

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ

В.А. Аксенов, А.С. Ильиных, А.В. Матафонов, М.С. Галай

Рассмотрена методология проведения FMEA – анализа технологического процесса. Приведен FMEA - анализ технологических процессов шлифования рельсов.

Ключевые слова: метод FMEA, дефект, приоритетное число риска, значимость потенциального дефекта, вероятность возникновения дефекта, вероятность обнаружения дефекта, шероховатость поверхности рельса, технология шлифования рельсов.

Одной из основных задач системы менеджмента качества является обеспечение выявления потенциальных несоответствий (дефектов) и предотвращение их появления на всех стадиях жизненного цикла продукции. Важнейшим методом решения этой задачи является анализ видов и последствий потенциальных несоответствий. В настоящее время большинство разработок технических изделий и технологий проводится с применением анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA анализ). Анализ видов и последствий потенциальных несоответствий широко применяется многими мировыми компаниями как для разработки новых конструкций и технологий, так и для анализа и планирования качества производственных процессов и продукции. FMEA (Potential Failure Mode and Effects Analysis – анализ видов и последствий потенциальных отказов) – метод проведения анализа видов и последствий потенциальных дефектов (далее – метод FMEA). Цель метода FMEA заключается в управлении качеством продукции. Данный метод позволяет предотвращать дефекты или снижать их негативные последствия за счет предвидения дефектов и отказов, и проведения их анализа на этапах проектирования технологических процессов и при доработке уже запущенных процессов.

На основе результатов анализа, произведенных по методу FMEA, возможно: определить причины и последствия потенциально возможных дефектов и отказов; произвести оценку риска появления и не обнаружения возможных дефектов; определить комплекс мер для устранения дефектов и снижения вероятности их возникновения; предпринять

меры для снижения негативных последствий в случае возникновения дефектов и отказов.

С помощью метода FMEA, при совершенствовании или доработке технологического процесса перед его запуском, решают ряд задач:

— находят «слабые» места технологических процессов и принимают комплекс мер, необходимых для их устранения;

— принимают решения о пригодности оборудования и предложенных технологических процессов;

— производят доработку техпроцесса с целью обеспечения необходимой надежности, безопасности и т.д.;

— выявляют потенциально дефектные технологические операции;

— подготавливают серийное производство.

Метод FMEA является одним из наиболее эффективных методов совершенствования технологических процессов на этапе их разработки и внедрения. [1]. Анализ с применением метода FMEA рекомендуется проводить при проектировании технологических процессов, так как экономически выгоднее свести к минимуму возможные дефекты и отказы, чем устранять последствия их возникновения [2].

FMEA анализ проводят при необходимости доработки технологического процесса, предупреждения возникновения дефектов и снижения тяжести последствий в случае их возникновения, для повышения надежности, эффективности и экологичности технологического процесса. FMEA анализ также может применяться для повышения качества, за счет выявления и совершенствования технологических операций с высоким уровнем риска [3].

Проведение анализа по методу FMEA начинают с составления перечня видов дефектов технологического процесса. В данный перечень вносят все потенциально возможные дефекты, основываясь на опыте разработки и внедрения аналогичных технологических процессов. Для каждого дефекта определяют тяжесть неблагоприятных последствий и определяют степень влияния данного дефекта на процесс в целом. При заданных условиях осуществления технологического процесса определяют все возможные причины возникновения дефектов. Для каждой причины определяют частоту ее возникновения.

Каждый технологический процесс содержит в себе операции, цель которых предупредить возникновение дефектов. При анализе по методу FMEA проводят оценку достаточности данных операций и проводят количественную оценку возможности предотвращения дефектов с помощью данных операций. Для каждого дефекта определяют приоритетное число риска (ПЧР). Данное число количественно выражает критичность дефекта, с учетом причин возникновения данного дефекта. При высоком значении ПЧР необходимо провести доработку технологического процесса и требований к нему, с целью уменьшения критичности дефекта.

Проводить FMEA рекомендуется как для предложенного варианта технологического процесса, так и для альтернативных вариантов. Анализ альтернативных вариантов проводят с целью снижения значения комплексного ПЧР, повышения эффективности технологического процесса и минимизации затрат на его осуществление.

