

УДК 67.05

## **ПОЛУЧЕНИЕ МАКРОРЕЛЬЕФА МЕТОДОМ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО РЕЗАНИЯ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА**

Костикова Дарья Сергеевна

*Студентка 6 курса*

*кафедра «Инструментальная техника и технологии»*

*Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: О.В. Кононов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»*

*Оребрение* поверхности трубок предназначено для увеличения поверхности теплообмена со стороны теплоносителя, имеющего меньший коэффициент теплоотдачи. Ребристые трубки чаще всего применяются в воздухо- или газонагревателях, в воздухоохладителях и сушильных установках, реакторах, теплообменных аппаратах промышленных холодильных, кондиционирующих и криогенных установках, теплообменниках для химической промышленности и тепловых станций и т.п.. Применение их оправдано в случаях нагрева воздуха или газа горячей водой или паром, а также во всех других случаях, когда один из теплоносителей имеет большой, а другой — очень маленький по сравнению с первым коэффициент теплоотдачи, в результате чего получаются очень низкие значения коэффициента теплопередачи и соответственно большие размеры поверхности нагрева. Оребрение поверхности нагрева позволяет во многих случаях повысить теплоотвод и компактность теплообменных аппаратов.

Получением макрорельефа на трубах занимаются многие организации и уже достаточно длительное время. Существует множество методов получения оребрения, которые можно отнести к нескольким группам: механическая обработка, обработка давлением и сборочные методы.

Большинство из этих методов относится к получению рельефа на наружной поверхности. Что же касается развития внутренней поверхности, то в этой области достижения не так велики и вопрос о получении внутреннего оребрения остается открытым, не смотря на то, что отечественные предприятия все чаще используют медные трубы с внутренним макрорельефом при создании техники для кондиционирования воздуха. Применение этих труб по данным отечественных и зарубежных предприятий повышает холодопроизводительность теплообменной аппаратуры в холодильной технике как минимум на 25%.

