

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

МОСКОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

СТОРОЖЕВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ДЛЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОЖИ

Специальность 05.02.13

Машины и агрегаты легкой промышленности

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
доктора технических наук

МОСКВА - 1978

Работа выполнена в Московском технологическом институте
легкой промышленности

Научный консультант, доктор технических наук,
профессор А.И.Комиссаров

Официальные оппоненты:

1. Докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой МТИЛПА Б.И.Дамаскин
2. Докт. техн. наук, проф., зав. отделом ВНИИЛТЕКМАША В.П.Полухин
3. Докт. техн. наук, директор УКРНИИКПА Я.Ф.Чередниченко

Ведущая организация: Центральный научно-исследовательский
институт кожевенно-обувной промышленности (ЦНИИКП).

Автореферат разослан "7" XX _____ 1978 г.

Защита состоится "11" X _____ 1978 г.

на заседании специализированного совета Д 053.32.02 при
Московском технологическом институте легкой промышленности.

Адрес: Москва, ПЗ127, ул. Осипенко, 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Ваши отзывы и замечания по работе в двух экземплярах, заве-
ренные печатью, просим направлять в специализированный совет.

Ученый секретарь
совета

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы и состояние вопроса. XXV съезд КПСС,
постановления партии и правительства акцентируют курс промышленно-
сти и науки на всемерное повышение эффективности производства и ка-
чества работы. Такая задача для производства изделий из кожи мо-
жет быть решена на базе широкой автоматизации технологических про-
цессов, в том числе наиболее сложных операций по контурной обработ-
ке. Актуальность исследований по автоматизации процессов контурной
обработки в производстве изделий из кожи диктуется многообразием,
сложностью технологических операций; большим удельным весом ручного
труда на этих операциях. Так, на одном из видов контурной обработки
- выполнении наружных швов при сборке заготовки верха обуви, - по
всем предприятиям СССР выполняется около 10^{10} операций. С учетом
всех видов контурной обработки на различных операциях в производст-
ве изделий из кожи эта цифра значительно возрастает. На указанных
операциях применяются практически лишь универсальные неавтоматизиро-
ванные машины, требующие ручного вмешательства на всем протяжении
выполнения технологического процесса.

Научное исследование по автоматизации технологических процес-
сов производства предметов народного потребления должно включать
комплексное решение технических, технологических, эстетических, эко-
номических проблем. При этом успех практической реализации резуль-
татов исследования зависит от тщательности проработки многих спе-
цифических вопросов.

Научные и технические основы автоматизации обработки деталей
обуви и одежды, а также сборки их в готовое изделие разрабатывались
И.И.Капустиним, А.И.Комиссаровым, Б.И.Дамаскиным, В.П.Полухиным,
Г.А.Пискорским, И.С.Заком и др. Технологические проблемы автомати-
зации в производстве изделий из кожи решаются Ю.П.Зыбиным, Я.Ф.Че-

редниченко, В.П.Нестеровым, В.А.Скатерным, А.Н.Калитой и др. Созданию автоматизированных систем и устройств, анализу особенностей их конструкции и функционирования посвящены работы Н.М.Вальщикова, И.И.Галынкера, В.Н.Гарбарука, Ф.И.Червякова, С.Ю.Полыванова, В.З.Карасика, А.А.Афанасьева, П.А.Тонковида, А.А.Николаенко и др.

Анализ проведенных ранее исследований по теме диссертации показал, что имеются существенные резервы в повышении качества и эффективности производства изделий из кожи на базе его автоматизации. Это в первую очередь относится к наиболее сложным технологическим процессам, в том числе – контурной обработке.

Недостаточно изучены влияние особенностей контурной обработки в производстве изделий из кожи на точность выполнения операции и качество изделия, динамика перемещения объекта обработки в условиях контурного позиционирования, условия взаимодействия рабочих органов; не обобщен опыт применения и нет методики прогнозирования характеристик, определяющих выбор параметров проектируемых систем.

Цель работы. Проведение комплексного исследования по разработке обобщающего метода оценки особенностей функционирования систем для контурной обработки в условиях ее автоматизации, выработке общих положений и конкретных рекомендаций по выбору и проектированию этих систем.

Общая методика исследования. Решение поставленной задачи включает этапы:

- анализ и сгруппирование объектов обработки в идентифицированные классы совокупностей;

- разработка методов оценки качественных показателей функционирования оборудования и критериальный анализ характеристик выполняемых на нем технологических операций;

- выявление путей реализации полученных классов совокупностей на основе анализа процессов обработки;

- анализ параметров систем для контурной обработки и группирование приемлемых сочетаний параметров в классы оборудования;

- выявление комплекса оборудования для обеспечения автоматизации контурной обработки на основе анализа отображения идентифицированных классов объектов обработки в класс оборудования;

Возможность реализации исследуемых технологических операций на применяемых в других производствах аналогах, а также необходимость соответствующих их усовершенствований или проектирования нового оборудования определяется на основе анализа модели, осуществляющей отображение идентифицированных классов объектов обработки в класс оборудования.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации на основании теоретического обобщения в области механики машин и механической технологии в производстве изделий из кожи разработан метод выбора параметров оборудования с учетом технологических и динамических особенностей выполнения автоматизированных операций по контурной обработке. Метод базируется на построении модели преобразования входных показателей, характеризующих объект обработки, в выходные, характеризующие тип оборудования. Оператор модели основан на построении графов, ранги которых характеризуют параметры соответственно контура, технологического процесса и системы для контурной обработки. Для характеристики объекта обработки предложен метод типизации контуров, основанный на представлении сложных контуров в виде табулированных структурированных последовательностей, составленных из отрезков простой структуры.

Предложены методы оценки основных характеристик технологического процесса и оборудования с учетом реальных условий обработки при контурном микропозиционировании:

- количественного анализа погрешностей, влияющих на внешний вид изделия, исходя из условий взаимодействия рабочих органов,

участвующих в обработке;

- расчетного и экспериментального определения оценок значимости элементарных погрешностей на основе замены функциональной связи между элементарной и выходной погрешностями корреляционной;

- динамики движения объекта контурной обработки в различных режимах;

- аппроксимации контуров серии обуви по заданному таблично или в виде шаблона исходному номеру с учетом обеспечения одинаковой точности приближения на каждом номере серии.

Практическая ценность заключается в

- создании основы в виде сгруппированной совокупности типовых контуров для подбора и проектирования автоматизированного оборудования;

- разработке рекомендаций по реализации типовых контуров на основе анализа формообразующих движений; создании схем механизмов на базе унификации параметров контуров;

- разработке конструкций приспособлений, устройств и систем с целью применения их в машинах для выполнения контурной обработки;

- разработке инженерных методов оценки значимости элементарных погрешностей механизмов машин легкой промышленности в реальных условиях их функционирования;

- использовании результатов исследования в учебном процессе.

Результаты работы внедрены:

а. На фабрике "Восход", г. Чимкент (авторское свидетельство); на Татарском производственном швейном объединении, г. Казань (авторское свидетельство); на предприятиях Минлегпрома СССР (результаты по исследованию структуры стежков и изменению крутки ниток), в обувном производстве Объединения ЭКСИ "Спорт", г. Москва (рационализаторское предложение по автоматизации сборки заготовки); на Обувном Объединении "Заря", г. Москва (автоматизация сборки детской обуви);

б. В учебном процессе (материалы использованы при написании создаваемого впервые учебника для ВУЗов легкой промышленности по расчету и конструированию машин и автоматов обувных и швейных производств; в учебных пособиях, в лекционных курсах; при выполнении дипломных работ и др.).

Сведения о внедрении имеются в бюллетенях "Внедренные изобретения", сборнике законченных НИР ВУЗов (1977 г.), соответствующих актах и справках, имеющихся в делах НИСа МТИЛП.

Апробация. Материалы диссертации докладывались, отражены в материалах, получили положительную оценку на научно-технических конференциях институтов МТИЛП (1971, 1973, 1974, 1977 г.г.), ВСТИ (1975 г.); ВТИЛП (1976 г.); на НТС (Секция ОГК) Подольского механического завода им. Калинина (1975 и 1977 г.г.); на Всесоюзных научно-технических семинарах "Применение математических методов и вычислительной техники при разработке и исследовании машин и аппаратов текстильной и легкой промышленности" (г.Тбилиси, 1974 г.), и "Повышение надежности и долговечности машин для текстильной и легкой промышленности" (г.Ташкент, 1977 г.); на научно-техническом семинаре "Механизация и автоматизация в текстильной и легкой промышленности" в Московском Доме научно-технической пропаганды им. Дзержинского (1976 г.), на НТС Объединения "Промшвеймаш" (г.Орша, 1978 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа (без приложений) содержит 335 страниц, включая таблицы, список литературы (270 наименований) и 75 рисунков.

СО Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ

Сложность формы контуров на изделиях из кожи (в первую очередь обуви) обусловила выбор способа типизации объектов контурной обработки - по геометрическим параметрам. Каждый контур представлялся в виде структурированной последовательности, состоящей из совокупности харак-

терных точек и отрезков простой геометрической природы - дуг окружностей и прямолинейных участков. Анализ совокупности элементов контуров позволяют выявить возможные состояния информативных элементов контуров, дифференцировать их по количественным признакам, и на основании установления тождественности или различия этих признаков классифицировать их в идентифицированные совокупности. В качестве отличительных признаков были выделены размер аппроксимирующего элемента и положение его в системе координат или относительно смежных участков.

Анализ конфигурации контуров показал, что вся совокупность их параметров может быть охарактеризована системой множеств:

$$\left. \begin{aligned} L_v &= \{L_{v_k}\} (v_k = 1, 2, 3, \dots, Q_L); \\ R_v &= \{R_{v_k}\} (v_k = 1, 2, 3, \dots, Q_R); \\ \varphi_v &= \{\varphi_{v_k}\} (v_k = 1, 2, 3, \dots, Q_\varphi); \\ \gamma_v &= \{\gamma_{v_k}\} (v_k = 1, 2, 3, \dots, Q_\gamma) \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

и их объединением W .

Здесь L_{v_k} - длины линейных участков, R_{v_k} и φ_{v_k} - соответственно радиусы и центральные углы участков аппроксимирующих дуг, γ_{v_k} - углы между касательными в точках стыка аппроксимирующих отрезков, $Q_{L,R,\varphi,\gamma}$ - объемы соответственно множеств L, R, φ, γ .

С помощью системы (I) любой контур может быть представлен как упорядоченный набор элементов из объединения W и охарактеризован с помощью табл. I:

Таблица I

Параметр	Участок						Положение вектора в конце обработки
		I	2	...	j	...	
R		R_1	R_2	...	R_j	...	R_{j^*} $\pm R$
φ		φ_1	φ_2	...	φ_j	...	φ_{j^*} $\pm \varphi$
L		L_1	L_2	...	L_j	...	L_{j^*} $\pm L$
γ		γ_1	γ_2	...	γ_j	...	γ_{j^*}
ψ		$\varphi_1 - \gamma_1$	$\varphi_2 - \gamma_2$...	$\varphi_j - \gamma_j$...	$\sum \varphi_{j^*} - \sum \gamma_{j^*}$

Таблица дает количественную информацию о параметрах контура, который представлен в виде следа начала вектора \vec{V} подачи.