Для проведения FMEA необходимо организовать межфункциональную команду (FMEA команду). FMEA команда должна включать в себя множество разных специалистов, которые обладают всеми необходимыми знаниями для анализа и совершенствования рассматриваемого технологического процесса.

FMEA команду создают специально для анализа конкретного технологического процесса, вследствие чего данная команда является временной и может включать в себя опытных специалистов других организаций. Каждый член FMEA команды должен иметь большой опыт работы с аналогичными технологическими процессами и высокий профессиональный уровень. Число участников команды должно быть не менее четырех и не более восьми человек.

FMEA может быть проведен по общей схеме или же может быть разделен на два этапа. Проведение FMEA по общей схеме применяют в случаях, когда разработку конструкции и технологического процесса производства нецелесообразно разделять на два этапа. Разделение FMEA на два этапа необходимо в случае, когда требуется сначала разработать конструкцию технического объекта, и только после утверждения конструкции данного объекта разработать технологический процесс его производства. В этом случае на первом этапе проводят DFMEA анализ (FMEA анализ конструкции), а на втором PFMEA анализ (FMEA анализ процесса).

Цель проведения DFMEA анализа заключается в отработке конструкции технического объекта, сведению к минимуму потенциально возможных дефектов и отказов по причине несовершенства конструкции.

Цель проведения PFMEA анализа заключается в доработке заранее разработанного технологического процесса, что позволяет предотвратить внедрение недостаточно отработанного процесса.

В процессе проведения PFMEA анализа выявляют потенциально возможные дефекты технологического процесса, которые в свою очередь могут привести к появлению дефектов технического объекта. Проводят оценку влияния на потребителя выявленных дефектов. Определяют факторы технологического процесса, требующие усиленного контроля для снижения вероятности возникновения дефектов. Список потенциально возможных дефектов технологического процесса составляют с расстановкой приоритетов. Дефекты с наивысшим приоритетом рассматривают в первую очередь.

Проведение FMEA анализа для технологического процесса шлифования рельсов необходимо осуществлять по методу PFMEA.

Работа PFMEA команды начинается с ознакомления с представленной ведущим команды документацией, по рассматриваемому технологическому процессу. PFMEA команда, на основании представленной информации, с учетом ранее полученного опыта, определяет все возможные виды дефектов, для рассматриваемого технологического процесса. Все виды дефектов описывают, и заносят в протокол анализа видов, причин и последствий потенциальных дефектов. К примерам видов дефектов технологического процесса можно отнести: пропуск той или иной операции технологического процесса, применение материала несоответствующего

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ

требованиям, недостаточная твердость поверхностного слоя детали и т.д.

Для каждого вида потенциально возможных дефектов, занесенных в протокол, необходимо определить последствия, которые возможны в случае возникновения данных дефектов. Необходимо учитывать, что для одного вида дефектов возможно несколько потенциальных последствий, и все они должны быть описаны и занесены в протокол. Описание последствий возникновения дефекта необходимо составлять с указанием конкретных признаков, которые сможет заметить или ощутить потребитель. К примерам последствий дефектов можно отнести прерывистую, неправильную или неустойчивую работу.

Каждому последствию дефекта присваивают балл значимости S , в соответствии со шкалой баллов значимости. Последствиям дефектов, с минимальным ущербом, присваивают балл значимости равный 1. Балл значимости равный 10 присваивают последствиям дефектов с наибольшим ущербом. Для технологического процесса шлифования рельсов, шкала баллов должна быть пересмотрена с учетом специфики технологического процесса и последствий дефектов.

Потенциально возможные причины возникновения дефектов необходимо, по возможности, отдельно рассмотреть и описать. При наличии нескольких потенциальных причин возникновения одного дефекта рекомендуется их все рассмотреть и описать. К потенциально возможным причинам возникновения дефектов можно отнести: недостаточную защищенность от отрицательного влияния окружающей среды, недостаточное охлаждение, перегрузку, использование материала не соответствующего установленным требованиям и т.д. Дефекты также могут возникать по причине нестабильности, усталости, текучести и ползучести материала и т.д.

