

МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ В APQP ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ АВТОКОМПОНЕНТОВ

В статье рассмотрено содержание методики оценки технологического состояния станочной системы на основе метода планирования экспериментов обработки резанием заранее спроектированных и изготовленных под специальные характеристики точности автокомпонентов образцов изделий. На примере внутреннего посадочного отверстия рассмотрено нахождение диагностических составляющих специальной характеристики, являющихся результатом действия заранее известных технологических факторов. Их нахождение рассчитано на использование как цеховых, так и координатно-измерительных средств измерений. Полученные регрессионные модели диагностических составляющих позволяют на различных этапах APQP процесса определить интервалы параметров процесса резания, обеспечивающих заранее заданный запас точности специальной характеристики либо сделать заключение о несоответствующей точности станочной системы. Применение методики совместно со статистическими методами управления качеством позволяет обеспечить максимально достижимый уровень стабильности специальных характеристик в операциях обработки резанием, начиная с выпуска первых серийных образцов изделий. Методика может применяться при выборе и оценке технологической точности вновь приобретаемого оборудования в APQP процессе подготовки производства нового автокомпонента, приемке действующего оборудования после модернизации или ремонта, а также в аудите технологического процесса аудиторами поставщика.

Ключевые слова: APQP процесс подготовки производства, планирование эксперимента, диагностика, техническое состояние, станочная система, режимы резания.

Введение. Для автомобильной промышленности России актуальной задачей является выпуск автокомпонентов мирового уровня качества. Постоянно ужесточаются требования к экологичности [1], повышению надежности [2, 3] и эксплуатационных характеристик [4] автомобильных компонентов. Высокий уровень качества выпуска продукции зависит от своевременно и безошибочно выполненных процедур подготовки производства, включающих конструкторские и технологические мероприятия, требования к которым задаются в единой системе технологической подготовки производства (ЕС ТПП), и современные процедуры перспективного планирования качества (APQP процессы).

APQP процесс перспективного планирования качества продукции в автомобилестроении является основной методологией обеспечения конкурен-

тоспособности новых изделий [5, 6]. Перспективное планирование качества выполняется на этапах подготовки производства их серийного изготовления. Процесс состоит из следующих этапов — планирование и разработка концепции, проектирование и разработка продукции, проектирование и разработка процессов, окончательная подготовка производства, а также производство автокомпонента. На этих этапах применяются различные специальные инструменты, обеспечивающие высокий уровень качества изготавливаемой продукции. К ним относятся анализ последствий потенциальных дефектов конструкции D FMEA, карты потока процессов, планы управления (Control Plan), инструменты структурирования качества (QFD), технологических процессов PFMEA, статистические методы SPC, анализ измерительных процессов MSA. Все эти ме-

тоды направлены на уменьшение рисков возникновения дефектов и обеспечение качества основного продукта. Методология широко применяется мировыми автомобильными корпорациями [7], а также отечественными производителями легковых [8] и грузовых автомобилей [9].

Основным инструментом APQP процесса, направленным на планирование устранения причин потенциальных дефектов, является FMEA анализ. В результате его применения устанавливается значимость возникновения того или иного дефекта для потребителя, а также потенциальные причины и риски их возникновения. Метод экспертный и его эффективное применение во многом зависит от результативной командной работы [10]. В результате его применения формируется перечень специальных характеристик автокомпонента, а также планы управления, необходимые для поддержания управляемых условий их формирования в технологическом процессе изготовления автокомпонента. Основным инструментом регулирования специальных характеристик качества являются статистические методы, результатом из применения являются индексы стабильности и настроенности процессов действующих процессов [1, 6]. Статистические методы не ставят задачи выявления математических моделей показателей точности автокомпонента с параметрами переходов.

Успешное проведение подготовки производства нового автокомпонента во многом зависит от своевременности и правильно выполненных конструкторско-технологических процедур, предусмотренных единой системой технологической подготовки производства. К ним можно отнести процедуры проектирования заготовки, размерного анализа, выбора режущего и вспомогательного инструмента, специальных контрольных и зажимных приспособлений, разработки технологического процесса, оформлению маршрутно-операционной технологической документации, разработке 3D моделей и программ управления станков с ЧПУ [11] и т.д. Основой расчетных моделей являются идеализированные геометрические модели оснастки и полуфабриката. Параметры процессов резания при проектировании процессов принимаются по справочным данным.

Отметим, что в стандарте [5] отсутствуют требования к обязательному применению тех или иных технологических методов проектирования. В ряде работ рассмотрены информационные требования к инженерным процедурам конструкторско-технологической подготовки [11, 12], интегрированные в APQP процессы подготовки производства новых автокомпонентов.

Методом, позволяющим получить информацию о точности автокомпонентов, является способ оценки технологической точности станочного оборудования по данным обработки специально изготовленных образцов изделий с последующим измерением полученных размеров образца [13]. Измеряются диаметральные размеры не менее чем в четырех продольных сечениях в поперечном сечении, расположенном как можно ближе к шпинделю станка. По их значениям дается заключение о соответствии геометрической точности станка требования ГОСТ. Метод оценки не предусматривает нахождения зависимостей параметров процесса и комплекса характеристики точности обрабатываемого изделия. Для исследования различных факторов и оптимизации параметров производственных процессов при-

меняются методы планирования экспериментов [14, 15]. Они позволяют обеспечить нахождение регрессионных моделей показателей качества изделий и параметров процесса в ходе выполнения производственных экспериментов. Например, в [16] найдены регрессионные зависимости между параметрами процесса резания и отклонением профиля продольного сечения отверстия. Исследование проведено только для одного единичного показателя точности. Авторы публикации не обращают внимание на функциональное назначение растачиваемого отверстия, не рассматривают вопросы обеспечения других, формируемых в переходах растачивания отверстий показателей точности.

