

11491165

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

ЩЕМЕЛЕВ Александр Васильевич

УДК 621.9.015-187

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ
АДАПТАЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ В
ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИТУАЦИИ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1990

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена трудового Красного Знамени государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент А.И.Кондаков

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор И.П. Бушминский
- кандидат технических наук,
доцент В.В. Комаров

Ведущая организация - НПО НИИТавтопром

Защита диссертации состоится "25" июня 1990 г.
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Московском
государственном
р

им. Н.Э.Баумана по ад -
дом 5.

библиотеке МГТУ

экземпляре, заверенный пе -
ресу.

9 1990 г.

4491165

Р.К.Мещеряков

597 Объем I п.л.
мана



1491165

Кемелев А.В. Разработка и и

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В различных отраслях техники находят все более широкое применение сложные, дорогостоящие системы, эксплуатирующиеся в широком диапазоне внешних условий и рабочих нагрузок. Это объекты тяжелого, транспортного и сельскохозяйственного машиностроения, химической, ядерной и космической техники.

Эксплуатационная надежность таких систем в значительной степени зависит от надежности входящих в их состав предохранительных устройств, обеспечивающих работу указанных систем в штатных ситуациях и их защиту от перегрузок. Последнее, в свою очередь, неразрывно связано с решением проблемы обеспечения доминирующих показателей эксплуатационного качества деталей однократного применения, являющихся, как правило, основными рабочими элементами предохранительных устройств. К таким деталям относятся разрушаемые детали стержневого типа (РДСТ), например, разрывные и срезные болты, срезные штифты и втулки.

Для таких деталей доминирующим показателем эксплуатационного качества является обеспечение разрушения при заданных диапазонах прилагаемых рабочих усилий. На практике для обозначения понятия "доминирующие показатели эксплуатационного качества" удобнее пользоваться выражением "эксплуатационная характеристика" (ЭХ), подразумевая под последней полное выполнение в течение рабочего цикла деталью своего функционального назначения.

В настоящее время, несмотря на непрерывное совершенствование методов расчета и технологии изготовления, надежность рассматриваемых деталей остается низкой.

Разброс фактических значений разрушающих усилий от заданного достигает 60 %.

В первую очередь это объясняется нестабильностью физико-механических свойств материала исходных заготовок, а также отсутствием учета влияния технологических факторов изготовления детали на ЭХ РДСТ.

Таким образом, насущная необходимость обеспечения качества деталей рассматриваемого класса и отсутствие научно обоснованного подхода к решению указанной задачи делают данную работу весьма актуальной.

Целью работы является обеспечение качества деталей, напри

ВЫПОЛНЕНО

мер, разрушаемых деталей стержневого типа (РДСТ).

Методы исследования. В исследованиях использовались положения основ технологии машиностроения, линейной механики разрушения, линейной алгебры и методологии системного подхода. Экспериментальные исследования проводились на универсальной испытательной машине БУ-40. Технологическая часть экспериментов проводилась на станках I6K20B3, I6K20TI-НЦ-3I, оригинальной установке для поверхностно-пластического деформирования поверхностного слоя деталей при совместной обработке струей стеклянных микрошариков и ультразвуковом нагружении (СМ и УЗН) с использованием современной контрольно-измерительной и регистрирующей аппаратуры.

Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики с применением ЭВМ.

Научная новизна. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены взаимосвязи качества (ЭХ) РДСТ с конструктивными параметрами и показателями качества указанных деталей; выявлены основные закономерности формирования показателей качества РДСТ в ходе технологических процессов их изготовления. Разработана методика обеспечения качества РДСТ, базирующейся на адаптации технологического процесса изготовления к изменяющейся производственной ситуации. Разработан новый метод изменения качества поверхностного слоя рабочей части РДСТ.

Практическая ценность. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны алгоритмы обеспечения ЭХ РДСТ реализованный в виде пакета прикладных программ, позволяющего управлять ЭХ при изменяющейся производственной ситуации, что позволяет уменьшить разброс фактических усилий разрушения до $\pm 2,5 \dots \pm 4$ % по сравнению с $\pm 10 \dots \pm 30$ % в существующей практике. Разработана и изготовлена установка СМ и УЗН пригодная для промышленной эксплуатации.