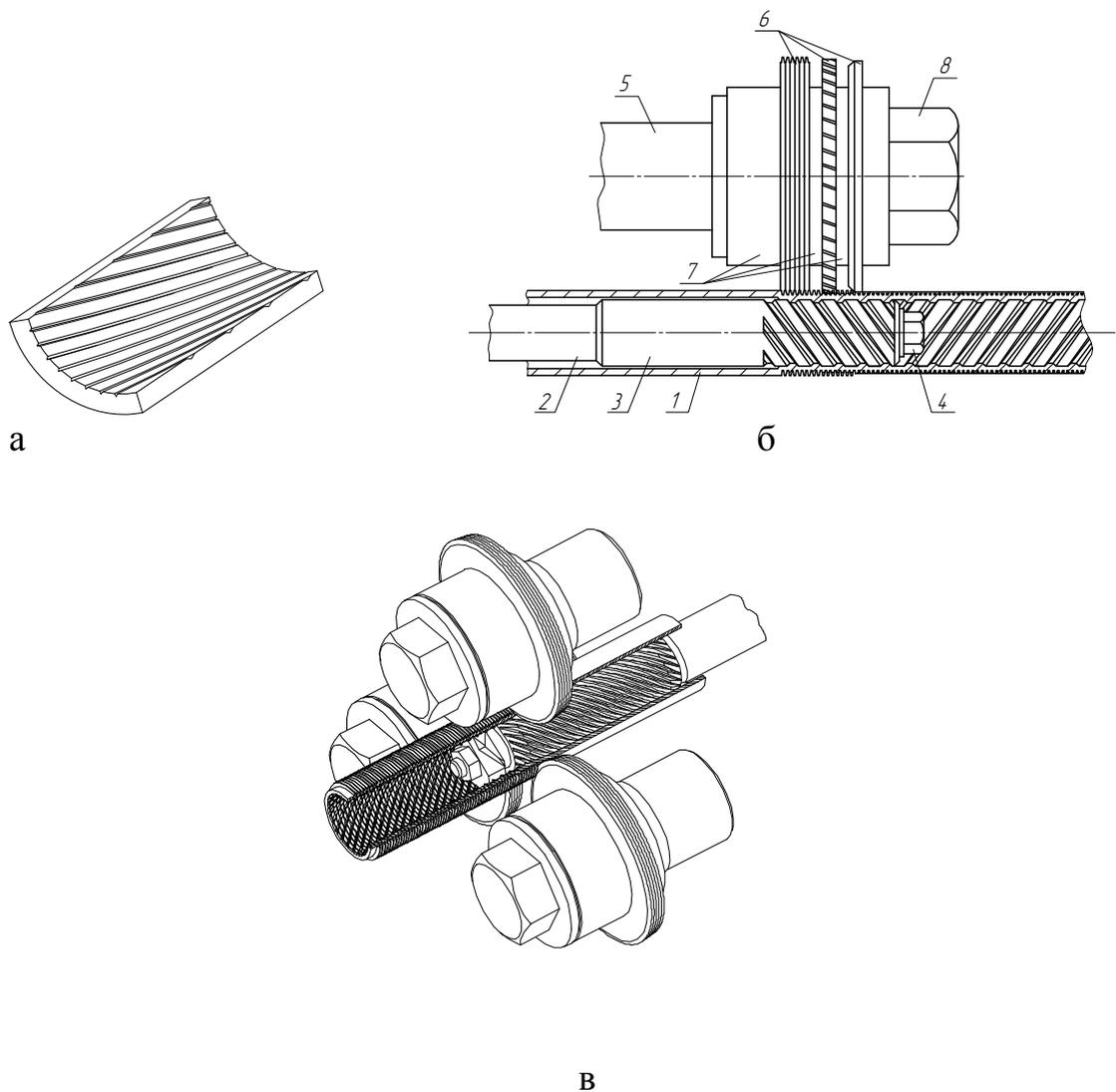


Рис. 1. Пример рельефа на внутренней поверхности (а) и методы его получения (б,в)

Ведущие зарубежные производители теплообменной аппаратуры уже давно применяют в своих изделиях медные трубы с внутренним рифлением. Причем в зависимости от требований заказчика, трубы должны различаться:

- по количеству ребер на периметре окружности (как правило, от 2 до 40 шт.)
- по углу наклона канавки к оси заготовки  $\omega$  (от  $0^\circ$  до  $60^\circ$ ) (Рис. 2).

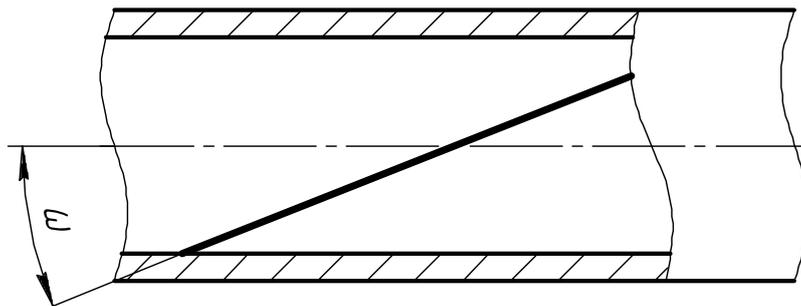


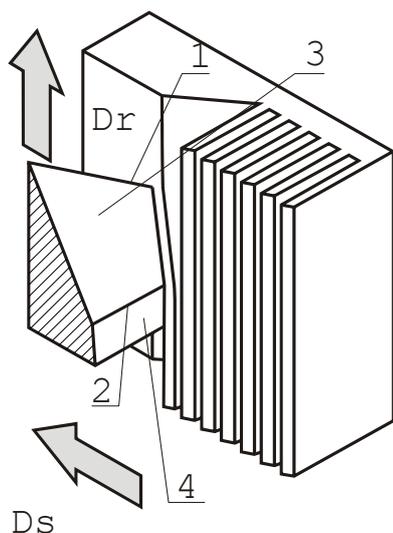
Рис. 2. Угол подъема винтовой канавки

В настоящее время для получения макрорельефа на внутренней поверхности труб в подавляющем большинстве случаев используются методы обработки давлением, т.е. обжим трубы наружными роликами на профилированной внутренней оправке (Рис. 1 б, в). Получение оребрения с помощью механической обработки с используется крайне редко, несмотря на малую энергоемкость. Данный процесс обладает низкой производительности, а применяемый инструмент обычно имеет низкую прочность из-за необходимости копирования инструментом профиля канавки.

