

М 449 365

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

АРСЛАНОВ Фарит Хузоянович

УДК 621.9.014

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ВАЛКОВ ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ СТАНОВ

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 1987

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент Камсюк М.С.

Официальные оппоненты – доктор технических наук, старший научный
сотрудник Ярославцев В.М.
– кандидат технических наук,
профессор Строганов Г.А.

Ведущее предприятие – Московское станкостроительное производ-
ственное объединение "Красный пролетарий"

Защита состоится " 23 " марта 1987 г. на заседании
специализированного совета К 053.15.15 Московского ордена Ленина,
ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005,
Москва Б-5, 2-ая Бауманская улица., д.5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВТУ имени
Н.Э.Баумана.

Ваш экземпляр на автографат в одном экземпляре, заверенный
печатью и подписью, издается по указанному адресу.

Автографат разослан " 18 " 03 1987

Уч
кандидат

Яков

Зак. 2

М 449365

Лист 100

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

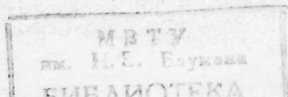
Актуальность тем. Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1985-1990 гг. и на период до 2000 года предусмотрена широкая программа повышения технического уровня, в том числе одной из ведущих отраслей черной металлургии-трубной промышленности. Выпуск стальных труб, изготовленных на электросварочных станах в общем объеме за последние годы увеличен с 42 % до 60 %.

Производство указанных труб характеризуется высокой производительностью и относительной простотой технологии. Одной из основных операций в технологическом процессе производства электросварных труб является непрерывная формовка плоской ленты в трубную заготовку. При формовке ленты в валках различные сечения трубной заготовки по длине очага деформации имеют различный радиусгиба-от бесконечного на входе (плоский участок) до радиуса готовой трубы на выходе. Факторами, определяющими производительность трубозлектросварочного стана (ТЭС) и качество формируемой трубы, являются износостойкость и долговечность формовочных валков. Роль этих факторов значительно возрастает при включении в сортамент ТЭС труднодеформируемых нержавеющей сталей.

Большие контактные напряжения, выдерживаемые валком в процессе прокатки, зависят от физического состояния поверхностного слоя. Практика показывает, что срок службы валков даже изготовленных по одной технологии далеко не одинаков.

Основные технические вопросы, которые необходимо решить с целью совершенствования технологии трубного производства, связаны с процессом формообразования трубной заготовки, характеризующим в целом эффективность работы ТЭС. Стабильность указанного процесса зависит от формы рабочего ручья валков, которая определяет устойчивость полосы и качество трубной заготовки.

Подавляющее большинство формовочных валков ТЭС имеют однодвухрадиусные выпуклые и вогнутые профили. Однако требования интенсификации выпуска труб, рост скорости формовки приводят к необходимости разработки новых конструктивных решений валков и нового технологического процесса их изготовления. Исследования, проведенные в МВТУ им. Н.Э.Баумана на кафедре "Технология и оборудование прокатного производства" и Московском институте стали и сплавов, свидетельствуют о том, что существенного прироста скорости формовки можно достичь при использовании валков, профиль



которых ограничен кривыми второго порядка. Устойчивость полосы, формируемой в таком калибре, значительно выше одно-двухрадиусных, так как ее сдвигу препятствуют не только силы трения, но и необходимость при сдвиге полосы затрачивать дополнительную работу на ее деформирование по всей ширине.

Естественно, что получение труб высокого качества возможно лишь при эксплуатации валков, удовлетворяющих требованиям точности и качества, предъявляемым к ним.

Большое количество одновременно используемых валков (до тысячи штук на каждый стан), их многоименность (от однорадиусных профилей до профилей, заданных сопрягающимися участками кривых второго порядка) определяют актуальность выбранной работы.

Цель работы. Повышение качества и снижение трудоемкости изготовления сложнопрофильных валков.