Другой характерной особенностью применения метода планирования экспериментов является абсолютизация полученных регрессионных моделей. Например, в [17, 18] рассмотрены результаты нахождения взаимосвязей между параметрами зубофрезерования и геометрическими показателями и показателями поверхностного слоя зубчатых колес. Отметим, что приведенные математические модели справедливы только для условий проведения экспериментальной обработки — техническому состоянию зубофрезерного станка и заготовительной оснастки, геометрической точности червячной фрезы, марки материала и твердости обрабатываемых заготовок зубчатых колес. В условиях другого аналогичного производства, например оснащенного современным зубообрабатывающим оборудованием с ЧПУ, приведенные в статье регрессионные модели необходимо повторно актуализировать.

Таким образом, для применения методов планирования экспериментов характерно исследование различных зависимостей между показателями качества и параметрами процесса, но дифференциации составляющих специальных характеристик исследуемых изделий и улучшения их точности не ставится.

Теоретическая часть. Рассмотрим метод, позволяющий на стадии технологической подготовки производства еще до выпуска установочной партии принять решение о значениях параметров переходов обработки резанием в технологических операциях формообразования автокомпонентов, обеспечивающие заданный запас точности специальных характеристик точности.

Как известно, одна и та же станочная система при различных параметрах переходов резания обеспечивает различную степень точности обрабатываемых поверхностей деталей машин [19, 20], она индивидуальна для различных видов показателей точности. В случае, если технологическая система обеспечивает точность, а заданы завышенные режимы, наладчик корректирует режимы по данным фактических измерений до достижения стабильности показателей, в худшем случае стабильность показателей не может быть обеспечена.

В настоящее время на этапе подготовки производства параметры переходов обработки резанием назначаются в зависимости от заданной производительности, стойкости инструментов и обеспечения параметров шероховатости обрабатываемой поверхности. Применяемые проектные подходы назначения режимов переходов обработки резанием не учитывают влияния фактического технического состояния станочного оборудования и параметров обработки резанием на значения показателей точности автокомпонентов. Выбором оптимальной степени точности станочной системы и оснастки,

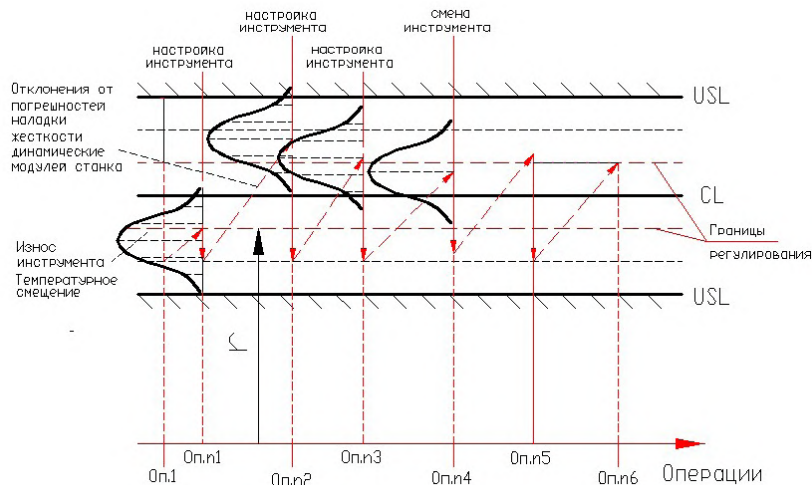


Рис. 1. Пример изменения границ регулирования радиальных размеров внутренней цилиндрической поверхности за счет SPC

подбором инструментов, и проектирования технологического процесса обработки резанием с применением размерного анализа стремятся к обеспечению коэффициента стабильности $Cp=1,5...1,7$ (рис. 1).

При этом зона регулирования в процессе изготовления производственной партии может изменяться в пределах $1...2 \sigma_0$, где σ_0 — заранее заданное значение изменчивости процесса, назначаемое исходя из величины поля допуска $\sigma_0 = Td/8$. На рис. 2 приведен фрагмент последовательности процедур процесса подготовки производства нового компонента в действующем производстве, позволяющий задать оптимальные значения показателей процессов обработки резанием.

Выполнение процесса состоит из собственно APQP процессов, диагностических процессов получения данных о состоянии производственного процесса, конструкторско-технологических процессов. Обязательной процедурой APQP процесса является DFMEA анализ, в результате которого с учетом требований к функции назначения автокомпонента формируется протокол значимых потенциальных дефектов. На основе этих данных формируются реестр специальных характеристик и карта потока процессов. Дальнейшие процессы необходимы для нахождения параметров переходов, обеспечивающих заданный запас точности специальных характеристик точности автокомпонента.