Анализ совокупности контуров проводился в два этапа. На первом определялись оценки общих характеристик, присущих всей совокупности, осуществлялась их классификация. При этом выявлялись наиболее устойчивые традиции и тенденции трансформации форм контуров. На втором этапе на основании анализа общих свойств контуров, проводилась их типизация путем дифференциации генеральной совокупности по количественным критериям. Это позволило дифференцировать генеральную совокупность на идентифицированные группы типовых контуров (ТК) с определенным диапазоном варьирования параметров внутри группы и дать рекомендации по выбору структуры и конструкции конкретного оборудования для контурной обработки на базе унификации объектов обработки.

Для большей дифференциации объектов обработки ТК разбиваются на объединенные контуры (ОК) с меньшими диапазонами варьирования параметров. Классификация для генеральной совокупности контуров осуществляется с помощью построения деревьев, каждый путь которых, начиная со второго ранга, наращивался двумя ветвями, соответствующими линейному (L) или криволинейному (φ) участкам контура. Предварительно по схеме Бернулли подсчитываются вероятности P_{L_j}, P_{φ_j} ($L = 1, 2, 3, \dots, Q_L$; $j = 1, 2, 3, \dots, j^*$) появления соответствующего участка. Здесь j - ранг дерева (совпадает с номером шага итерации).

Предложенный метод был реализован для генеральной совокупности контуров наружных швов, из которой была сделана достаточного объема представительная выборка ($Q = 750$ контуров) и вероятностные числовые характеристики которой обеспечивают несмещенные состоятельные оценки характеристик генеральной совокупности.

Анализ совокупности контуров позволил выделить группы с идентифицированными геометрическими параметрами. Установлено, что около 30% составляют прямолинейные контуры и около 15% - контуры, которые

могут быть аппроксимированы одним отрезком дуги окружности; около 20% контуров состоят из 3-х участков.

Одними из основных параметров автоматизированных машин являются размер рабочей зоны и объем программноносителя. Размер рабочей зоны определяется габаритом объекта обработки, который в свою очередь может быть оценен вероятностными характеристиками распределения двумерной случайной величины $(a \times b)_c$, где a и b — длины соответственно большей и меньшей сторон прямоугольника минимальной площади, в который вписывается контур. На основании анализа распределения $q(a \times b)_c$ рекомендуются следующие базовые значения оценок зон обработки с учетом ряда нормальных длин по ГОСТ 6636-60, м:

0,10 x 0,01 — наимвероятнейшее значение (мода);

0,16 x 0,04 — среднее значение;

0,40 x 0,14 — зона, охватывающая 98,8% контуров;

0,45 x 0,25 — зона, охватывающая всю совокупность контуров, оцененную представительной выборкой.

В качестве оценок емкостей программноносителей принимались вероятностные числовые характеристики распределения длин $\varphi(L)$ контуров. Это распределение является унимодальным многоэкстремальным. В соответствии с критерием Колмогорова оно было сглажено многоэкстремальной зависимостью

$$\varphi(L) = 0,1e^{-0,0055(L-87,5)} + 0,05e^{-0,0055(L-87,5)} \sin \left[\frac{2}{723} (L-87,5) + \frac{\pi}{2} \right] - 0,027$$

На основании анализа закона распределения $\varphi(L)$ рекомендуется следующий базовый ряд объемов программ, м: 0,085; 0,210; 0,335; 0,460; 0,585; 0,710. Эти значения соответствуют экстремумам плотности вероятности многоэкстремальной зависимости $\varphi(L)$, ранжированным в порядке убывания локальных экстремумов распределения.

Полученные общие оценки характеристик генеральной совокупности должны быть приняты за основу создания оборудования автоматического действия, с единой базой для всей генеральной совокупности контуров

инвариантного изменению форм контуров и со значительным интервалом варьирования объема программы. Такое оборудование базируется на цифровой или следящей системе автоматического управления. Однако создание лишь оборудования с таким широким диапазоном варьирования параметров на первом этапе автоматизации контурной обработки в производстве изделий из кожи экономически не всегда целесообразно в виду большой длительности освоения и значительной стоимости элементов сложных цифровых и следящих систем.

Для значительного числа контуров целесообразно первоначально создание дифференцированного ряда оборудования на основе типизации генеральной совокупности контуров. Как показал анализ, из всего множества контуров, может быть выделена его часть в виде идентифицированных совокупностей, сгруппированных по геометрическим параметрам. С целью идентификации по количественным показателям проведен статистический анализ генеральной совокупности контуров по представительной выборке, которая с помощью системы (I) была представлена в виде систем подмножеств

$$\left. \begin{aligned} L_{1/2}^{(1)} &= \{L_1^{(1)}, L_2^{(1)}, \dots, L_{1/2}^{(1)}\}; \\ L_{1/2}^{(2)} &= \{L_1^{(2)}, L_2^{(2)}, \dots, L_{1/2}^{(2)}\}; \\ L_{1/2}^{(3)} &= \{L_1^{(3)}, L_2^{(3)}, \dots, L_{1/2}^{(3)}\}; \\ R_{1/2}^{(1)} &= \{R_1^{(1)}, R_2^{(1)}, \dots, R_{1/2}^{(1)}\}; \\ \varphi_{1/2}^{(1)} &= \{\varphi_1^{(1)}, \varphi_2^{(1)}, \dots, \varphi_{1/2}^{(1)}\}; \\ \delta_{1/2}^{(1)} &= \{\delta_1^{(1)}, \delta_2^{(1)}, \dots, \delta_{1/2}^{(1)}\}; \\ \delta_{1/2}^{(2)} &= \{\delta_1^{(2)}, \delta_2^{(2)}, \dots, \delta_{1/2}^{(2)}\}; \end{aligned} \right\} (2)$$

Каждое подмножество системы (2) представляет собой набор элементов $L_{j_L}^{(k)}, R_{j_R}^{(k)}, \varphi_{j_\varphi}^{(k)}, \gamma_{j_\gamma}^{(k)}$, входящих в соответствующий k -й контур. Построение ТК и ОК представляет собой группирование k -х упорядоченных наборов элементов системы (2). С этой целью выделяется новая система множеств предусматривающая интервал варьирования параметров контура в пределах одного ТК:

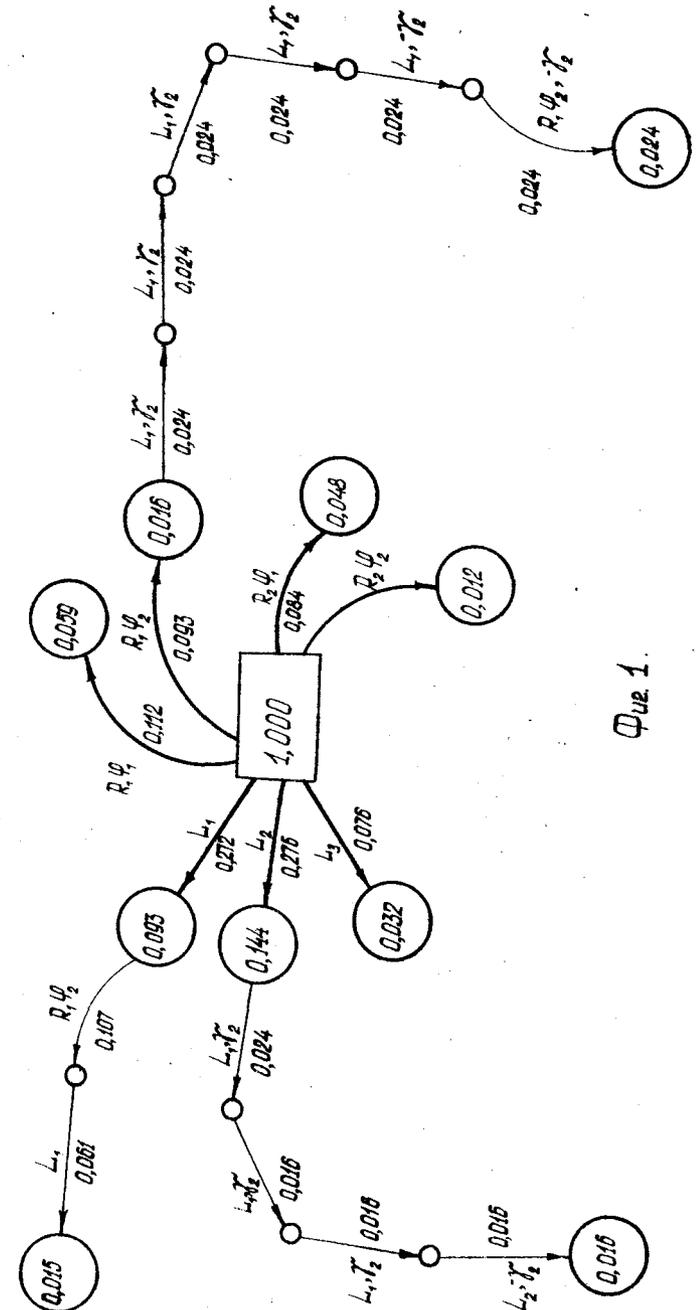
$$\left. \begin{aligned} L &= \{L_1, L_2, \dots, L_{j_L}, \dots, L_{j_L^*}\}; \\ R &= \{R_1, R_2, \dots, R_{j_R}, \dots, R_{j_R^*}\}; \\ \varphi &= \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_{j_\varphi}, \dots, \varphi_{j_\varphi^*}\}; \\ \gamma &= \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{j_\gamma}, \dots, \gamma_{j_\gamma^*}\}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $L_{j_L}, R_{j_R}, \varphi_{j_\varphi}, \gamma_{j_\gamma}$ - интервалы, в пределах которых параметры контуров считаются идентифицированными; $j_L^*, j_R^*, j_\varphi^*, j_\gamma^*$ - число интервалов, на которое разбиваются пределы варьирования величин L, R, φ, γ .

Таким образом, типовыми контурами являются k -е упорядоченные наборы $X_k = \langle L_{j_L}^{(k)}, R_{j_R}^{(k)}, \varphi_{j_\varphi}^{(k)}, \gamma_{j_\gamma}^{(k)} \rangle$ из элементов системы (2), которые содержат объединенные упорядоченные наборы элементов системы (2) $X_i \in X_k$, сгруппированные по условиям $j_i^* = j_k^*; L_j^{(i)} < L_j^{(k)}; R_j^{(i)} < R_j^{(k)}; \varphi_j^{(i)} < \varphi_j^{(k)}; \gamma_j^{(i)} < \gamma_j^{(k)}$. Упорядочение элементов системы (2) осуществлялось также путем построения деревьев итерационным методом.

Диапазоны варьирования L, R, φ, γ в пределах ТК или ОК выбирались на основании анализа их распределений. На фиг. 1. представлено дерево после отсекания ветвей с частотами $q \leq 0,012$. В соответствии с этим деревом составлена таблица типовых контуров (табл. 2), согласно которой можно выделить семь основных типов контуров:

- ТК. I. Прямолинейные.
- ТК. II. Состоящие из одного отрезка дуги окружности.
- ТК. III. Составленные из отрезков прямых различных длин и имеющие в точках стыка прямоугольные изломы.
- ТК. IV. Составленные из двух отрезков прямых и дуги окружности и состыкованные без излома.



Фиг. 1.

Таблица 2.

