

05.02.08
Л656
✓
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Длхтенштейн Давид Ефимович

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ
МЕТАЛЛА ПРИ БЕСЦЕНТРОВОМ ТОЧЕНИИ ТРУБ

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

Челябинск
1976

ЧПИ

Работа выполнена на Первоуральском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени новотрубном заводе и в Уральском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте им.С.М.Кирова.

Научный руководитель - доктор технических наук
Б.Н.Бирюков.

Официальные оппоненты: профессор, доктор технических наук
Д.Т.Васильев,
кандидат технических наук
Б.С.Дерганов.

Ведущее предприятие - Челябинский ордена Ленина
трубопрокатный завод.

Защита диссертации состоится 15 декабря 1976 г., в 15 часов,
на заседании Специализированного совета К-597/1 по присуждению
ученой степени кандидата технических наук при Челябинском поли-
техническом институте им.Ленинского комсомола (г.Челябинск,
проспект им.В.И.Ленина, 76, ауд.244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 15 ноября 1976 г.

Отзывы на автореферат просим направлять в двух экземплярах,
заверенных печатью, по адресу: 454044, г.Челябинск, 44, проспект
им.В.И.Ленина, 76, Ученому секретарю.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
доцент, канд. техн. наук



(Меньшаков В.М.)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В документах XXV съезда КПСС подчеркивается необходимость совершенствования промышленной продукции, среди которой важное место занимают бесшовные трубы. Многие актуальные вопросы качества труб при прокатке решены в работах советских ученых П.Т.Емельяненко, А.П.Чекмарева, А.И.Целикова, Я.Л.Ваткина, С.И.Борисова, В.Л.Колмогорова, В.И.Соколовского, Г.И.Гуляева, Н.С.Раймана и др. Вместе с тем в ряде случаев качество поверхности и точность горячекатаных труб не удовлетворяют возросшие требования. Поэтому все большее значение приобретает отделка труб, в частности на бесцентрово-токарных станках. Однако точение может существенно увеличивать поперечную разностенность и сопряжено с заметными потерями металла в стружку. Только на Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ) эти потери в денежном выражении превышают 2,8 млн рублей в год.

Целью работы является разработка и исследование способов бесцентрового точения, обеспечивающих изготовление труб требуемой точности с наименьшими потерями металла.

Методика исследования: Работа выполнена с применением аналитических и экспериментальных методов исследований. Аналитическое исследование включает изучение сил и деформаций в системе СПИД, анализ процесса формообразования обточенной поверхности и ее расположения относительно исходных поверхностей трубы, нахождение зависимости разностенности и потерь металла от основных факторов, действующих в процессе точения.

Эксперименты выполнялись на серийных бесцентрово-токарных станках 9330 с использованием специального оборудования, спроектированного и изготовленного на ПНТЗ для реализации мероприятий, предложенных для совершенствования процесса.

Научная новизна работы. Разработаны и исследованы два способа бесцентрового точения труб с автоматическим управлением процессом формообразования обточенной поверхности. Установлен характер влияния различных технологических факторов на разностенность обточенных труб.

Обоснованы требования к технологии и оборудованию, обеспечивающие снижение разностенности и потерь металла при точении. Предложены зависимости для расчета фотооптического датчика положения труб, разностенности труб, потерь металла, и экспериментально установлена их достоверность.

Практическая ценность и реализация работы. Результаты исследований используются в производстве. Оснащение серийных бесцентровых токарных станков автоматической системой управления процессом точения труб позволило в 3-4 раза уменьшить абсолютную величину поперечной разностенности обточенных труб. Применение головки с индивидуально плавающими резцами в 2-3 раза снизило потери металла в стружку.

Апробация работы. По основным положениям диссертационной работы сделаны доклады:

1. На научно-технических конференциях молодых ученых и инженеров трубной промышленности (Первоуральск, 1969, 1972).

2. На конференция: "Совершенствование процессов резания металлов" (Свердловск, 1971, 1973, 1974).

3. На научно-техническом семинаре во Всесоюзном научно-исследовательском и конструкторско-технологическом институте трубной промышленности (Днепропетровск, 1975).

4. На семинаре отдела главного конструктора Краматорского завода тяжелого станкостроения (Краматорск, 1975).

Автоматическая система управления процессом точения труб экспонировалась на ВДНХ СССР и отмечена серебряной медалью (Москва, 1971).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе 10 авторских свидетельств на изобретение.

Объем работы. Диссертационная работа, изложенная на 105 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав с 42 рисунками, заключения, общих выводов, списка используемой литературы из 54 наименований и приложения.

