

1570696

На правах рукописи

ДЖАФАРОВА ШУКУФА ИСФЕНДИЯР КЫЗЫ

УДК 621.941-261.678.004.14

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
НАПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРА

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана на кафедре
«Технология машиностроения»

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Г.Н. Мельников

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Н.М. Капустин

- кандидат технических наук, доцент
О.Ф. Полтавец

Ведущая организация - МСПО «Красный пролетарий»

Защита диссертации состоится «28» декабря 2000
в _____ часов на заседании диссертационного совета
К053.15.15 в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, Б-5,
2-я Бауманская ул.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
им. Н.Э. Баумана.
Текст диссертации доступен в Интернете по адресу:
http://www.mgtu.ru
печать _____

Учен
дисс
к.т.н.

А.С.

Подп
Обл

172 Т
аумана



Актуальность проблемы. Успешное развитие машиностроения требует дальнейшего совершенствования технологии изготовления деталей и изделий, путем разработки и применения прогрессивных способов, удовлетворяющих современным требованиям производства.

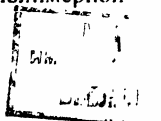
При изготовлении ответственных базовых деталей (салазок, кареток и т.п.) высокоточных изделий типа металлорежущих станков наиболее трудоемкой операцией является обработка направляющих. В связи с необходимостью всемерного повышения качества выпускаемых изделий к направляющим поверхностям предъявляются повышенные требования по точности формы и взаимного расположения. Для достижения высокой точности изготовления направляющих поверхностей в условиях серийного производства широко используют способы индивидуальной настройки и пригонки, требующие высокой квалификации рабочих и обладающие высокой трудоемкостью.

В связи с этим исследование, разработка и внедрение интенсивных способов изготовления направляющих, характеризующихся низкой трудоемкостью и высокой точностью является актуальной для машиностроения научной задачей.

Цель работы. Разработка и исследование технологических способов обеспечения качества и снижения трудоемкости изготовления направляющих элементов станков путем назначения эффективных условий их изготовления (способа нанесения полимера, режима отверждения, толщины полимерной прослойки, материала базовой детали и полимерной прослойки).

Методы исследования. Исследование закономерностей формирования геометрических отклонений формы и расположения направляющих поверхностей проводилось на базе научных основ технологии машиностроения и методов математической статистики. Для исследования напряженно-деформированного состояния направляющих из полимера проведено математическое моделирование с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Расчетные и экспериментальные зависимости получены с использованием ЭВМ. Характер изменения температурных полей в нагреваемых металлополимерных конструкциях (МПК) определялся с использованием тепловизора мод. TV680. Проверка исходных теоретических посылок и принятая схематизация процесса проводилась путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных.

Научная новизна работы заключается в установлении аналитических зависимостей между технологическими параметрами и геометрическими отклонениями формы и расположения направляющих поверхностей базовых деталей металлорежущих станков, выполненных из полимера. На основе теоретических и экспериментальных исследований выявлены доминирующие технологические факторы (толщина полимерной



прослойки, температура и способ отверждения), влияющие на образование указанных погрешностей. Показана необходимость и возможность управления процессом формирования погрешностей за счёт назначения рационального способа нанесения и отверждения полимерного материала.

Разработана методика определения эффективных условий изготовления базовых деталей станков с направляющими элементами из полимера на основе полученных математических моделей процесса, отражающих физические закономерности формирования погрешностей при их изготовлении с использованием полимерного материала.

Анализ полученных закономерностей позволил разработать технологические мероприятия по изготовлению направляющих элементов станков.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1) разработаны методические положения и технологические рекомендации, при применении которых достигается технологическое обеспечение точности формы и расположения поверхностей направляющих из полимера, выбор эффективных условий их изготовления;

2) предложен новый способ изготовления МПК с направляющими элементами, обеспечивающий снижение длительности цикла изготовления в 1,75 раза;

3) получены рекомендации по управлению процессом отверждения полимерного слоя с целью достижения высокой точности и наименьшей трудоёмкости выполнения операций;

4) алгоритмы и программы расчёта напряжённо-деформированного состояния МПК рекомендуется использовать в качестве блоков автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) станкостроительных предприятий.

