное бункерное дозирующее устройство.

Удовлетворительная сплошность покрытия достигается при использовании полюсных наконечников с концентраторами внешнего магнитного поля, которые способствуют образованию токопроводящих цепочек из зерен порошка на требуемых участках поверхности изделия. Для цилиндрических деталей целесообразно применять рифленные наконечники с определенным шагом.

В процессе магнитно-абразивной обработки требуется, чтобы полюсный наконечник максимально охватывал обрабатываемую поверхность, поэтому предлагается набирать его из элементарных составляющих с оптимальной геометрией, а между ними обеспечивать зазоры (рисунок 2).

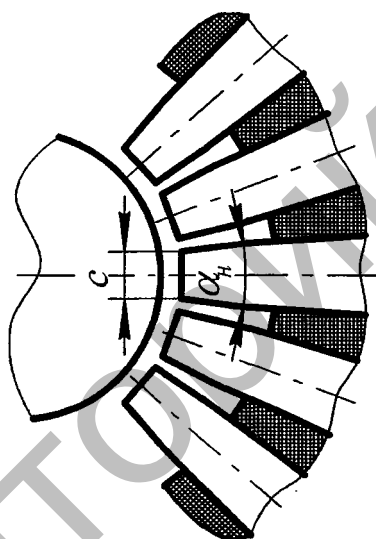


Рисунок 2 – Полюсный наконечник

Анализ электромагнитных и термомеханических процессов формирования поверхностного слоя [6, 7] дает возможность рекомендовать рациональные диапазоны режимов для технологического модуля комбинированной обработки изделий (таблица 3) и с позиций обеспечения физико-механических и наследования геометрических параметров качества предложить маршруты упрочнения, восстановления и обработки изделий.

В случае, когда достаточно обеспечить поверхности шероховатость  $Ra\ 6,3-8,0\ \mu\text{м}$ , предлагается электромагнитная наплавка ферропорошка с поверхностным пластическим деформированием. Если необходима шероховатость  $Ra\ 3,2-5,0\ \mu\text{м}$ , то следует использовать ротационное упрочняющее резание [8].

В случае, когда требуется шероховатость  $Ra\ 0,08-0,10\ \mu\text{м}$ , перед магнитно-абразивным полированием необходимо алмазное шлифование до  $Ra\ 1,0-1,25\ \mu\text{м}$  [5]. Если удовлетворяет шероховатость  $Ra\ 0,4-0,63\ \mu\text{м}$ , то после нанесения покрытия достаточно одного шлифования, либо шлифования и магнитно-абразивного полирования [6, 7].

Таблица 3 – Значение параметров качества поверхностного слоя детали с износостойким покрытием при рациональном диапазоне режимов электромагнитных и термомеханических процессов

Процесс высокоэффективной обработки	Технологические факторы							Параметры качества		
	V, м/с	S, мм/с *(A, мм)	t, мм *(P, кН)	$\tau$ , с *(I, A)	B, Тл	$\delta/\Delta$	Q, г/дм <sup>2</sup>	Ra, мкм	HRC *(Hц, ГПа)	
Электромагнитная наплавка с поверхностным пластическим деформированием	0,07...0,09	0,3...0,6	1,0...1,1*	100...120*	1,1...1,2	4...5	0,9...1,0	5...6,3	45...47	
Шлифование абразивным кругом	0,5...0,6	1,5...2,5	0,01	-	-	-	-	0,5...0,63	7,5...8,5*	
Магнитно-абразивная обработка	2,5...3,0	1,5...2*	0,002...0,005	60...70	1,1	3...4	1,1...1,2	0,063...0,08	7,5...8,5*	

где  $\tau$  – длительность процесса, B – магнитная индукция,  $\delta/\Delta$  – отношение величины рабочего зазора к зернистости порошка, Q – удельная производительность процесса, Ra – среднеарифметическое отклонение профиля, HRC – твердость по Роквеллу, V – скорость главного движения, S – скорость подачи, A – амплитуда осциллирующей детали, t – глубина резания, P – усилие деформирования, I – сила тока.

**Заключение.** Результаты анализа исследования электромагнитных и термомеханических процессов для упрочнения, восстановления и обработки деталей на ТМ высокоэффективной обработки позволили сделать заключение, что технологическая система может длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме и не требует внешних управляющих воздействий. Это свидетельствует о целесообразности использования ТМ высокоэффективной обработки, реализующих процессы электромагнитной и термомеханической обработки, в качестве отдельных модулей для ремонтного производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И.И. Основы синтеза систем машин автоматического действия / И.И. Артоболевский, Д.Я. Ильинский. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
2. Кошкин, Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 236 с.
3. Хейфец, М.Л. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей / М.Л. Хейфец, Л.М. Кожуро, Ж.А. Мрочек. – Гомель: ИММС НАНБ, 1999 – 276 с.
4. Акулович, Л.М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле / Акулович Л.М. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 240 с.
5. Рыжов, Э.В. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192с.
6. Интеллектуальное производство: состояние и перспективы развития /Л.М. Акулович [и др.]; под общ. ред. М.Л. Хейфеца и Б.П. Чемисова. – Новополоцк: ПГУ, 2002. – 268 с.
7. Применение электромагнитных и термомеханических процессов в технологических комплексах высокоэффективной обработки / П.И. Ящерицын [и др.] // Современное машиностроение. – 1999. – №2. – С. 37–42.
8. Обработка износостойких покрытий / Ж.А. Мрочек [и др.]; под общ. ред. Ж.А. Мрочека. – Минск.: Дизайн ПРО, 1997. – 208 с.

#### Аннотация

##### **Параметрическая оптимизация технологического модуля для ремонтного производства**

Рекомендованы рациональные диапазоны режимов для технологического модуля комбинированной обработки изделий и оптимальные геометрические параметры полюсных наконечников. Предложены маршруты упрочнения, восстановления и обработки изделий, реализуемые технологическим модулем для ремонтного производства

#### Abstract

##### **Parametrical optimization of the technological module for repair works**

Rational ranges of modes for the technological module of the combined processing products and optimum geometrical parameters of polar tips are recommended. Routes of hardening, restoration and processing of products realized by the technical module for repair works are offered.