

Д. т. н. Д. В. Харитонов^{1,2}, д. х. н. А. В. Беляков² (✉), Д. А. Анашкин^{1,2}

¹ АО «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» имени А. Г. Ромашина», г. Обнинск Калужской обл., Россия

² ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия

УДК 666.266.6.001.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ «БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА» ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫПУСКА МЕЛКИХ СЕРИЙ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОКЕРАМИКИ. 2. Поиск «узких мест» устоявшегося технологического процесса*¹

Приведены примеры использования инструментов «бережливого производства» (диаграмма Парето, причинно-следственная диаграмма Исикавы и т. п.) для анализа проблем, возникающих при мелкосерийном наукоемком производстве изделий из стеклокерамики. Реализация данного подхода позволила установить, что причины основной части брака при механической обработке обожженных изделий находятся на предшествующих стадиях технологии, прежде всего на стадиях литья заготовок и их сушки. Проведение комплекса технологических мероприятий привело к резкому уменьшению брака, что существенно повысило производительность без увеличения парка оборудования и численности персонала.

Ключевые слова: «бережливое производство», стеклокерамика, карта создания потока ценности (VSM), производственная система, коэффициент запуска $K_{зап}$.

В публикации [1] представлен краткий анализ развития философии производственных систем, выявлены их основные сильные и слабые стороны. Это позволило обосновать выбор «бережливого производства», как весьма перспективного метода для оптимизации выпуска мелких серий изделий из стеклокерамики. Обоснована перспективность использования инструментов и принципов «бережливого производства» для повышения производительности путем борьбы с потерями от брака.

В настоящей работе рассмотрены конкретные примеры использования инструментов «бережливого производства» на примере мелкосерийного наукоемкого производства изделий из керамических материалов, функционирующего в АО «ОНПП «Технология» им. А. Г. Ромашина». Одним из видов деятельности этого производства является изготовление крупногабаритных керамических изделий радиотехнического назначения для авиации и ракетной техники.

Можно выделить пять основных стадий технологического процесса изготовления керами-

ческих изделий: приготовление шликера, включающее подготовку сырья, его мокрый помол в шаровых мельницах с последующей стабилизацией полученного водного шликера; формование заготовки — сборку формовочного комплекта, формование заготовки из водных шликеров методом литья в гипсовые формы, сушку отформованной заготовки в форме, извлечение ее из формы, подвялку, сушку гипсовой формы, зачистку заготовки перед обжигом; обжиг заготовки; механическую обработку заготовки до необходимых геометрических размеров и профиля; сборку керамической оболочки с переходным металлическим шпангоутом [2].

Для анализа производства и выявления источника потерь была построена карта создания потока ценности (Value Stream Mapping — VSM), являющаяся важным инструментом «бережливого производства» [3], поскольку позволяет выявить источники потерь и предложить комплекс мер по их устранению. Это наиболее распространенный метод выявления потерь в потоке изготовления определенного продукта, который является обязательным при выстраивании потока. Он направлен на минимизацию потерь и улучшение синхронности работы. Кроме того, VSM — это достаточно простая и наглядная графическая схема, изображающая материальные и информационные потоки, необходимые для предоставления продукта или услуги конечному потребителю, которая дает возможность увидеть «узкие места»

*¹ Продолжение. Часть 1 статьи опубликована в журнале «Новые огнеупоры» № 11 за 2017 г.



А. В. Беляков

E-mail: av_bel@bk.ru

потока и на основе его анализа выявить источники потерь в процессе производства.

М. Ротер отмечает, что поток создания ценности — это все действия, как добавляющие, так и не добавляющие ценность, необходимые для того, чтобы провести продукт через следующие основные потоки операций: производственный поток — от сырья до готовой продукции, поток проекта — от концепции до выпуска первого изделия [3]. Такой взгляд на поток создания ценности означает, что картирование позволяет совершенствовать весь процесс в целом, а не заниматься оптимизацией отдельных частей. Построение VSM — это инструмент, который позволяет увидеть и понять материальные и информационные потоки в ходе создания ценности (рис. 1).

Для большей наглядности в работе приведена упрощенная карта для одного из серийных изделий. Это связано с тем, что участки в цехе — это фактически отдельные цехи. Это обусловлено несколькими факторами:

1. Крайняя специфичность производимых операций и, как следствие, большое количество уникальных инструментов, оснастки, оборудования и станков. В процессе изготовления керамических изделий используется 25 видов оборудования и более 100 типов различной оснастки, работники выполняют более 70 различных операций.