Реализация результатов работы. Результаты работы по исследованию технологических способов обеспечения качества и снижения трудоёмкости изготовления направляющих элементов из полимера внедрены на Новокраматорском машиностроительном заводе.

Агглюбация работы. Основные результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры "Технология машиностроения" МГТУ им. Н.Э. Баумана; I-м Всесоюзном научно-техническом семинаре «Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении», г. Ворошиловград, 1987 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатных работ.

Объём работы. Диссертация изложена на 222 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, выводов по главам и общих выводов; содержит рисунков, таблиц, список литературы из 73 наименований и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, дана характеристика её направленности и научной новизны.

В первой главе проанализированы пути совершенствования технологических способов обеспечения заданных эксплуатационных характеристик, определены резервы повышения качества и снижения трудоёмкости изготовления базовых деталей станков с направляющими элементами, сформулирована цель работы и поставлены задачи исследования.

На основании литературного обзора и производственных исследований установлено, что существенное значение для интенсификации способов изготовления высокоточных деталей и узлов металлорежущих станков имеет устранение пригоночных работ при изготовлении соединений за счёт повышения точности механической обработки, особенно при обработке направляющих поверхностей. По данным станкозаводов трудоёмкость пригоночных работ в среднем составляет 24 % от общей трудоёмкости изготовления станков. Установлено, что наиболее широко применяемым методом достижения заданной точности направляющих является пригонка шабрением.

Проанализированы основные пути сокращения объёма пригоночных работ: экстенсивные – методы полной и групповой взаимозаменяемости, регулировки и пригонки, и интенсивные – оптимизированный подбор сопрягаемых деталей с помощью ЭВМ, способы совместной обработки сопрягаемых деталей, изготовления с применением полимерных материалов. Показано, что особого внимания заслуживают способы изготовления соединений с применением полимерных материалов, показанные на рис. 1. Важным преимуществом МПК направляющих является их высокая ремонтпригодность при минимуме пригоночных и слесарно-сборочных работ.

Для обоснованного назначения условий изготовления МПК необходимо провести комплексные исследования по выявлению влияния конструктивно-технологических факторов на их напряжённо-деформированное состояние.

На основании проведённого анализа в качестве объекта исследования выбрана операция изготовления направляющих элементов из полимера, сформулирована указанная выше цель работы и определены следующие задачи:

- выявить закономерности формообразования направляющих элементов станков с применением полимерных материалов с учётом их конструктивных и технологических особенностей;
- исследовать и разработать способы интенсификации изготовления направляющих из полимера;

СПОСОБЫ	НАИМЕНОВАНИЕ
1	СВОБОДНАЯ ЗАЛИВКА
2	ФОРМОВАНИЕ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ ПО ОТВЕТНОЙ ДЕТАЛИ
3,4	ШПРИЦЕВАНИЕ ЗАЛИВКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ
5	ФОРМОВАНИЕ ПО ОТВЕТНОЙ ДЕТАЛИ С НАГРЕВАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ В ПОЛИМЕРНОМ СЛОЕ (РАЗРАБОТАННЫЙ СПОСОБ)

Рис. 1. Способы изготовления направляющих из полимера

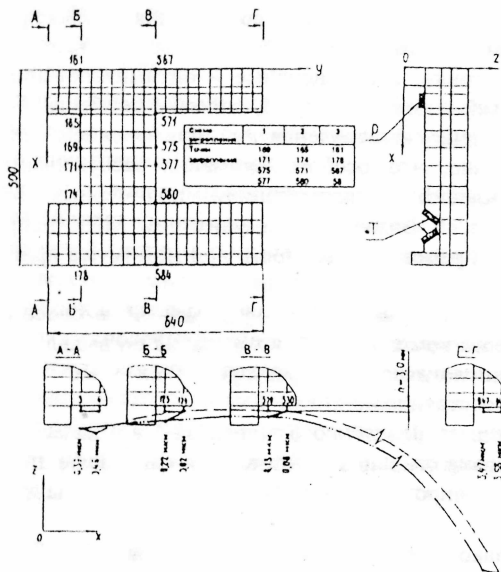


Рис. 2. Аппроксимированная модель каретки станка мод. 16K20PФ3 и изменение деформации в различных сечениях по длине плоской направляющей (схема закрепления No 3): 3,4,123, 124, 529, 530, 947, 948 – номера рассматриваемых узлов

– разработать методику проектирования операции изготовления направляющих из полимера, позволяющую снизить трудоёмкость проектирования и выбрать эффективные условия их изготовления.