Для рассматриваемого технологического процесса проводят экспертную оценку частоты возникновения каждой потенциально возможной причины дефекта и присваивают балл возникновения O , в соответствии с установленной шкалой. Редко возникающим дефектам присваивают балл возникновения равный 1. Всегда возникающим дефектам присваивают максимальное значение балла возникновения равное 10.

Для дефекта и всех возможных причин его возникновения, во время осуществления технологического процесса, устанавливают балл обнаружения D , в соответствии с уста-

новленной для данного технологического процесса шкалой. Дефектам и причинам с наименьшей вероятностью обнаружения присваивают максимальный балл обнаружения равный 10. Дефектам и причинам, которые достоверно могут быть обнаружены, присваивают минимальный балл обнаружения равный 1. Установив значение балла значимости – S , балла возникновения – O и балла обнаружения – D возможно найти значение ПЧР – приоритетного числа риска, с помощью формулы:

$$ПЧР = S \cdot O \cdot D \quad (1)$$

Если причин возникновения дефекта несколько, ПЧР определяют для всех причин дефекта. Значение ПЧР лежит в пределах от 1 до 1000. Для ПЧР необходимо заранее установить критическую границу - ПЧР_{кр}. Значение ПЧР_{кр} рекомендуется устанавливать в пределах от 100 до 125. Возможно, установить значение ПЧР_{кр} ниже 100 для некоторых дефектов при согласовании с соответствующими специалистами. Чем меньше значение ПЧР_{кр}, тем выше надежность технологического процесса.

После расчета ПЧР для всех видов дефектов и причин их возникновения, необходимо составить список дефектов и причин, значения ПЧР которых превышают значения ПЧР_{кр}. FMEA команде необходимо провести доработку технологического процесса с целью снизить расчетное значение ПЧР для дефектов и их причин входящих в составленный список.

Определив ряд действий по доработке технологического процесса, необходимо провести оценку и определить значения баллов S , O и D для доработанного технологического процесса. В случае если вновь полученные значения ПЧР выше ПЧР_{кр} и их необходимо снизить, нужно повторить ранее рассмотренные действия по снижению ПЧР.

При определении уровня значимости экономических потерь рекомендуется измерять размер потерь с затратами на осуществление технологического процесса. Для определения балла вероятности возникновения, при проведении FMEA технологического процесса, необходимо найти значение индекса C_{pk} , в случае если дефект возник вследствие выхода показателя качества за установленный допуск. Для определения индекса C_{pk} необходимо воспользоваться статистическими данными для аналогичного технологического процесса.

Статистический индекс C_{pk} рассчитывают по формуле:

$$C_{pk} = \frac{\min\{(U - \bar{X}); (\bar{X} - L)\}}{3\hat{\sigma}_I} \quad (2)$$

где L , U – нижнее и верхнее предельное значение поля допуска показателя качества X ; \bar{X} – оценка положения центра настройки или выборочное среднее технологического процесса; $\hat{\sigma}_I$ – оценка стандартного отклонения процесса.

С помощью статистического индекса возможно определить практические возможности технологического процесса по обеспечению требований установленных допуском на рассматриваемый показатель качества X .

По методу FMEA была произведена оценка эксплуатационных свойств рельсов после шлифования. В результате проведенных исследований установлено, что для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости рельсов при формировании шероховатости их поверхности необходимо учитывать исходную твердость и условия эксплуатации рельсов. Установив закономерности изменения эксплуатационных свойств рельсов, поверхность которых была отшлифована, по критериям контактно-усталостной прочности, циклической трещиностойкости и износостойкости возможно определить диапазон изменения параметров качества поверхности рельса Y_{\max} и Y_{\min} с целью обеспечения повышенной стойкости рельсов в зависимости от условий их эксплуатации [4].

Обеспечить повышенную износостойкость рельсов, уложенных в кривых участках пути, возможно установив значение параметра шероховатости R_z в пределах от 5 до 10 мкм. Для повышения усталостной прочности рельсов, уложенных на прямых участках пути, необходимо установить значение параметра шероховатости R_z в пределах от 35 до 50 мкм.