2. Сложная структура управления и контроля, обусловленная разными графиками ра-

бот, широким спектром выполняемых операций и жесткими требованиями ОТК.

Для оценки пропускной способности производства того либо иного изделия необходимо оценить пооперационное время такта его производства на одном комплекте оборудования или оснастки. Возьмем для примера один из типов изделий, находящихся в настоящее время в серийном производстве. При расчете пренебрежем такой операцией, как приготовление шликера, поскольку эта операция характерна для всех изготавливаемых изделий на данном производстве и, как правило, при этом используют один и тот же шликер. Длительность цикла получения заготовок на одном формовочном комплекте включает: 1 — формование заготовки методом литья из водного шликера; 2 — извлечение заготовки из формы; 3 — подвялку отформованной заготовки; 4 — сушку гипсовой формы. С учетом того, что операции 3 и 4 проходят параллельно, один формовочный комплект может выдать одну заготовку через каждые T часов. Учитывая, что процесс длится непрерывно (т. е. круглосуточно), в месяц с одного формовочного комплекта можно получить до N_{ϕ} заготовок.

Операция обжига — одна из самых длительных: длительность цикла обжига изделий из материала ОТМ-357-О вдвое больше длительности цикла изготовления заготовки на участке формования и составляет $200\% \times T$ часов. Но в отличие от других операций (формования, механической

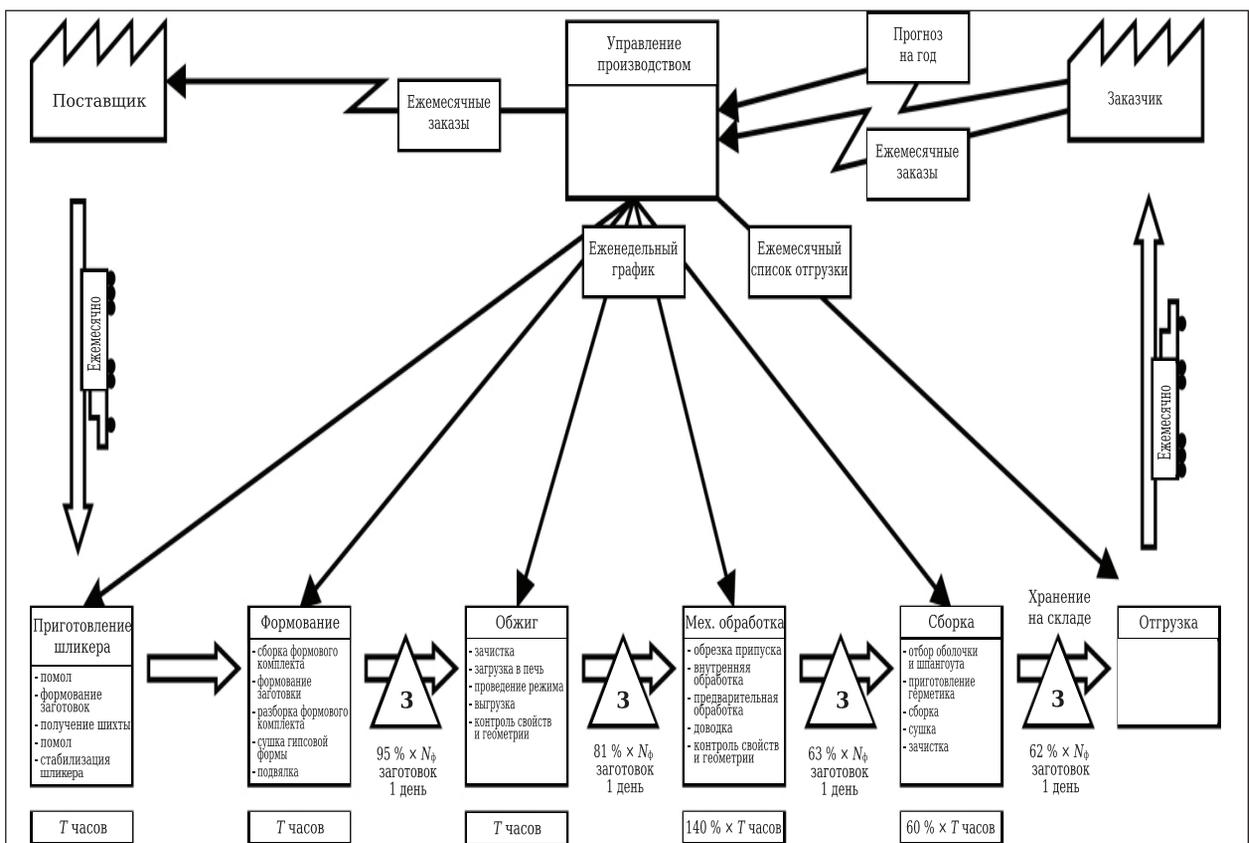


Рис. 1. Упрощенная карта создания потока ценности (VSM) для изделия из материала ОТМ-357-О