Во второй главе проведён анализ напряжённо-деформированного состояния базовых деталей станков с направляющими из полимера на основе МКЭ; выявлены основные технологические факторы, влияющие на точность изготовления МПК.

Основными причинами неточности изготовления направляющих элементов являются деформации МПК, вследствие усадки полимера и последующей релаксации остаточных напряжений во времени.

Большой вклад в разработку теории обеспечения точности базовых деталей станков внесли Кован В.М., Соколовский Н.П., Корсаков В.С., Базров Б.М., Беденский В.А., Каминская В.А., Левина З.М., Портман В.Т., Решетов Д.Н. и др. Применительно к изготовлению МПК вопросы точности исследовали Григолюк Э.И., Капустин Н.М., Липидус А.С. Майорова Э.А., Мельников Г.Н., Турыгин Б.И. и др. Существующие модели напряжённо-деформированного состояния МПК не позволяют учесть особенностей сложнопрофильных станочных соединений, влияние большого числа технологических факторов их изготовления, геометрических параметров конструкции, физико-механических свойств применяемых материалов, а также особенностей способов их изготовления.

С целью устранения указанных недостатков в данной работе моделирование напряжённо-деформированного состояния МПК базируется на основных положениях теории упругости; преимущества математического аппарата, разработанного в методе конечных элементов и возможностях современной вычислительной технике. При этом выполнена следующая последовательность действий.

1. Произведена схематизация МПК.

2. Выполнено разбиение конструкции на шестигранные объёмные конечные элементы. Каждый элемент имеет 8 узлов, каждый k -й узел обладает тремя степенями свободы. Вектор узловых перемещений элемента

$$\{U_k\} = \{U_1^k U_2^k U_3^k \dots U_7^k U_8^k\}^T$$

и перемещений произвольной точки внутри элемента $\{U\} = [N] \cdot \{U_k\}$, где $[N]$ – матрица функций формы, определяющая качество аппроксимации перемещения внутри элемента

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 00 \dots & & N_8 00 \\ 0 N_1 0 \dots & 0 N_8 0 \dots & 0 N_8 0 \\ 00 N_1 \dots & 00 N_8 \dots & 00 N_8 \end{bmatrix}$$

3. Определены действующие на конструкцию нагрузки и темпера-

туры, свойства материалов, координаты и условия закрепления узлов, вектор деформаций

$$\{\epsilon\} = [B] \cdot \{U_e\},$$

где матрица деформаций состоит из производных функций формы

$$[B] = \begin{bmatrix} N_{11,00} & N_{11,00} & N_{11,00} \\ 0N_{12,0} & 0N_{12,0} & 0N_{12,0} \\ 00N_{13} & 00N_{13} & 00N_{13} \\ N_{12}N_{11,0} & N_{12}N_{11,0} & N_{12}N_{11,0} \\ 0N_{13}N_{12} & 0N_{13}N_{12} & 0N_{13}N_{12} \\ N_{13}0N_{11} & N_{13}0N_{11} & N_{13}0N_{11} \end{bmatrix}$$

4. При помощи численного интегрирования определены матрицы жесткостей элементов

$$[K_e] = \int_V [B]^T [D] \{\epsilon_0\} dV,$$

где V – объем элемента, $[D]$ – матрица упругости, содержащая характеристики материалов

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ d_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & d_{26} \\ d_{31} & \dots & \dots & \dots & \dots & d_{36} \\ d_{41} & \dots & \dots & \dots & \dots & d_{46} \\ d_{51} & \dots & \dots & \dots & \dots & d_{56} \\ d_{61} & \dots & \dots & \dots & \dots & d_{66} \end{bmatrix},$$

$\{\epsilon_0\} = [(\alpha \cdot \Delta T \cdot \alpha) \cdot (\Delta T \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot \chi \cdot 0 \cdot 0 \cdot 0)]^T$ – вектор температурных деформаций, где α – коэффициент теплового расширения; ΔT – изменение температуры. Ненулевые компоненты квадратной матрицы упругости равны

$$d_{11} = d_{22} = d_{33} = \frac{E \cdot (1 - \mu)}{(1 - 2\mu)(1 + \mu)};$$

$$d_{12} = d_{21} = d_{23} = d_{32} = d_{31} = d_{13} = \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)};$$

$$d_{44} = d_{55} = d_{66} = \frac{E}{2(1 + \mu)},$$

где E – модуль упругости и μ – коэффициент Пуассона материала элемента.