Одним из способов, лишенных этих недостатков, является метод деформирующего резания.

Метод деформирующего резания (ДР) основан на процессе частичного срезания припуска и целенаправленного пластического деформирования подрезанного поверхностного слоя. Образующаяся при ДР стружка не отделяется полностью от заготовки, сохраняя с ней связь по своей узкой стороне.

Совокупность подрезанных поверхностных слоев, которые сохранили сплошность своего соединения с заготовкой, образует на обработанной поверхности детали развитый макрорельеф.



- 1 – главная режущая кромка
- 2 – вспомогательная кромка
- 3 – передняя поверхность
- 4 – вспомогательная задняя поверхность

Рис. 3. Получение макрорельефа методом ДР

Метод ДР позволяет получать макрорельеф в виде ребер различной формы, конфигурация которых определяется геометрией инструмента (Рис. 4).

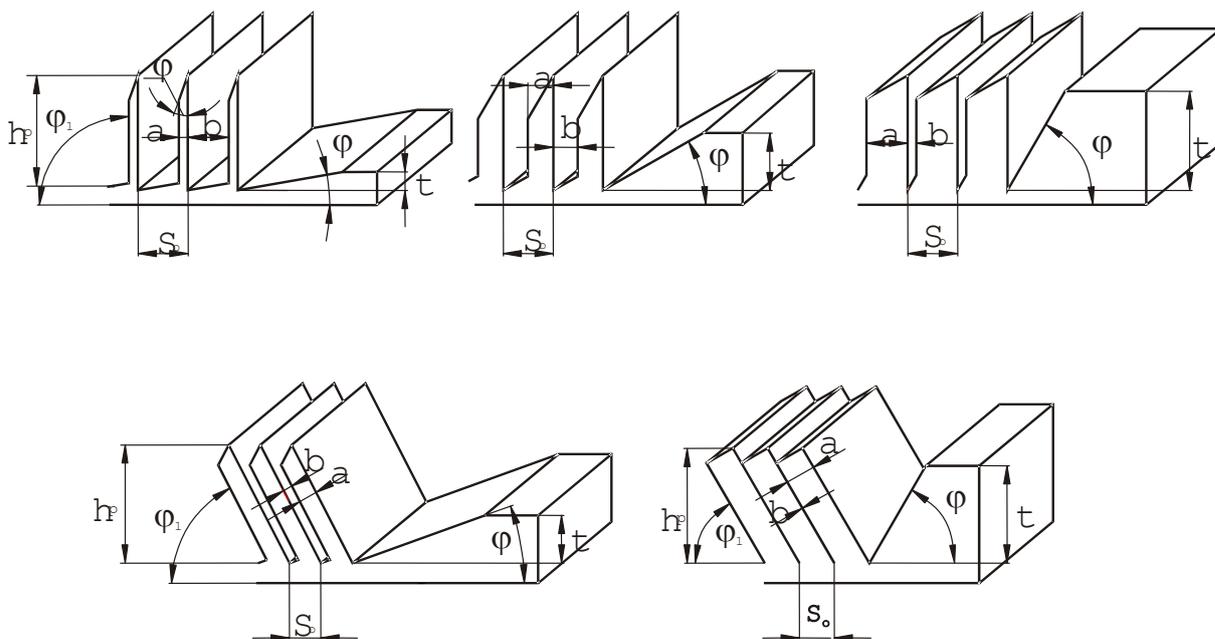


Рис. 4. Варианты макрорельефа, получаемых методом ДР. Влияние главного  $\varphi$  и вспомогательного  $\varphi_1$  углов в плане инструмента на геометрические параметры оребрения

Для каждой геометрии определена область существования процесса ДР(), в которой можно условно выделить три зоны :

- устойчивого получения ребер с параллельными сторонами;
- неустойчивое получение ребер с периодическим их отделением в виде стружки;
- выдавливание подрезанного материала на исходную поверхность заготовки.