обработки и сборки) в печь можно за один раз загрузить несколько изделий. Таким образом, данный участок согласно ТОС*² не является «узким местом» в системе, и на данном участке можно получить те же N_{ϕ} заготовок в месяц. В отличие от операций формования и обжига, при которых оснастка и оборудование работают под пассивным контролем работников, обслуживающих одновременно достаточно большой парк оборудования и оснастки, станок для механической обработки без присмотра оставить нельзя. Станок в течение 1 сут работает 16 ч (две смены), длительность цикла обработки изделия на участке механической обработки увеличивается на 33 % из-за 8 ч простоя станка и составляет $133 \% \times T$ часов, что позволит обработать примерно $67 \% \times N_{\phi}$ заготовок. Операция сборки представляется наименее критичной во всей технологической цепочке. Длительность цикла одного сборочного стапеля составляет порядка $60 \% \times T$ часов, что обеспечивает сборку всех дошедших до данной операции изделий.

Представленные данные по длительности циклов достаточно условны, так как в расчет не принимались затраты времени на периодическое изготовление новых гипсовых форм (взаем вышедших из строя), обслуживание печей и станков. Исходя из представленных данных, при наличии одного комплекта оснастки и оборудования пропускная способность составляет $67 \% \times N_{\phi}$ изделий в месяц. В то же время при данных подсчетах не были учтены технологические потери.

Одной из основных проблем любого наукоемкого производства, особенно работающего в сфере оборонно-промышленного комплекса (ОПК), являются высокие требования к качеству выпускаемой продукции, когда любое отклонение (например, присутствие на изделиях высотой до 1500 мм и диаметром до 500 мм одной раковины размером 0,5 и глубиной 1 мм, отклонение от заданного контура изделия на 0,1 мм и т. д.) приводит к переводу изделия в брак. Все это вызывает необходимость введения большого количества контрольных операций на каждом технологическом этапе производства изделия (от входного контроля сырья до приемо-сдаточных испытаний). На сегодня при производстве каждого изделия осуществляется более 50 контрольных

операций. Для примера: при производстве керамических изделий санитарно-технического назначения, как правило, проводят выборочную проверку одного изделия из партии.

Необходимость выполнения таких жестких требований к изделиям, изготавливаемым в рамках ОПК, приводит к достаточно высокому уровню технологических потерь (брака). В связи с этим в производстве керамических изделий радиотехнического назначения для оценки стабильности технологического процесса широко используют так называемый коэффициент запуска $K_{\text{зап}}$, который равен отношению количества запущенных в работу заготовок (т. е. количества отформованных) к количеству годных изделий, переданных на склад. Как сложилось из многолетней практики, для оценки работоспособности технологического процесса используют пооперационные $K_{\text{зап}}$, при этом общий $K_{\text{зап}}$ равен перемножению пооперационных коэффициентов:

$$K_{\text{зап}} = K_{\phi} \cdot K_o \cdot K_{\text{м.о}} \cdot K_c = \frac{N_{\phi}}{N_o} \cdot \frac{N_o}{N_{\text{м.о}}} \cdot \frac{N_{\text{м.о}}}{N_c} \cdot \frac{N_c}{N} = \frac{N_{\phi}}{N},$$

где K_{ϕ} , K_o , $K_{\text{м.о}}$, K_c — коэффициенты запуска на операциях формования, обжига, механической обработки и сборки соответственно; N_{ϕ} — количество отформованных заготовок; N_o — количество заготовок, переданных на обжиг; $N_{\text{м.о}}$ — количество заготовок, переданных на механическую обработку; N_c — количество заготовок, переданных на сборку; N — количество изделий, переданных на склад.

При этом брак фиксируют на той операции, на которой он был обнаружен. В зависимости от материала заготовки, ее габаритов, особенностей технологического процесса $K_{\text{зап}}$ в мелкосерийном устоявшемся производстве достигает значений 1,5–2,5, т. е. для получения 100 годных изделий необходимо сформовать от 150 до 250 заготовок. Для примера рассмотрим реальные (усредненные) $K_{\text{зап}}$ для указанного выше изделия, изготавливаемого в 2015–2016 гг. (см. таблицу). Исходя из приведенных данных, можно утверждать, что на одном комплекте оснастки и оборудования максимальное количество изделий в месяц составит $62 \% \times N_{\phi}$.