5. При помощи численного интегрирования определены суммарные узловые силы элементов

$$\{F_e\} = \{F_e\} + \int_V [N]^T \{q\} dV + \int_{A_p} [N]^T \{p\} dA_p + \int_V [B]^T [D] \{\epsilon_0\} dV,$$

где $\{F_e\} = (F_{e1}^1, F_{e2}^1, F_{e3}^1, \dots, F_{e1}^k, F_{e2}^k, F_{e3}^k, \dots, F_{e1}^l, F_{e2}^l, F_{e3}^l)^T$ – вектор сосредоточения узловых сил; $\{q\} = (q_1, q_2, q_3)^T$ – вектор объемных распределённых нагрузок; $\{p\} = (p_1, p_2, p_3)^T$ – вектор поверхностных распределённых нагрузок; A_p – число поверхностей элемента, на которые действуют распределённые нагрузки.

6. Вычислены суммарные матрицы жесткости конструкции и

вектор суммарных узловых сил конструкции

$$\{F\} = [K] \cdot \{U_i\},$$

где $[K]$ – матрица жесткости конструкции; $\{U_i\}$ – вектор узловых перемещений конструкции.

Матрица жесткости конструкции получается суммированием компонентов матриц жесткостей элементов, имеющих общие узлы. В результате определяем узловые перемещения в конструкции.

7. Из шести соотношений между напряжениями и деформациями вида $\{\sigma\} = [D] \cdot (\{\epsilon\} - \{\epsilon_0\})$ определены напряжения в элементах конструкции, где $\{\sigma\} = (\sigma_{11} \sigma_{22} \sigma_{33} \sigma_{12} \sigma_{23} \sigma_{31})^T$ вектор напряжений, а вектор деформаций $\{\epsilon\} = (\epsilon_{11} \epsilon_{22} \epsilon_{33} 2\epsilon_{12} 2\epsilon_{23} 2\epsilon_{31})^T$.

8. По выведенным на печать значениям перемещений и напряжений проведен анализ напряженно-деформированного состояния МПК.

Вычисления проведены для МПК каретки токарного станка мод. 16A20Ф3 с толщиной полимерного слоя направляющих $h = 1,5; 3,0; 4,5$ мм при величине усадки эпоксидного компаунда $\Delta = 0,1\%$.

Основание каретки изготовлено из чугуна марки СЧ 25.

Аппроксимированная модель каретки разбита на 491 элемент с 984 узлами и деформируется по трем координатным осям X, Y, Z. С точки зрения выполнения заданных технических требований существенный интерес представляют величины деформаций направляющих элементов по оси Z, где они являются наибольшими и достигают величин: для прямоугольных направляющих от 0,39 мкм до 3,58 мкм (рис.2), для призматических – от 1,22 мкм до 17,8 мкм. Это характеризует достижимую точность взаимного расположения прямоугольных и призматических направляющих, а также отклонения их формы, как допустимые. Отклонение формы в продольном сечении направляющих на 1-2 порядка превосходит отклонение формы в поперечном сечении и является доминирующей погрешностью. Во всех случаях форма металлополимерных направляющих получена вогнутой.

Величины напряжений при полученных перемещениях настолько малы, что не могут служить причиной возникновения дефектов на поверхности полимера ($\sigma_p = -1 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3}$ МПа) и по глубине конструкции.

Для обеспечения возможности расчета величин перемещений и напряжений в МПК необходимо знать закономерности изменения модуля упругости полимера при его нагреве во времени. В технической литературе такие данные отсутствуют. Поскольку на данном этапе математическое моделирование при нагреве МПК затруднено, в главах 3 и 4 проведены соответствующие экспериментальные исследования по отклонению формы направляющих МПК в процессе их нагрева и после охлаждения через несколько суток. Наличие таких данных позволяет

осуществить иной подход к оценке точности и трудоемкости изготовления МПК при нагреве полимера изнутри.

