

МАКОВЕЙ В. А., канд. техн. наук, доц., НТУУ “КПИ”, г. Киев
БОРОДИЙ Ю. П., ассистент, НТУУ “КПИ”, г. Киев
ПРОЦЕНКО П. Ю., инж., НТУУ “КПИ”, г. Киев

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВИНТОПОДОБНЫХ ТРУБ ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ

Разработаны технологии получения труб с винтовыми канавками, как с использованием оправок с винтовыми канавками так и без них. Исследовано влияние геометрических параметров винтовых канавок на качество изделий и напряженно-деформированное состояние. Ключевые слова: винтоподобная труба, обкатывание, напряжения, деформация.

Розроблені технології отримання труб з гвинтовими канавками як з використанням оправок з гвинтовими канавками так і без них. Досліджений вплив геометричних параметрів гвинтових канавок на якість виробів і напружено-деформований стан. Ключові слова: гвинтоподібна труба, обкочування, напруження, деформація.

Technologies of receipt of pipes are developed spiral-flute as with the use of mounting spiral-flute so without them. Influence of geometrical parameters of spiral ditches is investigational on quality of wares and the tensely-deformed state. Keywords: spiral pipe, rolling-off, strains, deformation.

Интенсификация теплообмена в каналах является эффективным способом уменьшения габаритных размеров и металлоемкости теплообменных аппаратов. Анализ работ в этом направлении показывает, что наибольшее внимание уделяется искусственной турбулизации потока с помощью кольцевых диафрагм разных геометрических размеров и типов, которые размещаются на внутренней поверхности круглой трубы [1]. Интенсификация теплоотдачи этим способом уменьшает в 1,5 – 2 раза габаритные размеры и массу теплообменного аппарата. В исследованиях [1] наиболее эффективными оказались трубы с локальными выступами на внутренней поверхности трубы. Поэтому также может быть эффективным турбулизатором и винтообразная труба. Существует несколько запатентованных способов изготовления винтообразных труб, как с использованием оправок так и без них. Известным способом изготовления винтообразных труб является роликное обкатывание на оправке. Он заключается в формообразовании на трубчатой заготовке с помощью оправки винтового профиля, причем его осуществляют путем последовательной пластической деформации при постоянном вращении трубчатой заготовки и закрепленной внутри нее п-заходной винтовой оправки и поступательном перемещении формирующих элементов в виде тел качения вдоль оси обрабатываемой детали. Этот способ используется при изготовлении длинномерных винтов винтовых насосов, которые выполняются из тонкостенных труб из нержавеющей и труднообрабатываемых сталей, которые применяются в нефтегазодобывающей промышленности [2].

Процесс обкатывания роликом сводится до пластического изменения формы путем перемещения частиц металла. Холодная пластическая деформация,

которая происходит при обкатывании, в значительной мере оказывает влияние на изменение физико-механических свойств. Показатели сопротивления деформации увеличиваются. При обкатке роликом следует стремиться к минимальной неоднородности деформации, поскольку градиент деформации повышает среднее удельное усилие и снижает пластичность, что может привести к разрушению и созданию в изделии остаточных напряжений [3]. При обкатывании роликом деформируемые металлы упрочняются, причем неравномерное упрочнение сопровождается повышением твердости деформированного металла, что позволяет учитывать изменение величины зоны упрочнения измерением твердости. Это можно использовать для экспериментально-расчетного определения НДС области пластического деформирования методом твердости [3].

Цель работы: разработать оптимальную технологию получения винтоподобных труб из цилиндрических труб обкаткой роликом с применением оправок и без них, а также методом твердости и аналитическим способом оценить НДС в зоне винтовых канавок, которые получены обкаткой с различными шагом и глубиной.

Одним из возможных способов получения винтоподобных труб является способ изготовления обкаткой роликом. В качестве профилирующих инструментов для получения винтовых гофр на тонкостенных трубах из нержавеющей стали 04X18H10 ($\sigma_{0,2} = 530$ МПа, $\sigma_b = 740$ МПа) и X18H9T применяются ролики и оправка.

Перед проведением обкатывания были определены механические характеристики (микротвердость) заготовок-труб. Для этого вырезались прямоугольные пластины размером 10 на 10 миллиметров, правились для придания им плоской формы, шлифовались и полировались на шлифовальной машине. Измерение микротвердости выполнялось на микротвердомере модели ПМТ-3 нагрузкой 100 гс. Таким образом, микротвердость исходных труб находится в пределах 180...200 HV.