Таким образом, после завершения формования 100 заготовок примерно 5 оказываются забракованными сразу из-за обнаружения критических дефектов. И на операцию обжига, соответственно, передаются уже примерно 95 заготовок ($95 \% \times N_{\phi}$). После обжига бракуется около 14 заготовок и дальше на механическую обработку передается примерно 81 заготовка ($81 \% \times N_{\phi}$).

*² Теория ограничений систем (ТОС) — это философия совершенствования производственной системы путем использования набора инструментов, правил, методик решения проблем. Создана израильским физиком Элияху Голдраттом.

Существующая методика расчета $K_{\text{зап}}$

Показатель	Операция				Общий $K_{\text{зап}}$
	формование	обжиг	механическая обработка	сборка	
$K_{\text{зап}}$	1,05	1,17	1,28	1,03	1,62
Количество годных заготовок	$95 \% \times N_{\phi}$	$81 \% \times N_{\phi}$	$63 \% \times N_{\phi}$	$62 \% \times N_{\phi}$	$62 \% \times N_{\phi}$

При механической обработке выявляется еще примерно 18 бракованных заготовок и на участок сборки передается примерно 63 заготовки ($63\% \times N_{\phi}$) с наименьшим $K_{\text{зап}}$ (1,03); на выходе получается примерно 62 готовых изделия ($62\% \times N_{\phi}$).

В ситуации, когда точно неизвестно, сколько готовых изделий получится на выходе, а цикл производства длителен, существенно затрудняется планирование, что стимулирует перепроизводство. Это приводит к росту необходимых площадей для хранения заготовок на промежуточных операциях, росту трудозатрат на перемещение заготовок, дестабилизирует производственный процесс, осложняет борьбу с браком и т. д. Таким образом, снижение $K_{\text{зап}}$ позволяет достичь ряда задач: уменьшить трудозатраты, расходы на хранение и перемещение, упростить выявление и устранение причин образования дефектов, ускорить производственный цикл (повысить производительность), уменьшить количество отходов и снизить расходы общества, связанные с дефектной продукцией. Снижение общего $K_{\text{зап}}$ только на 0,1 дает огромный позитивный экономический эффект в сотни миллионов рублей в год. При этом необходимо учитывать, что приведенные данные рассчитаны, исходя из максимальной загрузки оборудования, работающего практически без перерыва, что, в свою очередь, приводит к необходимости существенно увеличения количества персонала, занятого не только для работы непосредственно на оборудовании, но и на его обслуживание. Опираясь на полученные данные, можно рассчитать пропускную способность производства, а также сколько и какого оборудования нужно дополнительно купить, установить, наладить и запустить. Следует учитывать, что все это оборудование имеет разную стоимость, занимает разную площадь и требует разного количества персонала для обслуживания. Кроме того, у разных видов оборудования могут значительно различаться затраты времени для закупки и запуска.

Необходимого увеличения производительности часто достигали экстенсивным путем. Покупали новые станки и оснастку, изменяли графики работ и нанимали новых работников, высвобождали ранее нерационально используемые площади. Но производственные площади конечны, а строительство нового корпуса — крайне длительный и дорогой способ увеличения полезной площади, который сложно реализуем из-за ограничения площади территории самого предприятия. Более многообещающим является интенсивный путь повышения производительности за счет ее увеличения в рамках существующих производственных мощностей и уже нанятых рабочих. Наиболее перспективным направлением признано уменьшение количества технологических потерь (брака), так как это один из самых быстрых и дешевых способов повышения

производительности в условиях мелкосерийного выпуска изделий, к которым предъявляют особо жесткие требования, и очень сложно обеспечить высокую стабильность процесса из-за широкой номенклатуры постоянно меняющихся изделий.

При «бережливом производстве» его анализ принято начинать с конца, начиная с зоны отгрузки товара клиенту [4]. В данном исследовании эти операции не представляют интереса. Анализ брака и выявление причин его возникновения следует начать с операции сборки, которая предшествует отправке готового изделия на склад; $K_{\text{зап}}$ на этапе сборки у исследуемых изделий составляет 1,03. В работах [5–7] изучены причины возникновения технологических потерь на данном этапе технологической цепочки, устранение которых позволило достаточно надежно стабилизировать технологию и приблизить $K_{\text{зап}}$ практически к 1.