Моделирование напряженно-деформированного состояния МПК на базе МКЭ при использовании ЭВМ позволяет качественно и количественно оценить и усовершенствовать расчет точности изготовления ответственных станочных деталей. При проектировании базовых деталей станков назначение предельных деформаций и напряжений должно производиться с учетом результатов моделирования на ЭВМ.

Третья глава посвящена разработке способа уменьшения трудоемкости и экспериментальным исследованиям качества изготовления металлополимерных конструкций станков.

При значительном снижении трудоемкости изготовления направляющих станков за счет применения полимера наблюдается некоторое увеличение цикла их изготовления вследствие длительного времени его отверждения ($T_{отв}=24+36$ ч.). Наиболее применимы три способа дальнейшего снижения трудоемкости и цикла изготовления металлополимерных конструкций: 1) нагревание всей МПК; 2) нагревание только металлического основания МПК; 3) нагревание только полимерной массы МПК изнутри.

Первый способ требует больших энергозатрат и специального технологического оборудования для нагревания крупногабаритных деталей станков. Второй — не позволяет осуществлять равномерный разогрев полимерной массы в сложно профильных конструкциях, что приводит к возникновению больших остаточных напряжений и потерям тепла. Осуществление третьего способа затруднительно с конструктивной точки зрения и поэтому на данный момент практически не разработано.

В этой связи на кафедре «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э.Баумана разработан новый способ изготовления металлополимерных конструкций, суть которого заключается в том, что перед нанесением полимерного покрытия на направляющие каретки 2 (рис.3) в начале производят точную взаимную ориентацию поверхности каретки 2 и поверхности 3 станины 4 с целью создания между ними зазора, который определяет толщину наносимого слоя. Это положение фиксируют регулировочными винтами. Далее каретку 2 снимают, поверхность 1 предварительно очищают и обезжиривают. Ответную поверхность 3 направляющих станины 4 смазывают разделительным слоем. На подготовленную поверхность 1 наносят первый слой тщательно размешанной полимерной массы 5. После нанесения первого слоя (или нескольких слоев) полимера порядка 1.0 мм, на нее укладывают предварительно подготовленный проводник 6 из нихромовой проволоки диаметром 0.66 мм, причем его концы выводят из зоны, наполненной полимерной массой 5. Затем наносят остальную часть полимерной массы

5 так, что общая толщина составляет около 2 мм. Каретку 2 укладывают на направляющие станины 4, прижимают ее до упора в регулировочные винты. Вытесненную часть полимерной массы снимают. К заранее выведенным концам 7 проводника 6 подключают источник тока.

Полимерный слой нагревают в течение двух-трех часов. По окончании отверждения концы 7 проводников заделывают или отрезают, металлополимерная конструкция готова.

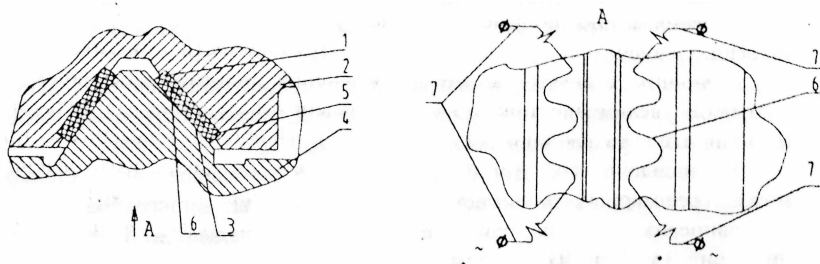


Рис.3 Формование по ответной детали с нагревательным элементом внутри полимерного слоя (разработанный способ 5)

Разработанный способ дает возможность снизить длительность производственного цикла изготовления МПК за счет сокращения времени отверждения полимера в 3 и более раз; повысить качество изготовления МПК за счет армирования поверхностного слоя полимера проводником, увеличения плотности полимерного слоя с $1,09 \text{ г/см}^3$ до $1,17 \text{ г/см}^3$; уменьшения его пористости на 5 - 20 %.

