

А.В. Усов, д-р техн. наук, Е.Н. Богданова, Одесса, Украина

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ФЕРРОКЕРАМИКИ

У статті досліджено технологічні методи зниження відсотку браку у виробництві феррокерамічних деталей, які використовуються у електромеханічному обладнанні. Крім того, розроблено модель, яка дозволяє оптимізувати технологічні параметри спікання і шліфування заготовок.

В статье исследованы технологические методы понижения процента браков в производстве феррокерамических деталей, используемых в электромеханическом оборудовании. Кроме того, разработана модель, позволяющая оптимизировать технологические параметры спекания и шлифования заготовок.

A.V. USOV, E.N. BOGDANOVA

REQUIREMENTS TO TECHNOLOGICAL SYSTEM FOR EFFECTIVE MANUFACTURE OF PRODUCTS FROM FERROKERAM

In article technological methods of fall of percent of marriages in manufacture феррокерамічних the details used in the electromechanical equipment are investigated. Besides, the model is developed, allowing to optimize technological parameters спеканияу grindings of preparations.

Актуальность.

Изделия из феррокерамики в силу широкого диапазона магнитных свойств в большом объеме используются в электроэнергетике – в генераторах, электроприводах, трансформаторах, и др. Благодаря уникальным сочетаниям электромагнитных свойств ферриты находят применение и в других областях техники. Объем их производства в мировом масштабе достиг десятков миллионов тонн в год и продолжает непрерывно увеличиваться. Поэтому весьма актуальным является совершенствование технологических процессов переработки отходов (в том числе и брака) ферритового производства, поскольку доля этих отходов достигает 30%. Переработка отходов в годные полуфабрикаты и изделия не только позволяет экономить сырьевые материалы, энергетические и трудовые ресурсы, но и способствует уменьшению нагрузки на окружающую среду [1].

Подготовка производства ферритов должна давать уверенность в том, что технологический процесс и состояние всех элементов производства (оборудование, сырьевые компоненты и комплектующие, метрологическое оснащение, производственный персонал) обеспечат изготовление продукции в соответствии с требованиями. Производственный процесс должен быть управляемым и контролируемым. Система управления качеством ферритового производства должна иметь контуры прямого управления и обратной связи, позволяющей своевременно корректировать управляющее воздействие. Обязательными эле-

ментами системы должны быть контроль технологических режимов, параметров полуфабрикатов и готовых изделий. Использование статистических методов контроля позволяет установить доверительную связь между параметрами исходных компонентов, полуфабрикатов и готовых изделий и является основой для корректировки требований к сырьевым компонентам. Результаты оценки качества труда, производственного процесса, готовой продукции должны использоваться для выработки корректирующих мероприятий, стимулирования подразделений и отдельных работников за качество, целенаправленного планомерного улучшения качества готовой продукции.

Анализ методов контроля физико-механических свойств при производстве ферритовых изделий. Контроль качества в процессе изготовления продукции осуществляет отдел технического контроля (ОТК), а также исполнители и руководители производственных подразделений. Основная задача ОТК – предотвратить выпуск продукции, не соответствующей требованиям технических условий, технологической документации, условиям поставки и договоров. Чтобы обеспечить профилактический характер контроля, предотвращающего появление брака, проводится контроль стабильности технологических режимов и совершенствуется контроль качества сырья и полуфабрикатов. Контрольные операции являются неотъемлемой частью производственного процесса. Они разрабатываются одновременно с технологическими процессами соответствующими службами (отдел главного технолога, отдел главного конструктора и др.) при участии ОТК.

В процессе производства ферритовых материалов их компоненты находятся в разных состояниях: смеси исходных компонентов, предварительно синтезированные порошки, суспензии, шликеры, пресс-порошки; отформованные заготовки и спеченные изделия. Для каждого состояния существует множество методов и средств контроля их параметров. Это – классические, широко описанные в литературе методики, а также малоизвестные, редко применяемые или модернизированные методы и приборы. Для технологов ценными являются результаты анализов характеристик материалов, определенных разными методами. Они позволяют повысить достоверность анализа, полнее объяснить физико-химические явления, происходящие при синтезе материала, и принять нужные меры для корректировки технологических режимов.