Реализация работы. Результаты исследований использовали при выполнении научно-исследовательской работы, направленной на обеспечение качества командных деталей типа РДСТ и приняты к внедрению на предприятиях г.Москвы.

Апробация работы. Основные положения диссертации доклады - вались на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения".

и режущий инструмент" МПТУ им.Н.Э.Баумана в 1987-1990г.г., на Всесоюзной научно-технической конференции "Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация" - Тула, 1988г.; на семинаре в Московском Доме научно-технической пропаганды им.Ф.Э.Дзержинского "Поверхностный слой, точность, эксплуатационные свойства и надежность деталей машин и приборов" - Москва, 1989 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 3 печатные работы, в том числе 1 авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация изложена на 117 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 63 рисунка, список литературы из 83 наименований, 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, приведена характеристика ее направленности и научной новизны, сформулирована цель работы и положения выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения качества разрушаемых деталей стержневого типа, обоснован выбор объекта и поставлены задачи исследования.

На основании анализа работ, посвященных данной теме, можно сделать вывод, что основными путями обеспечения ЭХ РДСТ являются: совершенствование расчета и поиск новых конструктивных решений, совершенствование технологии изготовления. Наибольшее распространение при изготовлении РДСТ получили конструкционные стали (сталь 45, сталь 40Х и т.д.); жаропрочные коррозионноустойчивые (12Х18Н10Т, 08(12)Х18Н9Т и т.д.); титановые сплавы (BT6, BT8), заготовки из которых (круглый прокат) имеют значительный разброс физико-механических свойств даже в пределах одной партии материала. В результате этого гарантированное обеспечение ЭХ РДСТ оказывается невозможным, несмотря на постоянное совершенствование методов их расчета и конструирования. Существующие технологические подходы к изготовлению РДСТ, базирующиеся на "жестких" технологических процессах, не учитывают дестабилизирующих факторов изменяющих производственную ситуацию, в частности, колебания физико-механических свойств материала заготовки.

В этих условиях заданное ЭХ может быть гарантировано только

при использовании технологических процессов ~~меняющейся~~ структуры (гибких), позволяющих осуществлять их структурную и параметрическую адаптацию к изменяющейся производственной ситуации.

На основании проведенного анализа, исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие основные задачи:

1. Разработка концепции адаптации технологического процесса изготовления РДСТ к изменяющейся производственной ситуации.
2. Выявление и исследование взаимосвязей доминирующего показателя эксплуатационного качества (ЭК) с основными конструктивными параметрами (КП) и показателями качества (ПК) рабочей зоны РДСТ.

3. Выявление основных закономерностей формирования показателей качества РДСТ в ходе технологических процессов их изготовления.

4. Разработка методики, информационного, математического, программного обеспечения, а также технических средств для реализации метода технологической адаптации.

Во второй главе даны теоретические основы и математическое обеспечение концепции адаптации технологического процесса изготовления РДСТ к изменяющейся производственной ситуации.

Обеспечение качества машиностроительной продукции в условиях автоматизированного производства связано с решением проблемы обеспечения надежности технологического процесса (ТП), независимо от изменений производственной ситуации (ПС).

Различают:

1. Запланированные изменения ПС (плановый переход на выпуск нового изделия; вывод определенного оборудования на плановый ремонт и т.п.).
2. Незапланированные изменения ПС (внеплановая смена продукции; производственные погрешности на отдельных операциях ТП; отказы станков и т.п.).

При изготовлении РДСТ доминирующими будут незапланированные изменения, в частности:

- нестабильность физико-механических свойств материала заготовки (твердость, предел прочности, предел текучести и т.д.);
- нестабильность размеров исходной заготовки;
- незапланированные конструктивные изменения детали;
- недостаточный учет реальных условий изготовления при оп-

ределении параметров ТП;

- изменения, вызванные действием первичных факторов - составляющих суммарной погрешности обработки.