№	Обозначения составных элементов	Частота,		Длина L , мм (ср. арифмет. значен.)	
		ОК	ТК		
I	1	L_1	0,093	26	
	2	L_2	0,144	0,286	
	3	L_3	0,032	132	
II	4	$(R\varphi)_1$	0,016	29	
	5	$(R\varphi)_2$	0,096	0,145	
	6	$(R\varphi)_3$	0,015	122	
	7	$(R\varphi)_4$	0,015	208	
III	8	$L_1; L_2; \pm \delta_2$	0,016	0,016	127
IV	9	$L_1; R_1; \varphi_2$	0,016	0,073	144
V	10	$R_1; \varphi_2; \pm \delta_2; L_1$	0,024	0,048	215
VI	11	$R\varphi; L; \delta_1$	0,266	0,266	266
VII	12	$R\varphi; L; \delta_1; \delta_3$	0,051	0,051	243
Всего			0,784	0,885	

ТК.V. Составленные из нескольких отрезков прямых и нескольких дуг окружностей при наличии прямоугольных изломов.

ТК.VI. Эта группа объединяет все контуры независимо от длины и габаритов, не имеющие в стыках участков прямоугольных и остроугольных изломов и точек возврата и не вошедшие в предыдущие пять групп.

ТК.VII. Последняя группа объединяет все контуры, не вошедшие в предыдущие шесть групп и имеющие острые углы и точки возврата.

Контуры ТК.I и ТК.II в соответствии с разбиением их параметров подразделены на несколько объединенных контуров (ОК); ТК.III-ТК.V содержат по одному ОК; ТК.VI-ТК.VII комплектуются из отдельных единичных контуров (ЕК). Полученные семь ТК объединяют около 90% генеральной

совокупности обувных швов.

Геометрическим параметрам ТК должны быть поставлены в соответствие параметры автоматизированных систем для обработки контуров. По опыту эксплуатации аналогичных систем в различных отраслях промышленности и с учетом особенностей контурной обработки в производстве изделий из кожи можно выделить следующие параметры систем для перемещения объекта обработки.

1. Способ перемещения объекта контурной обработки

- A - поступательное перемещение;
- B - сложное с постоянной ориентацией нормали;
- B - сложное с произвольной ориентацией нормали.

2. Способ подачи по контуру

- V_1 - непрерывный;
- $V_2(t)$ - старто-стопный.

3. Скорость ведущего звена системы для перемещения объекта обработки

- ω_1 - нерегулируемая в течение всего технологического цикла;
- ω_2 - изменяющаяся в зависимости от формы контура.

4. Способ программирования перемещения

- Π_1 - кулачковые системы прямого действия;
- Π_2 - координатные системы прямого действия, в которых программно-носитель выполнен по форме контура или по эквидистанте к нему;
- Π_3 - системы с усилением;
- Π_4 - цифровые системы;
- Π_5 - системы путевого управления.

5. Способ фиксации объекта обработки в транспортирующем органе:

- $З_1$ - закрепление с постоянным наложением связей в области всего контура,
- $З_2$ - закрепление с временным наложением связей.

Выбор варианта системы для автоматизированной контурной обработки должен осуществляться с учетом обеспечения точности и качества вы-

полнения операции; минимизации динамических нагрузок на элементы системы; условий взаимодействия инструментов, участвующих в выполнении технологического процесса.

ТОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ

Одним из основных показателей качества функционирования оборудования и изготовления изделия является точность выполнения технологической операции, которая характеризуется величиной невязки

$$\Delta = f_n(L) - f_d(L),$$

где $f_n(L)$ и $f_d(L)$ - соответственно заданная и воспроизводимая при обработке функции, L - обобщенная координата.

Базой для точностных расчетов при контурной обработки в производстве изделий из кожи являются основные положения теории точности, разработанные и развитые Н.Г.Бруевичем, Н.А.Бородачевым, Б.С.Балахшиным, Н.А.Калашниковым, А.Н.Гавриловым, В.И.Сергеевым, А.И.Якушевым и др., и богатый опыт по фундаментальным исследованиям точности оборудования и производства в различных отраслях машиностроения, приборостроения и т.д.

Однако особенности контурной обработки в производстве изделий из кожи (сложность и многообразие контуров, сложная структура применяемых материалов, необходимость прокола материала иглой, наличие нити ...); малая оперативная информативность объекта обработки о качестве выполнения операции (малая жесткость и толщина материала, недостаточная четкость и чистота поверхностей); большие скорости и ускорения звеньев оборудования; сложность взаимодействия инструментов в процессе выполнения технологического процесса (так, при выполнении швов на каждом стежке осуществляется фактически сборочная операция по образованию переплетения) требуют создания схемы образования суммарной погрешности с учетом специфики производства, разработки методов анализа точности, определения или прогнозирования характеристик составных элементов, определяющих суммарную погрешность и качество об-

работки.

В процессе проектирования или подбора оборудования решаются прямая (распределительная) и обратная точностные задачи.

Основное условие обеспечения заданной точности обработки изделия может быть записано

$$\Delta_z \leq \varepsilon, \quad (3)$$

где ε - технологический допуск на контурную обработку, Δ_z - суммарная погрешность обработки.

При наличии систематических и случайных составляющих $\Delta_z(t)$, изменяющихся по времени, зависимость (3) преобразуется в соотношение

$$M\{\Delta_z(t)\} + 3\sigma\{\Delta_z(t)\} \leq \varepsilon(t),$$

которое по определению Н.Г.Бруевича и В.И.Сергеева характеризует надежность по точности. Здесь $M\{\Delta_z(t)\}$ и $\sigma\{\Delta_z(t)\}$ - соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение суммарной погрешности в функции времени t .

С целью выявления влияния каждой Δ_i составлена схема образования суммарной погрешности Δ_z контурной обработки в производстве изделий из кожи, (фиг.2). На схеме обозначены погрешности: Δ_M - полуфабриката до обработки его на исследуемой операции (включает погрешности: Δ_M, Δ_K - от объединения в одну группу обработки контуров соответственно нескольких смежных номеров и схожих по конфигурации; Δ_Φ - формы и размеров, вызванная неточностью выполнения предыдущих операций); Δ_α - аппроксимации контура; Δ_M - обработки, определяющая точность системы, выполняющей исследуемую операцию; $\Delta_n, \Delta_{CT}, \Delta_{изг}$, Δ_p - возникающие соответственно при проектировании, синтезе механизмов, изготовлении и эксплуатации оборудования; $\Delta_p, \Delta_{изн}, \Delta_p$ - соответственно деформации деталей, износа пар, разладки систем; $\Delta_{сб}$, $\Delta_{сб}$ - соответственно изготовления деталей и сборки механизмов; $\Delta_{сн}$ - определяемая условиями взаимодействия рабочих органов машины в процессе контурной обработки в зависимости от способа перемещения

щей длиннотное изменение размеров контуров.

Погрешность Δ_k зависит от состава группы и способа перемещения объекта обработки, принятого на исследуемой операции. Она может быть рассмотрена по аналогии с Δ_n на основании теории случайных функций. В том случае, если контуры, включенные в одну группу, идут вперемешку, то $P(x)$ будет случайной функцией.

Анализ контуров на полуфабрикатах, прошедших предварительную обработку показал, что они с учетом погрешности Δ_p достаточно точно полностью или кусочно могут быть описаны зависимостью

$$F(x) = Y(x) + \sum_{\rho=1}^{\rho^*} A_{\rho} \sin \left[\frac{2\pi}{L_x} (\rho x + X_{\rho}) \right],$$

где $Y(x)$ - случайная функция, характеризующая размер контура, L_x - проекция контура на ось x , A_{ρ} - амплитуда ρ -й гармоники, X_{ρ} - фаза ρ -й гармоники, ρ^* - параметр, характеризующий высшую гармонику, учитываемую при оценке точности формы контура.

Замеры показали, что A_{ρ} и X_{ρ} являются случайными величинами, при этом A_{ρ} распределена по нормальному закону, а плотность вероятности X_{ρ} будет

$$\varphi(X_{\rho}) = \begin{cases} \frac{1}{L_x} & 0 \leq X_{\rho} \leq L_x; \\ 0 & 0 > X_{\rho}, L_x \leq X_{\rho}. \end{cases}$$

Тогда вероятностными характеристиками Δ_k будут математическое ожидание $M\{F(x)\} = M\{Y(x)\}$;

дисперсия $D_{F(x)}(x) = \sigma^2\{Y(x)\} + \frac{1}{2}(M^2\{A_{\rho}\} + \sigma^2\{A_{\rho}\})$;

нормированная корреляционная функция $K_{F(x)}^0(x_1, x_2) =$

$$= \frac{K\{Y(x_1), Y(x_2)\} + \frac{1}{2}(M^2\{A_{\rho}\} + \sigma^2\{A_{\rho}\}) \cos \left[\frac{2\pi\rho}{L_x} (x_2 - x_1) \right]}{\sqrt{[\sigma^2\{Y(x_1)\} + \frac{1}{2}(M^2\{A_{\rho}\} + \sigma^2\{A_{\rho}\})][\sigma^2\{Y(x_2)\} + \frac{1}{2}(M^2\{A_{\rho}\} + \sigma^2\{A_{\rho}\})]}}$$

где $K\{\}, M\{\}, \sigma\{\}$ - соответственно, ковариация, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение величин, указанных в скобках. Если исключить погрешность размера, то корреляционная функция будет зависеть лишь от разности переменных ($x_2 - x_1$) и функцию $F(x)$ можно рассматривать как стационарную.

Вид и характер функции $\Delta_{cn}(L)$ зависит от особенностей исследуемого технологического процесса. Чтобы учесть ее в общей суммарной погрешности Δ_{Σ} , она должна быть выражена с помощью количественных зависимостей от факторов, определяющих условия взаимодействия инструментов при контурной обработке.