Методы исследования. В работе применялись производственные, теоретические и экспериментальные исследования. Теоретические исследования проводились на базе основ технологии машиностроения с использованием расчетных и экспериментальных методов определения точности обработки и соответствующих разделов аналитической геометрии, теоретической механики, векторной алгебры. Экспериментальные исследования выполнены в лаборатории кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана на токарном станке с ЧПУ модели I6K20TI. Расчеты выполнялись и обработка экспериментальных данных проводилась с использованием ЭВМ ЕС-1022.

Научная новизна работы включает в себя:

1. принцип оценки влияния на точность обработки фасонных тел вращения отдельных технологических факторов, основанный на построении векторных полей отклонений;
 2. методику расчета векторов отклонений, обусловленных отжатыми анизотропной технологической системы (ТС), подчиняющейся закону Гука и обладающей тремя степенями свободы;
 3. методику экспериментального определения компонент матрицы, характеризующей податливость ТС;
 4. методику расчета сил, действующих на ТС при точении фасонного профиля резцами с криволинейной режущей кромкой.
- Практическая ценность. Практическую ценность работы представляют:

1. технологический процесс изготовления сложнопрофильных валков ТЭС, исключающий операцию шлифования фасонного профиля закаленного вала;

2. программное обеспечение для расчета на ЭВМ параметров оценки точности обработки размеров, формы и расположения фасонного профиля;

3. программа расчета сил, действующих на ТС при точении сложного профиля;

4. программное обеспечение усовершенствованной системы автоматизации программирования технологических процессов для токарных станков с ЧПУ.

Реализация работы. Результаты исследований прошли промышленную проверку на Московском трубном заводе (МТЗ). Фактический годовой экономический эффект, подтвержденный расчетами и актом внедрения результатов исследований, составил 22648 руб. на один трубоэлектросварочный стан.

Апробация работы. Материалы исследований и диссертация в целом доложены и обсуждены на научных семинарах кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1984–1986 годах; на Всесоюзной научно-технической конференции "Современные проблемы технологии машиностроения", январь 1986 г. (Москва); на Всесоюзной конференции "Современные вопросы механики и технологии машиностроения", май 1986 г. (Москва).

Публикации. Основной материал диссертации изложен в 5 печатных трудах, список которых приведен в конце автореферата.

Объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав с выводами и общих выводов по работе. Содержит 5 таблиц, 64 рисунка, список литературы из 88 наименований, четырех приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приводятся основные типы применяемых калибровок валков ТЭС, требования, предъявляемые к валкам; анализируются различные технологические варианты получения рабочего профиля валков.

Технические требования, предъявляемые к валкам, являются весьма жесткими. Так отклонение реального профиля от теоретического не должно превышать 0,01 мм при шероховатости поверхности R_a

0,1...1,6 мм. Изготавливают валки из высококачественной легированной стали марок X3M, X12M, подвергаемой объемной закалке HRC 60...65.

Базовый технологический процесс изготовления валков предусматривает шлифование закаленного рабочего профиля методом врезания. Для этого необходима широкая номенклатура кругов, требующих специальной фасонной правки. Форсирование режимов резания с целью повышения производительности приводит к резкому локальному повышению температуры поверхностных слоев, снижению твердости обработанной поверхности, возникновению в них растягивающих напряжений, величина которых часто превышает предел прочности материала валка, вследствие чего на поверхности образуются микротрещины. Кроме того, шаржирование рабочей поверхности валка абразивными зернами вызывает ее ускоренный износ.

В соответствии с результатами проведенного анализа и обзора, а также исходя из поставленной цели, сформулированы задачи исследований:

1. учитывая последние достижения в области металлообработки, составить технологический процесс изготовления валков, исключая операцию шлифования рабочего профиля закаленного валка;
2. выявить и оценить основные технологические факторы, влияющие на точность и качество обработки валков;
3. найти параметры оценки точности размеров, формы и расположения фасонного профиля и составить программное обеспечение для их расчета на ЭВМ;
4. разработать методику нахождения параметров, характеризующих точность обработки, при действии как отдельных технологических факторов, так и их совокупности;
5. исследовать качество поверхностного слоя рабочего профиля валков и выявить ограничения по режимам резания, определяемые Т.У. на их изготовление;
6. дополнить систему автоматизации технологических процессов для станков с ЧПУ программами, позволяющими рассчитывать точностные параметры фасонного профиля с учетом найденных ограничений на стадии технологического проектирования.