Разработаны следующие схемы реализации данного способа:

1. Получение винтоподобной трубы роликовым обкатыванием на токарно-винторезном станке с использованием оправки и роликов. Схема процесса получения изделия представлена на рис. 1.

На оправку 1 устанавливали трубчатую заготовку 2 из нержавеющей стали толщиной 1 мм. Ролик 3 крепили к корпусу 4, который закреплен в резцедержателе 5 суппорта токарного станка. Оправку 1 с надетой на нее трубчатой заготовкой 2 фиксируем с одной стороны центром токарного станка 6, а с другой стороны – в трехкулачковом патроне 7, чем обеспечиваем невозможность поворота заготовки относительно оправки. Оправка имеет точенный винтовой рельеф, который будет получать труба после процесса обкатки. Полученный образец детали показан на рис. 2.

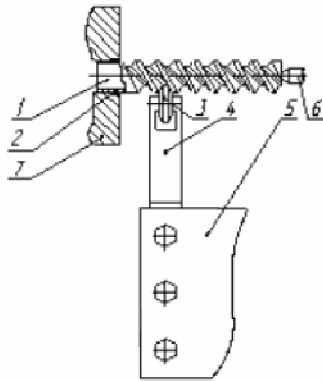


Рис.1. Схема процесса накатки винтового рельефа на трубе:
 1 – оправка с резьбой,
 2 – деталь, 3 – ролик, 4 – корпус
 5 – резцедержатель, 6 – центр,
 7 – трехкулачковый патрон



Рис.2. Фотография оправки а) и образца б) с шагом винта 20 мм

Данную технологию изготовления винтообразных труб лучше выполнять в несколько переходов. Сначала использовали ролик с тупым углом. Необходимо многократно повторить проходы в одну и другую сторону пока не будет сформирован начальный винтообразный рельеф на трубчатой заготовке. Финишные операции выполнялись роликом с острым углом. При этом нужно повторить проходы в одну и другую сторону пока не будет полностью сформирован конечный винтообразный рельеф трубы.

Для улучшения условий процесса обкатки ролик необходимо наклонить на некоторый угол α – угол поворота ролика к горизонтальной оси суппорта, который равняется углу подъема винтовой линии.

II. Получение винтоподобной трубы роликовым обкатыванием на токарно-винторезном станке с использованием сыпучей среды в качестве противодействия.

Оправка является технологически сложной деталью. После операции формирования винтообразного профиля с использованием оправки возникают сложности с извлечением полученной трубы. Для упрощения технологии изготовления появляется необходимость изменить схему получения винтообразной трубы без использования оправки.

Схема с использованием сыпучих материалов показана на рис. 3. В середину трубы 1 засыпается сыпучий материал (песок) 2, а на концах у нее крепятся пробки 3 и 4. Пробка левая 3 с трубой крепится в трехкулачковом патроне 5. Пробка правая 4 установлена в корпус 6, где на нее создает давление пружина 7. Сила давления пружины регулируется крышкой 8, которая содержит центровое отверстие, где установлен центр 9 задней бабки токарно-винторезного станка. Обкатка проводится роликом 10, который закреплен в обкатной головке 11.

При обкатке роликом сыпучий материал 2 сначала уплотняется, а затем начинает действовать на правую пробку 4, которая сжимает пружину 7, что находится в корпусе 6.

По этой схеме были получены образцы винтообразных труб разных шагов (рис. 4). Для их получения использовались ролики с разной геометрией. Ролик можно повернуть на угол, который зависит от шага винтовых канавок.