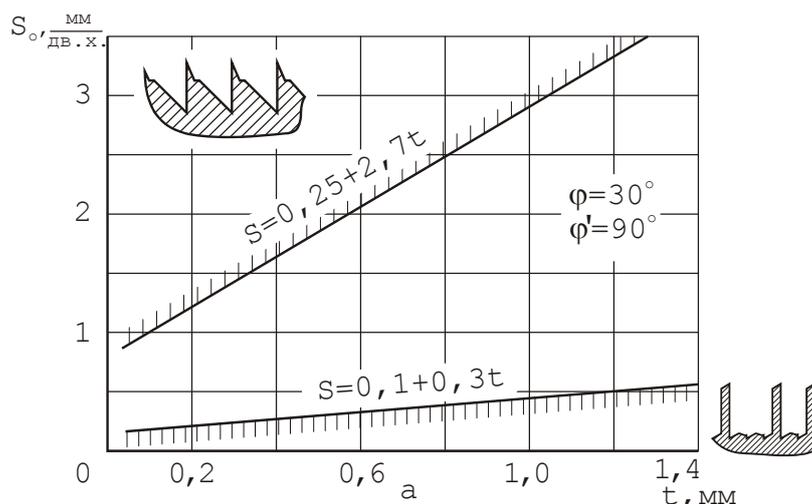


Рис. 5. Область существования процесса ДР. Обрабатываемый материал – медь М06

До недавнего времени метод ДР использовался только для получения макрорельефа на наружной поверхности трубных заготовок. И лишь в последнее время были предприняты попытки получить рельеф на внутренней стороне труб. Чтобы получить рельеф, соответствующий зоне устойчивого

оребрения области существования процесса ДР (Рис. 5), необходимо разместить внутри заготовки инструмент с большим количеством режущих вершин, что в большинстве случаев оказывается технически невозможным. Поэтому было принято решение работать в зоне выдавливания подрезанного материала на исходную поверхность заготовки.

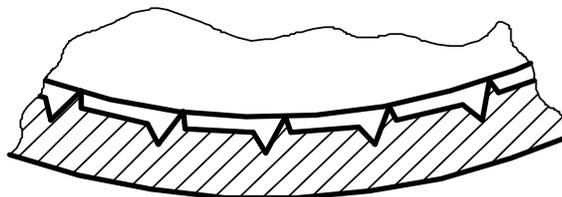


Рис. 6. Рельеф на внутренней поверхности, полученный методом ДР

Исследования силовых зависимостей ДР, проведенные ранее [3] показывают, что силы, действующие на режущий клин со стороны заготовки и образуемых ребер приводят к самозатягиванию инструмента. В случае наружного оребрения с этим эффектом приходится бороться, в то время как при внутреннем оребрении его можно использовать и управлять им.

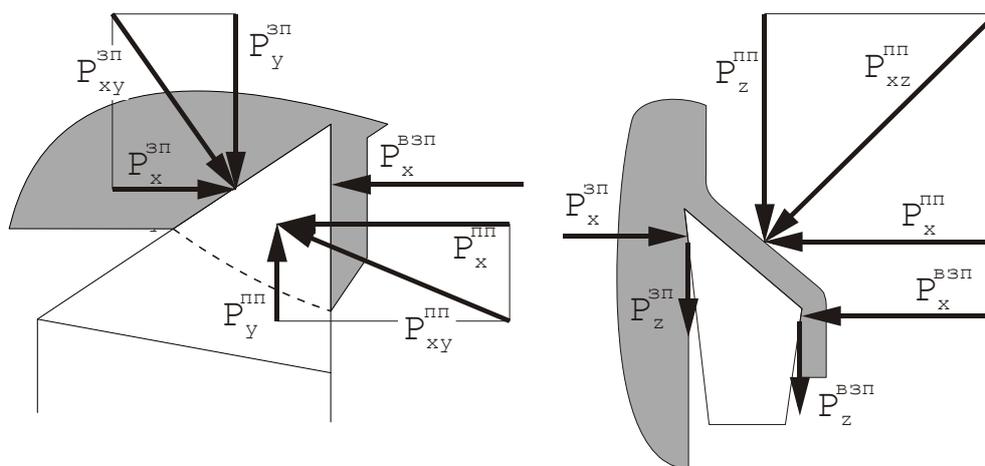


Рис. 7. Раскладка сил при ДР

Первые эксперименты показали, что внутренние канавки имеют определенный угол подъема, что позволяет говорить о верности выдвинутой гипотезы об управлении углом подъема винтовой канавки. В связи с этим возникла необходимость проведения дополнительных экспериментов по определению зависимости угла  $\alpha$  от различных технологических и геометрических параметров (положения передней поверхности, главного и вспомогательного углов в плане, заднего угла, наличия и вида СОЖ и др.).