НАПРАВЛЕНИЕ РАБОТЫ

Обтачивание труб преследует две основные цели. Горячекатаные трубы - заготовку для холоднодеформированных труб нормальной точности обтачивают, чтобы удалить поверхностный дефектный слой. При точении труб, предназначенных для подшипниковой промышленности, одновременно с удалением дефектного слоя повышают точность наружного диаметра.

До недавнего времени трубы во всех случаях обтачивали одним - "обычным" - способом. Он заключается в том, что трубу центрируют

по наружной поверхности и обтачивают "жесткой" головкой, резцы которой закреплены в ее корпусе после настройки на размер.

В работе рассмотрен ряд способов бесцентрового точения труб и предложена их классификация. В основу классификации положены методы формообразования обточенной поверхности, от которых зависит точность труб и величина потерь металла. В результате анализа показана целесообразность применения в зависимости от требований к трубам следующих способов точения:

1. Чтобы снизить потери металла, когда единственной целью обработки является удаление поверхностного дефектного слоя, следует применить способ точения, позволяющий обеспечить эквидистантность обточенной и исходной наружной поверхностей. При точении труб на бесцентрово-токарных станках такой способ ранее не применяли.

2. При необходимости повышения точности наружного диаметра труб нужно применять обычный способ или точение плавающим блоком резцов.

3. Обтачивание жесткой головкой может служить средством целенаправленного изменения поперечной разностенности. С этой целью необходимо производить обработку на базе внутренней поверхности, для снижения потерь металла целесообразно использовать внутреннюю поверхность без изменения исходной формы ее оси.

Предпринимавшаяся ранее попытка реализации указанного способа (станок РТ-106) не имела успеха вследствие недостатков следящей системы с радиоизотопным датчиком положения трубы.

На основании анализа в диссертационной работе поставлены следующие задачи:

1. Исследование влияния бесцентрового точения жесткой головкой, в частности точения обычным способом, на поперечную разностенность труб и потери металла в стружку.

2. Разработка и исследование способов и оборудования для автоматического управления процессом точения с целью получения обточенной поверхности, эквидистантной внутренней или исходной наружной поверхности.

3. Использование полученных результатов в промышленности.

РАЗРАБОТКА РЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКИ ДЛЯ ТОЧЕНИЯ ТРУБ С ЦЕЛЬЮ УДАЛЕНИЯ ДЕФЕКТНОГО СЛОЯ

Точение значительной части труб производят только для удаления поверхностного дефектного слоя; от них не требуется точность более высокая, чем у черновых труб. Выше отмечалось, что профиль обточенной поверхности таких труб целесообразно выполнять эквидистантным профилем исходной поверхности. Действительно, основные потери металла при точении жесткой головкой вызваны разницей профилей исходной и обточенной поверхностей:

$$\rho_{\phi} = \frac{3V_{\phi}D}{2a}, \quad (1)$$

где ρ_{ϕ} - отношение потерь металла, вызванных упомянутой разницей профилей, к объему дефектного слоя;

V_{ϕ} - коэффициент вариации исходного диаметра D ;

a - глубина дефектного слоя.

Обычно ρ_{ϕ} много больше единицы. Так, для горячекатаных труб 83x8 из стали 12Х18Н10Т $\rho_{\phi} = 3,25$.

Другая часть потерь при точении жесткой головкой связана с эксцентричным смещением профиля обточенной поверхности относительно исходной. Остальные составляющие потерь существенно меньше названных.

Для снижения потерь металла осуществлен переход к автоматическому управлению процессом точения труб с помощью головки, резцы которой перемещаются в радиальном направлении, обеспечивая постоянно глубины резания во всех точках поверхности трубы (авт. св. № 507406). Такое управление осуществляется путем прижатия плавающих резцов к трубе с постоянной силой, создаваемой поршнями, расположенными в корпусе головки и находящимися под воздействием давления смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), поступающей из общей системы. Перемещение резцов демпфируется виброгасителем, роль которого играют поршни и корпус, имеющие соответствующую систему каналов. Головка снабжена гидравлическим клапаном, снижающим давление СОЖ при обработке концов трубы в целях предотвращения зарезов.