Следует заметить, что перечисленные задачи весьма различаются по сложности и трудоемкости их решения. Наиболее сложным является решение четвертой задачи, которая сама по себе содержит несколько подзадач. Так например, для определения влияния на точ-

ность обработки упругих отжатий необходимо рассмотреть математическую модель анизотропной упругой системы; найти коэффициенты матрицы, характеризующей ее податливость; разработать методику и составить программу для расчета сил, действующих на ТС при точении фасонного профиля.

Во второй главе проанализированы существующие принципы и критерии оценки точности обработки сложнопрофильных деталей, рассмотрен наследственный характер формирования точности обработки сложного профиля вала.

Форма деталей, имеющих сложный профиль обычно задается координатами отдельных его точек в виде таблиц или уравнениями в прямоугольной системе координат. Используя расчетно-аналитический метод исследования точности обработки, разработанный профессорами В.М.Кованом и В.С.Корсаковым, можно найти отклонение любой точки реального профиля от ее номинального положения. Эти отклонения удобно представлять в виде векторов, которые берут свое начало на номинальном профиле, направлены в сторону соответствующего отклонения и равны ему по модулю. Граница концов таких векторов образует профиль обработанной детали. Однако такое объяснение формообразования реального профиля не позволяет в целом оценить соответствие номинального и реального контуров детали, т.к. не дает возможности выделить отдельные составляющие точности геометрического параметра-размера, формы и расположения поверхностей. ГОСТ 24642-81 предусматривает производить количественную оценку отклонений формы относительно среднего элемента. Однако в ГОСТе не установлены необходимые зависимости и не предложен соответствующий математический аппарат для практического использования количественной оценки отклонения формы, а также взаимного расположения поверхностей.

В результате обзора сравнительно небольшого количества работ, посвященных исследованию точности обработки сложных профилей, приняты следующие критерии оценки точности:

а. среднеквадратическое отклонение σ реального контура от среднего, которое характеризует точность формы реального контура. При этом под средним контуром понимается такой геометрически подобный номинальному контур, для которого это отклонение является минимальным;

б. коэффициент K расширения контура-критерий, характеризующий точность размеров реального контура (его уменьшение или увели-

чение) по сравнению с номинальным;
в. смещение $\Delta_{\text{см}}$ центра тяжести среднего контура относительно центра тяжести номинального контура, направление смещения Ψ и угол φ поворота среднего контура. Эти параметры характеризуют смещение реального контура относительно его номинального положения.

Отмечается, что из всех параметров, характеризующих точность для криволинейного профиля валка, наиболее важными являются среднеквадратическое отклонение реального контура от среднего, коэффициент расширения контура и угол поворота среднего контура. Объясняется это тем, что погрешность продольного размера валка, приводящая к осевому смещению фасонного профиля, отклонение торца от перпендикулярности его оси (осевое биение) могут быть компенсированы осевым регулированием при установке валка в клеть.

Разработаны алгоритмы и программы, позволяющие определять степень соответствия реального и номинального профилей по всем вышеприведенным критериям оценки точности обработки.

В работе из технологических факторов, влияющих на точность обработки сложнопрофильных деталей типа тел вращения, рассматриваются упругие отжатия ТС токарного станка и его геометрические неточности.

Процесс технологического наследования точностных характеристик фасонной рабочей части валка, рассмотренный с помощью графиков, позволил сделать следующий вывод: можно отметить как бы "равноправие" черновой и чистовой обработки, что свидетельствует о недопустимости пренебрежительного отношения к предварительной обработке профиля.

Третья глава посвящена разработке, теоретическому и экспериментальному исследованию процесса образования погрешностей обработки, обусловленных упругими отжатиями ТС при точении фасонного профиля, а также геометрическими неточностями оборудования.