Для процесса выполнения швов на изделиях из кожи Δ_{cn} будет во многом определять внешний вид, а следовательно и качество изделия. Количественная оценка Δ_{cn} осуществляется по параметрам α_i и δ_i - соответственно по углу наклона стежка к линии шва и длине его внешнего участка. Линия шва строится с помощью последовательного совместного решения системы

$$\left. \begin{aligned} y &= f(x) \\ (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 &= L_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

что позволяет определить последовательность координат $x_{i+1}, y_{i+1}; x_{i+2}, y_{i+2}; \dots; x_n, y_n$ точек прокола A_i на оси шва, которые в общем случае являются вершинами ломаной линии. Здесь L_i - шаг стежков, n - число проколов на контуре шва, $f(x)$ - зависимость, описывающая контур. Ось шва представляет кусочную последовательность отрезков, определяемых уравнениями

$$\begin{aligned} B_{L_1} x + B_{L_1} y + \Gamma_{L_1} &= 0; \\ B_{L_i} x + B_{L_i} y + \Gamma_{L_i} &= 0; \\ B_{L_n} x + B_{L_n} y + \Gamma_{L_n} &= 0, \end{aligned}$$

где в соответствии с (4):

$$B_{L_i} = y_{i+1} - y_i; \quad B_{L_i} = -(x_{i+1} - x_i); \quad \Gamma_{L_i} = y_i x_{i+1} - x_i y_{i+1}.$$

Величина и знак α во многом зависит от ориентации осей отверстия от иглы и вида переплетения нитей в шве. Для заточки иглы в виде лопаточки, исходя из условия пересечения в точке прокола A_i трех осей (шва, стежка и прорези) предложены зависимости для определения α_i и S_i :

$$\alpha_i = \arctg \frac{k_{S_i} - k_{L_i}}{1 + k_{S_i} k_{L_i}}, \quad S_i = \sqrt{(X_{\alpha_i}^+ - X_{\alpha_i}^0)^2 + (Y_{\alpha_i}^+ - Y_{\alpha_i}^0)^2}$$

где $X_{\alpha_i}^0, X_{\alpha_i}^+, Y_{\alpha_i}^0, Y_{\alpha_i}^+$ - координаты соответственно точек α_i и α_{i+1} выхода и вклада нитки из материала и в материал; k_{S_i}, k_{L_i} - угловые коэффициенты соответственно осей стежков и шва. При этом

$$k_{S_i} = -\frac{B_{S_i}}{B_{L_i}} = \frac{Y_{L_{i+1}} - Y_i + \frac{L_i}{\sqrt{1+k_{L_i}^2}} + \frac{L_{i+1}}{\sqrt{1+k_{L_{i+1}}^2}}}{X_{L_{i+1}} - X_i - \frac{L_i}{\sqrt{1+k_{L_i}^2}} - \frac{L_{i+1}}{\sqrt{1+k_{L_{i+1}}^2}}}; \quad k_{L_i} = -\frac{B_{L_i}}{B_{S_i}} = \frac{Y_{L_{i+1}} - Y_i}{X_{L_{i+1}} - X_i}$$

$$X_{\alpha_i}^0 = X_i + \frac{L_i}{\sqrt{1+k_{L_i}^2}}; \quad Y_{\alpha_i}^0 = Y_i + \frac{L_i}{\sqrt{1+k_{L_i}^2}};$$

$$X_{\alpha_{i+1}}^+ = X_{L_{i+1}} - \frac{L_{i+1}}{\sqrt{1+k_{L_{i+1}}^2}}; \quad Y_{\alpha_{i+1}}^+ = Y_{L_{i+1}} + \frac{L_{i+1}}{\sqrt{1+k_{L_{i+1}}^2}}.$$

Для случая поступательного перемещения объекта обработки и радиусографического описания контура шва предложены более простые зависимости

$$\alpha_i = \arctg \left(\frac{\sin \psi}{\frac{c L_i}{d_H} - \cos \psi} \right); \quad S_i = \frac{d_H \sin \psi}{\sin \alpha}$$

где d_H - диаметр нитки, c - поправочный коэффициент.

Экспериментальная проверка показала, что предложенные зависимости достаточно точно отражают реальные значения α_i и S_i , при этом $C \approx 0,5$.

Аналогичные зависимости получены для более сложных заточек. Установлено, что для выполнения швов сложной формы с точки зрения стабильности α_i целесообразно применять треугольную заточку.

На участке плавного изменения α и S разброс их значений, определяющий Δ_{cn} , может быть найден с помощью уравнения

$$\frac{d\alpha}{dL} = \frac{dS}{dL} = 0$$

Путем решения этого уравнения можно найти экстремальные величины α и S , разности которых позволят определить соответствующие значения погрешности Δ_{cn} : $\alpha_{max} - \alpha_{min} = \Delta_{cn}^{\alpha}$; $S_{max} - S_{min} = \Delta_{cn}^S$ и сравнить их с допускаемыми на рассматриваемом отрезке контура значением $[\Delta_{cn}]$. Таким образом, погрешность Δ_{cn} зависит от условий взаимодействия инструментов, участвующих в выполнении технологического процесса и при обработке по контуру неизменной формы и размеров на одной и той же машине является систематической.

В работе рассмотрено также изменение α и S при наличии коррекции запрограммированного закона движения объекта обработки.

В процессе эксплуатации оборудования происходит изменение вероятностных характеристик элементарных составляющих, а следовательно и суммарной погрешности Δ_x . Процесс отыскания области выполнения соотношения (3) сводится к нахождению момента

$$\sup F_{\Delta_x}(L_{ij}, t) \geq F_{\epsilon}(L_{ij}, t) \quad (i=1,2,3,\dots, n; j=1,2,3,\dots, m), \quad (5)$$

где F_{Δ_x} и F_{ϵ} - поля над плоскостью L_{ij}, t , определяющие изменение Δ_x и ограничения ϵ ; L_{ij} - обобщенная координата, определяющая положение системы для перемещения в соответствующий i -й момент времени при обработке по j -му контуру; t - время.

Задача рассматривается разделением процесса изменения соотношения (3) на моноцикловые и полицикловые процессы.

Моноцикловые процессы сопровождаются периодическим изменением вероятностных характеристик процесса с периодом, равным j -му технологическому циклу, т.е. за время t_j , соответствующее L_j .

Каждое i -е сечение зависимости $f_{\Delta_x}(L_j)$, составленной для первого контура, при обработке на новой, отлаженной и обкатанной

машине, следует принимать за исходное значение диаграммы полициклового изменения точностной диаграммы. При этом в силу моноцикловых изменений условие (5) должно проверяться в каждом m -м сечении. Полицикловые процессы сопровождаются необратимыми изменениями точностных характеристик, действие этих процессов наблюдается на интервале времени

$$T_K = T_{K-1} + \sum_{j=1}^{m_K} t_j \gg t_j,$$

так как m_K (число деталей, обработанных за период T_K) при нормальной работе значительно. Здесь T_K - период бесперебойной работы оборудования. В точке K система, осуществляющая контурную обработку, получает воздействующий импульс, который может быть вызван приемами обслуживания и эксплуатации оборудования, изменением одного из составляющих исходной погрешности.

Анализ эксплуатации оборудования для контурной обработки в производстве изделий из кожи показал, что процессы изменения вероятностных характеристик могут быть плавными и скачкообразными. Первые имеют место на протяжении периода T_K . Среди этих процессов следует выделить износ трущихся пар. При этом в зависимости от наличия доминирующего фактора, ориентирующего элементы кинематических пар в поле зазора изменение характеристик происходит различно: а) при наличии - существенное смещение центра группирования $M(L_{T_K})$ и незначительное изменение рассеивания случайной составляющей $\xi(L_{T_K})$; б) при отсутствии - существенное изменение поля рассеивания случайной составляющей $\xi(L_{T_K})$ и незначительное смещение центра группирования $M(L_{T_K})$. Во втором случае наблюдается нестабильность работы машины.

Скачкообразные изменения происходят при наладке и ремонте оборудования; переналадке его на другой размер изделия и форму контура без замены или со сменой программы обработки; изменение технологии выполнения операций до обработки полуфабриката; поступление полуфабрикатов с новыми качествами.

Рассмотренные выше элементарные погрешности должны быть с учетом характера их изменения суммированы и приведены на исследуемой позиции к выходному ведомому звену, по которому определяется точность перемещения объекта контурной обработки. В качестве математической модели для решения этой задачи использованы известные приемы суммирования систематических и случайных составляющих:

математическое ожидание $M\{\Delta_{\Sigma i}\} = A_{i0} + \sum_{\rho=1}^n \sum_{S_p^*}^{S_p^*} A_{i\rho S_p} M\{\chi_{\rho S_p}\}$ ($i=1,2,3,\dots,n$);

$$\begin{aligned} \text{дисперсия } D\{\Delta_{\Sigma i}\} = & \sum_{\rho=1}^n \sum_{S_p^*}^{S_p^*} A_{i\rho S_p}^2 D\{\chi_{\rho S_p}\} + \\ & + \sum_{\substack{S_p^* \\ S_p^*}}^{S_p^*} A_{i\rho S_p} A_{i\rho S_p'} \rho\{\chi_{\rho S_p} \chi_{\rho S_p'}\} \sigma\{\chi_{\rho S_p}\} \sigma\{\chi_{\rho S_p'}\} + \\ & + \sum_{\substack{S_p^* \\ S_p^*}}^{S_p^*} A_{i\rho S_p} A_{i\rho' S_p'} \rho\{\chi_{\rho S_p} \chi_{\rho' S_p'}\} \sigma\{\chi_{\rho S_p}\} \sigma\{\chi_{\rho' S_p'}\}, \quad (5') \end{aligned}$$

где $\chi_{\rho S}$ - элементарные составляющие; $A_{i\rho S}$ - передаточные отношения при элементарных составляющих; A_{i0} - постоянные составляющие погрешностей; S_p^* - число погрешностей, входящих в ρ -ую группу; ρ - число групп погрешностей; n - число точек приближения на контуре; $\rho\{\}$ - коэффициент корреляции между соответствующими погрешностями; $\sigma\{\}$ - среднеквадратические отклонения соответствующих составляющих.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАНОЙ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Наибольший интерес и сложность представляет решение прямой задачи - синтез суммарной погрешности, т.е. нахождение на множестве элементов $\chi\{\chi_S\}$ оптимального в соответствии с целевой функцией $F(\chi_S)$ значения $\chi^*\{\chi_S^*\}$. В работе впервые исследован вопрос решения такой задачи для кинематических цепей в условиях контурного позиционирования, когда передаточные отношения при неизвестных непостоянны. Наиболее эффективно поставленная задача может быть решена, если в ее условия включить элементарные погрешности всего технологического комплекса

контурной обработки, т.е. Δ_n и Δ_m . Однако, как показал анализ, большинство погрешностей Δ_n являются трудно корректируемыми без существенной перестройки производства. Кроме того нет необходимых данных по выявлению обобщающего критерия, увязывающего в одну задачу вопросы изготовления полуфабриката и вопросы создания и эксплуатации оборудованья. В диссертации погрешности Δ_n определялись путем решения прямой задачи и включения ее составляющих в ограничения в виде констант, а также исследовано изменение $X^*\{X_s^*\}$ при варьировании Δ_n .

Рассмотрены прямые задачи: а) оптимального синтеза Δ_Σ с учетом экономичности изготовления и надежности работы оборудованья, б) уточнения параметров механизмов. Распределительная задача а решалась по объединенной целевой функции

$$\min (C+T),$$

где C и T - относительные отклонения целевых функций соответственно по экономическому критерию и критерию долговечности пар механизмов от их квазиоптимальных значений.

$$\text{Здесь } C = \left| 1 - \frac{C(X_s)}{C(X_s^*)} \right|; \quad T = \left| 1 - \frac{T(X_s)}{T(X_s^*)} \right|.$$

Звездочками помечены квазиоптимальные значения отдельных целевых функций.

Выполненный анализ производства заводов, изготавлиющих точное оборудованье для легкой промышленности, показал, что зависимость между стоимостью и точностью изготовления деталей соответствует известной зависимости

$$C_s = D_s + \frac{E_s}{X_s^{P_s}}$$

где X_s - текущее значение предела изменения допуска на s -й размер; D_s, E_s, P_s - константы, которые определялись экспериментальным и расчетным путем. Эта зависимость была использована для составления целевой функции по экономическому критерию. В качестве ограничений использованы зависимости (5) с учетом контурного позиционирования.

При отыскании квазиоптимального решения по критерию $T(X_s^*)$ времени работы трущейся пары до полного износа - использована случайная функция $J(t) = \gamma f(t)$, где $J(t)$ - износ кинематических пар; γ и $f(t)$ - соответственно случайный коэффициент и координатная функция разложения, t - время.