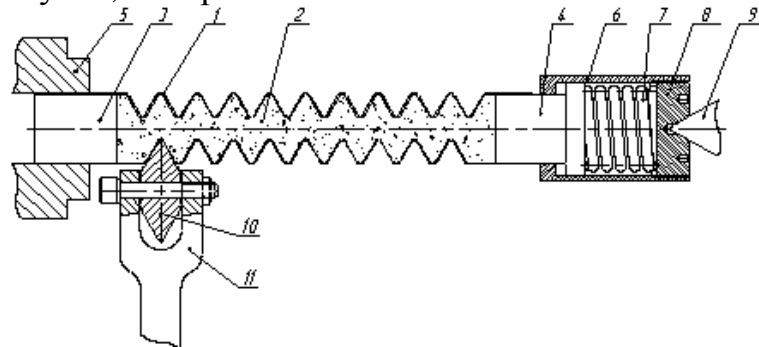


Рис. 3. Схема получения винтообразной трубы с использованием сыпучего материала (песку) в качестве внутреннего противодействия: 1 – труба, 2 – сыпучий материал, 3 – пробка левая, 4 – пробка правая, 5 – трехкулачковый патрон, 6 – корпус, 7 – пружина, 8 – крышка, 9 – центр, 10 – ролик, 11 – обкатная головка.

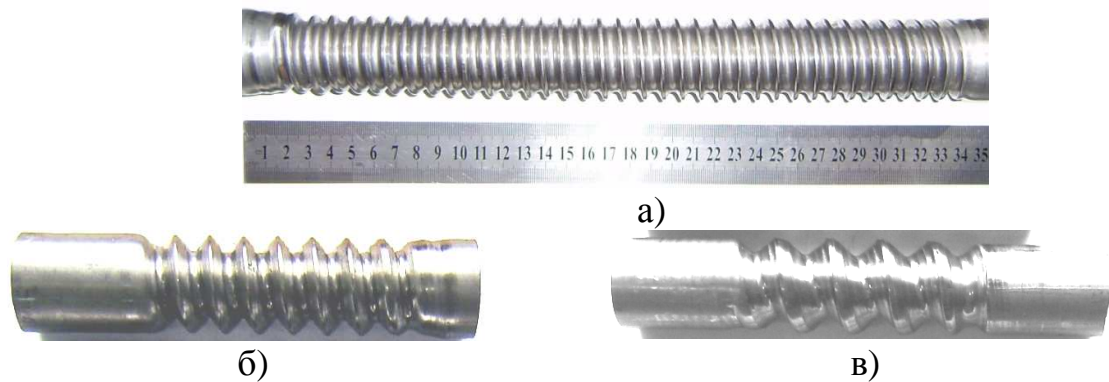


Рис. 4. Фотографии образцов, которые получены без оправки с шагами винта: а) 8 мм, б) 12 мм, г) 20 мм

При холодном пластическом деформировании металлы упрочняются. Это упрочнение неравномерно по области, охваченной деформацией. Упрочнение сопровождается повышением твердости деформированного металла, что позволяет учесть изменение размеров зоны упрочнения измерением твердости. Это можно использовать для экспериментально-расчетного определения напряженного состояния деформированной области винтовой трубы. Метод основан на допущении, что интенсивность напряжений связана с твердостью по Викерсу [4] зависимостью:

$$\sigma_u = K \cdot HV, \quad (1)$$

где $K = 0,3$, HV – твердость по Викерсу.

Были сделаны, отшлифованы и отполированы продольные срезы изготовленных труб с разным шагом винтовой канавки (8 и 12 мм). Результаты измерения микротвердости на этих срезах показаны на рис. 5, из которых видно, что значения микротвердости на вершинах витков не отличаются от исходных значений. В то же время заметное повышение микротвердости на наклонных участках витков и особенно на впадинах витков. Общее повышение твердости

составляе 30 – 50% от исходных значений. На участках со значениями микротвердости HV 260...280 наблюдалось возникновение трещин. При этом контролировались геометрические параметры сечения трубы (см. рис. 5). Трещины возникали во впадинах витков при утонении трубы до значений 0,35 – 0,4 мм при глубинах > 5,0 – 5,5 мм.