Анализ сил, действующих на резец, в том числе сил трения, найденных с учетом контактных деформаций поверхностных слоев резца и резцового паза, позволил получить формулу, выражающую зависимость

неравномерности съема металла от основных факторов, действующих при точении:

$$\delta_n = t_{max} - t_{min} = \frac{f \cdot t}{3LC_y} \left\{ \frac{9[C_z(L+2\ell) - C_y H]^2 + C_z^2 L^2}{C_z(L+2\ell) - C_y H} + \frac{C_x [9(L+2\ell)^2 + L^2]}{L+2\ell} \right\}, \quad (2)$$

где f - коэффициент трения между резцом и корпусом;
 L, H - длина и высота резца;
 ℓ - вылет резца из корпуса;
 t - глубина резания;

$$C_z = \frac{P_x}{t}; \quad C_y = \frac{P_y}{t}; \quad C_x = \frac{P_x}{t}.$$

Эксперименты подтвердили работоспособность опытной головки в широком диапазоне глубин резания (0,05-0,8 мм) и подач (2-8 мм на резец). При используемой геометрии резцов (длина зачистной кройки 35 мм) с изменением подачи в указанном диапазоне шероховатость обточенной поверхности остается в пределах R_a 2,5 мкм. Фактическая неравномерность съема металла, определенная при точении труб 83x8 из стали 12Х18Н10Т, $\delta_n = 0,09$ мм при $t = 0,20$ мм. Неравномерность съема металла, вычисленная с помощью формулы (2) при значениях C_y , C_z , найденных экспериментально, составила 0,11 мм.

Экспериментально установленная величина среднего съема, необходимого для удаления дефектного слоя при точении труб 83x8 обычным способом, составляет 0,55 мм на сторону. Удаление дефектного слоя при точении предложенной головкой обеспечивается при среднем съеме около 0,20 мм на сторону. Следовательно, применение головки с плавающими резцами при обработке труб с целью удаления дефектного слоя дает значительную экономию металла, в данном случае 46,5 кг на тонну труб.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧЕНИЯ ЖЕСТКОЙ ГОЛОВКОЙ НА ПОПЕРЕЧНУЮ РАЗНОСТЕННОСТЬ ТРУБ

Когда существует необходимость в изменении точности труб при точении применяют жесткие головки. Профиль обтачиваемой поверхности обычно смещен относительно оси шпинделя, что при точении жесткой головкой приводит к возникновению разностенности обработанной поверхности. Величина смещения зависит от настройки центрирующих устройств, кривизны труб и деформации системы СПИД

при точении. Анализ сил и деформаций в системе СПИД позволил определить разностенность \hat{T}_H , возникающую при точении двухрезцовой головкой:

$$\hat{T}_H = E_H \hat{K} = E_H \frac{2D}{\sqrt{1+A^2+B^2+2(A\cos\delta+B\sin\delta) \frac{(A\sin\delta - B\cos\delta)^2}{A^2+B^2}}}, \quad (3)$$

где E_H - исходное смещение центра профиля обрабатываемого участка поверхности относительно оси шпинделя, измеренное при условии, что на трубу не действуют силы резания и кулачки-виброгасители в головке;

$$D = \frac{2j}{4C}; \quad A = D + \frac{j_B M}{4C}; \quad B = \frac{j_r M}{4C}; \quad \delta = \arctg \frac{P_x}{P_y}; \quad C = \frac{\rho}{t};$$

j - динамическая жесткость контура системы СПИД, определяющего положение трубы относительно оси вращения резцов (ниже - "жесткость системы СПИД");

j_B, M - жесткость и число кулачков-виброгасителей.

Установлено, что направление \hat{T}_H практически совпадает с направлением E_H .

При точении тремя и более резцами возникает разностенность

$$\tilde{T}_H = E_H \tilde{K} = E_H \frac{8D}{\sqrt{(N\cos\delta + 4A)^2 + (N\sin\delta + 4B)^2}}, \quad (4)$$

где N - число резцов.

В этом случае угол ε между \tilde{T}_H и E_H

$$\varepsilon = \arcsin \frac{N\sin\delta + 4B}{\sqrt{(N\cos\delta + 4A)^2 + (N\sin\delta + 4B)^2}}. \quad (5)$$

После точения в каждом сечении трубы появляется разностенность T , равная сумме T_H и исходной разностенности T_H . При обычном способе точения угол между T_H и T_H равновероятно принимает любые значения в интервале $(-\pi, +\pi)$. В результате суммирования случайных величин T_H , T_H получено выражение, характеризующее зависимость математического ожидания разностенности труб, обработанных обычным способом, от основных факторов, действующих при точении:

$$M(T) = \frac{1}{2\pi\sigma_T^2} \int_{-\pi}^{+\pi} T^2 e^{-\frac{T_0^2 - 2T_0 T \cos\varphi + T^2}{2\sigma_T^2}} dT d\varphi.$$

После вычисления интеграла и преобразований находим

$$M(T) = \sigma_T \sqrt{\frac{\pi}{2}} \Phi\left(-\frac{1}{2}, 1, -z\right). \quad (6)$$

Здесь

$$\sigma_r = \sqrt{\sigma_n^2 + K^2 \sigma_E^2}; \quad (7)$$

Φ - вырожденная гипергеометрическая функция Куммера;

$$z = \frac{K^2 E_n^2}{2 \sigma_r^2}; \quad (8)$$

σ_n - главное среднеквадратическое отклонение (ГСКО) исходной разностности;

σ_E, E_n - ГСКО и постоянная часть смещения E_n .