Для обеспечения надежности ТП в условиях автоматизированного производства целесообразно применять принцип маршрутной адаптации, согласно которого контрольные показатели качества (ПК) детали для заданного маршрутного ТП на каждом этапе изготовления сравниваются с фактическими, получаемыми из информации о ходе ТП. В случае возникновения отклонений подбирается вариант продолжения ТП, позволяющий ликвидировать отклонения ПК за счет введения дополнительных операций и возвратиться на заданный маршрутный ТП. Если это невозможно, то создается совершенно иное продолжение ТП. Оптимизируются маршрутные ТП изготовления отдельных поверхностей детали и на их основе синтезируются маршрутные ТП изготовления деталей в целом. Оптимизация носит характер структурно-параметрической, причем определение оптимальных параметров производится только после определения оптимальной структуры.

Идеальный геометрический образ детали представляет собой упорядоченную совокупность отдельных (элементарных) поверхностей. Состояние каждой поверхности в любой момент времени (в ходе ТП) может быть охарактеризовано вектором состояния ее качества (ВСК), элементами которого являются:

1. Метрические (измеряемые показатели состояния качества:

- точность основного размера (отклонение размера) - S_1
- точность формы (отклонение формы) - S_2
- точность взаимного расположения поверхности - S_3
- шероховатость поверхности - S_4
- глубина дефектного слоя - S_5
- микротвердость поверхности - S_6
- прочность материала - S_7

2. Бинарные отношения состояния качества (наличие покрытий, покраска, специфические требования) - $S_8 \dots S_f$

Для (i) поверхности заготовки после выполнения (m) операции ВСК запишется:

$$(S_i)_m = [S_{ik}]_m (i = \text{const}, k = 1, 2, \dots, f), \quad (I)$$

где f - общее количество элементов ВСК.

Состояние качества обрабатываемой детали, включающей n элементарных поверхностей, после (m) операции характеризуется соответствующей матрицей состояния качества (МСК):

$$(Sol)_m = [S_{ik}]_m (i=1, \dots, n; k=1, \dots, f) \quad (2)$$

Состояние качества детали, соответствующей техническим условиям на изготовление, описывается эталонной МСК, каждый элемент которой характеризует эталонное значение соответствующего показателя качества. Векторы S_{ik} линейно независимы в векторном пространстве состояния качества (ВПК).

Перевод ВСК из состояния (m) в состояние ($m+1$) осуществляется с помощью вектора перевода качества (ВПК) P_m .

ВПК может быть представлен с помощью линейных преобразований:

$$P_m = [P_m] (S_i^T)_m \quad (3)$$

где $[P_m]$ - матрица перевода качества (МПК) из состояния m в состояние $m+1$; $(S_i^T)_m$ - транспонированный ВСК в состоянии m .

МПК характеризует собственно технологию изготовления (поверхности или детали) и имеет структуру:

$$[P_m] = \begin{bmatrix} [P_m] & 0 \\ 0 & [P_5] \end{bmatrix}_m \quad (4)$$

где $[P_m]$; $[P_5]$ - матрицы-клетки перевода метрических показателей качества и бинарных отношений соответственно. Матрица-клетка перевода, например, для 7 метрических показателей качества имеет вид:

$$|P_m| = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 \\ & & & & 0 & & \\ & & & & & & \\ & & 0 & & & & \end{bmatrix} \quad (5)$$

где $P_1, \dots, 7$ - элементы перевода, характеризующие изменение соответствующего метрического ПК при реализации данного перевода качества

$$P_{1, \dots, 7} = \frac{(S_{1, \dots, 7})_{m+1} - (S_{1, \dots, 7})_m}{(S_{1, \dots, 7})_m} \quad (6)$$

где $S_{1, \dots, 7}$ - значения соответствующих ПК для состояний ($m+1$) и (m) соответственно. Значения ($P_{1, \dots, 7}$) полу-

чаются в результате статистической обработки материалов экспериментальных исследований.

Ввиду того, что ВСК содержит элементы различной природы (метрические и бинарные) и различной размерности, его длина не может использоваться как критерий состояния качества (КСК). Для количественной оценки состояния качества данной поверхности каждому ВСК этой поверхности ставится в соответствие значение КСК, определяемое по формуле:

$$(K_i)_m = \sum_{k=1}^f \left(\frac{[S_k]}{S_{km}} \right)^Z \cdot \mu_k + \sum_{k=j+1}^f S_{km} \cdot \mu_k, \quad (7)$$

где μ_k - коэффициент оценивающий чувствительность КСК к изменению соответствующего элемента ВСК, причем $\sum_{k=1}^f \mu_k = 1$; S_{km} - значение соответствующего элемента ВСК после выполнения m -ой операции; $[S_k]$ - эталонное значение ВСК; j - количество метрических элементов; f - общее число ВСК; Z - показатель степени, равный $+1$, если соответствующий элемент ВСК уменьшается в ходе ТП и -1 , если увеличивается.