На примере внутреннего посадочного отверстия рассмотрим более подробно их содержание. Поскольку поверхность обеспечивает гладкую посадку, то специальной характеристикой является внутренний диаметральный размер [2] (рис. 3а), он обеспечивает допуск посадки. Как правило, этот параметр измеряется, вносится в планы управления, по нему ведется построение контрольных карт. Отметим, что управлять точностью напрямую диаметральный размер неэффективно, поскольку на его величину одновременно влияет несколько технологических факторов — жесткость обрабатываемой заготовки, динамика шпиндельного узла, свойств обрабатываемого материала и т.д. Рассмотрим, из каких составляющих состоит диаметральный размер — положения оси, двух радиальных размеров, отклонений радиального размера от строечного, отклонений профиля поперечного сечения, шероховатости поверхности (рис. 3б). Величи-



Рис. 2. Фрагмент последовательности процедур APQP процесса нового компонента на действующем производстве, обеспечивающий назначение оптимальных показателей процессов обработки резанием

на этих составляющих является следствием строго определенных факторов процесса резания, поэтому их можно считать диагностическими.

Отклонение радиального размера от его настроенного значения в основном зависит от жесткости станочной системы, отклонение профиля поперечного сечения от динамического фактора — неуравновешенности и биений шпинделя и зажимной оправки, шероховатость от обеспечения благоприятных условий срезания припуска — скорости резания (табл. 1) и уровня износа режущей кромки инструмента.

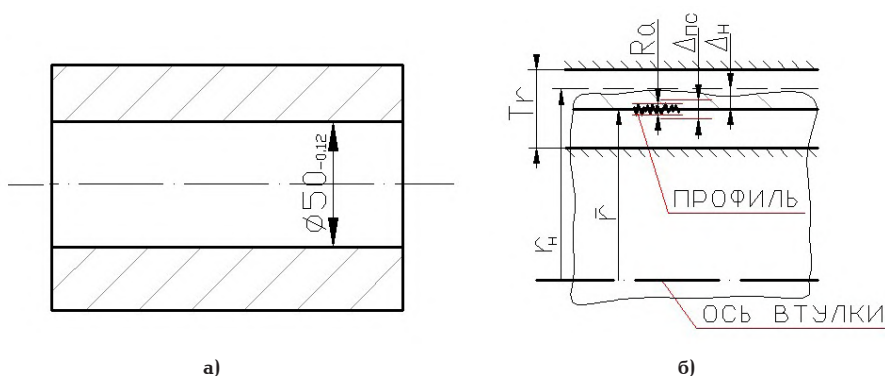


Рис. 3. Пример детали: а) «втулка», б) составляющие специальной характеристики, где T_r — допуск на радиальный размер, r_H — радиальный настроечный размер, Δ_H — отклонение среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, $\Delta_{пс}$ — отклонение профиля поперечного сечения, R_a — параметр шероховатости

Таблица 1

Составляющие и факторы процесса обработки резанием внутренней цилиндрической поверхности

| № | Диагностические составляющие внутреннего диаметрального размера | Основные влияющие факторы процесса резания |
|---|---|--|
| 1 | Отклонение радиального размера от настроечного размера | Жесткость станочной системы у шпинделя |
| 2 | Отклонение формы поперечного сечения | Неуравновешенность и биение шпинделя и зажимной оснастки |
| 3 | Шероховатость профиля продольного сечения | Условия срезания припуска |

В идеально выполненном переходе растачивания настроечное значение радиального размера должно находиться в середине поля допуска внутреннего размера, при этом отклонение поперечного сечения принимает нулевое значение, а значение шероховатости находится в собственном поле допуска. Благодаря тому, что причиной составляющих отклонений интегрального показателя точности — диаметрального размера, является строго определенный фактор процесса, появляется возможность более эффективного управления точностью, а также выявления причины его отклонений.

Расчетные формулы нахождения составляющих диаметральных размеров зависят от принятой схемы измерений. Наиболее распространенной цеховой схемой измерений является двухточечная схема измерений.

Для этой схемы измерений отклонение настроечного размера в поперечном сечении внутреннего отверстия находится как отклонение среднеарифметического значения радиального размера Δ_H от настроечной его величины по формуле:

$$\Delta_H = \frac{d_{\max} + d_{\min} + d_n}{2},$$

где d_n — настроечный диаметральный размер растачивания внутренней цилиндрической поверхности, мм; d_{\max} — максимальное измеренное значение диаметральных размеров, мм; d_{\min} — минимальное измеренное значение диаметральных размеров, мм.

Отклонение поперечного сечения может быть найдено по следующей известной формуле:

$$\Delta_{пс} = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2},$$

где d_{\max} — максимальный диаметральный размер внутренней цилиндрической поверхности, мм; d_{\min} — минимальный диаметральный размер внутренней цилиндрической поверхности, мм.

Величина шероховатости R_a определяется только профилографом.

Планирование эксперимента позволяет изучить влияние на величину специальных показателей качества различных факторов процесса для инструмента (радиус скругления режущей кромки, геометрические параметры), зажимной оснастке (усилие закрепления, угол базовых призм и т.д.), обрабатываемого материала (марки, твердости), различных схем движений инструмента в процессе срезания припуска и т.д. Рассмотрение любого дополнительного фактора значительно усложняет план проведения и, соответственно, трудоемкость проведения диагностического эксперимента. Для условий основной новой продукции в действующем производстве с наличием на рабочих местах основного оборудования, оснастки и режущего инструмента достаточно выполнить варьирование по трем независимым факторам — глубине резания, подаче, скорости резания.