Следующая операция, которая предшествует сборке, — механическая обработка заготовки. Именно на этом участке наибольший $K_{\text{зап}}$ вследствие брака, и, что самое важное, именно данный участок является «узким местом» в производственной цепочке, и его устранение (расшивка) экстенсивным способом требует наибольшего количества средств и полезных площадей. Поэтому на уменьшение количества брака и повышение производительности на участке механической обработки было направлено много внимания и усилий [2], подробно изучены пути и механизмы повышения производительности и уменьшения дефектов. Но даже учет проделанных исследований, внедрение выработанных рекомендаций и приобретение современных станков с ЧПУ не позволили существенно уменьшить $K_{\text{зап}}$ и устранить это «узкое место» в связи с постоянно растущим планом выпуска изделий.

Для анализа сложившейся ситуации были применены инструменты «бережливого производства»: диаграмма Исикавы и диаграмма Парето. Ниже кратко представлены специфика и назначение используемых инструментов «бережливого производства». Диаграмма Исикавы*³ предназначена для определения и структурирования причинно-следственных связей между объектом анализа и влияющими на него факторами, что позволяет правильно направить усилия для решения проблем или достижения определенных целей [8]. Впервые в производстве эта методика стала использоваться в 1952 г. на металлургическом заводе «Кавасаки». Но свое название она получила благодаря Дж. М. Джуран только в 1962 г. после выхода Руководства по управлению качеством [9]. Диаграмма Парето

*³ Исикава Каору — родился в 1915 г. в семье известного промышленника. Считается автором метода «Диаграмма Исикавы». В 1962 г. ввел понятие «кружки качества». В 1981 г. стал членом исполкома ISO [9].

то*⁴ — инструмент, позволяющий распределить усилия для разрешения возникающих проблем и выявить основные причины, с которых нужно начинать действовать. Автор метода Джозеф Джуран*⁵. Он указал, что в большинстве случаев подавляющее число дефектов и связанных с ними потерь возникает из-за относительно небольшого числа причин, проиллюстрировав это с помощью диаграммы, которая получила название диаграммы Парето. Идею принципа Парето Джуран изложил в первом издании своего справочника по качеству в 1951 г. [10].

Перед началом построения диаграмм необходимо определиться с типом дефектов, от которых необходимо избавиться. Согласно действующим на предприятии стандартам различают следующие основные дефекты, обнаруживаемые на этапе механической обработки: *трещины* (рис. 2, *a*) — нарушение сплошности материала, длина и глубина которого существенно превышает ширину; *открытая пора* (раковина) (рис. 2, *b*) — углубление любой формы и размера как на обработанной, так и на необработанной поверхности; *разнотонность* (*разноцветность*) (рис. 2, *c*) — часть поверхности,

отличающаяся по цвету (оттенку) от остальной поверхности изделия; *скол* (рис. 2, *d*) — нарушение поверхности в результате скалывания части материала; *включение* (рис. 2, *e*) — включение, отличающееся от основного материала по химическому составу и структуре; *неравноплотность* — неоднородность структуры и плотности материала по поверхности; *недолив* — не полностью заполненная шликером гипсовая форма, приводящая к несформированной верхней части заготовки.

Анализ данных показал, что трещины и раковины составляют почти 80 % всех дефектов и их минимизация позволит получить наибольший экономический эффект и повысить производительность более чем на 20 %. Для данных дефектов была построена диаграмма Исикавы (рис. 3), позволившая визуализировать и упростить понимание взаимосвязи дефектов заготовок со всеми возможными причинами их образования. Для поиска причин возникновения критических дефектов анализировали: работу персонала; методы выполнения операции; используемые станки, оборудование, инструменты и оснастку, используемые в производстве и контроле материалы и сырье; методики, применяемые для контроля; методы управления; окружающую среду; условия на рабочих местах. Для каждого направления анализа были построены гистограммы, контрольные карты и диаграммы рассеивания. Анализировали контрольные листы, результаты аттестации и паспорта изделий, вплоть до анализа количества больничных листов.

Анализ критериев, связанных с контролем, методами управления и окружающей средой, не выявил каких-либо отклонений и нарушений. Изучение работы персонала не выявило существенного различия в количестве образующихся дефектов,