Эксперимент проводится на строгальном станке. В качестве режущего инструмента используется токарный резец с ТС пластиной, заточенной с геометрией для ДР.

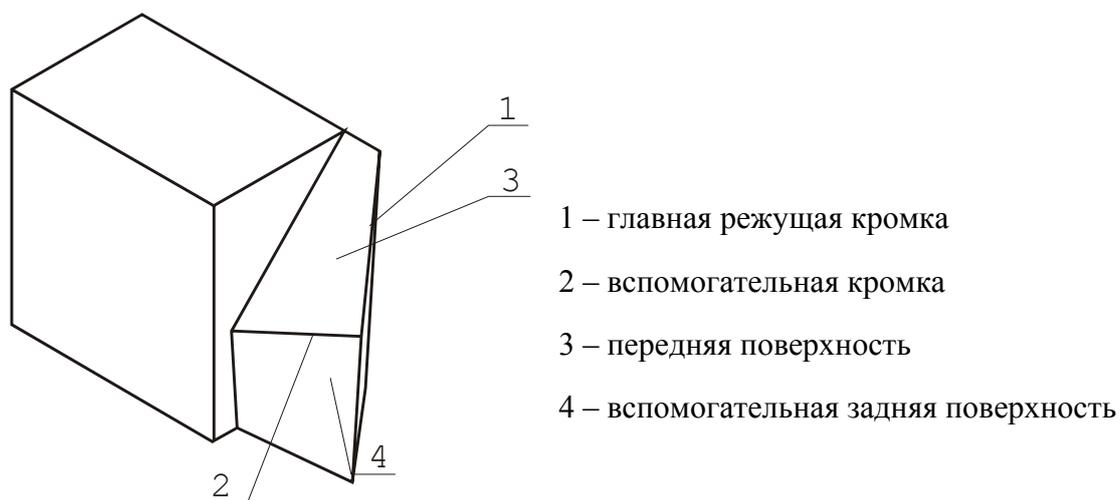


Рис. 8. Режущий инструмент для ДР

Заготовка при помощи зажимных губок закрепляется на направляющих, которые дают ей возможность свободно передвигаться под действием сил резания в направлении перпендикулярном движению резца.