Литературный обзор современного представления упругих характеристик металлорежущих станков показывает, что существующий в настоящее время подход к описанию упругих характеристик ТС обладает рядом недостатков. А именно — отсутствием чисто аналитической модели упругих характеристик ТС, расхождением мнений по определению основных упругих характеристик ТС. Более глубокое понимание сущности физических процессов, происходящих в ТС, пос-

служило основой для создания в последние годы модели формирования погрешностей обработки с учетом анизотропии упругих характеристик ТС.

Обычно при расчете отклонений, вызываемых упругими отжатыми ТС ее податливость принимается изотропной. Величину этих отклонений находят из выражения:

$$\Delta = W \rho,$$

где Δ —отжатие ТС;
 W —податливость;
 ρ —нагрузка.

Однако практика свидетельствует, что при современных требованиях к точности обработки допущение об изотропности податливости применять нельзя, т.к. главное направление перемещений ТС существенно не совпадает с направлением вызывающих их сил. Эксперименты показывают, что границы эпюр отжатий основных узлов ТС существенно отличаются от окружностей. Для приближенного описания упругих характеристик линейных ТС, обладающих двумя степенями свободы, целесообразно использовать представление об эллипсе жесткости. При этом, направления главных осей эллипса не обязательно совпадает с направлениями осей координат станка. Наряду с податливостями W_x и W_y , определяемыми в направлении главных осей эллипса, следует учитывать податливости взаимного влияния, которые для упругих систем равны между собой $W_{xy} = W_{yx}$.

В данной работе рассматривается модель формирования погрешностей обработки с учетом как линейных, так и крутильных перемещений. При этом податливости и жесткости узлов станка представлены в виде матриц. Заметим, что обратная зависимость между соответствующими коэффициентами матриц податливости и жесткости отсутствует. Рассматриваемая модель носит статический характер, т.к. режимы обработки фасонного профиля валков являются чистовыми и динамика процесса не оказывает существенного влияния на формирование погрешности, обусловленной упругими отжатыми ТС. К тому же авторы целого ряда работ отмечают, что учет колебаний элементов ТС, приводящий к значительному усложнению математических моделей определения погрешностей обработки, вызванных упругими отжатыми ТС, не позволяет существенно повысить точность расчета.

Проведенный анализ упругих отжатий ТС токарного станка позволил выявить доминирующие составляющие вектора упругих перемещений. На формирование векторного поля погрешностей, обусловленно-

го упругими отжатыми ТС, наибольшее влияние оказывают линейные отжаты в продольном и поперечном направлениях и поворот в горизонтальной плоскости.

Упругие отжаты узлов станка в процессе обработки вызывают отклонения точек реальной поверхности от их номинального положения. В работе рассматривались отдельно упругие отжаты шпиндельного узла и аналогично узла суппорта, включая револьверную головку, а затем определялся общий вектор отклонений. Из математической модели образования погрешностей обработки, обусловленных упругими отжатыми ТС, следует, что сравнительно малые величины, характеризующие крутильные податливости взаимного влияния, перемножаются с квадратами больших линейных величин, что в свою очередь вносит существенные добавления в перемещения рассматриваемых точек. Совокупность векторов отклонений реального профиля вала от номинального их положения позволяет прогнозировать (определять) точность формы (среднеквадратическое отклонение), коэффициент расширения контура и точность его расположения.

Коэффициенты матрицы податливости определялись экспериментальным путем в результате четырех серий экспериментов. Сущность экспериментов заключалась в следующем. Нагружая систему последовательно фиксированными силовыми факторами и моментами, замерялись величины всех вызываемых ими отжатий. В соответствии с разработанной математической моделью для каждого нагружения составлялись алгебраические уравнения. В результате решения системы этих уравнений определялись компоненты матрицы податливости.

Для обработки фасонного профиля валков использовались резцы, оснащенные круглыми неперетачиваемыми пластинами.