Исследования изменения температурных полей в зависимости от времени нагрева, формы нагревательного элемента и формы металлического основания МПК проводились на экспериментальной установке с использованием тепловизора TV680 фирмы AGA (Швеция), соединенного с осциллографическим индикаторным блоком SM 680P4, который снабжен фотокамерой мод. 102C для фиксации цветного или черно-белого изображения температурных полей. Для удобства

настройки и проведения визуальных наблюдений использован осциллографический блок мод. TS-2.

На образцы из чугуна марки СЧ 25 наносили полимер на основе эпоксидной смолы марки ЭД-20 толщиной 3,0 мм. Образцы двух видов имели размеры: круглый - диаметром 45 мм, высотой 15 мм; плоский - 320×44×15 мм.

Для плоских образцов установлены три временных интервала, принципиально отличных по характеру распределения температурных полей. Интервал I длительностью около 30 минут характеризуется зарождением температурных полей. В интервале II длительностью до 90 минут происходит интенсивный рост и развитие очагов температуры. Интервал III длительностью до 60 минут характеризуется медленным ростом температуры и равномерным разогревом поверхности полимера по всей площади.

Изменения температуры нагрева для всех трех типов нагревательных элементов (спиралевидный, зигзагообразный, подковообразный) имеют идентичный характер зависимости.

Установлено, что для базовых деталей металлорежущих станков можно рекомендовать нагревательные элементы зигзагообразного и подковообразного типа, которые позволяют укладывать проводник в имеющийся на деталях профиль в виде мышиного зуба.

В целях обеспечения взаимосвязи различных режимов отверждения полимера с мероприятиями по охране труда рекомендуется для изготовления крупных МПК станков (каретка - станина) использовать режим нагрева $U=36$ В, $I=1$ А; для МПК небольшой массы в станкостроении (клинья, планки), автомобилестроении, приборостроении возможно отверждение при повышении режима нагрева до $U=50$ В, $I=2$ А и более на специально оборудованных рабочих местах с соблюдением правил техники безопасности.

Для круглых образцов ярко выраженных различных зон распределения температурных полей не наблюдалось. Это связано с малой площадью разогреваемой поверхности. При любом типе нагревательного элемента в течение 7+28 минут происходит равномерный разогрев поверхности полимера до 40° С при режимах $U=36$ В, $I=1$ А.

Исследования контактной жесткости проводились на тех же образцах с толщиной полимерной прослойки 1,5+5,0 мм изготовленных без нагрева (способ 2) и с нагревом (способ 5). Удельное давление при этом соответствовало реальным условиям работы направляющих металлорежущих станков 0,2+1,4 МПа. Выявлено влияние удельной нагрузки и толщины полимерного слоя на величину деформации. Существенных отличий в величинах деформаций образцов, изготовленных разными способами не установлено.

Исследования отклонения формы МПК проводились на объемной модели прямоугольной направляющей каретки токарного станка.

Объемная модель изготовлена из серого чугуна марки СЧ 25, профрезерована кругом до $R_z = 80$ мкм и подвергнута естественному старению в течение 6 месяцев. Во всех опытах толщина слоя полимера составляла 3,0 мм.

Отклонения формы направляющих объемной модели, изготовленных по способам 2 и 5, измерялись контактным способом в четырех сечениях по их длине через каждые 30 минут. Применены приборы показывающие мод. 217 с индуктивными преобразователями мод. 234 и электронными блоками с ценой деления 0,1-10 мкм. В процессе экспериментов температура окружающей среды колебалась в пределах 1-2 °С.

Установлено, что с течением времени в результате усадки полимера и релаксации напряжений происходит изменение величины отклонения формы ($\Delta \phi$) направляющих. Так для модели, изготовленной по способу 2 за первые сутки $\Delta \phi = 3,7$ мкм, за третьи сутки $\Delta \phi = 5,5$ мкм, за шестые — $\Delta \phi = 8,3$ мкм.