Случайность процесса в первую очередь обуславливается непостоянством давления в кинематических парах при одном и том же положении механизмов на различных циклах.

Предложенная математическая модель была реализована для механизма перемещения объекта обработки, применяемого в короткошовных полуавтоматах. Значения коэффициентов для целевой функции $C_s(X_s)$ и ограничений брались по данным Подольского механического завода (ПМЗ) им. Калинина. Расчет проводился в вычислительном центре МТИИЛ на ЭВМ "Наири-К".

Решение задачи б приходится осуществлять, когда для исследуемой операции используется готовое оборудованье, применяемое на сходных операциях, или когда параметрический синтез осуществлялся приближенно, и имеется невязка Δ . В диссертации предложен метод минимизации небольших невязок $\Delta = f(L)$ (6). В условиях позиционирования зависимость (6) заменяется дискретными значениями Δ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Давая каждому параметру g_s системы приращения X_s в пределах линейной зависимости между элементарной и суммарной погрешностями, последнюю можно представить в виде суммы $\Delta_{\Sigma i} = \sum_{s=1}^{S^*} A_{i s} X_s$, где $A_{i s}$ - передаточное отношение. При этом задача сводится к отысканию оптимальных значений $X^*\{X_s\}$, минимизирующих разность $\Delta_i - \Delta_{\Sigma i}$ с учетом ограничений $0 \leq X_s \leq X_s^{(m)}$ (7) где $[0, X_s^{(m)}]$ - интервал изменения X_s в пределах линеаризации $A_{i s}$; m - шаг итераций. Задача приведена к минимизации суммы $\delta = X_{S^*+1} + X_{S^*+2} \rightarrow \min$

по условиям (7) и

$$\Delta_1 - \sum_{s=1}^{s^*} A_{1s} X_s = 0,5 (X_{s^*+1} + X_{s^*+2}) - X_{s^*+2};$$

$$\Delta_2 - \sum_{s=1}^{s^*} A_{2s} X_s = 0,5 (X_{s^*+2} + X_{s^*+3}) - X_{s^*+3};$$

.....

$$\Delta_n - \sum_{s=1}^{s^*} A_{ns} X_s = 0,5 (X_{s^*+1} + X_{s^*+2}) - X_{s^*+2n-1};$$

$$-\Delta_n + \sum_{s=1}^{s^*} A_{ns} X_s = 0,5 (X_{s^*+1} + X_{s^*+2}) - X_{s^*+2n}$$

Если после решения задачи на первом шаге итерации не будет обеспечено необходимое уменьшение невязки Δ_i , осуществляется повторное решение с уточнением передаточных отношений $A_{i,s}$. Задача решалась симплекс-методом на ЭВМ "Наири-К".

Одним из основных этапов точностного исследования является оценка значимости элементарной погрешности, т.е. влияния ее на суммарную выходную. Существующие методы оценки с помощью передаточных отношений для механизмов основываются на детерминированных связях между элементарной и суммарной погрешностями.

Предлагается передаточное отношение определять с помощью замены функциональной связи $Y_s = f(q_s)$ корреляционной зависимостью, построенной с учетом рассеивания параметров механизмов в поле допусков. В малом диапазоне изменения погрешностей стохастическая модель приводится к линейной регрессии

$$\bar{A}_g = \rho \{Y_s, q_s\} \frac{\sigma \{Y_s\}}{\sigma \{q_s\}}, \quad (8)$$

где \bar{A}_g - передаточное отношение при S -й погрешности, $\rho \{ \}$ и $\sigma \{ \}$ - соответственно коэффициент корреляции и среднее квадратическое отклонение величины, указанных в скобках. С помощью изложенного метода можно смоделировать процесс опытного определения передаточного отношения по выборке объемом N из генеральной совокупности механизмов, выполненных по одному проекту. Строится математическая модель, отражаю-

щая связь Y_s и q_s с учетом погрешностей X_j , имеющих определенный закон распределения. Используя метод статистических испытаний, формируются законы распределения выходной погрешности Δ_x , в зависимости от изменения пределов варьирования элементарной X_j .

Алгоритм определения передаточного отношения \bar{A}_g был реализован для механизма перемещения объекта обработки короткошовного полуавтомата ПМЗ им. М.И.Калинина.

Установлено, что имеет место расхождение значений A_g и передаточных отношений A_a , подсчитанных детерминированными методами, причем в некоторых случаях значительные, например передаточные отношения при X_2, X_4, X_8 .

С целью проверки достоверности полученных результатов было проведено экспериментальное моделирование элементарных погрешностей на том же механизме. Элементарным погрешностям давались приращения и измерялась координата ведомого звена, на котором закрепляется объект обработки. Замер положения ведомого звена осуществлялся бесконтактным способом с помощью индуктивного датчика соленоидного типа.

Передаточные отношения A_g имеют значительно большее сходство с A_g , чем с A_a . Так, погрешности X_2 и X_4 в реальных условиях не оказывают влияние на Δ_x , т.к. передаточные отношения A_{g2}, A_{g4}, A_{g8} незначительны. Они были исключены при решении прямой задачи (см. выше).

Анализ осциллограмм показал, что на взаимосвязь X_s и Δ_x существенное влияние оказывает наличие доминирующего фактора, определяющего закон дополнительного движения элементов в поле зазора и замыкание в кинематических парах, имеющих существенный зазор. В условиях позиционирования и больших ускорений, с которыми работают звенья механизмов для контурной обработки, таким доминирующим фактором является сила инерции. При наличии доминирующего фактора задача нахождения передаточных отношений может быть приведена в значительной степени к

определенности и детерминированным связям.

В диссертации рассмотрены движения звеньев, имеющих в соединении зазор, в условиях замыкания. Исследовались две системы, у которых ведущим звена являлся кривошип радиусом r , вращающийся с угловой скоростью ω_1 , с зазором: 1) в линейной направляющей (а) подвижной и б) неподвижной; 2) в цилиндрической паре.

Система 1а приводится к кулисной паре со смещением осей кривошип и кулисы α . В один из моментов совместного движения происходит разрыв контакта в паре. Если при этом угловое ускорение кулисы $\varepsilon = 0$, то закон выбирания зазора в паре будет определяться уравнением

$$\frac{J_2 \omega_{2max}^2}{2} - \frac{J_2 \left(\frac{d\psi_2}{dt}\right)^2}{2} - M_c \psi_2 = 0,$$

где ψ_2 , ω_{2max} и J_2 - соответственно угол поворота, максимальная угловая скорость и момент инерции кулисы относительно оси вращения; M_c - момент сопротивления движению кулисы (в основном - силы инерции).

В общем случае при $\varepsilon \neq 0$, закон движения кулисы будет $M'' - M_c = 0$, где $M'' = -J_2 \frac{d^2\psi_2}{dt^2}$.

Тогда дополнительное движение кулисы в поле зазора будет определяться зависимостью

$$\delta(\varphi_1) = \delta_1 + \sqrt{\alpha^2 + r^2 - 2\alpha r \cos \varphi_1} \sin \left\{ \psi_0 - \frac{1}{h} \left[1 - \frac{h \omega_{02} (\varphi_1 - \varphi_0)}{\omega_1} \right] - \arccos \frac{r \cos \varphi_1 - \alpha}{\sqrt{\alpha^2 + r^2 - 2\alpha r \cos \varphi_1}} - \arcsin \frac{\delta_1}{\sqrt{\alpha^2 + r^2 - 2\alpha r \cos \varphi_1}} \right\},$$

где δ_1 , h , ω_{02} , ψ_0 , φ_0 - параметры системы, φ_1 - угол поворота кривошипа.

В случае 1б, для кривошипно-ползунного механизма, когда имеется зазор в направляющей, закон движения шатуна в поле зазора запишется

$$\frac{J_2 \omega_{2max}^2}{2} - \frac{J_2 \left(\frac{d\beta}{dt}\right)^2}{2} - M_c \beta = 0,$$

где β , ω_{2max} , J_2 - соответственно угол поворота, максимальная угловая скорость и момент инерции шатуна относительно оси соединения ее с кривошипом.

Закон выбирания зазора будет

$$\delta(\varphi_1) = l \sin(-\alpha \varphi_1^2 + \lambda \varphi_1) - r \sin \varphi_1,$$

где l - длина шатуна, α, λ - параметры механизма, φ_1 - угол поворота кривошипа.

При наличии зазора в цилиндрической паре кривошип-шатун (случай 2) система может быть приведена к определенности лишь при наличии постоянного замыкания сопряженных пар. Для этого необходимо обеспечить соотношение

$$\frac{\Phi(\varphi_1)}{T(\varphi_1)} > 1.$$

Функция $T(\varphi_1)$ характеризует силу, которую необходимо приложить к головке шатуна, чтобы обеспечить постоянный контакт в паре; $\Phi(\varphi_1)$ характеризует реальное значение силы, которая возникает в исследуемой системе при заданных ее параметрах. При этом

$$\Phi(\varphi_1) = \begin{cases} -N(\varphi_1)f & 0 \leq \varphi_1 \leq \pi, \\ N(\varphi_1)f & \pi \leq \varphi_1 \leq 2\pi, \end{cases}$$

$$T(\varphi_1) = \frac{D_r}{D}, \quad N(\varphi_1) = \frac{D_N}{D},$$

где D , D_N , D_r - определители системы, характеризующей условие равновесия шатуна, f - коэффициент трения в точке контакта.

Постоянство контакта будет обеспечено при соблюдении соотношения

$$\frac{\omega_1 (r + \delta)}{g} - 1 \geq \frac{1}{f},$$

где g - ускорение свободного падения.

Движение элементов пар в поле зазора в рассмотренных выше режимах следует учитывать как дополнительное движение при определении передаточных отношений.

ДВИЖЕНИЕ ОБЪЕКТА КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

Скоростной режим автоматизированных машин, применяемых для контурной обработки в легкой промышленности, обычно лимитируется динамическими нагрузками, возникающими в исполнительных механизмах перемещения объекта обработки. При создании таких машин стремятся к минимизации значений кинетической энергии E подвижных частей, связанных с объектом обработки, и мощности N , необходимой для их перемещения, в первую очередь экстремальных значений E_{max} и N_{max} . Эти динамические показатели определяют характеристики систем управления; массы и габариты их подвижных частей; нагрузки на звенья; давления в кинематических парах; точность, надежность и долговечность систем для перемещения объекта обработки и всей машины в целом. В автоматизированных машинах для контурной обработки это тем более важно, что в них для обеспечения движения по сложным траекториям обычно применяются несколько приводов, часть из которых располагается на подвижных основаниях со всей системой управления и источником механической энергии.

В процессе выполнения технологической операции объекты контурной обработки совершают сложные движения в зависимости от способов перемещения (A, B, B) и подачи (V_x, V_y), формы контура, по которому осуществляется обработка.

Сравнение способов перемещения осуществлялось по безразмерным относительным величинам, которые называют критериями (коэффициентами K) качества системы: максимальной кинетической энергии, которой обладает движущийся объект обработки (K_E) и максимальной суммарной мощности (K_N).