Существующие формулы для определения сил резания криволинейной режущей кромкой инструмента весьма сложны и неудобны для случая обработки сложнопрофильных деталей. Кроме того, ни в одной из применяемых методик расчета сил резания не учитывается влияние, которое оказывает на величину и направление сил резания изменение направления подачи относительно общей нормали к криволинейной режущей кромке и контуру детали. Поскольку экспериментально определить усилия резания для бесконечно большого сочетания направлений подачи и углов контакта криволинейной режущей кромки невозможно, то возникла необходимость в разработке методики расчета этих усилий.

Для удобства расчетов припуск и радиус криволинейной режущей кромки инструмента заменялся более общим параметром — углом контакта φ инструмента с деталью. Сила резания была представлена как равнодействующая распределенной нагрузки. Под термином "распределенная нагрузка" понимается сила, приходящаяся на единицу длины проекции дуги контакта на горизонтальную плоскость.

Проводя аналогию с удельной силой резания, можно записать:

$$p = K a^{\mu},$$

где K — коэффициент, зависящий от условий обработки;

a — текущая толщина срезаемого слоя;

μ — показатель степени, $\mu < 1$.

Так как $a = S \sin \varphi$,

то $p = A \sin^{\mu} \varphi$.

При обработке контуров большой или переменной кривизны подача осуществляется шаговой обработкой перемещений от предшествующей точки траектории инструмента к каждой последующей точке. Именно положение соседних точек и определяет текущий угол α между общей нормалью и направлением подачи. Тогда:

$$p = A \cos^{\mu} (\varphi - \alpha).$$

Усилие резания представляет собой интеграл удельной силы по длине дуги контакта. В результате математических преобразований получаем радиальную и осевую составляющую сил резания. Для определения величин A и μ проводился эксперимент продольного точения при $\alpha = \pi/2$ и $\varphi = \pi/2$ с измерением составляющих сил резания на токарном станке с ЧПУ мод. 16K20TI с использованием стенда, включающего универсальный динамометр УДМ-600.

Сопоставление экспериментальных сил резания P_x и P_y и полученных в результате расчета по предлагаемым формулам показывает близкое совпадение их — расхождение составляет не более 12 %.

В качестве объекта исследований для построения векторного поля отклонений точек реального профиля относительно соответствующих точек номинального профиля, обусловленного упругими отжатыми ТС, была взята обработка вала первой формовочной клетки для стана "WRS-300" МТЗ. Расчет проводился с изменением глубины резания при поступательной подаче и с изменением подачи при постоянной глубине резания. При этом использовался инструмент в виде круглых пластин диаметром 3,5 мм. Изменением глубины резания от 0,1

мм до 0,4 мм, а также изменением подачи от 0,05 мм/об до 0,09 мм/об достигалось изменение сил резания, что приводило к различным величинам упругих отжатий ТС.

Рабочий профиль валков был представлен массивом координированных точек через 1 мм, $I:N$, где $N = 55$. Расчет отклонений в каждой точке поверхности от номинального положения производился на ЭЕМ с использованием разработанных во 2 главе программ оценки точности обработки.

Анализ полученных результатов показал, что из рассмотренных режимов резания наибольшее влияние на величину упругих отжатий ТС оказывает глубина резания, в меньшей мере — подача. Увеличение глубины резания более 0,4 мм на сторону недопустимо ввиду больших отжатий ТС, величина ζ в этом случае превышает поле допуска.

Рассматривая влияние геометрических неточностей оборудования на формообразование профиля валка, заметим, что профиль детали, заданный и запрограммированный в номинальной прямоугольной системе координат на самом деле обрабатывается в реальной косоугольной и нелинейной системе координат. Для построения векторного поля отклонений точек реального профиля детали, обусловленного геометрическими неточностями станка, необходимо иметь конкретные сведения об отклонениях от прямолинейности продольных и поперечных направляющих станка.