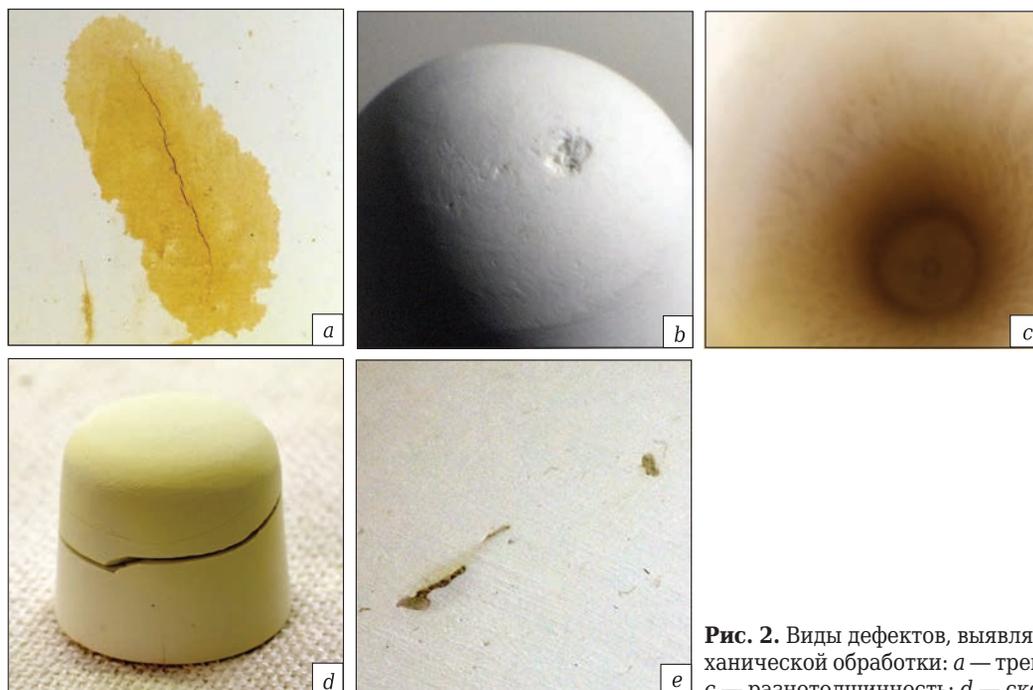


Рис. 2. Виды дефектов, выявляемых на участке механической обработки: *a* — трещина; *b* — раковина; *c* — разнотолщинность; *d* — скол; *e* — включение

*⁴ Вильфредо Парето — родился 15 июля 1848 г. в Париже. С 1893 г. и до конца жизни — профессор политической экономии Лозаннского университета в Швейцарии [11].

*⁵ Джозеф Джуран — родился 24 декабря 1904 г. в городе Браила, Румыния [12]. За свои 103 года жизни получил более 30 медалей, почетных званий и наград, среди которых самой ценной является японский орден Sacred Treasure, который был вручен ему в 1981 г. императором Хирохито в знак признания выдающегося вклада в развитие управления качеством [13].