Приняв в качестве стандарта характеристики способа A , можно записать

$$K_{AE} = 1; K_{BE} = \frac{E_{Bmax}}{E_{Amax}} = \frac{(\dot{X}_B^2 + \dot{Y}_B^2 + \lambda^2 \dot{\varphi}_B^2)_{max}}{(\dot{X}_A^2 + \dot{Y}_A^2)_{max}};$$

$$K_{BE} = \frac{E_{Bmax}}{E_{Amax}} = \frac{(\dot{X}_B^2 + \dot{Y}_B^2 + \lambda^2 \dot{\varphi}_B^2)_{max}}{(\dot{X}_A^2 + \dot{Y}_A^2)_{max}},$$

где E_{max} , X, Y, φ — соответственно максимальная кинетическая энергия объекта обработки для различных способов перемещения (A, B, B) и составляющие перемещений по соответствующим осям координат в функции времени или обобщенной координаты; $\lambda^2 = \frac{\alpha^2 + \beta^2}{12}$; α и β — габаритные размеры контура.

Аналогично определялись коэффициенты максимальной мощности

$$K_{AN} = 1; K_{BN} = \frac{N_{Bmax}}{N_{Amax}} = \frac{(|\dot{X}_B \dot{X}_B| + |\dot{Y}_B \dot{Y}_B| + |\lambda^2 \dot{\varphi}_B \dot{\varphi}_B|)_{max}}{(|\dot{X}_A \dot{X}_A| + |\dot{Y}_A \dot{Y}_A|)_{max}};$$

$$K_{BN} = \frac{N_{Bmax}}{N_{Amax}} = \frac{(|\dot{X}_B \dot{X}_B| + |\dot{Y}_B \dot{Y}_B| + |\lambda^2 \dot{\varphi}_B \dot{\varphi}_B|)_{max}}{(|\dot{X}_A \dot{X}_A| + |\dot{Y}_A \dot{Y}_A|)_{max}}$$

и распределения энергии и мощности по каналам управления

$$K_{iXE} = 1; K_{iYE} = \frac{y_i^2_{max}}{x_i^2_{max}}; K_{i\varphi E} = \frac{\lambda^2 \varphi_i^2_{max}}{x_i^2_{max}} \quad (i = A, B, B),$$

$$K_{iXN} = 1; K_{iYN} = \frac{|\dot{Y}_i \dot{Y}_i|_{max}}{|\dot{X}_i \dot{X}_i|_{max}}; K_{i\varphi N} = \frac{|\lambda^2 \dot{\varphi}_i \dot{\varphi}_i|_{max}}{|\dot{X}_i \dot{X}_i|_{max}}$$

Вид зависимостей для определения кинематических характеристик, входящих в представленные формулы, зависит от способа математического описания контура. Наиболее простые зависимости получаются при радиусографическом способе аппроксимации контуров. Однако в этом случае в точках стыка аппроксимирующих отрезков вторые производные имеют скачок, что вносит неопределенность в динамические характеристики в этих точках. Кроме того, с изменением номеров и полнот обуви приходится строить новую композицию аппроксимирующих отрезков, что приводит к новым положениям точек стыков и центров аппроксимирующих окружностей. При этом трудно будет сопоставить результаты динамических характеристик для различных номеров и полнот обуви. Изложенное выше поставило задачу разработки методов аппроксимации серии контуров по таблично заданному исходному.

В соответствии с поставленными задачами были получены зависимо-

ти для определения кинематических характеристик объекта обработки при различных режимах движения объекта обработки и способах описания контура:

I. Радиусографический способ описания контура

1) Непрерывная подача по контуру с постоянной скоростью V_1

- а. Поступательное движение (способ А),
- б. Сложное движение (способы Б и В);

2) Стартостопная подача по контуру со скоростью V_2

- а. Поступательное движение (способ А),
- б. Сложное движение (способ В);

II. Описание контура с помощью зависимости

1) Непрерывная подача по контуру с постоянной скоростью V_1

- а. Поступательное движение (способ А),
- б. Сложное движение (способ Б),

в. Сложное движение (способ В);

2) Стартостопная подача по контуру со скоростью V_2

Подсчитанные по приведенным зависимостям коэффициенты K_E и K_N сведены в таблицу. Их значения использованы при выборе предпочтительного способа перемещения объекта контурной обработки.

При определении кинематических характеристик в процессе контурной обработки в обувном производстве следует учитывать полнотно-размерные отличия параметров контуров. Поэтому математическая модель, описывающая контур на обуви, должна составляться с учетом аппроксимации всей или части серии номеров обуви. В диссертации предложен метод кусочной аппроксимации контуров на обуви, каждый участок которого описывается функцией $f(x)$ с одинаковой степенью приближения для всей серии номеров. Исходный контур задается или информация о нем может быть преобразована в последовательность координат $X_1, Y_1; X_2, Y_2; \dots; X_n, Y_n$, где n - число точек приближения на контуре. Тогда серия контуров представляет собой систему последовательностей

$$X_{11}, Y_{11}; X_{21}, Y_{21}; \dots; X_{n1}, Y_{n1};$$

$$X_{12}, Y_{12}; X_{22}, Y_{22}; \dots; X_{n2}, Y_{n2};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$X_{1r}, Y_{1r}; X_{2r}, Y_{2r}; \dots; X_{nr}, Y_{nr};$$

где r - число номеров в серии.

Задача сводится к минимизации по абсолютной величине разности

$$\Delta = f(X_{ij}) - Y_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, r),$$

которая формирует систему ограничений

$$P_{m_1}(X_{11}) - Y_{11} \leq \Delta;$$

$$P_{m_1}(X_{i1}) - Y_{i1} \leq \Delta;$$

$$P_{m_2}(X_{i_2^*}) - Y_{i_2^*} \leq \Delta;$$

$$P_{m_p}(X_{nr}) - Y_{nr} \leq \Delta;$$

$$-P_{m_p}(X_{nr}) - Y_{nr} \leq \Delta;$$

где $i_2^* \in n$ - точка сопряжения участков q и $q+1$, а целевую функцию

$$\Delta \rightarrow \min.$$

Непрерывность контура и его производных обеспечиваются дополнительными ограничениями

$$f_q(X_{i_2^*j}) = f_{q+1}(X_{i_2^*j}),$$

$$f_q'(X_{i_2^*j}) = f_{q+1}'(X_{i_2^*j}),$$

$$f_q''(X_{i_2^*j}) = f_{q+1}''(X_{i_2^*j}).$$

Задача сводится к подбору коэффициентов a полиномов P_m , минимизирующих Δ . С помощью $X_{ij} = X_{i1} K_{ij}$ и $Y_{ij} = Y_{i1} K_{ij}$ система ограничений по всей серии приводится к системе, содержащей координаты лишь исходного контура.

Система была приведена к задаче линейного программирования. Для этого из ограничений были исключены коэффициенты a , не связанные требованием неотрицательности путем выражения их через дополнительные неотрицательные переменные с помощью соотношений

$$\alpha_{0j2} = \frac{D_{0j2}}{D_{j2}}, \alpha_{1j2} = \frac{D_{1j2}}{D_{j2}}, \dots, \alpha_{mj2} = \frac{D_{mj2}}{D_{j2}}$$

где D_{j2} — определитель системы $(m_j + 1)$ равенств, взятых из системы ограничений для q -го участка контура, составленный из координат X_{ij} и Y_{ij} ; D_{0j2}, \dots, D_{mj2} — определители, полученные из D_{j2} заменой соответствующего столбца столбцом, составленным из свободных членов и неотрицательных переменных.

Разработан метод выражения коэффициентов a через неотрицательные переменные, позволяющий определять константы правой части ограничений лишь для исходного контура, с последующей подстановкой их в ограничения остальных контуров серии. При этом путем введения масштаба для значений X_{ij} эти коэффициенты могут быть представлены целыми числами. Задача реализуется с помощью симплекс-метода с применением ЭВМ.

С помощью предложенных выше зависимостей были определены кинематические характеристики объекта контурной обработки (для ТК.П, ТК.ІУ, ТК.У) и проведен сравнительный динамический анализ различных способов перемещения, определены соотношения динамических характеристик для различных каналов управления. Для ТК.І и ТК.ІІІ очевидным с точки зрения минимизации динамических нагрузок является способ А.

Контурь ТК.ІІ и ТК.У были аппроксимированы радиусографическими моделями. В ТК.У участки между изломами описывались единичными отрезками прямых и окружностей. ТК.ІУ описан полиномом 2-й степени с помощью изложенной выше методики.

Как показал анализ, во многих случаях движения объекта контурной обработки наблюдается динамическая неустойчивость работы системы или механизма перемещения вследствие неоднократного изменения знака производных в течение одного цикла обработки по контуру. При этом неоднократное изменение может происходить в течение одного шага обработки. При наличии зазоров это вызовет дополнительные динамические на-

грузки и неточность выполнения технологического процесса. Анализ результатов подсчета коэффициентов качества показал, что при сопоставлении способов перемещения (А, Б, В) для ТК.І-ТК.У коэффициент максимальной кинетической энергии K_E имеет сравнительно небольшой диапазон изменения $[0,88-1,18]$. Это позволяет дать рекомендации по унификации механизмов останова в системах для автоматической контурной обработки. Значительно больший диапазон изменения имеет коэффициент максимальной мощности $K_N [0,094-1,18]$. Наиболее существенное изменение имеют коэффициенты K_E и K_N по каналам управления. Эти данные учитываются при выборе способа перемещения и структуры системы управления по каналам.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ДЛЯ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ

(На примере машин для выполнения швов на изделиях из кожи)

При выборе варианта создаваемой системы для контурной обработки или имеющегося готового аналога задача в диссертации сведена к построению и анализу структуры и составных элементов оператора Ξ , осуществляющего преобразование входа $\{K_k\}$, характеризующего совокупность ТК, в выход $\{O_j^0\}$ и $\{O_j^k\}$, характеризующий совокупность параметров рабочих органов. Здесь $\{O_j^k\}$ и $\{O_j^0\}$ — совокупности сочетаний параметров, характеризующие соответственно возможные варианты реализации технологического процесса и реально имеющие место в аналогах. Если $\{O_j^k\} \subset \{O_j^0\}$, то все $\{K_k\}$ технологических операций могут быть реализованы на существующих аналогах. В противном случае для части или для всех технологических операций следует создавать новое оборудование. Приемлемость и предпочтительность сочетания параметров в рассматриваемой задаче выявляется с учетом показателей точности выполнения операций; экономических критериев; динамических характеристик с помощью методов, изложенных выше.

Оператор Ξ формировался на основании построения деревьев, пути

которых характеризуют сочетания параметров рабочих органов. Параметры, а следовательно и ранги дерева в соответствии с этапами его построения, можно разбить на три группы, определяющие соответственно:

- а) свойства контура;
- б) общие свойства системы для перемещения объекта обработки, независимо от конкретного оборудования;
- в) свойства прочих рабочих органов машины, взаимосвязанных с системой для перемещения объекта контурной обработки.

На завершающем третьем этапе построение дерева выражается в наращивании соответствующих его вершин параметрами $O_j = 1, 2, 3, \dots, i_o^*$; $j = 1, 2, 3, \dots, j_o^*$ с целью формирования совокупностей $\{O_j^*\}$ и $\{O_j^0\}$. В швейно-заготовочных машинах в первую очередь из группы В следует учитывать параметры механизмов иглы и челнока (петлителя).

В зависимости от способа подачи по контуру V, применяются механизмы игл:

I_2 - игла совершает только вертикальные перемещения при подаче

I_1 - игла имеет дополнительное горизонтальное смещение вместе с объектом обработки [при подаче $V_2(\tau)$].