Для РДСТ, как для детали с явно выраженным доминирующим показателем эксплуатационного качества (ЭК), условие обеспечения качества может быть представлено:

$$IF \forall S_k \in \{S_{\min}; S_{\max}\}, \quad (8)$$

$$THEN (R \in \{R_{\min}; R_{\max}\} \wedge (W \equiv W_{TP})), \quad (9)$$

где S_k - фактическое значение ПК у готовой детали; $S_{\min}, S_{\max}$ - минимальное и максимальное значения ПК, при которых возможно выполнение ЭК; $R, R_{\min}, R_{\max}$ - фактическое значение ЭК и его минимально и максимальные допустимые значения; W - ожидаемая вероятность обеспечения ЭК; W_{TP} - вероятность обеспечения ЭК, обусловленная избранным ТП.

Для оценки ЭК используют регрессионные зависимости связывающие натуральные значения ПК с натуральными значениями величины характеризующей ЭК.

$$R = C_0 + C_1 S_1^{(\kappa)} + \dots + C_k S_k^{(\kappa)} + \dots, \quad (10)$$

где $C_0, \dots, C_k$ - коэффициенты регрессии; $S_k^{(\kappa)}$ - кодированное значение ПК.

$$S_k^{(\kappa)} = \frac{S_k - S_k^{(cp)}}{I_k}, \quad (11)$$

где S_k - текущее значение ПК; $S_k^{(p)}$ - среднее значение ПК в эксперименте; I_k - интервал варьирования соответствующего ПК.

Для деталей типа РДСТ, когда общее количество ПК детали не более 15-20 целесообразно оценивать состояние качества не по каждой поверхности, а затем детали в целом, а сразу определять значение КСК в зависимости от всего комплекса ПК, использовать КСК интегрального типа (E_i):

$$E = \sum_{k=1}^j \left(\frac{[S_k]}{S_{km}} \right)^2 \cdot \beta_k, \quad (12)$$

где β_k - коэффициенты, оценивающие чувствительность E к изменению соответствующего ПК, относящегося к детали в целом.

Реализация принципа адаптации ТП при обеспечении ЭХ производится по следующей методике:

1. Проектирование ТП начинается от параметров готовой поверхности и ведется к заготовке.
2. Определяется содержание последнего перевода качества (ВПК). Содержание перевода качества описывается МПК (3).
3. Зная элементы ВСК после выполнения последнего перевода качества и соответствующую МПК, решая уравнение (4), определяют значение элементов ВСК до выполнения последнего перевода качества.
4. Полученные значения элементов ВСК сравниваются с диапазоном условий, при которых может быть реализован выбранный ВПК. Если значение элементов ВСК принадлежит диапазону - ВПК реализуем.
5. Оценивается "степень готовности" данной поверхности перед выполнением последнего ВПК (с помощью КСК).
6. Решается задача динамического программирования. Определяется форма реализации ВПК, обеспечивающая экстремум целевой функции аддитивного типа.
7. Считая полученные значения элементов ВСК конечными, повторяют пункты 2-6.
8. Процесс проектирования продолжать до тех пор, пока не будут достигнуто значение КСК, соответствующее этапу получения заготовки.
9. После достижения значения КСК, соответствующего заготовке, совершается проектирование "от поверхности заготовки к готовой поверхности детали". При этом выполняются действия аналогичные п. 2-8.
10. По окончании проектирования ТП по элементам МПК оптими-

зируются значения параметров ВПК.

Проверку правильности построения маршрутного ТП, с учетом имеющихся регрессионных моделей связи натуральных значений R (10), характеризующих ЭХ РДСТ, производят с помощью аналитической модели использующей расчетный критерий полученный из теории линейной механики разрушения K_I - коэффициент интенсивности напряжений.