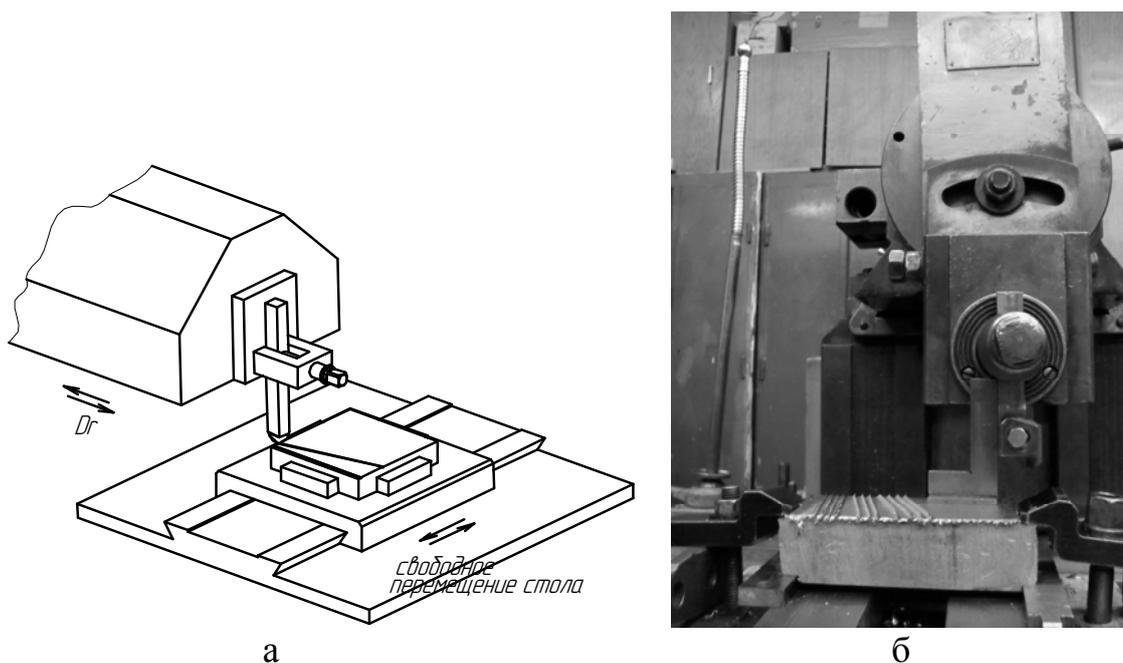


Рис. 9. Схема (а) и фотография (б) экспериментальной установки  
В качестве образцов использовались заготовки из алюминиевого и медного сплавов

Для того чтобы движение подачи резца было гарантировано параллельно поверхности заготовки был использован принцип единства баз. Т.е. каждый раз перед проведением эксперимента базовая поверхность сострагивали заново и заготовку больше не перезакрепляли. После строгания на поверхности заготовки остаются следы от резца. Эти риски использовались в качестве базы при измерениях.

В ходе эксперимента варьировались следующие параметры:

- положение передней поверхности (сочетание переднего угла и угла наклона главной режущей кромки)
- главный угол в плане;
- вспомогательный угол в плане;
- главный задний угол;
- наличие и вид СОЖ.

В результате эксперимента были получены наклонные ребра, имеющие в сечении различные профили.