Методика проведения эксперимента с целью измерения отклонения от прямолинейности продольных направляющих токарного станка заключалась в следующем. Датчик, закрепленный в резцедержке суппорта, измерял его отклонение в поперечном направлении относительно боковой поверхности эталонной планки, тщательно выставленной параллельно продольным направляющим станка. Совершая дискретное перемещение, задаваемое системой ЧПУ вдоль продольных направляющих Z с шагом h (т. $Z_0, Z_1, \dots$), суппорт отклонялся от прямой линии на соответствующие величины $X_0, X_1, \dots$, для регистрации которых использовался прибор модели 2Г7 с индуктивными преобразователями модели 234, выпускаемые заводом "Калибр".

Определение отклонений от прямолинейности поперечных направляющих проводилось аналогично.

Расчет отклонений точек реального профиля от номинального производился по специально разработанной программе на ЭЕМ. Анализ результатов показал (см. табл.), что влияние геометрических неточностей токарного станка на точность формообразования фасонного профиля весьма незначительно.

Экспериментальная проверка результатов предложенного расчета точности обработки криволинейного профиля производилась на партии валков, обработанных при различных значениях подач (0,05...0,08 мм/об) и при различных глубинах резания (0,1...0,4 мм). Размер партии составлял 50 валков десяти типоразмеров. Обработанные рабочие профили валков измерялись на координатно-измерительном приборе мод. ДИИ-1. Замеры проводились через 1 мм по сечениям с точностью 1 мкм. Результаты замеров обрабатывались по программе оценки точности обработки на ЭВМ.

Сопоставление результатов расчета и экспериментальной обработки подтвердило вывод о доминирующем влиянии упругих отжаты ТС.

		Параметры точности обработки	
		σ	K
Результаты расчетов	Упругие отжаты ТС	0,001-0,0022	1,000-0,996
	Геометрические неточности станка	0,0001	1,000
Результаты обработки экспериментальных данных		0,001-0,0025	1,001-0,995

На основе экспериментальных исследований уместно отметить ряд ограничений, направленных на уменьшение отжаты ТС и обеспечение точности обработки сложнопрофильных валков. Глубина резания не должна превышать 0,4 мм на сторону при подаче не более 0,08 мм/об.

Проверка по критерию Фишера математических моделей подтвердила их адекватность экспериментальным данным.

Четвертая глава посвящена исследованию качества поверхностного слоя фасонного профиля закаленного валка, полученного в результате точения резцами, оснащенными сверхтвёрдыми материалами (СТМ).

Исследование напряженного состояния поверхностного слоя после тонкого точения показало, что в поверхностном слое формируются благоприятные сжимающие остаточные напряжения. Определение остаточных напряжений проводилось по методу Закса-Давиденкова.

Точение резцами из СТМ позволило получить не только стабильную твердость, но и некоторое ее увеличение. В качестве режу-

щего инструмента использовались резцы, оснащенные СТМ на основе кубического нитрида бора (эльбор-Р) — круглые вставки диаметром 3,5 мм, серийно выпускаемые Томилкинским заводом алмазных инструментов, а также керамикой марки ВСК-60, трехгранные пластины ГОСТ 25003-81.

Микроструктура поверхностных слоев валка, и особенно, количество остаточного аустенита определяют работоспособность закаленных валков. Исследования, проведенные рентгеновским методом на ДРОН-3 (дифрактометре рентгеновском общего назначения) при различных подачах (доминирующем факторе пластической деформации поверхностного слоя), показали, что с увеличением подачи от 0,05 мм/об до 0,1 мм/об количество остаточного аустенита изменяется с 17 % до 7 %. Такое снижение остаточного аустенита не нарушает работоспособности закаленных валков.

Сопоставление микропрофилей деталей, измеренных на приборе **Surtronic** из закаленной стали Х12М после шлифования по серийной технологии и после точения резцами из СТМ на различных подачах позволили сделать следующие выводы:

1. при точении микропрофиль более регулярен, чем при шлифовании;
2. увеличение радиуса при вершине резца способствует уменьшению параметров шероховатости;
3. высоте параметры микронеровностей — среднее арифметическое отклонение профиля Ra , высота неровностей по десяти точкам Rz и наибольшая высота неровностей профиля R_{max} — возрастают с увеличением подачи;
4. шаговые параметры неровностей — средний шаг S_m и средний шаг неровностей по вершинам S — находятся в прямой зависимости от подачи.