Проверку полученных зависимостей производили в серии экспериментов по обработке труб на станке 9330. Величины E_n, T_n измеряли индикатором часового типа, установленным в головке. Динамическую жесткость системы СПИД определили, измерив деформацию системы под воздействием тарированной силы, приложенной между трубой и головкой. Для измерения деформации использовали балочку с тензодатчиками, усилитель ТУ-6А и осциллограф Н-102. Расхождение величин \hat{K} , найденных с помощью выражения (3) и в результате регрессионного анализа экспериментальных данных, не превышает 25 %.

Анализ полученных зависимостей позволил обосновать мероприятия по совершенствованию процесса точения обычным способом. Для уменьшения разностности, вносимой при точении жесткой головкой, и одновременного сокращения потерь металла путем уменьшения эксцентриситета обточенной и исходной поверхностей трубы следует снижать жесткость системы СПИД и увеличивать подачу. Следовательно, рост производительности точения, обычно обеспечиваемый увеличением подачи, в данном случае сопровождается повышением точности толщины стенки труб. Снизить жесткость системы СПИД можно с помощью головки с плавающим блоком резцов (авт. св. № 359097). Резцы головки, подвижные в радиальных пазах корпуса, объединены жестким кольцом, которое одновременно служит виброгасителем и с этой целью помещено в полости корпуса, заполненной жидкостью. Точение плавающим блоком нецелесообразно, если

$$E_n \leq \frac{\delta_n}{K}, \quad (9)$$

поскольку в этом случае резцы заклинены силами трения и не плавают.

ТОЧЕНИЕ ТРУБ СО СНИЖЕНИЕМ ПОПЕРЕЧНОЙ РАЗНОСТЕННОСТИ

Из формулы (6) следует, что при точении обычным способом математическое ожидание разностенности обточенных труб может быть снижено только до значения средней разностенности черновых труб. Дальнейшее снижение разностенности может быть получено применением автоматического управления процессом точения с помощью следящей системы (авт.св.№ 248279) содержащей фотооптический датчик положения трубы, электронный усилитель, схему управления и люнет.

Датчик состоит из осветителя, маски и приемного пункта. Маска представляет собой диафрагму с отверстием, помещенную в полость трубы в плоскости отточки. Центр отверстия совмещен с центром профиля данного участка внутренней поверхности. Удержание маски в зоне обработки при подаче трубы осуществляют тягой или с помощью магнита, установленного на станке вне трубы (авт.св.№ 469955). Приемный пункт содержит координатор, измеряющий рассогласование между оптической осью датчика и направлением на центр отверстия маски. Сигнал рассогласования управляет работой люнета, позиционирующего трубу в зоне точения для совмещения центра отверстия маски с осью датчика. Регулируя смещение оси датчика относительно оси шпинделя, получают трубы с разностенностью требуемой величины и направления. При совпадении оси датчика с осью шпинделя трубы имеют наименьшую разностенность.

Исследование показало, что люнет рационально располагать между резцовой головкой и приемным пунктом, а маску - между люнетом и головкой, по возможности ближе к последней.

С целью установления зависимости разностенности труб от условий точения исследовали процесс формообразования обточенной поверхности. Выяснилось, что вследствие деформации системы СИД центр отверстия маски при точении двухрезцовой головкой перемещается в плоскости, перпендикулярной оси шпинделя, по траектории, представляющей собой окружность. Математический анализ показал, что частота перемещения центра отверстия маски по этой траектории вдвое превышает частоту вращения резцовой головки, и быстрогодействия следящей системы недостаточно для отработки такого возмущения.

В этих условиях следящая система выводит на ось датчика вместо центра отверстия маски центр траектории его движения.

Зависимости, полученные при исследовании течения жесткой головкой, позволили найти положение и диаметр траектории и определить зависимость разностенности, вызванной указанной погрешностью, от основных факторов, действующих при тчении, а после суммирования с исходной разностенностью - получить выражение для математического ожидания разностенности обточенных труб:

$$M(T) = \sigma_1 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \Phi(-\frac{1}{2}, t, -z), \quad (10)$$

где

$$\sigma_1^2 = \frac{\sigma_n^2 + 16D^2\sigma_a^2}{4D^2 + 4D\cos\delta + 1}; \quad (11)$$

$$z = \frac{8D^2Q_0^2}{\sigma_n^2 + 16D^2\sigma_a^2}; \quad (12)$$

Q_0, σ_a - постоянная часть и ГСКО смещения ось датчика следящей системы от оси шпинделя.