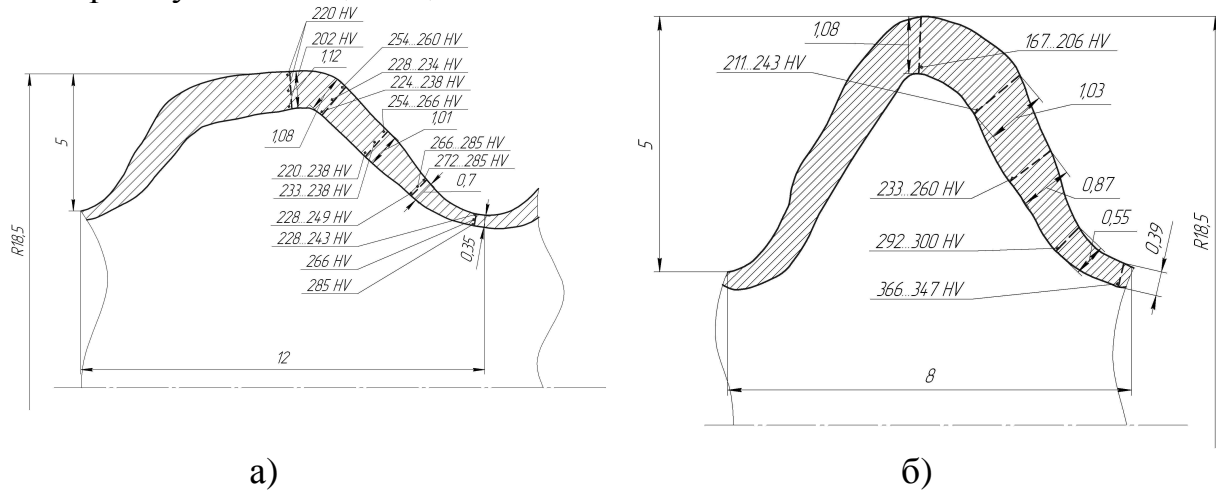


Рис. 5. Геометрические размеры и результаты измерения микротвердости на продольном срезе винтообразных труб с шагом: а) – 12 мм, б) – 8мм.

По результатам измерений твердости были построены зависимости изменения интенсивности напряжений σ_u от относительного утонения стенки трубы $\Delta h/h$ (рис.6).

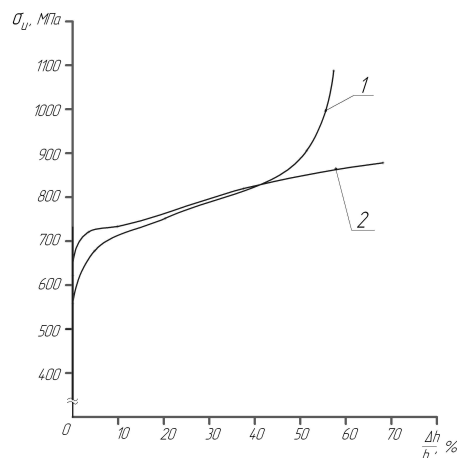


Рис. 6. Зависимость интенсивности напряжений от относительного утонения стенки трубы: 1 – с шагом винта 8 мм, 2 – с шагом винта 12 мм.

Теоретические основы расчетов напряженно-деформированного состояния труб при обкатке приведены в работах [4,5]. При этом рассматривается элемент трубы (рис. 7) и определяется НДС в каждой точке винтовой части трубы (рис. 8).

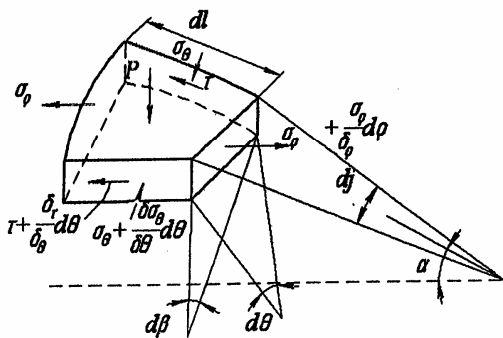


Рис. 7. НДС элемента трубы

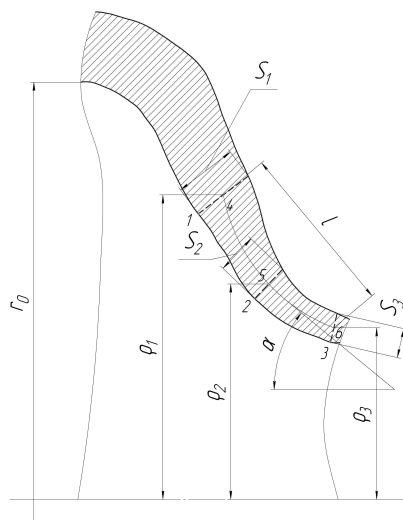


Рис. 8. Параметры для определения НДС

Условие пластичности было принято в виде [4]:

$$\sigma_\rho - \sigma_\theta = \sigma_u, \quad (2)$$

где σ_u – интенсивность напряжений.