Для модели, полученной по способу 5 отклонения формы существенно изменяются. За первые сутки $\Delta \phi = 13,2$ мкм, за вторые $\Delta \phi = 10,8$ мкм, за третьи $\Delta \phi = 9,7$ мкм. Характер изменения отклонения формы здесь иной. Быстрый рост $\Delta \phi$ за первые сутки связан с ускорившейся усадкой полимера из-за его нагрева изнутри. В последующие сутки усадка протекает не столь интенсивно и одновременно с непрерывной релаксацией остаточных напряжений в полимере. При этом время стабилизации формы поверхности полимерных направляющих сокращается в 1,5-2 раза.

На протяжении всего хода экспериментов величина отклонения формы направляющих моделей находилась в допустимых пределах согласно технических требований на каретку токарного станка модели 16А20Ф3. Таким образом выявлена возможность широкого использования разработанного способа изготовления МПК для сложных по конфигурации базовых деталей станков.

Четвертая глава посвящена исследованию эксплуатационных свойств направляющих из полимера в условиях производства на МСПО "Красный пролетарий".

Специальная методика проведения экспериментов позволила выделить влияние наличия металлополимерной конструкции каретки на точность и шероховатость обработки деталей типа вал, а также изменение вибрационных характеристик суппортной группы станка мод. 16А20Ф3 в отличие от конструкции, выполненной полностью из чугуна.

При нанесении полимера по способам 2 и 5 на соответствующие поверхности деталей ответной деталью служили: для каретки направляющие станины, для суппорта эталонная плита. Измерения

отклонений от прямолинейности направляющих каретки и суппорта фиксировались, соответственно, в 22 и 15 точках по длине. Полимер марки УПС-212 наносили толщиной 1,5 мм.

Изготовленные по способу 2 плоские направляющие каретки имели максимальное отклонение от прямолинейности $\Delta_{\text{пр}}^{\text{макс}} = 4$ мкм, среднее значение $\Delta_{\text{пр}} = 1,5$ мкм и среднеквадратическое отклонение $\sigma = 1,179$ мкм; для плоских направляющих суппорта максимальное отклонение от прямолинейности $\Delta_{\text{сп}}^{\text{макс}} = 8$ мкм, среднее значение $\Delta_{\text{сп}} = 3,6$ мкм и среднеквадратическое отклонение $\sigma = 3,29$ мкм. Полученные отклонения имеют величины того же порядка, что и расчётные при нормальных условиях отверждения и $h = 1,5$ мм.

Выполненные по способу 5 направляющие каретки имеют отклонение формы в 1,5 раза превосходящее отклонение для каретки, изготовленной без нагрева полимера (по способу 2).

Во всех исследованных случаях направляющие имели вогнутую форму. Независимо от способа изготовления направляющие имеют величины отклонений от прямолинейности не превышающие величин, заданных в технических требованиях.

Проверка жёсткости технологической системы станка проводилась по ГОСТ 18097-72. Установлено, что по параметрам технологической жёсткости станки с МПК не уступают станкам с чугунными направляющими.

Дальнейшие сравнительные испытания проведены по ГОСТ 3.1118-82 и показали, что при обработке вала на длине 216 мм от торца кулачков патрона получено наибольшее поле рассеяния отклонения размера 0,005 мм для станков с МПК и 0,029 мм для станков с чугунными направляющими. На всей длине вала значения поля рассеивания среднего арифметического отклонения профиля шероховатости составили $R_a = 0,64 \dots 0,75$ мкм для станков с МПК и $R_a = 0,3 \dots 1,25$ мкм для станков с чугунными направляющими.

Видно, что за счёт демпфирующих свойств полимерного материала и стабилизации положения вершины режущей кромки резца повышается точность и качество обработанной поверхности. Это подтверждено исследованиями величины амплитуды колебаний резцедержателя в процессе обработки. Колебания записывались с помощью универсального виброизмерительного прибора VIBROPORT M497, электродинамического датчика абсолютных колебаний Т77 и двухкоординатного самописца. Зафиксировано снижение величин амплитуд колебаний в 2-8 раз при использовании на базовых деталях станков направляющих из полимера.

Пятая глава содержит методику назначения рациональных условий выполнения операций изготовления направляющих элементов станка из

полимера. Рассмотрена технико-экономическая эффективность внедрения технологических рекомендаций.