Из формулы (10) следует, что при тчении двухрезцовой головкой наследуется определенная часть исходной разностенности, зависящая от сил резания и жесткости системы СПИД. Такой вывод наглядно подтверждается анализом формулы, выражающей предельную точность следящей системы при тчении труб двухрезцовой головкой при $Q_0 = 0$ и $\sigma_a = 0$:

$$M(T) = \frac{M(T_n)}{\sqrt{4D^2 + 4D\cos\delta + 1}}. \quad (13)$$

Таким образом, деформация системы СПИД ограничивает возможности следящей системы. Это заставляет выбрать величину подачи, от которой зависят силы резания и деформации, по участкам с наибольшей исходной разностенностью, что снижает производительность станка. Для повышения производительности предложена система автоматического управления процессом тчения, снабженная контуром управления величиной деформации (авт.св.№ 446394). Сигнал датчика этой системы не только управляет работой лшета, но и после сравнения с опорным сигналом воздействует должным образом на привод подачи трубы: подача уменьшается, если разностенность данного участка обточенной трубы больше допустимой, и увеличивается в противном случае. В результате, разностенность по всей длине обточенных труб поддерживается близкой к установленной величине, а производительность станка возрастает.

При точении тремя и более резцами в деформация отсутствует составляющая, связанная с вращением головки. Отверстие маски перемещается в поперечном направлении только с изменением кривизны и разностенности по длине трубы, и следящая система успевает обрабатывать эти перемещения. Разностенность обточенных труб в этом случае не зависит от исходной:

$$M(\tau) = \sigma_a \sqrt{\frac{\pi}{2}} \Phi\left(-\frac{z}{\sigma_a}, t, -z\right), \quad (14)$$

где
$$z = \frac{Q_0^2}{2\sigma_a^2}. \quad (15)$$

Предельная точность системы достигается при $Q_0 = 0, \sigma_a = 0$:

$$M(\tau) = 0. \quad (16)$$

Очевидно, что результаты обработки существенно зависят от значений Q_0, σ_a . Для снижения этих величин оказалось необходимым устранить помехи от оптической неоднородности воздушного тракта, вызванной повышением температуры воздуха в полости обточенной части трубы. С этой целью предложено:

а) подачу трубы производить в направлении от приемного пункта к осветителю; при невозможности такой компоновки можно применять фотооптический датчик по авт.св. № 502218, однако он обладает меньшей точностью;

б) выбирать диаметры выходного зрачка осветителя и отверстия маски по следующим формулам:

$$D_0 = \frac{2}{3L_k} (D_k L_0 - 2\Delta_0 L_k); \quad (17)$$

$$D_M = \frac{1}{3(L_0 + L_k)} (D_k L_0 + 2\Delta_0 L_k); \quad (18)$$

где L_0, L_k - расстояния от маски до осветителя и координатора;

Δ_0 - оптическое смещение зрачка осветителя из-за неоднородности воздушного тракта на участке L_0 ;

D_k - диаметр входного зрачка координатора.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ВАРИАНТА СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

На ПНТЗ был модернизирован станок 9330. Модернизация заключается в оснащении станка автоматической системой управления, спроектированной и изготовленной на ПНТЗ при участии автора на основе описанной выше следящей системы (авт.св. № 246279). На станке устанавливаются узлы датчика: осветитель и приемный пункт. На месте входного

(по подаче) центрирующего устройства помещается лунет. Общая стоимость модернизации около 3000 рублей, или 4 % от стоимости станка. После модернизации станок не утратил возможности точения труб обычным способом.

Точение со следящей системой возможно при внутреннем диаметре труб более 68 мм; обрабатывать трубы меньшего диаметра не позволяет размер входного зрачка объектива, примененного в приемном пункте.

В следящей системе применен лунет (авт.св. № 453281), обеспечивающий высокую точность малых перемещений трубы, и маска (авт.св. № 443362), обладающая повышенной точностью центрирования отверстия относительно поверхности труб.

Координатор, входящий в состав приемного пункта датчика, состоит из телеобъектива ТАИР-33, строящего изображение отверстия маски, и анализатора, определяющего положение изображения. Анализатор выполнен в виде совмещенных в одном корпусе полудискового модулятора и генератора опорных сигналов. Световой поток осветителя, пройдя отверстие маски и объектив координатора, модулируется полудиском и попадает на фотодиод. Возникающий фототок подается на усилитель. Здесь он сравнивается с опорными сигналами и преобразуется в систему сигналов, управляющих работой лунета.