При проектировании или выборе челнока (петлителя) одним из основных показателей, определяющих его приемлемость, является зона образования удовлетворительного переплетения, определяемая направлением вектора подачи \bar{V} и характеризуемая углом β , зависящим от конструкции челнока (петлителя). Если по всей длине L контура шва имеем $\bar{V} \in \bar{V}_\beta$, то структура переплетений будет стабильной. Предложены конструкции автоматизированных челночных устройств, обеспечивающие указанное требование и решающие проблему ограниченности запаса нитки.

На устройства получены авторские свидетельства СССР, которые внедрены на Чимкентской фабрике "Восход" и на Татарском производственном швейном объединении. Результаты исследования структуры стежков и изменения крутки ниток для различных типов челноков внедрены на предприятиях

Минлегпрома СССР.

Для построения совокупности $\{O_j^0\}$ была сформирована выборка аналогов оборудования, применяемого в различных отраслях (в первую очередь швейной). Аналоги разбивались на группы:

I - действующее оборудование;

II - аналоги с полным комплексом параметров, учитываемых в дереве, данные о которых получены из литературных и других источников;

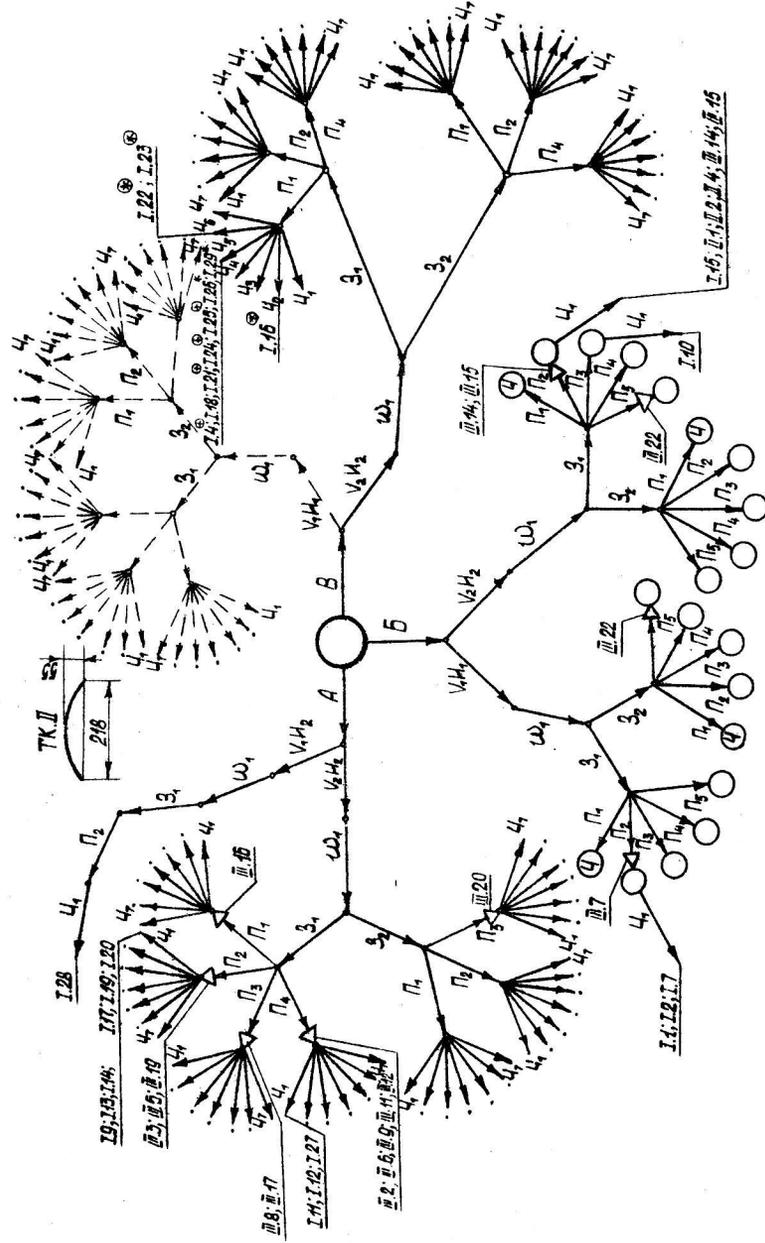
III - прочие аналоги.

Каждый аналог, также как и при формировании $\{O_j^*\}$, представлялся в виде пути дерева. Условия $\{O_j^*\} \subset \{O_j^0\}$ проверялись с помощью идентификации путей деревьев, построенным соответственно по $\{O_j^*\}$ и $\{O_j^0\}$.

На фиг. В представлено дерево для ТК. II. На конце идентифицированных путей проставлены шифры аналогов оборудования, обеспечивающих реализацию ТК. по соответствующим путям. Аналогичные деревья построены для всех ТК. I-ТК. V.

Как показал анализ, каждому ТК. соответствует несколько десятков вариантов возможных сочетаний учитываемых параметров. ТК. I-ТК. V обеспечиваются аналогами группы I и могут выполняться на применяемых в других производствах машинах с необходимой осуществимой их модернизацией и разработкой новой соответствующей программы обработки.

Проектирование систем с учетом унификации контуров. Проведенная типизация контуров показала возможность их широкой унификации и на этой основе создания базовых машин. В табл. 3 представлены рекомендуемые варианты формообразования ТК. I-ТК. V, каждый из которых получается путем последовательного сочетания простых формообразующих движений по линии и дуге окружности. Моменты воздействия путевого управления при чередовании формообразующего движения помечены точками. Для обеспечения необходимых формообразующих движений предложены схемы систем для перемещения объекта обработки относительно инструмента. Системы для реализации ТК. II и ТК. IV защищены авторскими свидетельствами



Фиг. 3

Таблица 3.

ТИПОВОЙ КОНТУР	ФОРМООБРАЗУЮЩИЕ ДВИЖЕНИЯ	СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩАЯ РАЗМЕР КОНТУРА	СХЕМА МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	ОБОЗНАЧЕНИЯ
ТК. I		ПУТЕВАЯ		1 - ОБЪЕКТ КОНТУРНОЙ ОБРАБОТКИ 2 - ОСНОВАНИЕ МАШИНЫ
ТК. II		ТО ЖЕ		3 - ПОЛЗУН 4 - ШЕСТЕРНЯ
ТК. III		АНАЛОГОВАЯ ПУТЕВАЯ		5 - РЕЙКА 6 - НАПРАВЛЯЮЩИЙ ПАЗ
ТК. IV		ПУТЕВАЯ		7 - УПОР
ТК. V		ПУТЕВАЯ		НАПРАВЛЕНИЕ И ВИД ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ДВИЖЕНИЯ

вами СССР.

Для реализации большинства ЕК из ТК.VI и ТК.VII требуется создание принципиально нового оборудования, основанного на оперативном изменении программы обработки. При выполнении настроечных и краевых швов наиболее целесообразно использовать следящие системы, программой для которых может служить сам объект обработки; для некраевых - системы с быстросменными программами (цифровые, несиловые аналоги с усилением).

Сгруппированные в табл. 2 контуры даже в пределах ОК имеют значительные колебания параметров. Унификация параметров ТК. позволит упростить задачу автоматизации, сократить число типоразмеров оборудования. Существенный эффект получается за счет унификации форм контуров. Предложенная по результатам исследования форма замкнутого контура была положена в основу изменения ряда технологических операций по сборке заготовки и модернизации, с учетом разработки новой программы машин 220-МЗ кл. ОЗЛМ и внедрении их на обувном объединении "Заря" и ЭКСИ "Спорт" при пошиве обуви.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные комплексные исследования проблем автоматизации технологических процессов легкой промышленности позволили определить пути создания оборудования для контурной обработки в производстве изделий из кожи.

Итогом работы является теоретическое обобщение в области механики машин и механической технологии в производстве изделий из кожи, решение научной проблемы разработки методов оценки особенностей технологических процессов и выбора параметров систем для контурной обработки в условиях ее автоматизации. Основные результаты исследований сформулированы в виде следующих выводов и рекомендаций.

1. Разработан метод выбора параметров оборудования с учетом технологических и динамических особенностей выполнения автоматизированных операций по контурной обработке, основанный на построении модели

преобразования входных показателей, характеризующих объект обработки, в выходные, характеризующие тип оборудования. Оператор модели основан на построении графов, ранги которого характеризуют параметры соответственно контура, технологического процесса и системы для контурной обработки.

Этапы реализации метода включают:

анализ и сгруппирование объектов обработки в идентифицированные классы совокупностей;

разработку методов оценки качественных показателей функционирования оборудования и критериальный анализ характеристик, выполняемых на нем технологических операций;

выявление путей реализации полученных классов совокупностей на основе анализа процессов обработки;

анализ параметров систем для контурной обработки и группирование приемлемых сочетаний параметров в классы оборудования;

выявление комплекса оборудования для обеспечения автоматизации контурной обработки на основе анализа отображения идентифицированных классов объектов обработки в класс оборудования.

Метод универсален и может быть применен при автоматизации различных видов технологических процессов.

2. Статистический анализ позволил выявить общие численные характеристики генеральной совокупности контуров швов на изделиях из кожи:

оценки наиболее характерных габаритов контуров: $0,10 \times 0,01$;
 $0,16 \times 0,04$; $0,40 \times 0,14$; $0,45 \times 0,25$ м;

оценки наиболее характерных длин контуров: $0,085$; $0,210$; $0,335$;
 $0,460$; $0,585$; $0,710$ м.

Полученные ряды размеров, ранжированных в соответствии с законами их распределения, должны быть приняты за основу при определении параметров базового ряда машин для контурной обработки.

3. Предложен метод типизации контуров путем объединения их в

группы по признакам формы и размеров. На основе типизации выделены семь типовых контуров (ТК), охватывающих около 80% всех контуров на обуви, из которых ТК.І-ТК.У объединены по сходству геометрических параметров всего контура, а ТК.УІ и ТК.УІІ - по сходству параметров стьков аппроксимирующих отрезков.

4. В связи с отсутствием достаточных исследований и опыта производственного применения автоматизированного оборудования на операциях, рассматриваемых в диссертации, разработаны методы анализа, определения или прогнозирования критериев оценки точности и качества выполнения операций, эффективности, надежности работы систем, создаваемых для осуществления контурной обработки в производстве изделий из кожи.

5. Показано, что специфика процессов контурной обработки в производство изделий из кожи оказывает существенное влияние на приемы точностных исследований, выделены наиболее специфические погрешности.

Они исследованы с позиций теории случайных функций, даны рекомендации по определению и прогнозированию их вероятностных характеристик, на основании анализа которых определены допустимые диапазоны изменения параметров контуров внутри групп объектов с учетом возможности обработки их на оборудовании одного типа.

6. Разработан метод количественной оценки такого важного показателя, как внешний вид шиточного шва на изделиях из кожи. Даны формулы для определения параметров швов в зависимости от точности контурного микропозиционирования, взаимодействия инструментов, геометрических параметров инструмента, способа перемещения и коррекции объекта обработки.

7. Предложен метод решения прямой точностной задачи в условиях нелинейных связей между погрешностями - элементарными и выходной суммарной, - с учетом критериев надежности оборудования и экономичности его изготовления. Математическая модель решения задачи предусматривает

оптимальное распределение пределов варьирования суммарной погрешности с учетом контурного позиционирования.