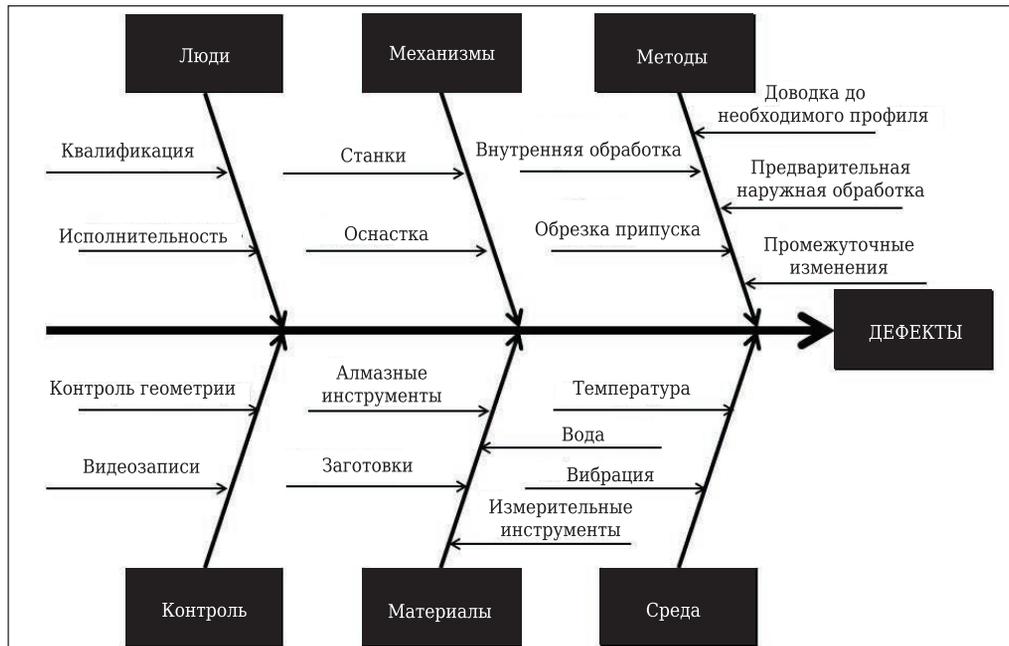


Рис. 3. Диаграмма Исикавы

за исключением нескольких выбросов, связанных с небрежностью работников. Была проведена аттестация и разработана матрица компетенции работников. Результаты работы станков также не показали статистически достоверных различий. Наибольшее количество выявленных проблем было связано с изделиями, поступающими на механическую обработку после обжига. Поры (раковины) и трещины проявлялись в процессе механической обработки. Исследование пор показало, что они возникали еще на этапе формования (отливки) заготовки. Анализ причин возникновения трещин оказался более сложным. Результаты исследования характера разреза трещин показали, что примерно половина из них возникала в процессе или после обжига. Но оставшаяся половина трещин закладывалась на участке формования и могла быть связана с целым рядом причин: частично вследствие напряжений, возникающих при нарушении равномерности набора массы из-за некачественного гипса; из-за некачественной оснастки, что приводит к формированию заготовок с разнотолщинностью; плохой зачистки рабочей поверхности формы. Было выявлено также, что напряжения возникают вследствие ударов при извлечении сердечника из заготовки после ее формования, при извлечении самой заготовки из формы или при перемещении заготовки между операциями. Анализ трещин, возникающих во время обжига, показал, что причиной значительной части дефектов являются нарушения на стадии сушки, когда в печь помещались не до конца высушенные заготовки.

Проведенный анализ и исследования показали, что 95 % брака, выявленного на стадии механической обработки, возникает на предыдущих операциях. Это поставило под сомнение целесо-

образность дальнейшего использования исторически сложившейся методики оценки источников брака (так как она не учитывает возможность того, что предпосылки брака создаются на предыдущих стадиях технологии), а также существующую модель определения $K_{зап}$ на отдельных участках, исходя из принципа «кто обнаружил брак, тот и виноват». При старой модели учета брака пытались совершенствовать и оптимизировать операции механической обработки, что не только не давало существенного увеличения выхода годной продукции, но и дополнительно демотивировало сотрудников и создавало конфликтные ситуации в коллективе. При этом повышение производительности реализовывали экстенсивным способом за счет увеличения парка станков, занимаемых площадей и нанимаемых работников. Новая предлагаемая методика расчета $K_{зап}$ приведена ниже:

Операция.....	Формование	Обжиг	Механическая обработка	Сборка	
$K_{зап}$	1,20	1,28	1,03	1,03	1,62 (общий)

После полного анализа процессов и изменения методики расчета $K_{зап}$ стало очевидно, что для повышения выхода готовой продукции без увеличения парка дорогих и габаритных станков искать причины брака следует на операциях, предшествующих механической обработке. Это обусловлено тем, что технология механической обработки имеет высокую степень автоматизации и хорошо отработана и дальнейшего снижения $K_{зап}$ можно достичь только за счет повышения дисциплины работников и стабилизации работы станочного парка. А с точки зрения оптимизации технологии для снижения дефектов оптимальнее

сконцентрировать внимание на операциях приготовления шликера, формования и обжига.

Успешная реализация этой идеи позволит сэкономить на закупках новых станков, избежать необходимости поиска новых площадей, отказаться от найма новых работников, ускорить цикл производства, уменьшить межоперационные запасы и убрать большую часть негативных последствий вынужденного перепроизводства заготовок на операциях, предшествующих механической обработке. Конкретные меры, принятые технологами для достижения данного состояния производства, являются темой для отдельной статьи.

Методы и инструменты «бережливого производства» позволили найти «узкие места» в технологии и обратить внимание технологов на те ее стадии, которые вносят наиболее значительный вклад в появление брака. Этот подход дал возможность определить дефекты, которые вносят основной вклад в брак при механической обработке, а его предпосылки создаются на предыдущих стадиях технологии. На основании этой информации были сформулированы требования к технологам по выявлению и устранению причин брака. Технологи на основании принципа наследования

структурных элементов выявили, что брак, проявляющийся при механической обработке, закладывается на предыдущих стадиях. Изменение параметров процессов на технологических стадиях, которые ответственны за образование дефектов, привело к увеличению выхода годной продукции и сокращению длительности цикла этих операций.

При традиционном подходе найти причину дефектов механической обработки было сложно. При многостадийной технологии работающие на каждой стадии сотрудники не заинтересованы в выявлении дефектов собственной продукции, которые проявляются на последующих стадиях. Тем более выявлять дополнительные (не указанные в регламенте) и часто сложные в определении дефекты. Это дополнительные затраты труда и возможность снижения зарплаты за обнаруженный на их стадии брак. Таким образом, применение принципов «бережливого производства» дает возможность эффективно выявлять наиболее «узкие места» в существующих технологиях керамики и ставить перед технологами конкретные задачи, успешное решение которых позволяет повысить производительность при минимальном увеличении затрат.