При исследовании модернизированного станка получены следующие результаты:

1. Экспериментальным исследованием переходных процессов путем осциллографирования установлено, что статическая ошибка системы, обусловленная величиной зоны нечувствительности, равна 0,03 мм, динамическая ошибка 0,06 мм. При смещении маски за плоскость точения (считая от лунета) появляется положительная обратная связь между положением трубы и реакцией системы, вследствие чего возникают автоколебания, нарушающие работу системы.

2. Проверку зависимости разностенности обточенных труб от исходной разностенности производили в серии экспериментов при обработке труб 125x10 мм из стали 45, предварительно расточенных плавающей пластиной. Трубы обрабатывали двухрезцовой головкой при подаче 2,5 мм на резец и номинальной глубине резания 1 мм. Эти режимы сохраняли и во всех последующих экспериментах. В исследуемых сечениях трубы выполняли 8 радиальных отверстий диаметром 2 мм и измеряли толщину стенки до и после обработки с точностью 0,01 мм.

По результатам измерений найдено уравнение регрессии T на T_n :

$$T = 0,094 + 0,19 T_n.$$

Значение T , найденное с помощью формулы (10), мало отличается от найденного: $T = 0,21 T_n$.

3. При точении труб $102 \times 10,5$ из нержавеющей стали ЭИ-844Б проверено влияние положения маски относительно плоскости обработки на точность труб. Средняя разностенность 60 труб до обработки составляла 0,70 мм. 30 труб обточили, совместив измерительную плоскость маски с плоскостью обработки. При обработке остальных маску сместили к лонету на 60 мм. Средняя разностенность обработанных труб оказалась равной соответственно 0,23 и 0,43 мм. Проверка по критерию Фишера подтвердила статистическую значимость изменения точности. Получено выражение, из которого следует, что погрешность, связанная со смещением маски и приводящая к увеличению разностенности, пропорциональна смещению. Экспериментальные данные позволяют оценить величину такой погрешности и обосновать требования к точности установки маски.

4. Концевой (задний) участок трубы, длина которого равна расстоянию от лонета до резцовой головки, во время точения находится вне лонета. Необходимость управления положением этого участка потребовала разработки нового способа точения (авт. св. № 359096). С помощью глубоких фасок, наружных на одном конце труб и внутренних - на другом, трубы во время точения стыкуют. Система управляет положением находящегося вне лонета заднего конца трубы, смещая состыкованный с ним находящийся в лонете передний конец другой трубы. Эффективность стыковки проверена при точении труб $102 \times 10,5$. Средняя разностенность задних концов оказалась равной 0,27 мм, срединных частей - 0,21 мм и передних концов - 0,26 мм. Проверка по критерию Фишера показала, что во всех случаях повышение точности обработанных труб по сравнению с точностью исходных статистически значимо; разница по длине труб незначительна. При точении без стыковки разностенность концевого участка трубы резко возрастает, достигая исходной разностенности.

5. Были обработаны промышленные партии труб длиной 4-7,2 м следующих размеров: $102 \times 10,5$ из стали ЭИ-844Б; $114 \times 9,5$ из титанового сплава ЗА; 159×14 из стали 12Х18Н10Т; 174×14 из стали 40ХНМАН. Трубы предварительно растачивали плавающей пластиной, и на их торцах выполняли фаски для стыковки. Точение производили двухрезцовой головкой при подаче 2,5-3,5 мм на резец, скорости резания 80-90 м/мин и глубине I-I,5 мм.

Следящая система показала в производственных условиях хорошую работоспособность. Приведем для примера результаты, полученные при точении труб I74xI4 и качественно характерные для всех случаев. Средняя разностенность труб, обточенных обычным способом, по данным измерения 108 сечений составила 0,84 мм, после точения со следящей системой — 0,19 мм (90 сечений). Такое повышение точности хорошо согласуется с теоретической величиной, найденной из выражения (10).

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. В результате разработки новых способов бесцентрового точения труб, реализуемых на существующих станках с помощью предложенных устройств и технологически дополняющих друг друга и известный (обычный) способ, создана возможность выбирать способ точения в зависимости от требуемой точности труб и получить эту точность при минимальных потерях металла в стружку. Обобщенные рекомендации по обработке труб приведены в таблице. При выборе способа точения не следует стремиться к достижению избыточной точности труб, поскольку повышение точности сопряжено с ростом потерь металла в стружку.