Для переходов, формирующих специальные характеристики точности, выполняется планирование производственных экспериментов. Окончательная величина внутреннего диаметрального размера формируется в переходе растачивания. Для планирования эксперимента необходимо определить значения основного, нижнего и верхних уровней варьирования параметров процесса. Пример уровней варьирования показателей расточных переходов приведен в табл. 2. Основной уровень определяется исходя из режимов полустачивочной обработки поверхности, нижний уровень — исходя из пара-

Пример уровней варьирования показателей переходов резанием

| Параметры процесса резания | Уровни варьирования | | | Интервал варьирования $\delta_t, \delta_s, \delta_v$ |
|----------------------------|---------------------|------------------|-----------------|--|
| | Нижний уровень | Основной уровень | Верхний уровень | |
| | -1 | 0 | +1 | |
| t , мм | 0,5 | 1,25 | 2,0 | 2 |
| S , мм/об | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,2 |
| V , м/мин | 150 | 200 | 250 | 50 |

Таблица 3

Пример плана полнофакторного эксперимента для глубины резания, подачи и скорости резания

| № | Уровни варьирования параметров процесса | | | | Параметры процесса резания | | | $\Delta_{H'}$ | $\Delta_{H'}$ расч. | ε |
|---|---|------------|------------|------------|----------------------------|------------|------------|---------------|---------------------|---------------|
| | 0 | Δt | ΔS | ΔV | δ_t | δ_s | δ_v | | | |
| | | | | | мм | мм/об. | м/мин | | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2,0 | 0,2 | 250 | 0,015 | 0,0150 | 0 |
| 2 | 1 | -1 | 1 | 1 | 0,5 | 0,2 | 250 | 0,01 | 0,0095 | -5 |
| 3 | 1 | 1 | -1 | 1 | 2,0 | 0,1 | 250 | 0,011 | 0,0115 | 4,55 |
| 4 | 1 | -1 | -1 | 1 | 0,5 | 0,1 | 250 | 0,006 | 0,0060 | 0 |
| 5 | 1 | 1 | 1 | -1 | 2,0 | 0,2 | 150 | 0,013 | 0,0130 | 0 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | 0,5 | 0,2 | 150 | 0,007 | 0,0075 | 7,14 |
| 7 | 1 | 1 | -1 | -1 | 2,0 | 0,1 | 150 | 0,01 | 0,0095 | -5 |
| 8 | 1 | -1 | -1 | -1 | 0,5 | 0,1 | 150 | 0,004 | 0,0040 | 0 |

метров чистовой обработки, верхний — исходя из параметров черновой обработки.

На основе данных табл. 2 выполняется планирование полнофакторного эксперимента. Пример плана приведен в табл. 3. Для его выполнения необходимо спроектировать и изготовить операционные образцы-изделия автокомпонентов, в конструкции которых предусматриваются обрабатываемые элементы со ступенчатым перепадом глубины резания. Значения геометрических параметров образца автокомпонента должны соответствовать специальным характеристикам изготавливаемого автокомпонента. Основная трудоемкость методики заключается в изготовлении на этапе подготовки производства образцов изделий автокомпонентов. Наладка и обработка внутренней цилиндрической поверхности занимает 5–10 мин. Точность измерений обработанного элемента зависит от качества точности специальной характеристики и для большинства измерений цена делений прибора находится в пределах 1...5 мкм. Такую точность обеспечивают современные универсальные средства измерений — трехточечные электронные нутромеры, микрометры, высотомеры и координатно-измерительные машины.

Для устранения случайных ошибок измерение каждого параметра выполняется не менее 3-х раз и выполняется оценка наличия значительных отклонений данных измерений. В протоколе измерений регистрируются среднеарифметические значения. Высотный параметр шероховатости Ra измеряется профилографом.

На основе данных измерений рассчитываются значения диагностических составляющих специаль-

ного показателя и находятся регрессионные модели [11, 12]:

$$\Delta_{H'} = (C_{0H'} + C_{1H'} \cdot \Delta t + C_{2H'} \cdot \Delta S + C_{3H'} \cdot \Delta V) \cdot K_{H'} \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{ПС}} = (C_{0\text{ПС}} + C_{1\text{ПС}} \cdot \Delta t + C_{2\text{ПС}} \cdot \Delta S + C_{3\text{ПС}} \cdot \Delta V) \cdot K_{\text{ПС}} \quad (2)$$

$$Ra = (C_{0Ra} + C_{1Ra} \cdot \Delta t + C_{2Ra} \cdot \Delta S + C_{3Ra} \cdot \Delta V) \cdot K_{Ra} \quad (3)$$

где $\Delta_{H'}$, $\Delta_{\text{ПС}}$, Ra — значения отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, отклонения профиля поперечного сечения, параметр шероховатости Ra;

Δt , ΔS , ΔV — значения уровней варьирования глубины резания, подачи, скорости резания (принимают предельные значения в интервале от -1 до 1);

$C_{0H'}$, $C_{0\text{ПС}}$, C_{0Ra} — коэффициенты основного уровня, найденные по значениям измерений отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, отклонений профиля поперечного сечения, параметра шероховатости Ra базовой комбинации параметров перепада.

Например, коэффициент основного уровня отклонений наладочного размера находится по следующей формуле:

$$C_{0H'} = \sum_{i=1}^n \Delta_{Hi}$$

где Δ_{Hi} — отклонения среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, мм; n — число экспериментов; C_{1H} , C_{1PC} , C_{1Ra} — коэффициенты при глубине резания, найденные по значениям отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, отклонений профиля поперечного сечения, высотного параметра шероховатости Ra.