В зависимости от места контроля качества продукции в процессе производства ферритов различают входной, операционный и контроль готовой продукции. Входной контроль имеет большое значение в случаях нестабильного качества исходного сырья. Операционный – включает контроль технологических режимов и промежуточный контроль качества полуфабрикатов. Промежуточный контроль позволяет выявить бракованные порошки, ферритовую шихту, формовочные массы и заготовки в процессе изготовления, предупредить их попадание на последующие операции. Большую часть таких контрольных операций выполняют сами рабочие и наладчики, технологи и мастера. Служба ОТК, как правило, проводит инспекционный контроль.

В процессе контроля качества продукция или полуфабрикат делится на годную и дефектную. Годная – удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации, дефектная имеет явный или скрытый дефект – малозначительный или критический. Малозначительный дефект готовой продукции существенно не влияет на ее использование по назначению. Малозначительный дефект полуфабриката, как правило, устраняется на последующих технологических операциях. При наличии критических дефектов полуфабрикат и готовое изделие бракуются.

Основные задачи системы управления качеством:

- систематический анализ и устранение причин выпуска продукции низкого качества;
- организация и внедрение прогрессивных методов контроля качества входного сырья, полуфабрикатов, готовой продукции;
- контроль качества и состояния технологического оборудования, инструментов и оснастки, качества выполнения отдельных технологических операций, условий производства;
- испытание новых и модернизированных образцов продукции;
- сбор, анализ и обобщение статистических данных по влиянию параметров сырья, полуфабрикатов и технологических режимов на свойства готовой продукции.

В серийном производстве проводят типовые, периодические и приемосдаточные испытания готовой продукции. Типовые наиболее объемные и проводятся после внесения конструкторских или технологических изменений. Периодические испытания устанавливают стабильность качества изделий и их соответствие техническим условиям. Приемосдаточные испытания изделий проводят при приемочном контроле готовой продукции в целях обнаружения брака. При освоении опытной продукции проводятся предварительные и приемочные испытания, по результатам которых составляется заключение о качестве изделия. Структурная схема по управлению технологической системой при изготовлении деталей из феррокерамики представлена на рис. 1.

В условиях серийного производства целесообразно использовать методы непрерывного контроля за ходом технологического процесса и статистического регулирования его качества. Нормальное функционирование технологических линий требует получения постоянной информации не только о качестве продукции на выходе системы, но и работоспособности технологических систем.

Результаты исследований

Технологические потери связаны с потерей сырья, полуфабрикатов и годных изделий в результате несовершенства технологического процесса и технологического оборудования (негерметичность, отсутствие системы улавливания, частые поломки и т.д.). Брак связан с отклонениями параметров полуфабрикатов

и годных изделий выше допустимых значений. В целом брак подразделяется на два вида: устранимый и неустрашимый. Переработка устранимого брака в годные полуфабрикаты и изделия обычно требует дополнительных операций, связанных с глубокими физико-химическими превращениями.

Для переработки неустрашимого брака необходимы дополнительные операции, связанные с измельчением и помолом, термообработкой, активированием путем химического модифицирования поверхности частиц и т.д. Технологические отходы связаны с образованием побочных продуктов на различных технологических операциях (Рис. 2) (отходы формовочных масс, отходы шлифования и других видов механической обработки, отходы изделий после различных видов испытаний и т.д.), их также можно подразделить на два вида: утилизируемые в годные полуфабрикаты; утилизируемые в экологически безопасные формы.

Основное внимание исследователей уделялось обеспечению качественных характеристик ферритов на финишных методах [2,3].

Однако для решения указанной проблемы необходимо провести анализ причин появления брака по всему ходу технологии изготовления деталей и разработать рекомендации по снижению возникающих отходов на каждой из технологических операций.