*A-A*

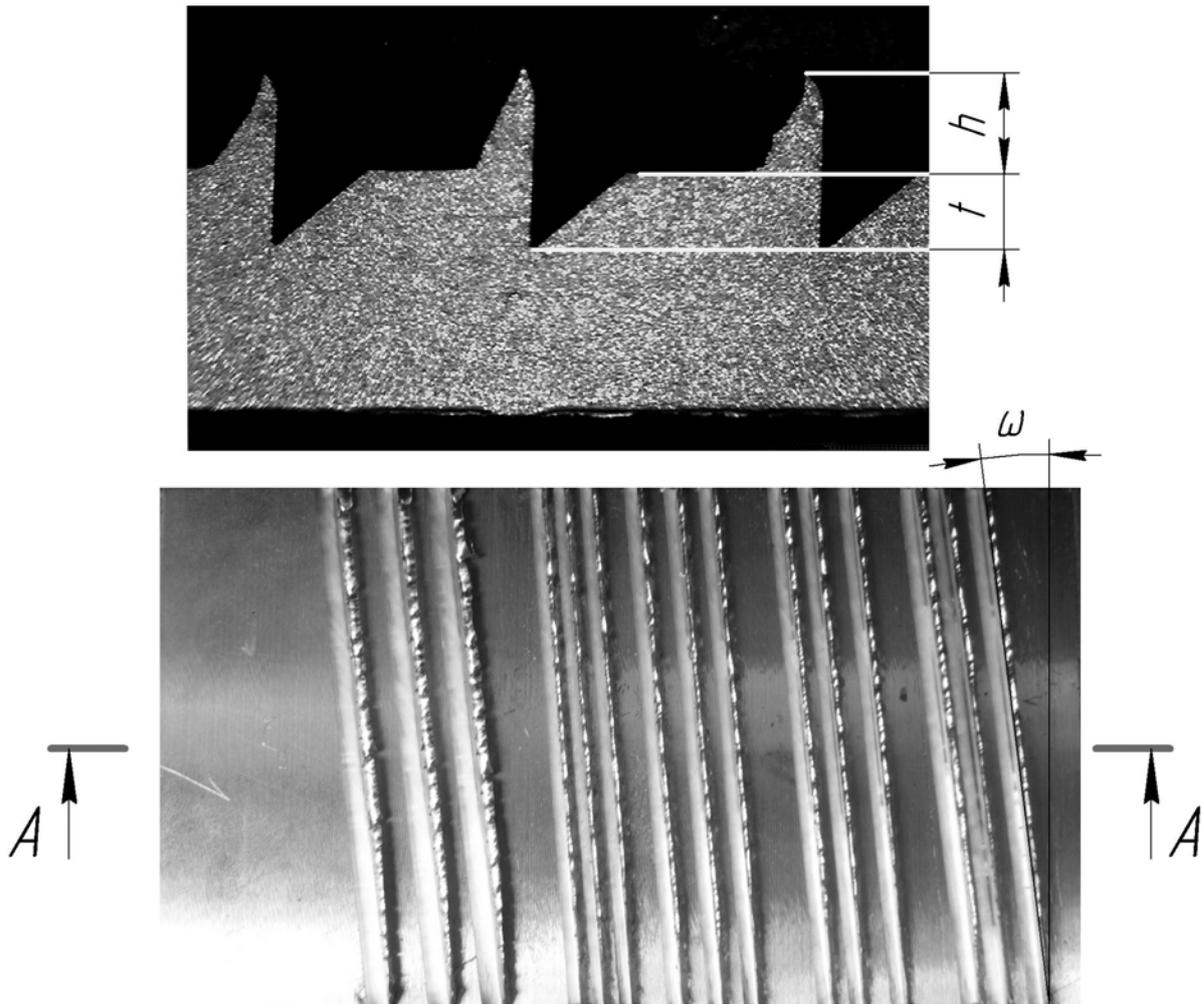


Рис. 10. Экспериментальный образец

В ходе эксперимента фиксировались следующие параметры: высота ребра и угол наклона канавки (угол самозатягивания).

**Таблица 1. Зависимость высоты ребра от главного угла в плане и положения передней поверхности**

Главный угол в плане, град. Положение передней поверхности	30	45
	1 [2]	2,34
2 [1]	2,03	1,53
3	2,36	1,31

**Таблица 2. Зависимость угла самозатягивания от главного угла в плане и положения передней поверхности**

Главный угол в плане, град. Положение передней поверхности	30	45
	1	8,60
2	7,84	5,24
3	7,55	3,55

**Таблица 3. Зависимость угла самозатягивания от главного заднего угла**

Главный задний угол, град.	Угол самозатягивания, град	Высота ребра, мм
3	7,55	2,36
6	13,12	2,32
9	24,31	1,32*