Изменение скорости резания не дает ощутимых изменений параметров шероховатости. При этом следует отметить, что при одинаковой глубине резания ($t = 0,25$ мм) и подачах ($S = 0,04 \dots 0,1$ мм/об) резцы, оснащенные эльбором-Р при скорости резания свыше 140 м/мин начинают быстро выкрашиваться, в то время как пластины из керамики ВСК-60 позволяют дальнейшее увеличение скорости резания при хороших параметрах шероховатости до 200 м/мин. При увеличении глубины резания от 0,25 мм до 1 мм параметр шероховатости Ra у керамики более стабилен, чем у эльбора-Р. Объясняется это невысокой стойкостью эльбора при "больших" глубинах резания

(свыше 0,5 мм), а также при увеличении подачи.

Следует отметить высокую чувствительность обоих СТМ к ударной нагрузке, особенно керамики ВСК-60. Неравномерность сечения среза, вибрации, различного рода биения приводят к быстрому выкрашиванию СТМ и, как следствие этого, нарушению стабильности в формировании параметров шероховатости. Поэтому, для обработки рабочего профиля валков рекомендуется применение разжимных оправок, позволяющих свести биения к минимуму. А перед чистовым тонким точением рекомендуется проводить получистовое точение на пониженных режимах ($v \sim 40 + 60$ м/мин, $t = 0,2 \dots 0,5$ мм, $S = 0,1 \dots 0,14$ мм/об) с целью ликвидации неравномерности сечения среза, обусловленного объемными деформациями заготовки при термообработке.

Пятая глава посвящена промышленному внедрению результатов исследований.

Предлагаемый в работе технологический процесс изготовления валков предусматривает ряд мероприятий, ориентированных не только на устранение недостатков существующего процесса, но и направленных на повышение точности изготовления валков и их качества на основе проведенных в работе исследований.

Результаты исследований, представленные в главе 4, позволили заменить трудоемкую операцию шлифования закаленных валков точением с лезвийным инструментом, оснащенным СТМ.

Обработка отверстия после термообработки производится на токарном станке с ЧПУ с применением инструмента, оснащенного гексанитом, который допускает прерывисто-ударное резание. Валок базируется при этом по торцу и наружному диаметру в $3X$ кулачковом патроне. За этот же установ обрабатывается и торец вала также с применением гексанита. Таким образом, обеспечивается перпендикулярность оси отверстия торцу вала.

Согласно рекомендаций, сделанных в работе, чистовое точение наружной поверхности закаленного вала производится на разжимной оправке с базированием по обработанному отверстию и торцу. В качестве инструмента используются резцы, оснащенные круглыми пластинами из эльбора-Р диаметром 3,5 мм. При этом же установе обрабатывается и второй торец вала с применением инструмента из гексанита.

Использование станков с ЧПУ сопряжено с необходимостью подготовки управляющих программ. В данной работе использовалась

система автоматизации программирования технологических процессов АПТ ЕС, позволяющая программировать обработку поверхностей практически всех видов.

Для того, чтобы в достаточно полной мере реализовать возможности по обеспечению точности обработки фасонного профиля вала при подготовке управляющих программ для станка с ЧПУ разработанные в работе программы включены в систему АПТ ЕС в виде подпрограмм. Такой подход позволил уже на стадии технологического проектирования методом сравнения ожидаемых параметров точности обработки G, K, φ с допускаемыми корректировать режимы обработки.

При назначении оптимальных граничных значений режимов резания использовались результаты исследований, проведенные в главе 4. Перебор вариантов повышения точности обработки начинается со сравнения подачи с максимально допустимой, а уже только после удовлетворения условия $S \leq S_{max}$ уменьшается глубина резания. Объясняется это тем, что наряду с требуемой точностью обработки фасонного профиля вала необходимо обеспечить и качество поверхностного слоя, которое, как отмечалось выше, более всего зависит от подачи.