Технологические отходы в производстве порошков связаны в основном с налипанием суспензий, полученных мокрым помолом порошков, на стенки технологического оборудования (распылительные сушилки, реакторы, трубопроводы и т.д.) и образованием плотных корочек, а также крупных прочных конгломератов при термообработке шихты. Эти отходы утилизируются мокрым помолом корочек, появляющихся при чистке технологического оборудования, дроблением конгломератов в дробилках и последующим измельчением шихты.

Большой практический интерес представляет уменьшение налипания суспензий на рабочие поверхности технологического оборудования. Налипание суспензий может привести к смещению химического состава ферритовых порошков различных партий, поэтому необходима периодическая чистка загрязненного оборудования. Исследования показали, что налипание суспензий происходит в кислой и нейтральной средах.

Технологические потери в производстве формовочных масс (пресс-порошков, паст и шликеров), как и в случае технологических потерь при производстве порошков, связаны с негерметичностью технологического оборудования (сушильно-грануляционного, отсеивающего, смесительного, помольного и др.), поэтому для снижения этих потерь используются те же приемы, что и при производстве порошков.

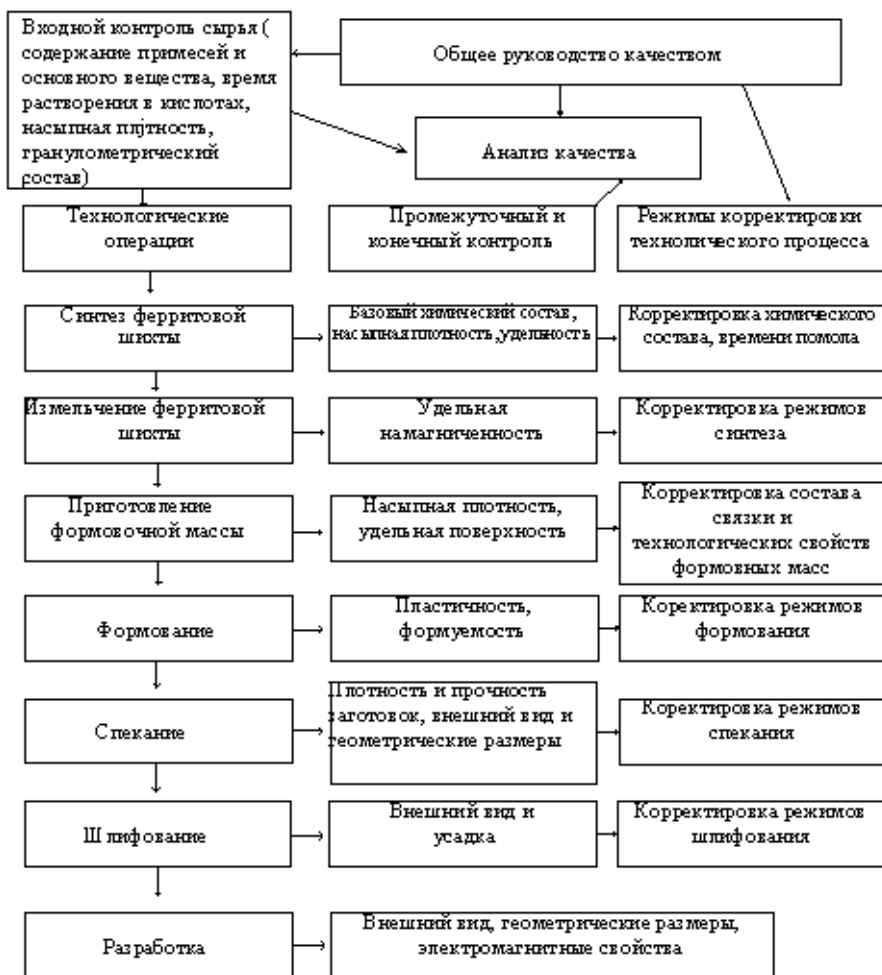


Рисунок 1 – Структурная схема по управлению технологической системой при изготовлении деталей из феррокерамики

Брак при производстве формовочных масс устраняется двумя основными способами:

- выжиганием связки при температуре 400...600⁰С с последующим измельчением полученной шихты и приготовлением повторно формовочной массы;

- повторным приготовлением формовочной массы без выжигания связки путем дополнительного введения небольшого количества связки или отдельных ее компонентов. Например, бракованный пресс-порошок повторно обра-

батывается с водой в атриторе. Полученная суспензия используется для изготовления пресс-порошка методом распылительной суши.

