

и 133643  
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

Л. Н. СОКИРКО

# ГИДРОФОРМОВКА ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ГОФР

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



1133643

Сокирко Л.Н. Гидроформовк

Работа выполнена в МВТУ им. Баумана.

Научный руководитель: д. т. н., профессор Попов Е. А.

Официальные оппоненты:

д. т. н., проф. Норицын И. А. (МАМИ),

к. т. н., доцент Соловцов С. С. (СТАНКИН).

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан «...» . . . . . 1971 г.

Защита диссертации состоится «...» . . . . . 1971 г.

ультата «Автоматизация и  
им. Баумана по адресу:

Совета

Ю. А. Степанов

11/18/73

## Введение и общая постановка задачи исследования.

Обработка металлов давлением является одной из наиболее прогрессивных разновидностей металлообработки. Однако, объём и эффективность использования обработки металлов давлением в совершенствовании металлообработки всё ещё недостаточны. В числе причин этого можно отметить недостаточную изученность ряда операций, среди которых следует указать операцию листовой штамповки - формовку - и, в частности, её разновидность - получение кольцевых выпуклостей на трубчатой заготовке внутренним давлением, осуществляемое как без осевого сжатия, так и с осевым сжатием. В настоящее время имеется незначительное количество работ, посвященных анализу процесса деформирования заготовки в этой операции и его экспериментальному изучению. В то же время эта разновидность операции формовки находит достаточно широкое применение в промышленности и, в частности, является основной формоизменяющей операцией изготовления сильфонов, гофрированных труб. К таким деталям и, в особенности, к сильфонам, используемым в качестве чувствительных элементов приборов, предъявляются весьма высокие требования в отношении их механических характеристик, стабильности этих характеристик, усталостной прочности и т.п.

Эти характеристики зависят от геометрической формы получаемых кольцевых выпуклостей (гофр) и распределения толщин в них, которые в основном определяются условиями формовки гофр в трубчатых заготовках. Сказанное свидетельствует о необходимости изучения процесса гидроформовки кольцевых выпуклостей в трубчатых заготовках под углом зрения выяснения механизма деформирования заготовки, отыскания функциональных связей между основными параметрами, определяющими условия деформирования, и размерными характеристиками гофр, а также определения величины предельной степени деформации.

Работа состоит из введения, литературного обзора (гл. I), описания предварительных экспериментов (гл. II), теоретического исследе-

дования (гл. III), результатов экспериментальной проверки расчётных формул и их обсуждение (гл. IV), общих выводов и приложения.

## Глава I.

Обзор литературных данных и задачи исследования. В главе I проведен обзор отечественной и иностранной литературы по вопросам технологии изготовления гофрированных трубок, по теоретическому и экспериментальному исследованию полей напряжений и деформаций и отысканию зависимостей между давлением и геометрическими параметрами деформируемых трубок, по определению предельных степеней деформаций на разных стадиях операции.

Из анализа существующих способов формовки кольцевых гофр на трубках-заготовках следует, что наибольшую производительность и стабильность размеров обеспечивает гидроформовка. Этот же способ обеспечивает достаточно большие степени деформации. Практика пока-зала также рациональность комбинирования предварительного оформления впадин гофр, путём уменьшения диаметра заготовки обкаткой ро-ликом на оправке, с последующей гидроформовкой гофр внутренним дав-лением жидкости и осадкой заготовки. В этом случае удастся получить более равномерное распределение толщины вдоль гофра.

Исходя из этого в данной работе сосредоточено внимание на гид-равлическом и механо-гидравлическом способах формовки гофр, а имен-но на трех последовательно осуществляемых этапах:

1) **ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ** обработка кольцевых канавок;

2) гидрораздаче - увеличении диаметра трубки под действием

**МВТУ**  
**им. Н. Э. Баумана**  
**БИБЛИОТЕКА**  
внутреннего давления без существенного изменения осевого размера;

3) осадке - увеличении диаметра регламентированных участков трубки под действием внутреннего давления и осевого усилия при уменьшении осевого размера секции трубки до величины шага сильфо-на.

При гидравлическом способе формовки первый этап отсутствует.

По исследованию процесса накатки кольцевых канавок удалось найти только одну работу аналитического плана, в которой определяется величина усилия деформирования. В экспериментальных работах даются некоторые рекомендации по назначению размеров и по качеству исполнения инструмента.