Например, коэффициент при глубине резания при отклонении от настроечного размера находится по следующей формуле:

$$C_{1H} = \sum_{i=1}^n \Delta t \cdot \Delta_{Hi},$$

где Δt — значение уровней глубины резания при соответствующих значениях отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения (принимает значение в интервале от -1 или 1); C_{2H} , C_{2PC} , C_{2Ra} — коэффициенты при подаче, найденные по значениям отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, отклонений профиля поперечного сечения, высотного параметра шероховатости Ra.

$$C_{2H} = \sum_{i=1}^n \Delta s \cdot \Delta_{Hi},$$

где Δs — значения уровней величины подачи при соответствующих значениях отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения (принимает значение -1 или 1); C_{3H} , C_{3PC} , C_{3Ra} — коэффициенты при скорости резания, найденные по значениям отклонений среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, отклонение профиля поперечного сечения, высотного параметра шероховатости Ra.

$$C_{3H} = \sum_{i=1}^n \Delta V \cdot \Delta_{Hi},$$

где ΔV — значения уровней величины скорости резания при соответствующих значениях среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения (принимает значение -1 или 1); K_H , K_{PC} , K_{Ra} — коэффициенты, учитывающие индивидуальные условия обработки (твердость заготовки, марка инструментального материала, геометрических параметров режущей части инструмента и т.д.) по отклонению наладочного размера, отклонений профиля поперечного сечения, высотного параметра шероховатости Ra.

Например, поправочный коэффициент на отклонение среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения рассчитывается по следующей формуле:

$$K_H = K_{HB} \cdot K_{\varphi} \cdot K_r \cdot K_{\alpha} \cdot K_{\gamma} \cdot K_{MI} \cdot K_{MO} \cdot K_{COЖ}$$

где K_{HB} , K_{φ} , K_r , K_{α} , K_{γ} , K_{MI} , K_{MO} , $K_{COЖ}$ — поправочные коэффициенты на твердость обрабатываемого материала, на угол в плане, на радиус при вершине, задний угол, передний угол материал режущей части инструмента, на обрабатываемый материал, условия обработки с подачей смазочно-охлаждаю-

щей жидкости. Значения коэффициентов K_{PC} и K_{Ra} рассчитываются аналогично.

Значения уровней варьирования глубины резания, подачи и скорости резания с их значениями находятся по следующим зависимостям:

$$t = t_0 + \Delta t \cdot \delta_t,$$

где t_0 — основной уровень величины глубины резания, мм; Δt — значение уровня; δ_t — величина изменения глубины резания, мм.

$$s = s_0 + \Delta s \cdot \delta_s,$$

где s_0 — основной уровень величины подачи, мм/об; Δs — значение уровня; δ_s — величина изменения глубины резания, мм/об.

$$V = V_0 + \Delta V \cdot \delta_v,$$

где V_0 — основной уровень величины глубины резания, мм; ΔV — значение уровня; δ_v — величина изменения глубины резания, мм.

Найденные регрессионные модели используются для расчета значений в каждом опыте значений специальных характеристик точности.

Например, для отклонений настроечного размера рассчитывается погрешность регрессионной модели:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{HРАСЧ} - \Delta_H}{\Delta_H} \cdot 100\%,$$

где $\Delta_{HРАСЧ}$ — отклонение среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, рассчитанное по регрессионной модели, мм; Δ_H — экспериментальное значение среднеарифметического значения радиального размера от его настроечного значения, мм.

В случае превышения расчетной величины показателя от найденной в результате измерений более, чем на 10 % можно сделать заключение о неадекватности линейной модели для описания закономерности изменения диагностических составляющих. В этом случае линейные зависимости изменяются на полиномы второй степени.

Для нахождения значений параметров процесса резания, обеспечивающих заданный запас точности, необходимо решить систему уравнений (1), (2), (3); при этом найденные значения решения системы уравнений должны удовлетворять следующим неравенствам:

$$\Delta_H + \Delta_{PC} + Ra \leq Tr \cdot K_{3.T.H} \quad (4)$$

$$\Delta_H \leq [\Delta]_H \cdot K_{3.T.H} \quad (5)$$

$$\Delta_{PC} \leq [\Delta]_{PC} \cdot K_{3.T.PC} \quad (6)$$

$$Ra \leq [\Delta]Ra \cdot K_{3.T.Ra} \quad (7)$$

где Δ_H , Δ_{PC} , Ra — расчетные значения отклонений настроечного размера, отклонений поперечного сечения и параметра шероховатости Ra, найденные по формулам (1), (2), (3); $[\Delta]_H$, $[\Delta]_{PC}$, $[\Delta]_{Ra}$ — предельные значения отклонений настроечного размера, отклонений поперечного сечения, параметра шероховатости, мм;

Tr — допуск на радиальный размер, мм;