2. Результаты исследований использованы на ПНТЗ при проектировании гаммы резовых головок с индивидуально плавающими резами, выполненном при участии автора. Головки предназначены для станков 9330 и работают при давлении СОЖ 10–12 атм. Головки внедрены на заводе при обработке труб из нержавеющей стали взамен точения обычным способом. Это позволило получить экономию металла на сумму 140 тыс. рублей в год.

Кроме того обработку такими головками применяли вместо обдирочного шлифования, в результате чего шероховатость поверхности труб снизилась с R_z 40 мкм до $R_{a2,5}$ мкм, а производительность возросла в 3–4 раза.

3. Рассмотренная следящая система используется на ПНТЗ для обработки труб I59xI4 из стали I2X18H10T. Экономическая эффективность от снижения потерь металла при уменьшении поперечной разностенности и от повышения выхода годного составляет 92 тыс. рублей в год.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Для удаления поверхностного дефектного слоя применяли один

0329659

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БЕСЦЕНТРОВОМУ ТОЧЕНИЮ ТРУБ

№ п.п.	Требуемая точность осточенных труб	Рекомендуемый способ точения	Специальное оборудование для реализации такого способа		Для снижения разностенности и потерь металла		Расчетн. зависи-мости
			Осточная головка	Прочее	увеличивать	снижать	
1	Влезка к точности черновых труб	Плавающим резами	Авт. СВ. № 507406	Узел подвода смазочно-охлаждающей жидкости в головку	Силу резания P_z , вылет реза, трение между резцом и корпусом головки	(2)	
2	Допуск на наружный диаметр $0,4$ мм	Плавающим блоком резов - при $E_n > \frac{d}{\lambda}$	Авт. СВ. № 359097			(9)	
3		Совмещенным способом - при $E_n < \frac{d}{\lambda}$	Обычная (жесткая)		Силу трения, жесткость выноса рогастика	(6)	
4	Средняя погрешность $0,2$ мм, при необходимости допуск на наружный диаметр $0,2$ мм	С применением следящей системы и способом точения труб по авт. СВ. № 359096	Следящая система (авт. СВ. № 446276, № 446394), донет (авт. СВ. № 452281), маورا (авт. СВ. № 443362).		Жесткость системы СПИД Жесткость системы СПИД Жесткость системы СПИД	(10) (14) (17) (18)	

("обычный") способ бесцентрового точения независимо от требуемой точности обточенных труб. Не использовался в промышленности способ бесцентрового точения, позволяющий снижать поперечную разностенность труб.

2. Основные потери металла при бесцентровом точении труб обычным способом в 3-4 раза превышают объем поверхностного дефектного слоя и обусловлены изменением формы и эксцентричным смещением профиля наружной поверхности. Когда нет необходимости в повышении точности труб, целесообразно применять иной способ - точение плавающими резцами, которые автоматически копируют профиль черновой трубы и удаляют поверхностный дефектный слой постоянной глубины с наименьшими потерями металла.

3. Для реализации предложенного способа может быть использована разработанная резцовая головка. При точении такой головкой наблюдается определенная неравномерность съема металла, вызванная действием сил трения. Реальная величина неравномерности лишь незначительно снижает эффективность реализации рассмотренного способа.

4. Достоверность предыдущего вывода установлена экспериментально, при обработке горячекатаных труб 83x8 из нержавеющей стали. Удаление дефектного слоя металла разработанным способом происходит при средней величине съема 0,2 мм на сторону вместо 0,55 мм при обычном точении.

5. Величина поперечной разностенности, возникающей при точении труб жесткой головкой, связана полученной зависимостью с положением трубы в зоне обработки, жесткостью системы СПИД и силами резания.

6. Экспериментально установлено отсутствие корреляции между поперечной разностенностью горячекатаных труб и их кривизной. С учетом этого определена разностенность труб, обточенных обычным способом.

Анализ полученных зависимостей показал:

а) в результате точения обычным способом поперечная разностенность возрастает;

б) меньший рост разностенности наблюдается при увеличении подачи и снижении жесткости контура системы СПИД, определяющего положение трубы относительно оси вращения резцов.

Для снижения жесткости может быть применена головка с плавающими блоками резов.

7. Предложенная впервые автоматическая система управления процессом бесцентрового точения труб (АСУ) с фотооптическим датчиком положения трубы в зоне обработки позволяет с наименьшими потерями металла изменять поперечную разностенность труб в соответствии с программой и может быть использована для снижения разностенности.

8. Получены выражения для поперечной разностенности труб, обработанных с применением АСУ. Анализ этих выражений показал:

а) при точении головкой с тремя и более резами разностенность зависит только от погрешности датчика и системы управления в целом;

б) при точении двухрезковой головкой в разностенности появляется компонента, которая пропорциональна поперечной разностенности черновых труб и величине деформации системы СПИД силами резания и может быть определена с помощью полученных выражений.