Методика позволяет выбрать условия изготовления направляющих с полимерной прослойкой из большого числа возможных вариантов. Проектирование осуществляется в 3 этапа. На первом - выбирается способ нанесения полимера исходя из типа производства. На втором - выбираются наилучшие варианты выполнения операции изготовления направляющих исходя из технических требований, анализа технологичности и технико-экономических показателей. Третий этап необходим для уточнения режимов выполнения наилучшего варианта по критерию минимума трудоёмкости изготовления направляющих при выполнении ограничений по точности, шероховатости и температуре нагрева поверхности полимера.

Результаты работы проверены в производственных условиях на Новокраматорском машиностроительном заводе, при ремонте направляющих элементов токарно-карусельных станков с суммарной величиной 860 единиц ремонтной сложности. Внедрение операции изготовления (ремонта) направляющих из полимера позволило снизить длительность производственного цикла на 75%, себестоимость операции на 27%. Годовой экономический эффект от внедрения составляет 46 380 рублей в ценах 1987 г.

В приложениях представлены программа и результаты расчётов на ЭВМ по определению напряженно-деформированного состояния металлополимерной конструкции, акт испытаний и акт внедрения.

Общие выводы и рекомендации.

1. На основании теоретических и экспериментальных исследований операции изготовления металлополимерной конструкции станка выявлены физические закономерности формообразования поверхности направляющих, позволяющие разработать способы и рекомендации по управлению процессом с целью достижения высокой точности и низкой трудоёмкости изготовления.

2. Установлено, что из-за усадки полимерного слоя в МПК возникает напряженно-деформированное состояние, вследствие чего в продольном сечении направляющих появляется отклонение формы в виде вогнутости, величина которого не превышает допустимого значения заданного в технических требованиях.

3. При проектировании металлополимерных конструкций станков с минимальными величинами деформаций и остаточных напряжений особое внимание следует уделять таким конструктивно-технологическим факторам, как величина усадки, толщина слоя полимера, способ изготовления конструкции и условия отверждения.

4. Для сокращения времени отверждения полимера в 3-8 раз рекомендуется использовать разработанный способ с нагревом полимера изнутри.

5. Алгоритмы и программы расчёта перемещений и напряжений конструкции рекомендуется применять в качестве блоков АСТПП станкостроительных предприятий. Это позволяет улучшить качество принимаемых решений при проектировании технологических процессов изготовления направляющих из полимера.

6. Закономерности формообразования поверхности направляющих из полимера, полученные при исследовании различных технологических способов их изготовления, позволили разработать инженерную методику назначения рациональных по точности и трудоёмкости условий выполнения технологических операций.

7. Для изготовления направляющих в деталях типа каретка и суппорт рекомендуется использовать нагревательные элементы "зигзагообразной" и "подковообразной" формы. С точки зрения минимума затрат времени на изготовление, а также соответствия норм охраны труда наилучшим следует считать режим нагрева $U = 36 \text{ В}$, $I = 1 \text{ А}$.

8. Внедрение результатов исследований при изготовлении направляющих токарно-карусельных станков позволило снизить длительность производственного цикла на 75%, обеспечить экономическую эффективность разработанного способа отверждения полимера в условиях серийного производства в размере 46 380 рублей в ценах 1987 г.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. Джафарова Ш.И. Применение антифрикционных полимерных материалов при сборке базовых деталей металлорежущих станков. - Баку: Знание, 1987. - С.8.

2. Мельников Г.Н., Соловьёв А.И., Джафарова Ш.И. Анализ способов моделирования напряжённо-деформированного состояния металлопластмассовых конструкций и пути их совершенствования //Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении: Тез.докл. 1-го Всесоюзного научно-технического семинара.- Ворошиловград, 1987.-С.64.

3. Джафарова Ш.И., Соловьёв А.И. Влияние технологических факторов на эксплуатационные качества металлорежущих станков с полимерной прослойкой//Прогрессивные технологические процессы в тяжёлом и транспортном машиностроении: Сб.научн.трудов.- Краматорск, 1987. - С.88-93.

4. Джафарова Ш.И., Соловьев А.И. Расчет деформаций подвижных металлополимерных конструкций станков с учетом технологических факторов их изготовления. //Машиностроитель. - 1999 г. - No 4. - С.61-64