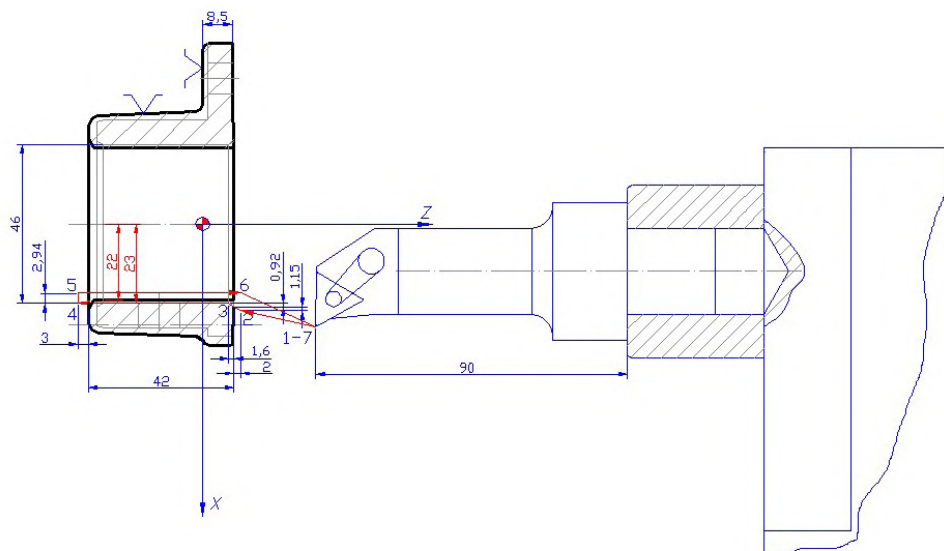


Рис. 4. Схема рабочих перемещений инструмента в переходе чистового растачивания внутреннего посадочного отверстия корпуса подшипника распределительного вала

$K_{3.T.r}$ — коэффициент запаса точности на радиальный размер, мм;

$K_{3.T.H'}$, $K_{3.T.Пс'}$, $K_{3.T.Ra}$ — коэффициенты запаса точности по отклонениям настроечного размера, отклонениям поперечного сечения, высотному параметру шероховатости.

Значения показателей процесса проверяются на соответствие необходимой производительности и являются исходными для их включения в операционные карты технологической документации и составления программы ЧПУ изготовления автокомпонента.

Регрессионные модели диагностических составляющих специальных показателей точности в процессах выпуска продукции постоянно изменяются, поэтому они должны актуализироваться инженерным персоналом по заранее принятому графику, совмещенному с процессами технического обслуживания оборудования.

Практическая реализация. Рассмотрим результаты применения методики для оценки запаса технологической точности токарного станка с ЧПУ, выполняющего растачивание внутренней поверхности автокомпонента корпус подшипника распределителя (рис. 4).

Деталь выполняет опорную функцию и влияет на точность вращения распределительного вала в процессе регулирования фаз открытия и закрытия клапанов газораспределительного механизма двигателя большегрузного автомобиля. В процессе растачивания необходимо обеспечить стабильность специальной характеристики — диаметрального размера внутреннего отверстия $46^{0}_{+0,12}$. Стабильность размера обеспечивает допуск посадки с натягом внутреннего отверстия со сталебронзовой втулкой.

Для реализации методики изготовлены экспериментальные образцы изделия в количестве четырех шт. и выполнена их обработка. Образцы в местах срезанных ступеней измерены на высотомере ф. Mahr Digimar 817 CLM. Шероховатость определялась при помощи профилографа ф. Mahr M 400.

Значения поправочных коэффициентов приняты за единицу для следующих условий процесса: средняя твердость образцов 170 HB, сменная многогранная пластина — TNMG 160404-KR, радиус при

вершине СМП $r=2$ мм, угол в плане 90° , передний угол $\gamma=5^\circ$, задний угол $\alpha=6^\circ$, марка обрабатываемого материала СЧ 30, условия обработки — с подачей СОЖ. Обработка выполнена в начале периода стойкости инструмента.

Пример полученных данных по отклонению среднеарифметического значения радиального размера приведен в табл. 3. В результате выполненных расчетов получены начальные регрессионные зависимости вида (1), (2), (3) диагностических составляющих внутреннего диаметрального размера:

$$\Delta_H = -0,0043 + 0,003667t + 0,03500S + 0,00002V,$$

$$Ra = 0,00052375 + 0,000005t + \\ + 0,01388S - 0,00000028V,$$

$$\Delta_{Пс} = -0,008875 + 0,0035t + 0,0575S + 0,0000575V,$$

где Δ_H , $\Delta_{Пс}$, Ra — расчетные значения отклонений среднеарифметического значения радиального размера от настроечного значения, отклонений профиля поперечного сечения и параметра шероховатости Ra .

Коэффициенты регрессионной формулы при параметрах процесса содержат информацию о величине и степени влияния фактора на величину соответствующей составляющей специальной характеристики.

Полученная система уравнений решена методом Ньютона, в результате найдены диапазоны значений параметров процесса чистового растачивания $t=0,5...0,76$ мм, $S=0,1...0,12$ мм/об, $S=150...190,5$ м/мин., удовлетворяющие неравенствам (4), (5), (6), (7) и обеспечивающие заданный запас точности в соответствии с обеспечиваемым качеством точности внутреннего диаметрального размера.