\* – при глубине резания 1 мм

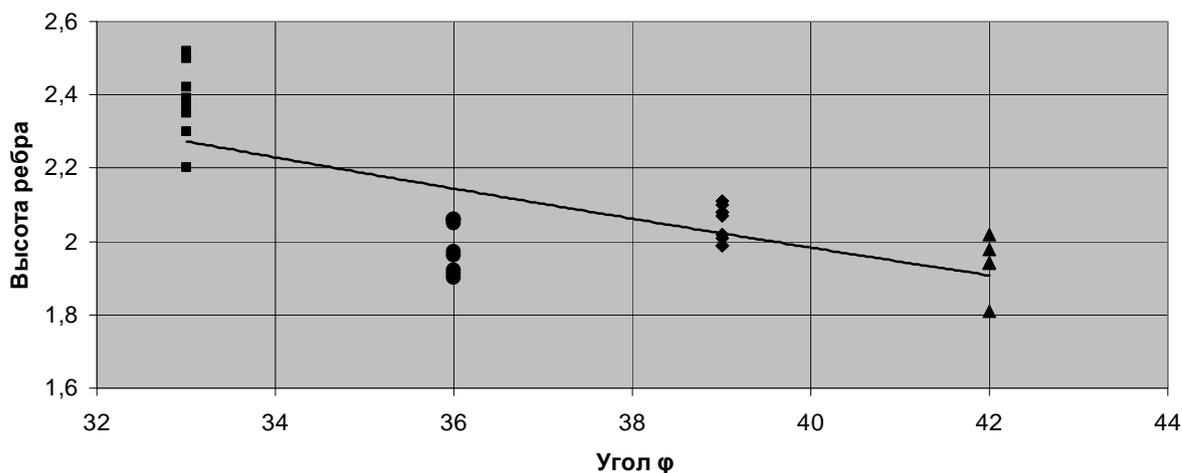


Рис. 11. Зависимость высоты ребра от угла

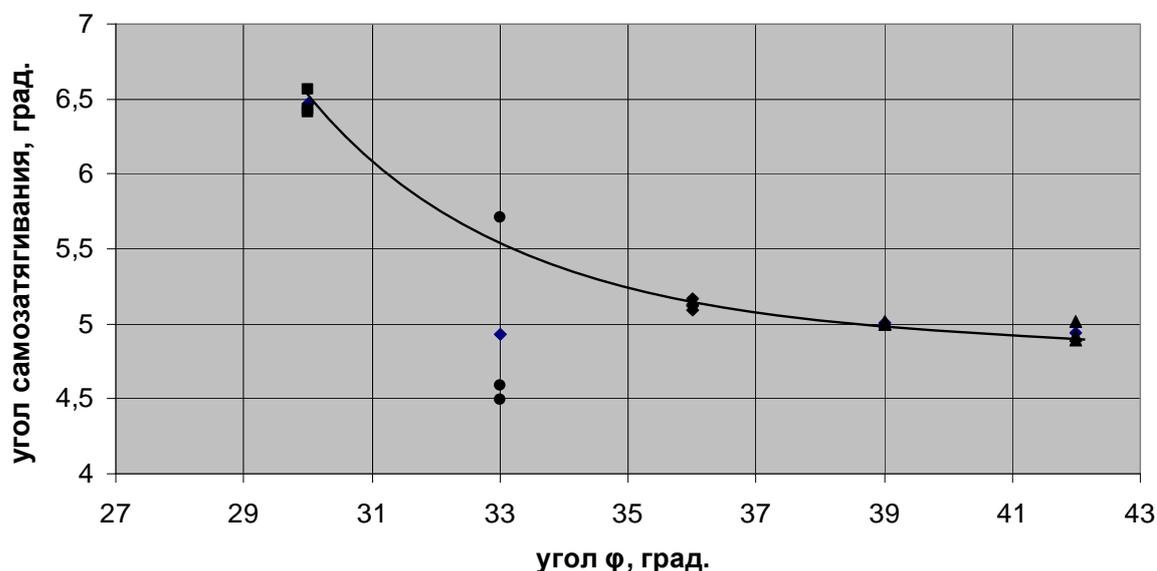


Рис. 12. Зависимость угла самозатягивания от угла

В ходе эксперимента по влиянию СОЖ на параметры получаемого макрорельефа были использованы следующие СОЖ: керосин, минеральное масло И-20, эмульсия Blascocut 2000. В результате эксперимента зависимости не обнаружено как по углу самозатягивания, так и по высоте ребра.

Как видно из графиков и таблиц самое большое влияние на угол самозатягивания оказывает главный задний угол  $\alpha$ . Однако при увеличении  $\alpha$  резко возрастает угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$ , а значит мы имеем ограничения по конструкции резца.

Однако только конструкцией резца невозможно получить весь диапазон требуемых углов, а значит, все равно придется использовать дополнительные устройства при получении внутреннего оребрения с углами подъема винтовой канавки в диапазоне от 30 до 60 град.

Для получения внутреннего макрорельефа на внутренней поверхности трубных заготовок в промышленных масштабах была разработана конструкция инструментального блока, которая позволяет получать винтовые ребра без использования дополнительного привода. В настоящее время ведется работа по изготовлению данного инструмента.

### **Литература**

1. Васильев С.Г. Разработка метода деформирующего резания для создания упрочняющих композиционных покрытий. Автореферат диссерт. на соиск. уч. степени канд. техн. наук – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 1996. – 16 с.
2. Кононов О.В. Разработка метода деформирующего резания для получения пористых поверхностных структур. Автореферат диссерт. на соиск. уч. степени канд. техн. наук – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 1997. – 16 с.
3. Кононов О.В. Разработка метода деформирующего резания для получения пористых поверхностных структур. Диссерт. на соиск. уч. степени канд. техн. наук – М.: МГТУ им. Н.Э Баумана, 1997. – 231 с.