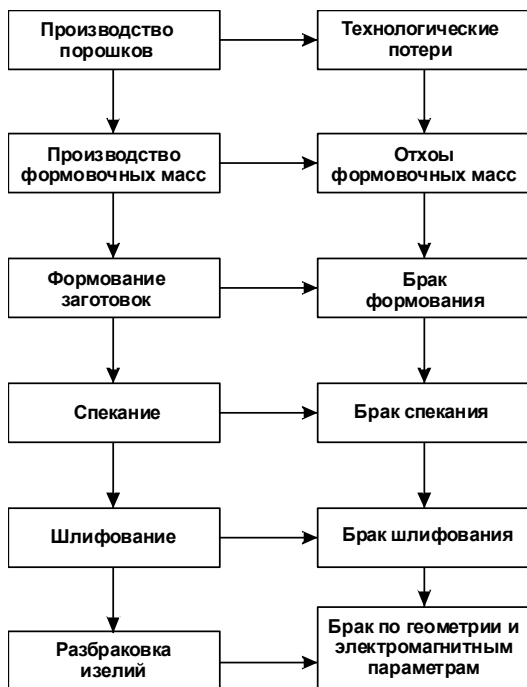


Рисунок 2 – Основные виды отходов в производстве ферритовых изделий

Наиболее распространенным видом брака при прессовании гранулированных и обычных порошков, а также при мокром их прессовании является расслоение – поперечные или диагональные трещины, нарушающие целостность заготовки. Их появление обусловлено несколькими причинами:

При выталкивании заготовки из матрицы пресс-формы происходят два противоположных процесса: расширение выходящей из матрицы заготовки и расширение перед этим сжатой матрицы. В результате имеющих место деформаций по границам их действий и возникают трещины.

Неправильная конструкция пресс-формы (например, отсутствие конусности у матрицы со стороны выпрессовывания заготовки из нее) или ее перекос при прессовании приводят к неравномерному сбросу усилия, что вызывает дополнительные напряжения в заготовке при удалении ее из матрицы. К трещинам может привести слишком медленная выпрессовка заготовки и в особенности остановка во время выпрессовывания. Способствует появлению трещин наличие в заготовке тонких стенок или резких переходов.

Возможен брак по размерам в результате увеличения упругого последствия заготовки в случае высокого предела упругости, неправильной конструкции или размеров пресс-формы, неточности дозирования порошка или нарушения режима прессования (завышения или занижения давления). Задиры матрицы приводят к многочисленным рискам на поверхности заготовки, а недостаточно качественная обработка (шлифовка) рабочей поверхности пуансонов – к сколам на торцах заготовки, особенно на кромках.

Потери при спекании главным образом происходят из-за образования брака и могут достигать 20%. В производстве оксидной керамики наиболее часто встречаются следующие виды брака при спекании: скрытый расслой; недопекание; пережог; коробление.

Особенно актуальной является задача отыскания оптимальных условий при их спекании [1].

При спекании феррокерамических изделий процесс уплотнения и рекристаллизации протекает тем быстрее, чем выше температура. Но высокая температура способствует повышению дефектности кристаллической решетки. А это значит, что образующиеся в этих условиях в кристаллах феррита формируется дефектная структура. Такая структура сохраняется, если феррит подвергается быстрому охлаждению. Наличие дефектов кристаллической решетки решающим образом отражается на прочности ферритов. Есть основания считать, что дефектность решетки кристалла оказывает существенное влияние и на магнитные свойства ферритов.

Спекание ферритов осуществляется в проходных печах.