В случае достижения силой P приложенной к РДСТ, предельного значения (усилия разрушения) коэффициент интенсивности напряжений принимает значение K_{Ic} - коэффициента трещиностойкости материала и тогда усилие разрушения определяется по формуле:

$$P_k = \frac{\alpha \sqrt{\pi d} K_{Ic}}{\sqrt{2} \sqrt{1 - \epsilon}} [1 - 0,5\epsilon - 0,125\epsilon^2 + 0,2757\epsilon^3 - 0,2082\epsilon^4 + 0,066\epsilon^5 + 0,0048\epsilon^6 - 0,013\epsilon^7] \quad (13)$$

где

$$\epsilon = \frac{\alpha}{D_H} \quad ; \quad \alpha = D_H - 2t$$

где α - остаточный диаметр стержня РДСТ; D_H - номинальный диаметр стержня РДСТ; t - глубина канавки-концентратора.

Коэффициент трещиностойкости зависит как от физико-механических свойств материала, так и от условия эксплуатации РДСТ (орез, растяжение) и определяется по известным формулам линейной механики разрушения.

Предложенная концепция адаптации ТП позволяет при случайных (незапланированных) изменениях производственной ситуации обеспечивать ЭХ РДСТ.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований взаимосвязей ЭХ с конструктивными параметрами и показателями качества рабочей зоны РДСТ, а также взаимосвязи основных характеристик физико-механических свойств материалов РДСТ.

В связи с тем, что КП и ПК включают в себя значительное число составляющих элементов, то при определении их совместного влияния на ЭХ РДСТ возникает неоправданное усложнение эксперимента, которое в свою очередь приводит к низкой надежности получаемых регрессионных моделей. Поэтому экспериментальные исследования проводились сначала для получения моделей связывающих КП и ЭХ РДСТ, а затем определялась их взаимосвязь с ПК РДСТ.

Достижение заданного ЭХ детали проверялось путем нагружения экспериментальных образцов изготовленных из стали 12Х18Н10Т и стали 40Х до разрушения на универсальной испытательной машине ЕУ-40 при срезе и растяжении.

При проведении экспериментов по определению взаимосвязи КП с ЭХ РДСТ реализовались планы ПФЭ 2^3 .

Варьируемыми факторами являлись: номинальный диаметр стержня D_H (8...12 мм), глубина канавки-концентратора t (0,25...1,5 мм), радиус дна канавки-концентратора R (0,3...2 мм).

При проведении экспериментов по определению взаимосвязи ПК с ЭХ РДСТ реализовался план ПФЭ 2^4 при варьируемых факторах: номинальный диаметр стержня D_H (8...12 мм); глубина канавки-концентратора t (0,25...1,5 мм); микротвердость дна канавки-концентратора H_M (3500...6000 МПа и 42000...5500 МПа для стали 12Х18Н10Т и стали 40Х соответственно); параметр шероховатости R_a (6,3...1,25 мкм).

Одним из факторов изменяющих производственную ситуацию в процессе изготовления является разброс физико-механических свойств материала заготовки РДСТ.

Для экспресс-анализа основных характеристик физико-механических свойств поступающей на обработку заготовки было спроектировано и изготовлено специальное измерительное устройство (ИУ), позволяющее определять микротвердость по методу Виккерса. Проведенные эксперименты позволили получить количественные взаимосвязи между микротвердостью и значениями σ_b , σ_t , $\tau_{ср}$.

Исследования проводились на образцах изготовленных из стали 12Х18Н10Т и стали 40Х.

Погрешность определения характеристик физико-механических свойств по результатам измерения микротвердости не превышает 5%.

Интервалы варьирования факторов выбирались по априорным данным и в результате предварительных экспериментов так, чтобы в этих пределах получалось монотонное изменение параметров.

На основании проведенных экспериментов получены математические зависимости типа (10).

Были проведены исследования влияния колебаний конструктивных параметров и показателей качества на ЭХ РДСТ. В результате исследований показано, что модели взаимосвязей КП и ПК с ЭХ РДСТ обеспечивают точность определения функции отклика не меньшую среднего

отклонения моделирования при любых изменениях КП и ПК в выбранных интервалах варьирования и могут быть использованы в качестве информационного обеспечения при адаптации ТП изготовления РДСТ.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований закономерностей формирования показателей качества поверхностного слоя для канавки-концентратора РДСТ.

Исследовались методы токарной обработки, алмазного выглаживания, обработка струей стеклянных микрошариков, ультразвуковое нагружение.