Согласно разработанного технологического процесса в лаборатории кафедры "Технология механосборочного производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана на станке мод. 16K20TI были изготовлены валки по действующим чертежам МТЗ. Эксплуатация этих валков в условиях производства на стане "WRS-300" показала стойкость 350 тыс. метров труб. Для сравнения отметим, что стойкость валков, изготавливаемых по базовому варианту составляет 250 тыс. метров труб.

Годовая экономическая эффективность от внедрения вышеприведенных исследований образовывается, в основном, за счет повышения стойкости валков.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для повышения качества изготовления сложнопрофильных валков ТЭС необходимо производить их обработку на токарных станках с ЧПУ согласно разработанного технологического процесса, который обеспечивает следующие параметры точности: среднеквадратическое отклонение реального фасонного профиля от среднего не превышает 0,001 мм; коэффициент расширения контура изменяется в

пределах 0,998-1,001; угол поворота контура не более 0,06 град. Параметр шероховатости R_a закаленного вала не превышает 0,4 мкм. Трудоемкость обработки снижается на 20 %.

2. Оценку влияния на точность обработки фасонных тел вращения необходимо производить на основе анализа векторных полей отклонений. При действии нескольких технологических факторов анализируется векторное поле отклонений, обусловленное действием каждого фактора.

3. Для оценки точности обработки сложных профилей необходимо пользоваться разработанным программным обеспечением для ЭВМ, позволяющим определить основные параметры, характеризующие точность.

4. Установлено, что основными причинами снижения точности обработки деталей сложной формы на токарных станках являются упругие отжатия ТС. На формирование векторного поля погрешностей наибольшее влияние оказывают линейные отжатия в продольном и поперечном направлениях и поворот в горизонтальной плоскости.

5. Выявлено, что ТС обладает неравномерными упругими свойствами. Для нахождения вектора отклонений каждой точки фасонного профиля от ее номинального положения следует пользоваться разработанной математической моделью течения сложного профиля, учитывающей анизотропные свойства ТС.

6. Для определения сил резания при тчении сложного профиля криволинейной режущей кромкой инструмента необходимо пользоваться разработанной методикой, которая предусматривает нахождение сил с учетом изменения направления подачи.

7. Показано, что в результате замены процесса шлифования фасонного профиля закаленного вала тчением на станке с ЧПУ с использованием инструментов, оснащенных СТМ, наблюдается упрочнение поверхностного слоя, в нем формируются благоприятные сжимающие остаточные напряжения, формируется регулярный микрорельеф.

8. Использование системы автоматизации проектирования технологического процесса совместно с разработанным программным обеспечением, позволяет обеспечивать требуемую точность обработки фасонного профиля методом сравнения с допускаемыми параметрами точности на стадии технологического проектирования.

9. Экономический эффект от внедрения результатов работы на Московском трубном заводе составил 22648 руб. в год на один трубоэлектросварочный стан.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Камский М.С., Арсланов Ф.Х. О расчете сил при точении криволинейной режущей кромкой инструмента // Известия вузов. Машиностроение. - 1985. - № II. - с. II6-II9.

2. Арсланов Ф.Х. Повышение качества обработки валков // Современные вопросы механики и технологии машиностроения: Тез. докл. Всесоюзной конференции, 20-22 апреля 1986 г., М., - Ч.2. - с. 81-82.

3. Рымов В.А., Арсланов Ф.Х., Фадеев А.М. Изготовление валков на станках с числовым программным управлением // Черная металлургия. - 1986. - № 8. - с. 54-55.

4. Арсланов Ф.Х. Технологическая наследственность при точении сложнопрофильных валков // Известия вузов. Машиностроение. - 1986. - № 9. - с. 109-112.

5. Волков О.Ю., Камский М.С., Арсланов Ф.Х. Применение ЭВМ для оценки точности обработки сложноконтурных деталей // Известия вузов. Машиностроение. - 1986. - № 9. - с. 133-136.