Данных о влиянии предварительно накатанных канавок на процесс гидрораздачи найти в технической литературе не удалось.

Анализ напряженного состояния при гидрораздаче цилиндрических трубок с использованием графического интегрирования для ряда частных случаев деформирования выполнен Феодосьевым В.В. и Григорьевым А.С.

По определению зависимости между внутренним давлением и геометрическими параметрами деформируемых трубок при гидрораздаче имеется значительное количество работ, из них наиболее существенные работы Норицына И.А., Матвеева А.Д., Котельниковой Л.П., Константино К., Мани-Нахбара П. Однако, область применения выведенных расчётных формул ограничивается относительно малыми деформациями.

Определение аналогичной зависимости при осадке содержится в работе польских учёных С.Эрбея и К.Кучинского. К сожалению авторы не дают рекомендаций как использовать эту зависимость в условиях деформирования при постоянном внутреннем давлении. Недостаток теоретических исследований по определению давления осадки в некоторой степени компенсируется наличием экспериментальных данных, по которым величина внутреннего давления формовки должна быть такой, чтобы обеспечить на стадии гидрораздачи прирост диаметра среднего сечения равный  $4 \div 7 \%$ .

Процессы гидрораздачи и осадки трубок с канавками теоретическому анализу не подвергались.

На основе анализа литературных данных по исследованию гидравлического и механо-гидравлического способов формовки сильфонов

в данной работе поставлены следующие задачи:

- исследовать этап накатки с целью определения оптимальных размеров инструмента и соотношения между геометрией канавки и утонением в ней ;
- исследовать этап гидрораздачи с целью определения поля напряжений и деформирующего давления для трубок с канавками и без канавок;
- исследовать этап осадки с целью определения оптимального давления осадки и осевого усилия ;
- оценить влияние основных факторов на процесс деформирования;
- определить предельные степени деформации при гидрораздаче и осадке трубок.

## Глава II.

### Предварительные эксперименты.

В этой части были поставлены следующие задачи:

- определить основные механические характеристики материала трубок, используемых в опытах;
- получить данные относительно формы очага деформации на трех стадиях формовки, выявить характер влияния давления и расстояния между кассетами на форму очага деформации ;
- получить данные относительно поля деформаций и напряжений в трубке на трех стадиях формовки гофр.

Опыты проводились на специально изготовленной установке, позволявшей, в отличие от промышленного станка, определять величину осевого усилия, варьировать давление в ходе процесса, регулировать скорость процесса.

Исследование проводилось на трубках  $\varnothing 27,2 \pm 27,6$  мм с толщиной стенки  $0,12 \pm 0,13$  мм из сплава ЭИ702 и толщиной  $0,22 \pm 0,24$  мм из бронзы Бр Б-2. Трубки были изготовлены вытяжкой с утонением стенки из листовых заготовок толщиной 1 мм по заводской технологии изготовления заготовок для сифонов.

В работе приведены данные по основным механическим характеристикам материала в исходном состоянии и после многократного деформирования и термообработки при изготовлении трубок.

Форма очага деформации определялась с помощью инструментального микроскопа. Линейные размеры определялись обычными измерительными средствами.

Напряжения у торцов трубки выявлялись методом осциллографирования при помощи кольца с тензодатчиками.

Толщина стенки трубки измерялась с помощью индикаторной головки с ценой деления 0,002 мм или специальным прибором индикаторного типа с ценой деления 0,001 мм. Для исключения влияния разностенности на измеряемую величину толщины была выработана следующая методика: измеряя толщину в нескольких точках по периметру трубки, определяли участок с минимальной толщиной, после чего трубку поворачивали на  $90^\circ$ , измеряли толщину стенки в этой точке, считая её средней, и делали отметку-рисунок по образующей трубки. Для замера толщины после деформирования в месте проведенной риски вырезалась полоса шириной  $5 \pm 7$  мм, вдоль риски наносились поперечные отметки через 1 мм, по которым и делались замеры толщины.

Проведена оценка погрешности замеров.

По результатам экспериментов сделаны следующие выводы.