Для создания замкнутой оптимальной системы автоматического управления температурой спекания постоянных магнитов, необходимо, чтобы информация о состоянии заготовок все время поступала в управляющее устройство. Эта информация состоит из конечного набора значений координат управляемого объекта.

При этом о состоянии управляемого объекта можно судить по модели объекта, координаты которого уже доступны измерению.

В реальных объектах полное определение их состояния, характеризующего функцией распределения, в каждый момент времени бывает довольно затруднительно, а подчас и невозможно. Например, не существует до сих пор сколько-нибудь простых и надежных методов определения температурного поля нагреваемых заготовок.

Поэтому при создании систем управления объектами с распределенными параметрами наиболее существенным является вопрос о получении достаточно полной информации пространства состояний управляемого объекта [3].

Постановка задачи. В настоящей работе предлагается модель для описания процесса спекания заготовок из феррокерамики в проходных печах, которая позволяет оптимизировать технологические параметры для обеспе-

чения качественных характеристик спекаемых изделий. В модель входит уравнение теплопроводности [3]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = a \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - b(y,t)v(t) \frac{\partial Q}{\partial y} \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq S, \quad 0 \leq y \leq L, \quad 0 \leq t \leq T \quad (2)$$

Граничные условия имеют вид:

$$Q(x,0,t) = q_r(x,t) \quad (3)$$

$$-\lambda \left. \frac{\partial Q}{\partial x} \right|_{x=0} = \alpha_1 [U_1(y,t) - Q(0,y,t)], \quad (4)$$

$$\lambda \left. \frac{\partial Q}{\partial x} \right|_{x=S} = \alpha_2 [U_2(y,t) - Q(S,y,t)] \quad (5)$$

Начальные условия имеют вид

$$Q(x,y,0) = q_0(x,y) \quad (6)$$

В формулах (1)-(6) $Q(x,y,t)$ – функция распределения температуры греющей среды и материала ферритов, заготовки которого движутся в положительном направлении от y со скоростью $v(t)$, зависящей от времени t , $v(t) \geq 0$, $0 \leq t \leq T$. Состояние нагреваемых заготовок характеризуется функцией распределения температуры по толщине материала x , по длине печи $0 \leq y \leq L$ и во времени $0 \leq t \leq T$.

Теплофизические параметры материала ферритов определяются заданием функции: $b(y,t) = b > 0$, a, λ – коэффициенты температуропроводности и теплопроводности ферритов, α – коэффициент теплообмена [4].

При этом нагреваемые заготовки ферритов входят в печь с условием

$$Q(x,0,t) = q_r(x,t), \quad 0 \leq x \leq S, \quad 0 \leq t \leq T$$

Продвигаясь через зону обработки, заготовки с ферритов нагреваются. Если функции $b(y,t)$ и $v(t)$ известны, то каждой конкретной функции $U(y,t)$ при данном начальном условии

$$Q(x,y,0) = q_0(x,y)$$

соответствует определенная функция распределения температуры материала $Q(x,y,t)$.

При этом, очевидно, температура заготовок на выходе из печи в точке $y=L$ зависит от характера изменения распределения температуры в печи за время пребывания их в ней [2].

Кроме того, температура заготовок на выходе из печи зависит от характера изменения скорости $v(t)$ за тот же интервал времени. Эта температура

также зависит от толщины материала заготовок S и его теплофизических свойств λ, c, ρ . Таким образом, температура материала на выходе из печи зависит от всей «истории» нагрева от момента входа до момента выхода заготовок ферритов из печи. Задача управления таким объектом состоит в том, чтобы стабилизировать температуру материала на выходе из печи. При этом обычными возмущающими факторами являются изменение скорости движения заготовок в печи, изменением толщины заготовок. В этом случае управляющее воздействие, которым является распределение температуры вдоль рабочего пространства печи $U(y,t)$, должно зависеть от характера распределения температуры в заготовках $Q(x,y,t)$ [4]