9. Максимальная точность датчика обеспечивается выбором его параметров по предложенной методике, которая учитывает влияние оптической неоднородности воздуха в полости обточенной части трубы.

10. Введение в АСУ контура автоматического управления величиной деформации системы СПИД, в котором сигнал фотооптического датчика дополнительно используется для изменения подачи трубы, повышает точность и производительность обработки.

11. Результаты исследования, указанные в п.п. 7-9, использованы при разработке промышленного варианта АСУ для модернизации серийного бесцентровотокарного станка 9330, на котором возможна обработка труб длиной до 8 м. Экспериментальным исследованием установлено, что применение АСУ позволяет получать трубы со средней поперечной разностенностью около 0,2 мм.

12. Общая экономия от применения результатов исследования на Первоуральском новотрубном заводе составляет 330 тыс. рублей в год. Эффективность предложенных путей совершенствования процесса бесцентрового точения труб и работоспособность созданных устройств в промышленных условиях позволяет рекомендовать применение их на других предприятиях, при изготовлении новых и модернизации существующих бесцентрово-токарных станков.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Лихтенштейн Д.Е., Герман Д.Е. Следящая система для обточки труб вращающейся резцовой головкой. Авт.св. №246279, кл. В23в. "Бюлл.изобр.", 1969, №20.
2. Лихтенштейн Д.Е., Карпенков П.Я. Устранение разностенности при обточке труб. - "Сталь", 1971, №6.
3. Лихтенштейн Д.Е. Обеспечение равенности труб при обточке. - В сб.: Производство труб с покрытиями, отделка и контроль качества труб. М., "Металлургия", 1974.
4. Лихтенштейн Д.Е. Обточка труб с устранением разностенности. - В сб.: Материалы II научно-технической конференции молодых специалистов. Первоуральск, НТО ЧМ, 1969.
5. Лихтенштейн Д.Е. Модернизация бесцентрово-токарного станка для обеспечения заданной разностенности обточенных труб. Информационный листок №553-71. Свердловск, ЦНТИ, 1971.
6. Саломатов В.Г., Лихтенштейн Д.Е. Точение труб резцами, прижимаемыми к обрабатываемой поверхности заданным усилием. - В сб.: Передовой научно-производственный опыт резания металлов. Свердловск, НТО МАШПРОМ, 1971.
7. Лихтенштейн Д.Е. Плавающая головка для обточки труб. Информационный листок №263-72. Свердловск, ЦНТИ, 1972.
8. Лихтенштейн Д.Е. Способ бесцентрового точения труб. Авт. св. №359096, кл. В23в I/00. - "Бюлл.изобр.", 1972, №35.
9. Лихтенштейн Д.Е., Саломатов В.Г. Резцовая головка для обточки труб. Авт.св. №359097, кл. В23в 29/03. - "Бюлл.изобр.", 1972, №35.
10. Лихтенштейн Д.Е. Фотооптический датчик. Информационный листок №181-72. Свердловск, ЦНТИ, 1972.
11. Лихтенштейн Д.Е. Обеспечение заданной разностенности при обточке труб. - В сб.: Совершенствование процессов резания металлов. Свердловск, НТО МАШПРОМ, 1973.
12. Лихтенштейн Д.Е. Следящая система для обточки труб вращающейся резцовой головкой. Авт.св. №443362, кл. G05в I3/00. - "Бюлл.изобр.", 1974, №34.

13. Лихтенштейн Д.Е. Следящая система для обточки труб вращающейся резцовой головкой. Авт.св. №446394, кл.В23 ϕ I5/00. - "Бюлл.изобр.", 1974, №38.

14. Лихтенштейн Д.Е. Лунет. Авт.св. №453281, кл.В23 ϕ I/24. - "Бюлл.изобр.", 1974, №46.

15. Лихтенштейн Д.Е. Смещение обточенной поверхности относительно исходной при обточке труб на бесцентрово-токарных станках. - В сб.: Совершенствование процессов резания металлов. Свердловск, НТО МАШПРОМ, 1974.

16. Лихтенштейн Д.Е. Следящая система для обточки труб. Авт.св. №469955, кл.Г05в I3/00. - "Бюлл.изобр.", 1975, №17.

17. Саломатов В.Г., Лихтенштейн Д.Е., Дубонос Г.В. и др. Резцовая головка. Авт.св. №507406, кл.В23в 29/03. - "Бюлл.изобр.", 1976, №11.