В работе предложен новый метод изменения качества поверхностного слоя дна канавки-концентратора РДСТ совместной обработкой струей стеклянных микрошариков и ультразвуковым нагружением. Разработана и изготовлена установка для реализации этого метода.

Исследовались образцы изготовленные из стали 12Х18Н10Т и стали 40Х, по плану ПФЭ 2^2 .

Функциями отклонения являлись показатели качества H_m и R_a , а варьируемыми факторами – параметры режимов обработки исследуемых методов.

Измерения микротвердости дна канавки-концентратора, а также ее распределение по глубине поверхностного слоя проводились с помощью прибора ПМТ-3. Фотографии микрошлифов производилась на микроскопе "NEOFOT-21". Шероховатость дна канавки-концентратора и запись профилограмм производилась на профилографе-профилометре "Калибр" мод. 201.

Оптимальные режимы обработки исследуемых методов определялись методом решения оптимизационных задач Хука-Дживса (программа "REGIM" глава 5).

Исследование влияния на ПК РДСТ режимов токарной обработки проводилось на токарном станке мод. 16К20Ф3. Образцы изготовленные из стали 12Х18Н10Т и стали 40Х обрабатывались твердосплавными пластинами марки ВК6 и Т15К6 соответственно. Причем при обработке жаропрочной коррозионостойкой стали 12Х18Н10Т в качестве СОЖ использовалась олеиновая кислота. Исследовалось влияние на ПК скорости резания V и переднего угла резца γ .

Наиболее эффективное управление ПК РДСТ осуществляется при следующих диапазонах режимов обработки: $V = 31,15...40,5$ м/мин, $\gamma = -10^0...+5^0$.

Степень наклепа при этом достигает 50%, а глубина наклепанного слоя 80 мкм.

Алмазное выглаживание позволяет в значительной степени изменять величину ПК (H_m). Исследования проводились с использованием индентора оснащенного натуральным алмазом с радиусом сферы $R_{сф} = 1$ мм.

Пружинный выглаживатель устанавливался в револьверную головку станка 16К20Ф3 и позволял изменять усилие выглаживания P_B и число циклов нагружения T в заданных интервалах варьирования. Оптимальные диапазоны режимов алмазного выглаживания составили: $P_B = 40 \dots 80$ Н; $T = 1 \dots 3$. Скорость обработки $V_B = 12,6$ м/мин. Степень наклепа выше чем при токарной обработке и достигает 60%; глубина наклепанного слоя до 120 мкм.

Обработка струей стеклянных микрошариков, ультразвуковое нагружение и совместная обработка струей стеклянных микрошариков и ультразвуковым нагружением исследовались на установке ОМ и УЗН. Обработка стеклянными микрошариками ($\phi 150 \dots 250$ мкм) осуществлялась с выключенным ультразвуковым генератором при изменении давления воздуха подаваемого на сопло Q и времени обработки T_m .

Для выбранных ПК наиболее эффективны следующие режимы обработки: $Q = 0,4 \dots 0,55$ МПа; $T_m = 80 \dots 140$ с, при которых степень наклепа и глубина наклепанного слоя достигают 70% и 140 мкм соответственно.

При ультразвуковом нагружении происходит интенсивное зарождение новых и перемещение старых дислокаций в материале образца, особенно на границе раздела фаз (поверхностный слой).

После снятия нагружения новые и старые дислокации фиксируются и вследствие их большего числа на единицу объема происходит упрочнение материала. Поверхностная микротвердость образца изменялась в зависимости от времени нагружения T_y и величины амплитуды ультразвуковых колебаний A . Оптимальные режимы обработки составили: $T_y = 100 \dots 150$ с; $A = 6 \dots 8$ мкм. Степень наклепа до 110%.

Устойчивое обеспечение ПК дна канавки-концентратора достигается с помощью метода ОМ и УЗН. Суть метода заключается в том, что за счет энергии упругой волны в материале образца, а особенно на его поверхности, происходит резкое снижение сопротивления пластической деформации и под воздействием кинетической энергии струи микрошариков пластическая деформация распространяется на большую глубину. При изменении времени обработки стеклянными

микрошариками от 80 с до 120 с и времени ультразвукового нагружения от 100 с до 140 с, степень наклепа достигает 90%, шероховатость 2,5...1,25 мкм, а глубина наклепанного слоя достигает 260 мкм.