Задача состоит в том, чтобы создать такую систему управления заданием регуляторов температур зон печи, чтобы уклонение средней температуры заготовок, выходящих из печи:

$$\bar{Q}(y,t) = \frac{1}{S} \int_0^S Q(x,y,t) dx, \quad 0 \leq y \leq L, \quad 0 \leq t \leq T \quad (7)$$

при $y=L$ от температуры, заданной технологической инструкцией, было наименьшим в определенном смысле. Например, потребуем, чтобы функционал

$$I = \int_0^T |Q^*(t) - \bar{Q}(L,t)|^\gamma dt, \quad \gamma \geq 1 \quad (8)$$

где $Q^*(t)$ – заданная программа температуры выходящих из печи заготовок, достигала своего минимального значения. Тогда при $\gamma \rightarrow \infty$, можно получить минимальную оценку уклонения, т.е.

$$I = \max_{[0,T]} |Q^*(t) - \bar{Q}(L,t)| \quad (9)$$

Таким образом, оптимальное управление в каждый момент времени t зависит от характера распределения температуры заготовок $Q(y,t)$ в этот момент. Поэтому в оптимальной системе управления существенную роль играет настраиваемая модель объекта, которая служит источником информации для управляющего устройства.

Брак при шлифовании обусловлен образованием сколов, разбросом геометрических размеров, а также появлением скрытого брака после спекания (вскрытие трещин). Брак шлифования неисправим и отправляется на переработку вместе с браком спекания.

Особый интерес вызывают современные исследования качественных характеристик рабочих поверхностей феррокерамических изделий при обработке шлифованием.

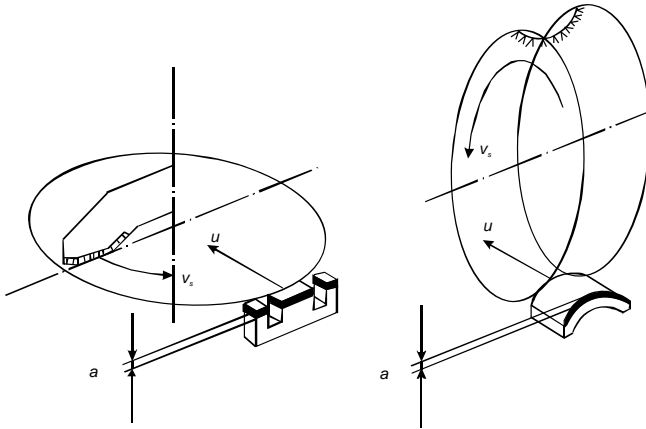
Учитывая массовость производства постоянных магнитов из феррокерамики и их чрезвычайную хрупкость, достижение требуемой точности и шероховатости рабочих поверхностей осуществляется следующим образом (Рис. 2).

Факторы и взаимосвязи в современной технологии шлифования (продолжение)

V_s - окружная скорость круга (скорость резания)

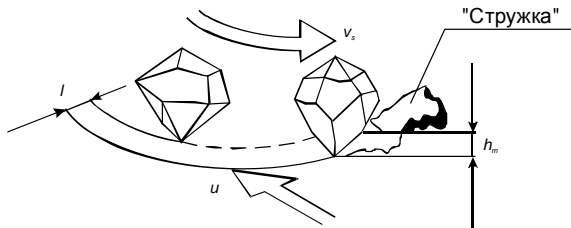
u - подача изделия

a - припуск на сошлифовку



h_m - средняя толщина "стружки"

l - ширина шлифовального следа



Цели установки:

h_m - как можно меньше

l - как можно меньше

a - не изменяется, т. е. задано процессом спекания

u - как можно выше,

из чего следует:

v_s - как можно выше

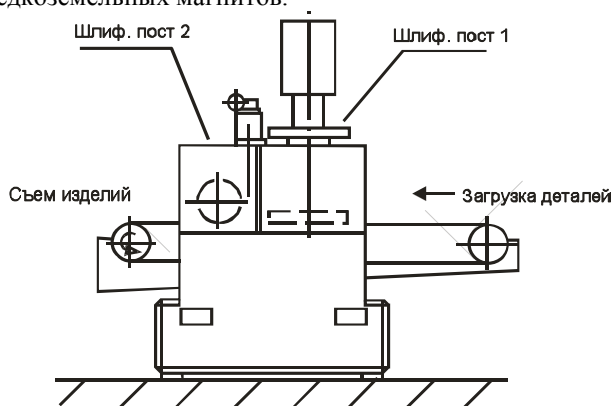
v_s определяет в конечном счете конструкцию современного шлифовального станка.