Систематическое обновление коэффициентов регрессионных моделей в процессе серийного выпуска корпуса подшипника позволяет оценить динамику обеспечения точности специальной характеристики точности. Обновление моделей совмещается с процессами выполнения регламентных работ обслуживания станка с ЧПУ. Эксперименты

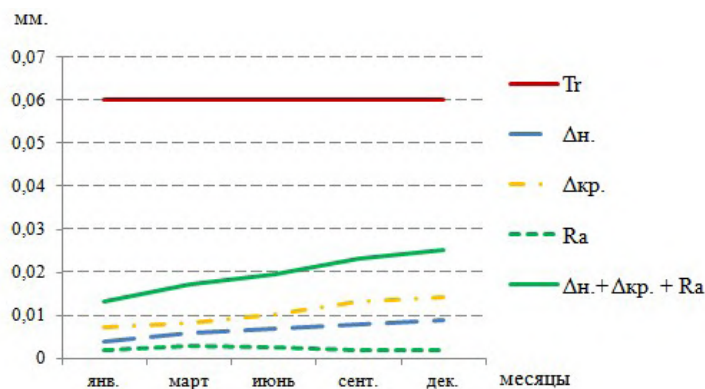


Рис. 5. Графики изменений вклада составляющих в значение допуска внутреннего диаметра

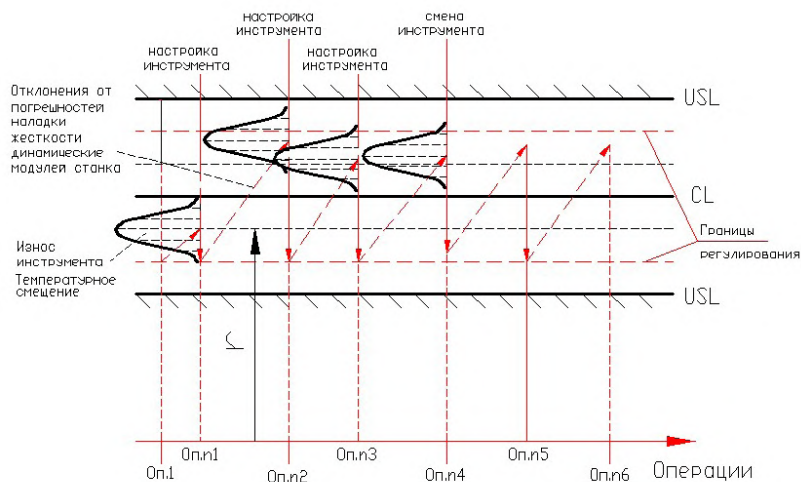


Рис. 6. Изменение границ регулирования радиальных размеров внутренней цилиндрической поверхности за счет методики нахождения оптимальных по запасу точности параметров процесса резания

проводились с сохранением условий первоначальной обработки образцов.

На рис. 5 приведены полученные графики изменений вклада диагностических составляющих в значение допуска внутреннего диаметра на режимах, обеспечивающих максимальную производительность чистового растачивания отверстия при $t=0,76$ мм, $S=0,12$ мм/об, $S=190,5$ м/мин. Выпуск серийной продукции сопровождается нарастанием отклонений настроечного размера и отклонений от круглости, при постоянстве величины шероховатости. В течение года их суммарный вклад в поле допуска внутреннего диаметра достигает 45 %, что снижает зону поля допуска, необходимую для настройки уровня процесса.

Превышение суммарного вклада всех составляющих более чем на 50 % от величины поля допуска свидетельствует о необходимости предупредительного вмешательства в процесс с целью уменьшения вклада наиболее значимых составляющих. В приведенном на графике примере необходимо уменьшение вклада отклонения настроечного размера и отклонений от круглости в допуск на внутренний размер. Уменьшение возможно за счет выполнения регулировочных работ по увеличению жесткости суппорта и подшипников шпиндельного узла,

либо уменьшения величины подачи, что приводит к уменьшению производительности выпуска продукции.

Выводы. Таким образом, нахождение регрессионных моделей изменения показателей и их решение под заданный запас точности на ключевых технологических операциях позволяет на имеющемся технологическом оборудовании подобрать режимы обработки резанием и повысить степень точности специальных характеристик автокомпонента. Все расчеты могут быть автоматизированы в офисных программных продуктах типа Microsoft Excel, что не требует привлечения к процессу выполнения экспериментов высококвалифицированного инженерного персонала.

В случае использования изношенного станочного оборудования подбор показателей позволяет значительно расширить зону регулирования до $3...4\sigma$ (рис. 6). Расширение зоны регулирования позволяет обеспечить более редкие настройки инструмента или же при сохранении исходной частоты настроек обеспечить более высокую степень точности партии автокомпонентов начиная с установочных партий.

Методика апробирована в процессах подготовки производства и серийного изготовления следующих видов деталей: корпус подшипника распределительного вала, корпус воздушного тормоза, шкивов ко-

ленчатого вала, валов раздаточной коробки и пока- зала свою результативность.

Включение регрессионных моделей диагности- ческих составляющих специальных характеристик в документацию РРАР создают дополнительные условия, позволяющие обеспечить уверенность по- требителя в качестве изготавливаемого автокомпо- нента.