(Продолжение следует)

Библиографический список

1. **Пивинский, Ю. Е.** Кварцевая керамика и огнеупоры. В 2 т. Т. I. Теоретические основы и технологические процессы / Ю. Е. Пивинский, Е. И. Суздальцев ; под ред. Ю. Е. Пивинского. — М. : Теплоэнергетик, 2008. — 672 с.
2. **Ротер, М.** Учитесь видеть бизнес-процессы : практика построения карт потоков создания ценности / М. Ротер, Дж. Шук. — М. : Альпина Бизнес Букс, 2008. — 144 с.
3. **Rother, M.** Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate MUDA / M. Rother, J. Shook. — Cambridge : Learn Enterprise Institute, Inc., 1998. — 112 p.
4. **Lean или не Lean, вот в чем вопрос? Бережливое производство или «сосед по даче напевал»?** [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.leaninfo.ru/2015/12/28/lean-ili-ne-lean-vot-v-chem-vopros-berezhlivoe-proizvodstvo-ili/>. Свободный. — Загл. с экрана (23.08.2017).
5. **Суздальцев, Е. И.** Влияние площади склейки на прочность клеевого соединения при сдвиге / Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова // Новые огнеупоры. — 2014. — № 4. — С. 44–46.
6. **Suzdaltsev, E. I.** Influence of the size of a patch on the shear strength of an adhesive joint / E. I. Suzdaltsev, E. V. Mironova // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 55, № 2. — P. 148–150.
7. **Суздальцев, Е. И.** Влияние толщины клеевого шва и шероховатости металлической подложки на прочностные свойства клеевого соединения металл – керамика / Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова, П. Ю. Якушкин [и др.] // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2013. — № 8. — С. 50–58.
8. **Суздальцев, Е. И.** Влияние технологических факторов на качество соединения керамики и металла герметиками виксинт U-2-28(НТ) и виксинт U-1-18(НТ) / Е. И. Суздальцев, Е. В. Миронова // Новые огнеупоры. — 2013. — № 12. — С. 40–43.
9. **Suzdaltsev, E. I.** Effect of processing factors on ceramic and metal joint quality with sealants viksint U-2-28(NT)

- and viksint U-1-18 (NT) / E. I. Suzdaltsev, E. V. Mironova // Refractories and Industrial Ceramics. — 2014. — Vol. 54, № 6. — P. 502–505.
10. Стандарт ОАО «РЖД» «Методы и инструменты улучшений. Диаграмма Исикавы»: СТО 1.05.515.3–2009. — Введ. 01–07–2009. — Москва, 2009. — 18 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://oac.rgotups.ru/misc/files/40.45.10.pdf>. Свободный. — Загл. с экрана (23.08.2017).
11. **Исикава, К.** Японские методы управления качеством / К. Исикава. — М. : Экономика, 1988. — 199 с.
12. **Ishikawa, K.** What is total quality control? The Japanese way / K. Ishikawa. — New York : Prentice Hall, 1985. — 215 p.
13. The Non-Pareto Principle ; Mea Culpa. Juran [Электронный ресурс] J.М.б.м.: Selected Papers, — 1975.— 3 p. — Режим доступа: <https://www.projectsmart.co.uk/docs/the-non-pareto-principle.pdf> свободный. — Загл. с экрана (21.08.2017).
14. **Блауг, М.** 100 великих экономистов до Кейнса / М. Блауг. — СПб. : Экономическая школа, 2005. — 352 с.
15. **Blaug, M.** Great economists before keynes: an introduction to the lives and work of one hundred great economists of the past / M. Blaug. — Brighton (Sussex) : Wheatsheaf books, 1986. — 286 p.
16. **Соколова, О. Ф.** Гуру качества: методические указания для практических (семинарских) занятий по дисциплине «Управление качеством» для студентов направления 080200.62 «Менеджмент» всех форм обучения : монография / О. Ф. Соколова. — Ульяновск : УлГТУ, 2013. — 51 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2013/120.pdf>. Свободный. — Загл. с экрана (23.08.2017).
17. **Juran, J. M.** Godfrey. Juran's Quality Handbook ; 5th edition / J. M. Juran, A. Blanton. — New York : McGraw-Hill Professional, 2000. — 1730 p. ■

Получено 28.08.17

© Д. В. Харитонов, А. В. Беляков, Д. А. Анашкин, 2017 г.