Рисунок 3 – Конструкция инструмента для операции шлифования Ш- и сегменто-образных магнитов

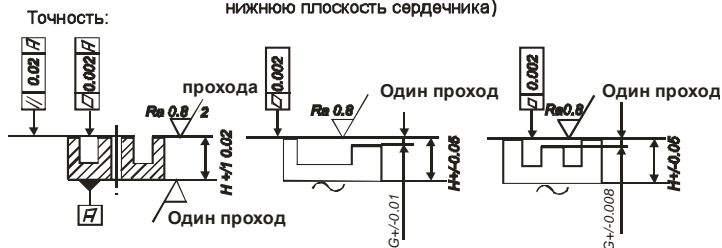
Для повышения магнитных свойств, сохранения качественных характеристик рабочих поверхностей и геометрии броневых сердечников и сегментов, разработаны новые станки, с использованием ряда приспособлений и конструкций, позволяющих производить шлифование партиями изделий с одной установки.

На рис. 3 изображены различные схемы обработки шлифованием Ш-, П – образных броневых сердечников. На рис. 4, 5 представлена непрерывно работающая, полностью автоматизированная линия для прецизионного шлифования ферритовых сегментных магнитов. (з-д «Феррокерам», г.Белая Церковь).

Аналогичное оборудование с полностью автоматизированной системой разработано для высокопроизводительного прецизионного шлифования сегментных редкоземельных магнитов.



Рабочие операции: шлифование одной поверхности и обניзка
 керна П-й Ш-сердечников (с перестановкой
 детали можно обрабатывать верхнюю и
 нижнюю плоскость сердечника)



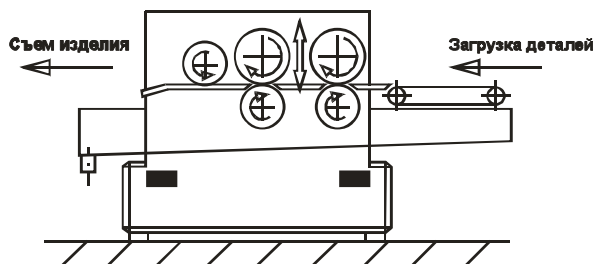
Алмазный круг: шлиф. пост 1 - зернистость D 46
 шлиф. пост 2 - зернистость D 91

Снятие припуска: до 1 мм

Скорость подачи деталей: 600-2000 мм/мин

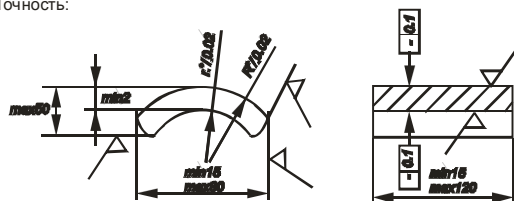
Производительность: 6000-24000 шт/час

Рисунок 4 – Высокопроизводительное плоское шлифование Ш и П – образных броневых сердечников



Рабочая операция : шлифование внутреннего и наружного
профиля сегментов

Точность:



Алмазный круг: зернистость D181
Снятие припуска: до 2 мм. на сторону
Скорость подачи деталей: 1000-2500 мм/мин
Производительность: до 5000 шт/час

Рисунок 5 – Высокопроизводительное двухстороннее шлифование
ферритовых сегментных магнитов

Из-за высокой твердости и абразивности ферриты и керамика трудно поддаются механической обработке. Окончательной обработкой ферритовых изделий является шлифование для получения необходимых размеров. При обработке материалов между обрабатываемой и обрабатываемой деталью возникает сила взаимодействия, называемая силой резания. Величина и направление этой силы зависят от многих факторов, из которых главными являются следующие: а) прочность обрабатываемого материала; б) размер и форма срезаемого слоя; в) характеристика режущего инструмента; г) режимы обработки; д) охлаждающая среда и т.д.