По гидрораздаче трубок без канавок:

1. Радиус кривизны образующей в промежутке между кассетами близок к постоянному, если расстояние между кассетами не превосходит диаметра трубки. При  $\frac{L_0}{2d} > 2$  кривизну образующей нельзя считать постоянной, так как вблизи середины трубки кривизна близка к нулевой. Длина участка прямолинейной образующей при данном расстоянии между кассетами зависит от давления жидкости (увеличения диаметра), уменьшаясь с увеличением последнего.

2. Кривизна образующей увеличивается по мере увеличения давления гидрораздачи при данных размерах формуемых участков трубы. С увеличением расстояния между кассетами при одинаковом давлении кривизна уменьшается.

3. Изменение толщины является определяющим в процессе формоизменения трубы, поэтому в анализе невозможно использовать допущение о постоянстве толщины.

4. Напряжения и деформации на всех стадиях формовки являются функцией двух координат (расстояния от торца и радиуса трубы), однако, при гидрораздаче меридиональная деформация в малой степени зависит от первой координаты и для приближенного расчёта может быть принята постоянной вдоль образующей.

По накатке канавок на трубах и гидрораздаче трубок с канавками.

6. Установлен характер влияния геометрии инструмента и режима накатки на величину утонения в канавке. На основании статистической обработки и анализа экспериментальных данных предложены: эмпирическая формула, связывающая геометрические параметры инструмента с глубиной канавки и утонением в ней и оптимальные размеры инструмента в зависимости от конструкции и технологических характеристик силфона.

7. Процесс гидрораздачи трубок с канавками имеет ряд отличий от гидрораздачи трубок без канавок, среди которых главные: а) разнонаправленное изменение меридиональной кривизны на отдельных участках образующей — уменьшение на выходе из канавки и увеличение на остальных участках; б) прирост диаметра на центральном участке уменьшается с ростом ширины и глубины канавки при прочих равных условиях.

По осадке трубок.

8. В ходе осадки очаг деформации уменьшается за счёт исклю-

чения контактирующих с кассетами участков, перпендикулярных оси.

9. Полученная при гидрораздаче трубок без канавок кривизна образующей, близкая к постоянной, в ходе осадки получает различное изменение, возрастая до максимального значения в краевых элементах и уменьшаясь в центральных сечениях, причём кривизна в центральных сечениях может уменьшаться до нуля, а при недостаточном внутреннем давлении и до отрицательного значения.

10. В отличие от трубки без канавок образующая трубки с канавками имеет уже исходную неравномерность кривизны, причём в ходе осадки кривизна в центральных сечениях также уменьшается.

11. Внутреннее давление при осадке может изменяться в пределах допустимого диапазона давлений, ограниченного снизу величиной давления, обеспечивающей деформирование без образования внутренних складок на гофрах, сверху величиной максимального давления, которое может выдержать трубка без разрушения при данных условиях нагружения.

12. Действие осевого усилия приводит к уменьшению меридионального растягивающего напряжения и, следовательно, к уменьшению интенсивности утонения по сравнению с гидрораздачей.

### Глава III.

#### Теоретическое исследование процесса гидроформовки осесимметричных гофр.

Анализ процесса гидрораздачи трубок.

Решение задачи по определению поля деформаций при гидрораздаче выполнено по безмоментной теории оболочек с использованием деформационной теории для ряда граничных условий с помощью ЭВМ "Минск-2". Из полученного семейства решений следует, что деформации и напряжения возрастают к середине трубки, причём интенсивность изменения тангенциальных напряжений и деформаций превосходит

интенсивность изменения меридиональных напряжений и деформаций (некоторое уменьшение меридиональных деформаций у края трубки связано с неточностью задания граничных условий).

Для определения аналитической зависимости давления от геометрических параметров деформированной трубки использовались основные уравнения той же системы уравнений, при этом были приняты следующие допущения, полученные из предварительных опытов:

1) Меридиональный радиус кривизны  $R_g$  постоянен вдоль образующей.

2) Меридиональная деформация  $\delta_g$  в данный момент деформирования постоянна для всех элементов образующей.