8. Показано, что при наличии существенных зазоров в парах механизмов в условиях контурного позиционирования и больших скоростях подачи по контуру вид связи между элементарной и выходной погрешностями во многом зависит от инерционных нагрузок. Их доминирующее значение определяет положение элементов пар в поле зазоров, что должно учитываться при составлении математической модели преобразования элементарной погрешности в выходную. Решены задачи по выявлению реальных законов движения звеньев механизмов, имеющих существенные зазоры в парах.

9. Предложены вероятностные расчетный и экспериментальный методы определения оценок значимости элементарных погрешностей с учетом законов их распределения в реальных условиях функционирования системы, точность которой исследуется.

10. Проведен сравнительный анализ движения объекта контурной обработки с целью выявления оптимального по динамическим характеристикам способа перемещения. Исследовано изменение характеристик с изменением номеров и полнот обуви. Теоретически исследована динамика стартопного контурного позиционирования.

11. С целью исключения неопределенности значений динамических характеристик в точках стьков аппроксимирующих отрезков разработан метод аналитического описания с помощью полиномов серии обувных контуров по заданному таблично или в виде шаблона исходному номеру с учетом обеспечения одинаковой точности аппроксимации на каждом номере серии. Задача приведена к задаче математического программирования с использованием ЭВМ.

12. Проведен анализ параметров систем для выполнения швов по контурам на изделиях из кожи и сгруппирование аналогов, применяемых в смежных отраслях производства, в классы оборудования. Для ТК.І-ТК.У, имеющих четкие геометрические параметры, предложены совокупности ана-

логов машин, применяемых в швейной промышленности с необходимой их модернизацией, проведены производственные испытания некоторых из них.

13. Установлено, что для реализации примерно 30% контуров на обуви необходимо создание новых систем, обеспечивающих возможность массовой смены программы обработки. Для настроенных и краевых швов необходимы машины со следящими системами.

14. Расчет показал, что для замены универсальных машин, на операциях по контурам ТК.1-ТК.У потребуется 5294 полуавтомата. Так как по данным ВНИИТЕКМАШ, МТИЛПа, ЦНИИШПа, МПОО "Заря", ЭКСИ "Спорт" экономический эффект от замены универсальных швейных машин полуавтоматами на различных операциях в среднем составляет 2,5 тыс.руб. на один полуавтомат в год, то ожидаемый экономический эффект от полной замены универсальных машин на полуавтоматы по контурам ТК.1-ТК.У составит по СССР ориентировочно 13.235 тыс.руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Сторожев В.В. О внешнем виде строчки по коже при автоматизированной подаче материала, "Кожевенно-обувная промышленность", №5, 1972.
2. Сторожев В.В., Крахмальников Л.И. Выявление типовых обувных контуров с целью определения оптимальных параметров автоматизированных систем подачи, сб. "Оборудование для легкой промышленности", ЦНИИТЭИлегпром, №12, 1976.
3. Комиссаров А.И., Сторожев В.В., Червяков Ф.И. Влияние структуры переплетения нитей на качество челночных строчек, Научные труды МТИШ, №27, 1963.
4. Сторожев В.В. Об оценке внешнего вида строчки по коже при различных заточках игл (сообщение 1), Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №5, 1973.
5. Алшеев Д.Д., Сторожев В.В. Об оценке внешнего вида строчки по коже при различных заточках игл (сообщение 2), Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №5, 1974.
6. Сторожев В.В. Определение параметров стежков в строчках по криволинейным контурам на изделиях из кожи, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №4, 1974.
7. Сторожев В.В., Усенбеков Ж. Определение оптимальных допусков на элементы механизмов, Сб. "Технология легкой промышленности и бытового обслуживания", вып. 1, Алма-Ата, 1974.
8. Сторожев В.В., Алшеев Д.Д. Задача повышения точности механизмов путем оптимального изменения первичных ошибок, Сб. "Проблемы прочности, надежности и долговечности элементов машин и металлорежущего инструмента", вып. 1, Бурятское книжное издательство, г.Улан-Удэ, 1974.

9. Сторожев В.В. Оценка точности механизмов перемещения обрабатываемых деталей (сообщение 1), Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №6, 1973.
10. Сторожев В.В. Оценка точности механизмов машины обувного и швейного производств с помощью методов математического программирования, Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Применение математических методов и вычислительной техники при разработке и исследовании машин и аппаратов текстильной и легкой промышленности (г. Тбилиси; 1974 г.), ВНИИТекмаш, М., 1974.
11. Сторожев В.В., Усенбеков Ж. Об учете зазора в низших парах механизмов швейных машин, Сб. "Технология легкой промышленности и бытовое обслуживание", вып. 2, Алма-Ата, 1975.
12. Сторожев В.В., Комиссаров А.И. Оценка точности механизмов перемещения обрабатываемых деталей (Определение оптимальных пределов изменения элементарных погрешностей (сообщение 2), Известия ВУЗов, "Технология легкой промышленности", №3, 1974.
13. Сторожев В.В., Усенбеков Ж., Кучер И.В., Смирнов С.М. Определение оптимальных допусков (сообщение 1), Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №4, 1976.
14. Сторожев В.В., Кучер И.В., Смирнов С.М., Усенбеков Ж. Определение оптимальных допусков с учетом обеспечения максимального срока службы (сообщение 2), Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №5, 1976.
15. Сторожев В.В., Усенбеков Ж., Методика расчета рациональных допусков деталей механизмов швейных машин, Сб. "Оборудование для легкой промышленности", ЦНИИТЭИлегпищемаш, №8, 1976.
16. Сторожев В.В., Усенбеков Ж. Метод определения передаточных отношений первичных ошибок механизмов швейных машин, Сб. "Оборудование для легкой промышленности", ЦНИИТЭИлегпищемаш, №8, 1976.
17. Сторожев В.В., Усенбеков Ж. Исследование точности и надежности реальных механизмов швейных и обувных машин, Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Повышение надежности и долговечности машин для текстильной и легкой промышленности" (г.Ташкент; 1977), ВНИИТекмаш, М., 1977.
18. Усенбеков Ж., Сторожев В.В., Кучер И.В. К расчету рациональных полей рассеяния первичных ошибок механизмов машин швейного и обувного производства с учетом максимальных сроков службы, Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара "Повышение надежности и долговечности машин для текстильной и легкой промышленности" (г.Ташкент, 1977), ВНИИТекмаш, М., 1977.

20. Сторожев В.В. Перемещение шпуледержателя челноков швейных машин, Научные труды МТИШ, №3, 1967.
21. Бурмистров А.Г., Комиссаров А.И., Сторожев В.В. Исследование перемещений деталей челночных устройств швейных машин, Научные труды МТИШ, №3, 1967.
22. Рачок В.В., Сторожев В.В. Влияние некоторых факторов на износ челноков высокоскоростных швейных машин, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №3, 1968.
23. Сторожев В.В., Рачок В.В., Комиссаров А.И. О местном износе крючков вращающихся челноков быстроходных швейных машин, Научные труды МТИШ, №35, 1970.
24. Жуков В.В., Сторожев В.В. Плоскопараллельное перемещение держателя деталей с поворотом вокруг оси рабочего инструмента, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №2, 1975.
25. Сторожев В.В. Аппроксимация контуров обувных деталей с учетом изменения размеров и полнот, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №1, 1975.
26. Сторожев В.В. О законе относительного движения звеньев кулисных механизмов машин легкой промышленности при наличии зазора в кулисной паре, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности" №1, 1976.
27. Сторожев В.В., Фукин В.А., Аппроксимация контуров серии обувных деталей, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №1, 1976.
28. Сторожев В.В. Кусочная аппроксимация участков контуров обувных деталей полиномами m -ной степени, Д., ЦНИИТЭИлегпром, М., 1974, №32-75.
29. Комиссаров А.И., Сторожев В.В. Проектирование и расчет челночных устройств и механизмов челноков швейных машин, Научные труды МТИШ, №29, 1964.
30. Комиссаров А.И., Сторожев В.В. Челночные устройства и механизмы швейных машин (учебное пособие), М., МТИШ, 1964.
31. Сторожев В.В., Комиссаров А.И. Влияние геометрии элементов челноков на натяжение нитей в швейных машинах, Научные труды МТИШ, №35, 1970.
32. Комиссаров А.И., Сторожев В.В. Об оптимальном объеме челнока швейной машины, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №4, 1970.
33. Комиссаров А.И., Сторожев В.В., Стругов В.Н. Особенности работы челночных устройств с автоматической заправкой нити, Сб. ЦНИИТЭИлегпищемаш, №7, 1970.
34. Комиссаров А.И., Сторожев В.В., Стругов В.Н. Определение усилий, действующих на нить и шпуло в челночных устройствах с автоматической заправкой нити, ЦНИИТЭИлегпищемаш, №2, 1971.
35. Сторожев В.В., Стругов В.Н. Модернизация челночных устройств швейных машин, ЦНИИТЭИлегпищемаш, М, 1971.
36. Стругов В.Н., Сторожев В.В. Исследование динамики привода механизма автоматической намотки нити на челночную шпулю, Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", №4, 1972.
37. Сторожев В.В., Стругов В.Н. Влияние технологических факторов на выбор конструкции челночного устройства в машинах с автоматизированной подачей изделия под иглой (сообщение 1), Научные труды МТИШ, №40, 1976.
38. Сторожев В.В. Об ослаблении материала иглой при сборке заготовки, Сб. ЦНИИТЭИлегпищемаш, №3, 1977.
39. Сторожев В.В., Стругов В.Н., Лопухина В.Н. Влияние технологических факторов на выбор конструкции челночного устройства в машинах с автоматизированной подачей изделия под иглой (сообщение 2), Научные труды МТИШ, №40, 1976.
40. Сторожев В.В., Набалов Т.А. Устройство к швейной машине для перемещения швиемых заготовок по сопряженным дугам окружностей, Авторское свидетельство СССР, № 437819.
41. Сторожев В.В., Ашшеев Д.Д., Стругов В.Н. Полуавтомат для стачивания деталей по заданному контуру, Авторское свидетельство СССР, № 506665.
42. Комиссаров А.И., Сторожев В.В., Целищева Н.Г. Вращающийся челнок к швейным машинам, Авторское свидетельство СССР, № 173596.
43. Сторожев В.В., Комиссаров А.И. Приспособление для измерения натяжения и перемещения нитей, Авторское свидетельство СССР, № 184505.
44. Сторожев В.В., Стругов В.Н., Комиссаров А.И., Рачок В.В. Челночное устройство с автоматической заправкой нити, Авторское свидетельство СССР, № 282911.
45. Стругов В.Н., Сторожев В.В., Комиссаров А.И. Устройство для автоматического наматывания нити на челночную шпулю швейной машины, Авторское свидетельство СССР, № 367200.
46. Storožev V.V., Fukin V.A. Použití method lineárního programování pro stanovení koeficientů trigonometrického mnohoúhelníku, KOŽAŘSTVÍ, No.1, 1977.

Л-100288 Подп. к кат. 6.6.78 Бумага миср. № 60x90¹/₁₆

Словки кат. л. 3,25 Тираж 150 экз. Зак. 385

Типография Военной академии инженерной защиты
им. Владимира Советского Союза в г. Пиндвинско