Сила резания определяет не только мощность станка, жесткость отдельных его узлов, жесткость обрабатываемой детали и инструмента, но также температуру и износ режущего инструмента. Поэтому, чтобы конструировать обрабатывающие станки, приспособления и инструмент, необходимо правильно назначать технологические «процессы обработки и обеспечивать прогрессивные режимы эксплуатации оборудования и инструмента, необходимо знать закономерности изменения силы резания и ее величину. Кроме этого, для эффективного использования разработанных в [3] критериальных соотношений, реализация которых способствует устранению шлифовочных дефектов при обработке феррокерамических изделий, необходимо располагать

сведениями о величине теплового потока в зоне контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью.

Рационализация режимов и характеристик инструмента для бездефектной обработки феррокерамических материалов осуществлялась по величине нормальной и тангенциальной составляющих сил резания, которые наряду со скоростью относительного перемещения и характеристикой контактирующих поверхностей, определяют производительность шлифования, износ круга, температуру шлифования, шероховатость обрабатываемой поверхности и структурное состояние материала.

Для обработки керамики и ферритов целесообразно применять алмазы марки АСП. Силы резания значительно зависят от связки алмазного инструмента. Для обработки ферритов и керамики лучшие результаты получены для металлических связок. С увеличением зернистости алмазов в инструменте силы резания растут. Для предотвращения сколов на ферритовых деталях для их обработки необходимо применять инструмент с зернистостью не выше 160 мк. Влияние концентрации алмазов на усилия резания носит нелинейный характер. Усилия увеличиваются до концентрации 100%, дальнейшее увеличение концентрации не приводит к увеличению усилий шлифования. Вертикальная и горизонтальная силы резания при плоском шлифовании пропорциональны поперечной подаче и глубине шлифования и горизонтальная силы резания возрастают с увеличением скорости обрабатываемых изделий. Оптимальные значения продольной подачи составляют 17 м/мин–20 м/мин. Отношение горизонтальной силы P_x к вертикальной P_y не зависит от режимов обработки а зависит от свойств обрабатываемого материала.

Выводы. На основании полученных теоретико-экспериментальных исследований решена задача повышения эффективности алмазного шлифования феррокерамических изделий с учетом их технологической наследственности. Благодаря рациональному выбору технологических параметров алмазно-абразивной обработки изделий из феррокерамики существенно снизились отходы этих изделий по причине трещино- и сколообразования на обработанных поверхностях.

Список использованных источников: 1. Рабкин Л.И., Слскин С.А., и др. Ферриты. Строение, свойства, технология производства. – Л: Энергия, 1968. – 384с., 2. Якимов А.В., Усов А.В., и др. Теплофизика механической обработки. – К.: Одесса: Лыбидь, 1991. – 240с. 3. Усов А.В., Дубров А.Н., и др. Моделирование систем с распределенными параметрами. – Одесса: Астропринт, 2002. – 664 с. 4. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами. – М. Наука, 1965. – 474 с.

Поступила в редколлегию 14.04.2011

Bibliography (transliterated): 1. Rabkin L.I., Slskin S.A., i dr. Ferrity. Stroenie, svojstva, tehnologija proizvodstva. – L: Jenergjia, 1968. – 384s., 2. Jakimov A.V., Usov A.V., i dr. Teplofizika mehanicheskoj obrabotki. – K.: Odessa: Lybid', 1991. – 240s. 3. Usov A.V., Dubrov A.N., i dr. Modelirovanie sistem s raspredeleennymi parametrami. – Odessa: Astroprint, 2002. – 664 s. 4. Butkovskij A.G. Teorija optimal'nogo upravlenija sistemami s raspredeleennymi parametrami. – M. Nauka, 1965. – 474 s.