Внутреннее давление, необходимое для деформирования среднего радиуса трубки до величины  $z_{cp}$  при степенной аппроксимации кривой упрочнения и условии пластичности Мизеса равно

$$p = 2\sigma_g \left(1,15 \frac{e}{\delta_{ш}}\right)^{\delta_{ш}} e^{-\delta_g} \frac{s_0 z_0}{z_{cp}^2} \frac{[\delta_g^2 + \delta_g \ln \frac{z_0}{z_{cp}} + (\ln \frac{z_0}{z_{cp}})^2]^{\frac{\delta_{ш}}{2}}}{\sqrt{3 - 3 \frac{z_{cp}}{R_g} + \left(\frac{z_{cp}}{R_g}\right)^2}}, \quad (1)$$

где:

$$\delta_g = \ln \frac{\arcsin \frac{L_0}{2R_g}}{\frac{L_0}{2R_g}}$$

$z_0$   $s_0$ ,  $L_0$  - радиус толщины стенки, длина исходной трубки-заготовки;

$z_{cp}$  - радиус среднего сечения деформированной трубки;

$\delta_{ш}$  - предельная устойчивая натуральная деформация при одноосном растяжении;

$\sigma_g$  - предел прочности материала трубки.

Анализ выведенной формулы показал, что она правильно учитывает влияние основных факторов на величину давления.

Получена также приближенная обратная зависимость

$$\frac{z_{cp}}{z_0} = 1 + \frac{\rho \frac{z_0}{s_0} - \sigma_T}{\sigma_T H - \rho \frac{z_0}{s_0} + 2\sigma_T \left(\frac{z_0}{L_0}\right)^2}, \quad (2)$$

где:  $H$  - модуль упрочнения;

$\sigma_T$  - предел текучести материала трубки.

С использованием теории течения получена формула для определения толщины в среднем сечении

$$\frac{s_{cp}}{s_0} = \exp \left[ - \frac{2z_0}{\sqrt{4z_0^2 + \frac{3}{4}L_0^2}} \ln \frac{z_{cp} + z_0 - \sqrt{4z_0^2 + \frac{3}{4}L_0^2}}{z_{cp} + z_0 + \sqrt{4z_0^2 + \frac{3}{4}L_0^2}} \times \right. \\ \left. \times \frac{2z_0 + \sqrt{4z_0^2 + \frac{3}{4}L_0^2}}{2z_0 - \sqrt{4z_0^2 + \frac{3}{4}L_0^2}} + \ln \frac{z_{cp} + 2z_0 - \frac{3(z_0^2 + \frac{L_0^2}{4})}{z_{cp}}}{\frac{3}{4}(\frac{L_0}{z_0})^2} \right] \quad (3)$$

Из сравнения зависимости (3) с аналогичной зависимостью, полученной при использовании деформационной теории, установлено, что при больших деформациях (точнее, больших изменениях кривизны образующей) зависимость (3) более точно соответствует экспериментальным данным.

Отличие гидрораздачи трубок с канавками от гидрораздачи трубок без канавок состоит в наличии зон с большой начальной кривизной, прирост диаметра на которых затруднён. Предлагается рассматривать канавки как полужесткие заделки, влияние которых на деформации центральной зоны зависит от параметров канавки : ширины  $s_{опр}$ , радиуса кромки проточки  $z_{опр}$ , глубины  $h$ . В исследуемом диапазоне геометрических параметров трубок и канавок выведена эмпирическая формула для определения приведенной длины трубки, деформирование которой не отличается от деформирования трубки без канавок.

$$l_{пр} = L_0 - 6(s_{опр} + 2z_{опр}) \frac{h}{z_0} \quad (4)$$

Введение понятия приведенной длины позволяет использовать формулы (1), (2), (3) для расчёта операции гидрораздачи трубок с канавками.

#### Анализ процесса осадки трубок.

Задачей теоретического исследования осадки являлось:

- анализ явлений, связанных с формоизменением и образованием складок на гофрах;

- определение границ допустимого диапазона давлений и оптимального давления, а также величины осевого усилия.

Из предварительно проведенных опытов следует, что приложение осевого усилия к трубке, деформированной внутренним давлением, приводит к резкой дифференциации кривизны. В результате этого в очаге деформации появляются участки с малой (центральный участок) и большой (угловые) кривизнами. Перераспределение кривизны вызывается действием перерезывающих сил и моментов.

Одновременно с формированием угловых участков осевая сила производит их перемещение в осевом и радиальном направлении и кроме того, уменьшая меридиональные напряжения на центральном участке, способствует увеличению диаметра трубки, происходящем на этом участке под действием внутреннего давления.