В результате проведенных исследований получены уравнения вида (10), которые позволяют получить количественные оценки влияния режимов обработки исследованных методов на ПК РДСТ.

В пятой главе приведены результаты реализации концепции адаптации технологического процесса изготовления РДСТ к изменяющейся производственной ситуации.

Для реализации концепции адаптации разработан пакет программ для ЭВМ "SATPRDST" состоящий из следующих программ, реализованных на языке СИ:

1. Программа "TPRDST" - решения задачи выбора технологического процесса по условиям выполнения ЭХ, является ядром пакета;

2. Программа "REGIM" - решения задачи оптимизации режимов обработки при обеспечении рассчитанных КП и ПК РДСТ выбранного технологического процесса;

3. Программа "SAPRDST" - подготовки управляющей программы для станка с ЧПУ;

4. Подпрограмма "CADRDST" - вычерчивания рабочего чертежа конкретной детали.

Исходными данными для нее являются:

1. Заданное усилие разрушения и диапазон изменения усилия разрушения ($P_3, P_{3\min}, P_{3\max}$).

2. Код материала (сталь 12Х18Н10Т, сталь 40Х).

3. Код вида нагружения (срез, растяжение).

4. Исходная микротвердость заготовки ($H_{\mu i}$).

После ввода исходных данных в программе определяются характеристики физико-механических свойств материала заготовки ($\sigma_b, \sigma_t, \tau_{ср}$) и номинальные КП РДСТ (D_n, t, R). Затем по исходной микротвердости и полученным номинальным значениям КП определяется прогноз ЭХ; по условию $P_p \in \{P_{3\min}; P_{3\max}\}$, в случае удовлетворительного прогноза выдается сообщение "штатный техпроцесс - точение канавки-концентратора". Содержание операции распечатывается на чертеже детали с указанием параметров технологических операций изготовления РДСТ.

В противном случае уточняется положение расчетного усилия разрушения относительно допуска. Если расчетное P_p меньше $P_3 \min$, то для найденных номинальных КП определяется необходимое значение $H_m > H_{m1}$ для канавки-концентратора и опять определяется прогноз ЭХ. Если прогноз ЭХ удовлетворителен, осуществляется перебор технологических методов, позволяющих получить заданного уровня с последующей распечаткой ТП на чертеже детали. Если метод изменения микротвердости в необходимых пределах найден не будет, а также если расчетное усилие разрушения больше $P_3 \max$, производится изменение КП РДСТ до значений, при которых удовлетворяется прогноз ЭХ.

При невыполнении этого условия выделяется сообщение "ЭХ обеспечить нельзя" с последующей остановкой программы.

Для повышения надежности работы программы используется обращение к аналитической модели разрушения РДСТ (I3), для чего определяется отклонение $(\Delta 1)$ ожидаемого усилия разрушения (P_p) от заданного значения P_3 . Затем определяется при тех же значениях КП усилие разрушения по аналитической модели P_A и его отклонение $(\Delta 2)$ от P_3 .

Проверяется выполнение условия $V(\Delta i) \leq \alpha \frac{\Delta P_3}{2}$, где α - доля половины допуска, определяющая допустимую точность моделей (I0); ΔP_3 - поле допуска заданного усилия разрушения. В случае несоблюдения условия печатается сообщение "ЭХ обеспечить нельзя". Если условие выполнено, то по аналитической модели (I3) последовательно изменяя параметры КП, находят значение P_A максимально приближенное к P_3 , определяя при этом возможное отклонение $(\Delta 3)$. После сравнения $\Delta 1$ и $\Delta 3$ принимаются значения КП либо полученные при расчете P_p , либо при расчете P_A с последующей проверкой прогноза ЭХ.

Апробация концепции адаптации ТП проводилась на созданном экспериментальном макете автоматизированного участка изготовления РДСТ, включающем: измерительный комплекс на базе измерительного устройства (ИУ) и интерфейса на базе микро-ЭВМ "Искра-226" для связи с ЭВМ высшего уровня; ЭВМ высшего уровня (IBM-PC) с программным обеспечением (пакет программ "SATPRDST"); станок с ЧПУ модели I6K20TI-HI-3I; установка ОМ и УЗН.