В настоящее время технологические процессы шлифование рельсов с применением рельсошлифовальных поездов осуществляется по штатным программам обработки, заложенным в систему управления оборудованием рельсошлифовального поезда, в которых не предусмотрена возможность изменения режимов шлифования. В таблице 1 представлены показатели шероховатости поверхности рельсов после обработки шлифованием по трем штатным программам.

Из результатов приведенных в таблице 1 следует, что надежность обеспечения шероховатости поверхности при использовании

штатных программ является недостаточной. Установить причину низкой надежности применяемых технологических процессов возможно с помощью FMEA анализа.

Таблица 1 - Анализ надежности технологического обеспечения шероховатости обработанной поверхности рельсов для управляющих программ рельсошлифовального поезда

Характеристика управляющей программы	R_z 5-10 мкм	R_z 35-50 мкм
Программа 22 Скорость рельсошлифовального поезда, v_n , км/ч: Скорость резания, v_p , м/с: Токовая нагрузка на обмотках электродвигателя, I , А:	6 50 27	0,15 0,40
Программа 28 Скорость рельсошлифовального поезда, v_n , км/ч: Скорость резания, v_p , м/с: Токовая нагрузка на обмотках электродвигателя, I , А:	8 50 25	0,35 0,6
Программа 31 Скорость рельсошлифовального поезда, v_n , км/ч: Скорость резания, v_p , м/с: Токовая нагрузка на обмотках электродвигателя, I , А:	8 50 23	0,55 0,25

Результаты FMEA анализа существующей технологии шлифования рельсов показал, что суммарное значение ПРЧ составляет 1687 [4].

Рассмотрев все альтернативные технологические решения предложено:

1. частоту вращения шлифовального круга перед работой и в рабочем режиме контролировать с помощью бесконтактного тахометра,
2. фактический угол наклона шлифовальной головки определять с помощью маятникового угломера
3. осуществлять корректировку показаний датчиков, до начала шлифования рельсов измерять твердость рельса с помощью портативного твердомера,
4. для каждой шлифовальной головки индивидуально рассчитывать режимы шлифования.

Изучив результаты повторного анализа технологического процесса, в котором были учтены все предложенные изменения, и, сравнив их с результатами анализа исходного варианта можно сделать вывод, что предложенные изменения привели к увеличению надежности технологического процесса. Суммарное значение ПРЧ снизилось до 791,

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ

что указывает на повышение надежности технологического обеспечения шероховатости обработанной поверхности рельса более чем в два раза [4].

Результаты, полученные при повторном анализе, проведенном с учетом всех предложенных изменений, были проверены на полигоне Западно-Сибирской железной дороги (филиала ОАО «РЖД») на рельсошлифовальном поезде РШП-48 №001. Решения, предложенные при проведении FMEA анализа, по результатам промышленных испытаний, позволили повысить надежность технологического обеспечения качества поверхности рельса до 0,85 при 10-ти процентном увеличении времени планово-подготовительных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р 51814.2-2001 Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов.
- 2 Зубков Ю.П., Новиков В.А., Сергеев В.И. Системы менеджмента качества. М., 2007. 232 с.
- 3 Беспалова Г.Е., Магомедов Ш.Ш. Управление качеством продукции. М., 2012. 336 с.
- 4 Матафонов А.В., Пыко А.Н., Ильиных А.С. Технологическое обеспечение качества поверхности рельсов при шлифовании в условиях железно-

дорожного пути. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Машиностроение». 2015, том 15, № 1. С. 80-92.

Аксенов В. А. (Aksenov V.A.) – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Московского государственного университета путей сообщения, e-mail: v.aksenov@rgotups.ru; тел: (495) 799-95-59.

Ильиных А. С. (Ilinykh A.S.) – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения, e-mail: asi@stu.ru; тел: (383) 328-04-27.

Матафонов А. В. (Matafonov A.V.) – начальник отдела охраны труда, промышленной безопасности и экологии Центральной дирекции по ремонту пути – филиал ОАО «РЖД», e-mail: cdrp@yandex.ru.

Галай М. С. (Galay M.S.) – к.т.н., доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин» Сибирского государственного университета путей сообщения, e-mail: galayms@stu.ru; тел: (383) 328-04-27.