Библиографический список

1. Гумеров И. Ф., Хафизов Р. Х., Борисенков Е. Р. [и др.]. Повышение экологических показателей качества автомобильных дизелей КамАЗ — основное направление их развития // Двигателестроение. 2013. № 1 (251). С. 31–37.
2. Галиев Р. М., Нуретдинов Д. И., Назаров Ф. Л. Иссле- дование надежности дизельных двигателей внутреннего сго- рания грузового автомобиля // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, опти- мизация. 2022. № 1 (90). С. 14–22.
3. Кулаков А. Т., Барыльникова Е. П., Фахруллин И. Р. Влияние износов в коренных и шатунных подшипниках на режимы смазки шатунных подшипников КамАЗ-740 // Соци- ально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2021. № 1 (87). С. 31–36.
4. Гумеров И. Ф., Валеев Д. Х., Куликов А. С. Развитие конструкции и технологии производства нового поколения дизельных двигателей КамАЗ Р6 // Двигателестроение. 2020. № 1 (279). С. 30–39.
5. ГОСТ Р 51814.6-2005 Системы менеджмента качества в автомобилестроении. Менеджмент качества при планиро- вании, разработке и подготовке производства автомобильных компонентов. Введ. 01–07–2005. Москва: Стандартиформ, 43 с.
6. Перспективное планирование качества продукции и план управления. APQP. Ссылочное руководство: пер. с англ. Нижний Новгород: ООО СМЦ Приоритет, 2012. 221 с.
7. Кудряшов А. В. [и др.]. «Круглый стол» APQP. Пробле- мы и опыт внедрения // Методы менеджмента качества. 2012. № 6. С. 8–14.
8. Васильчук А. В., Юнак Г. Л. Принятие решений на ос- нове фактов в системе менеджмента качества ОАО «Авто ВА3» // Вестник Самарского государственного техниче- ского университета. Серия: Технические науки. 2005. № 33. С. 108–114.
9. Егоршин Н. В. Взаимодействие ОАО «КамАЗ» с постав- щиками и требовательность к себе // Сертификация. 2008. № 4. С. 32–34.
10. Козловский В. Н., Антипов Д. В., Панюков Д. И. [и др.]. Аспекты создания профессиональной группы экспертов при решении проблем качества продукции автопрома // Автомо- бильная промышленность. 2018. № 5. С. 1–6.
11. Васильев В. А., Биктимирова Г. Ф. Процесс одобрения поставщиков автомобильных компонентов как элемент корпо- ративной системы менеджмента отечественного автопроизво- дителя // Качество. Инновации. Образование. 2017. № 8 (147). С. 17–22.
12. Валиева Е. Г., Касьянов С. В. Анализ информативности документации для управления качеством сложных поковок по требованиям IATF 16949 // Автомобильная промышленность. 2020. № 5. С. 4–6.
13. ГОСТ 18097-93 Станки токарно-винторезные и токар- ные. Основные размеры. Нормы точности. Введ. 01–07–1996. Москва: Изд-во стандартов, 2005. 25 с.
14. Ящерицын П. И., Махаринский Е. И. Планирование эксперимента в машиностроении. Минск: Высш. школа, 1985. 286 с.
15. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука, 1976. 268 с.
16. Гусев В. Г., Наумов Г. М., Харитонов Т. А. Много- факторное исследование профиля продольного сечения отвер- стий, обработанных на станке с ЧПУ // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. № 5 (307). С. 79–83.
17. Кане М. М., Шелег В. К., Кравчук М. А. Моделиро- вание и оптимизация процесса зубофрезерования цилиндри- ческих шестерен червячными фрезами // Механика машин, механизмов и материалов. 2020. № 4 (53). С. 19–27.
18. Кане М. М., Шелег В. К., Кравчук М. А. [и др.]. Анализ взаимосвязей некоторых параметров качества поверхностей зубьев цилиндрических шестерен с режимами зубофре- зерования // Актуальные вопросы машиноведения. 2019. Т. 8. С. 251–255.
19. Новоселов Ю. К., Богущий В. Б. Оценка влияния от- дельных режимов резания на показатели процесса шлифова- ния // Вестник науки и образования северо-запада России. 2019. Т. 5, № 3. С. 1–8.
20. Ингемансон А. Разработка математических моделей для технологической подготовки производства и адаптивно- го управления токарной и фрезерной обработкой в цифро- вых производственных системах // Обработка металлов-2020. Т. 22, № 1. С. 27–40. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.1-27-40.

САФАРОВА Лейля Ринатовна, аспирант кафедры «Материалы, технологии и качество» Набережно- челнинского института (филиал) Казанского (При- волжского) федерального университета, г. Набе- режные Челны.

AuthorID (SCOPUS): 57196279310

Адрес для переписки: leila-r.85@mail.ru

КАСЬЯНОВ Станислав Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Материалы, технологии и качество» Набережно- челнинского института (филиал) Казанского (При- волжского) федерального университета, г. Набе- режные Челны.

SPIN-код: 8174-2600

AuthorID (РИНЦ): 538828

AuthorID (SCOPUS): 57197793774

САФАРОВ Дамир Тамасович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Матери- алы, технологии и качество» Набережночелнинско- го института (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Набережные Челны.

SPIN-код: 4346-4997

AuthorID (РИНЦ): 741369

ORCID: 0000-0002-8297-4524

AuthorID (SCOPUS): 6603409746

ResearcherID: 6834-2018

Адрес для переписки: Safarov-dt@mail.ru

Для цитирования

Сафарова Л. Р., Касьянов С. В., Сафаров Д. Т. Методи- ка нахождения параметров переходов обработки резанием в APQP процессе подготовки производства новых автокомпо- нентов // Омский научный вестник. 2023. № 1 (185). С. 37–45. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-185-37-45.

Статья поступила в редакцию 22.08.2022 г.

© Л. Р. Сафарова, С. В. Касьянов, Д. Т. Сафаров