В интерфейсе на базе микро-ЭВМ "Искра-226" передается первичная информация об исходной микротвердости поступающей на обработ-

ку заготовки. Эта информация в переработанном виде передается в ЭВМ высшего уровня, туда же поступает в режиме диалога информация об условиях эксплуатации РДСТ (срез, растяжение), материале заготовки, заданном усилии разрушения P_3 (ЭХ). Выработанный в результате ТП изготовления РДСТ реализуется в виде маршрутной технологии и управляющей программы для станка с ЧПУ.

Проведенные контрольные эксперименты на образцах изготовленных из стали 12Х18Н10Т и стали 40Х имеющих разброс исходной микротвердости $H_{\mu i}$ 3200...5300 МПа и 4000...5000 МПа соответственно и диаметрами D_n 8...12 мм показали, что в результате приложения соответствующих нагрузок поле рассеяния усилия разрушения относительно заданного составляло $\pm 2,5... \pm 4,0\%$ (по сравнению с $\pm 10... \pm 30\%$ в существующей практике).

Приведены данные об экономической эффективности проведенных исследований от внедрения результатов в производство.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Заданное качество деталей (разрушаемых деталей стержневого типа) устойчиво обеспечивается при адаптации технологических процессов их изготовления к изменяющейся производственной ситуации.

2. Предложенный метод адаптации базируется на синтезе структур технологических процессов. Для разработки процедур синтеза эффективно использование векторной интерпретации технологических процессов.

3. Изменяемые конструктивные параметры, показатели качества, структура и параметры технологического процесса изготовления детали должны определяться и корректироваться индивидуально для каждой заготовки в зависимости от заданного качества детали и производственной ситуации.

4. На основании выявленных взаимосвязей конструктивных параметров, промежуточных и заданных показателей качества детали, а также закономерностей формирования последних, разработано информационное обеспечение метода адаптации, позволяющее определять ожидаемое качество детали и оптимальные параметры процесса ее изготовления.

5. Разработан алгоритм адаптации, позволяющий обеспечивать качество разрушаемых деталей стержневого типа при управлении величинами диаметра заготовки, глубины и микротвердости поверх-

ностного слоя дна канавки-концентратора.

6. При изготовлении разрушаемых деталей стержневого типа диаметром 8...12 мм из сталей 40X и 12X18H10T наиболее эффективное управление качеством достигается при токарной обработке с поперечной подачей 0,07...0,09 мм/об. и скоростью резания 31,5...40 м/мин, при алмазном выглаживании с усилием 40...80 Н и числом циклов нагружения 1...3; при ультразвуковом нагружении с амплитудой колебаний 6...8 мкм и временем нагружения 100...150 с.

7. Разработан и исследован новый метод изменения качества поверхностного слоя путем ультразвукового нагружения детали в сочетании с обработкой стеклянными микрошариками, позволяющий получать степень наклепа материала в пределах 40%...90%, равномерное распределение микротвердости по глубине поверхностного слоя до 260 мкм.

8. Реализация метода технологической адаптации при изготовлении разрушаемых деталей стержневого типа диаметром 8...12 мм, работающих на срез и растяжение, из сталей 12X18H10T и 40X позволила обеспечить отклонение усилия разрушения деталей в пределах $\pm 2,5... \pm 4,0\%$ от заданного по сравнению с $\pm 10... \pm 30\%$ в существующей практике.

9. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы при защите объектов стоимостью 100 тыс.руб. составил 27,2 тыс.руб. в год.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Кондаков А.И., Шемелев А.В. Поверхностно-пластическое деформирование конструкционных материалов в условиях ультразвукового поля // Конструктивно-технологические методы повышения надежности и их стандартизация: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конференции. - Тула, 1988. - Ч. I. - С. 46.

2. Шемелев А.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей стержневого типа // Поверхностный слой, точность, эксплуатационные свойства и надежность деталей машин и приборов: Сборник научных трудов. - М.: МДНП, 1989. - С. 119-122.

3. А.С. 1174232 СССР, МКИ В 24 В1/041/В 24 С 1/10. Способ поверхностного упрочнения деталей дробью / А.Ф.Алексеевко, Е.Я.Седыкин, А.В.Шемелев // Б.И. - 1985. - № 31.