Если радиальное перемещение центрального участка под действием внутреннего давления больше или равно радиальному перемещению углового участка под действием осевой силы, то процесс формовки закончится образованием гофра.

Если же внутреннее давление недостаточно, чтобы создать перемещение центрального участка, равное перемещению угловых участков, то это приводит к образованию отрицательной кривизны на центральном участке и к образованию нежелательных складок. Давление, которое обеспечивает равенство перемещений, т.е. прямолинейность центрального участка, названо необходимым давлением осадки. Чтобы вывести формулу для определения необходимого давления, предварительно были определены меридиональный радиус кривизны углового участка и напряжения в очаге деформации.

Формула, связывающая меридиональный радиус кривизны в угловых участках с давлением, меридиональным  $\sigma_z$ , тангенциальным  $\sigma_\theta$  напряжениями и геометрическими параметрами трубки  $z, S$ , выведенная на основании приближенной теории оболочек при наложении на безмоментное состояние моментов, имеет следующий вид:

$$R_g = \frac{\sqrt{\sigma_g^2 z^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} + \sigma_s s z (\sigma_0 - \rho_s^2)} - \sigma_g z \sin \frac{\varphi}{2}}{2(\sigma_0 - \rho_s^2) \sin \frac{\varphi}{2}}, \quad (5)$$

где:  $\varphi$  - угол между нормальными к образующей на краях углового участка.

Для случая деформирования с прямолинейной образующей на центральном участке выявлено, что внутреннее давление практически не влияет на радиус углового участка и его величина близка к величине, определяемой из выражения:

$$R_g = \sqrt{z_0 s_0}. \quad (6)$$

Из уравнений равновесия углового участка (в случае  $\varphi = 90^\circ$ ) получены приближенные выражения для определения меридионального напряжения в очаге деформации

$$\frac{\sigma_g}{\sigma_s} = 0,53 \frac{\rho}{\sigma_s} \frac{R_g}{s} - 0,25 \frac{s}{R_g}, \quad (7)$$

где  $\sigma_s$  - напряжение текучести.

При подстановке данных предварительных опытов в формулу (7) получили, что величина меридионального напряжения  $1 \gg \frac{\sigma_g}{\sigma_s} > 0$ , и может быть принята нулевой для приближенных расчётов.

С учётом этого допущения и уравнения (6) выведена зависимость, связывающая необходимое давление на основном этапе осадки с геометрическими параметрами деформируемых трубок и механическими свойствами их материала.

$$\rho_H = \sigma_s \left( \frac{e}{\delta_{ш}} \right)^{\delta_{ш}} \left( \ln \frac{z}{z_0} \right)^{\delta_{ш}} \frac{s_0 z_0}{z \sqrt{z_1 z}}, \quad (8)$$

где:  $z_1 = z_0 + z_{кр} + \sqrt{z_0 s_0}$  - начальный радиус трубки на рассматриваемом этапе осадки;

$z_{кр}$  - радиус кромки кассеты.

Как показано при анализе процесса, наибольшее необходимое давление имеет место при увеличении радиуса до величины

$$z^* = z_1 + \frac{L_0 - (\pi + 2)\sqrt{z_0 s_0} - \pi z_{кр}}{2} = z_0 + \frac{L_0 - \pi\sqrt{z_0 s_0} - 1.14 z_{кр}}{2} \quad (9)$$

Для дальнейшего увеличения диаметра трубы давление не требуется, так как перемещение элементов в радиальном направлении производится моментами от осевой силы.

Давление, определяемое по формуле (8) с учётом выражения (9), рекомендуется в качестве расчётного при существующем способе формовки ( $p = const$ ).

Верхний предел допустимых давлений принят соответствующим максимальному давлению, которое может выдержать трубка при данных условиях деформирования

$$p_{max} = \sigma_B \left(\frac{2}{3}\right)^{\delta_{ш}} \frac{s_0}{\sqrt{z_0 z_1}} \quad (10)$$

При деформировании трубок с канавками величина наибольшего необходимого давления определяется по формуле (8) при условии

$$z_1 \approx z_0,$$

$$z^* = z_0 + \frac{L_0 - \text{const}}{2} - 2\sqrt{z_0 s_0}.$$

Необходимое давление является одновременно оптимальным давлением, так как деформирование при давлении  $p > p_n$  приводит к увеличению меридиональных напряжений и росту утонения стенки трубки.

В работе также анализируется характер изменения осевого усилия. Максимальное усилие осадки предлагается считать по формуле

$$Q_{max} = \pi R_{max}^2 p. \quad (11)$$

Пределные и допустимые степени деформации при гидроформовке.

Показано, что деформации, соответствующие максимуму давления, нельзя считать предельными деформациями, а следует считать

допустимыми.

Для длинных цилиндрических оболочек, нагруженных внутренним давлением, допустимые деформации можно определить при наличии одного из показателей устойчивости деформации при одноосном растяжении  $\psi_{ш}$ ,  $\varepsilon_{ш}$ ,  $\delta_{ш}$  или  $H$ .

$$\varepsilon_{\theta_{доп}} = \frac{\varepsilon_{ш}}{2 + \varepsilon_{ш}} = e^{\frac{\delta_{ш}}{2}} - 1 = \frac{\psi_{ш}}{2(1 - \psi_{ш})} = e^{\frac{H-2}{2H}} - 1 \quad (12)$$

В коротких цилиндрических оболочках деформации, соответствующие максимуму давления в явном виде не выражаются.

Величина предельной деформации в идеальных трубках, нагруженных внутренним давлением, равна  $\ln \frac{2}{\varepsilon_0} = \delta_{ш}$ . На величины предельных деформаций реальных трубок оказывают влияние: разностенность, масштабный фактор, качество поверхности, колебания химсостава, термообработка, склонность к старению, величина и знак гидростатического давления.

Дан приближенный способ оценки влияния разностенности на величины предельных деформаций.

#### Глава IV.

### Оценка влияния основных факторов на процесс деформирования при гидроформовке.

В главе сопоставляются теоретические зависимости с экспериментальными. Результаты сопоставления выявили, что расчётные формулы как в качественном, так и со сравнительно большой степенью точности в количественном отношении, правильно отражают влияние основных факторов: радиуса и толщины трубки, размеров канавок, расстояния между кассетами, механических свойств материала трубки, внутреннего давления на форму очага деформации и на величины деформаций в нём на обоих этапах гидроформовки.

В конце диссертации приводятся выводы по работе, сведенные к следующим пунктам:

1. Выявлен и проанализирован механизм деформирования при гидрораздаче и осадке тонкостенных трубок.

2. Выведены расчётные формулы для обеих стадий гидроформовки трубок без канавок, показавшие удовлетворительную сходимость с экспериментами как при малых, так и при больших деформациях.

3. Предложены расчётные формулы для формовки гофр механо-гидравлическим способом, показавшие удовлетворительную сходимость с экспериментами.

4. Предложена методика расчёта необходимых геометрических размеров канавок и даны рекомендации по выбору оптимальных режимов и инструмента накатки (РТМ), которые внедряются на одном из московских предприятий.

В Приложении приведены руководящие материалы по расчёту технологического процесса формовки гофр и объяснения основных видов брака.

Основной материал диссертации опубликован в работах:

1. СОКИРКО Л.Н. "О предельных степенях деформаций тонкостенных цилиндрических заготовок при гидрораздаче". "Машины и технология обработки металлов давлением", вып.9. Машиностроение, М., 1969 г.

2. Отчёт по научно-исследовательской работе АМ-616 "Исследование процесса накатки кольцевых канавок на трубах" (отв. исп. Сокирко Л.Н.), МВТУ, 1966 г.

3. Отчёт по научно-исследовательской работе АМ-616 "Исследование процесса гидроформовки сильфонов" (отв.исп. Сокирко Л.Н.) МВТУ, 1967 г.

Приняты к печати:

1. СОКИРКО Л.Н. "Гидроформовка осесимметричных гофр",  
"Известия ВУЗов. Машиностроение", 1971 год.

2. ГОРЯЧЕВА Л.Н., СОКИРКО Л.Н. "К вопросу гидрораздачи тру-  
бок с кольцевыми канавками". "Известия ВУЗов. Машиностроение",  
1971 г.

По материалам диссертации сделаны доклады на научно-техни-  
ческих конференциях в МВТУ в октябре 1968 года и в Тульском  
политехническом институте в феврале 1971 г.