Касательные напряжения определяли из выражения выражали:

$$\tau = \mu \sigma_\kappa, \quad (3)$$

где μ – коэффициент трения при смазке минеральным маслом с графитом.

Пользуясь схемами, показанными на рис. 7 и рис. 8, а также результатами [4, 5] получим выражение для нахождения контактных напряжений:

$$\sigma_\kappa = \frac{\left(\sigma_u - \sigma_T \frac{r_0}{\rho} \right) 2s \sin \alpha}{\mu \rho \left(1 + \frac{z}{R_\theta} + \frac{2z}{R_\rho} \right)}, \quad (4)$$

где σ_T – напряжение текучести, r_0, s, ρ, α – показаны на рис. 8, z – зазор между роликом и оправкой, R_θ – радиус кривизны в тангенциальном сечении, R_ρ – радиус кривизны в меридиональном сечении.

$$\sigma_\theta = \left(\frac{\sigma_\kappa l}{s} \right) \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где l – показана на рис. 8;

$$\sigma_\rho = \sigma_u - \sigma_\theta. \quad (6)$$

Таблица - НДС на внутренней стороне винтоподобной трубы с шагом винта 8 мм

| Область | Эксперимент | | | | | Расчет | | |
|---|-------------|---------------------|----------------|-------------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| | Точка | σ_u , МПа | ρ , мм | s , мм | z , мм | σ_κ , МПа | σ_θ , МПа | σ_ρ , МПа |
| $\alpha = 40^\circ, \mu = 0,1$ $l = 2,68 \text{ мм},$ $\sigma_T = 530 \text{ МПа},$ $r_0 = 17,5 \text{ мм}.$ | 1 | 738 | 15,67 | 0,87 | 0 | -104,3 | -269,6 | 468,4 |
| | 2 | 888 | 14,29 | 0,55 | 0 | -118,2 | -483,3 | 404,7 |
| | 3 | 1068 | 13,61 | 0,39 | 0 | -142,4 | -821,1 | 246,9 |

Выводы

1. Разработаны технология и оснастка для изготовления винтоподобных труб с глубиной канавки до 5мм и длиной до 1 м как с использованием оправки так и без нее.

2. Профилирование винтовых канавок на цилиндрических трубах из нержавеющей сталей сопровождается утонением стенки в области впадин на 60...70% и упрочнением материала в этой зоне в 1,4 ...1,5 раза.

Список литературы: 1. *Рогачев В. А.* Интенсификация теплообмена в круглой трубе / Рогачев В. А., А. М. Терех, В. Д. Бурлей, А. В. Семеняко. // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2008. – № 1. – С. 36 – 42 2. Пат. 2121405 РФ, МКИ В 21 D 15/04. Способ изготовления винтовых деталей и устройство для его осуществления. Заявл. 20.12.1995; Опубл. 10.11.1998, – 6 с. 3. *Маковой В. О.* Профілювання гвинтоподібних труб обкочуванням / Маковой В. О., Бородій Ю. П., Кліско А. В., Проценко П. Ю. // Вісник Київського політехн. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55 – 60. 4. *Огородников В.А.* Механіка процесів формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації / Огородников В.А., Музичук В.І., Нахайчук О.В. – Вінниця, Універсум, 2007. – 179 с. 5. *Капорович В. Г.* Производство деталей из труб обкаткой. – М.: Машиностр., 1978. – 136 с.

УДК 621.771.63

АНИСИМОВА Е.А., аспирант, ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

ЛОКОТУНИНА Н.М., канд. техн. наук, доц., МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск

ШЕМШУРОВА Н.Г., канд. техн. наук, профессор, ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

РАЗРАБОТКА НОВОЙ КОНФИГУРАЦИИ ПРОФИЛЕЙ ВЫСОКОЙ ЖЕСТКОСТИ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Для улучшения эксплуатационных свойств листового профиля с периодически повторяющимися гофрами в работе предложена новая конфигурация профилей высокой жесткости (ПВЖ). Это позволит повысить жесткость и прочность металла при снижении металлоемкости.

Ключевые слова: профили высокой жесткости, эксплуатационные свойства, жесткость, прочность, интенсивность деформации, запас пластичности.

To improve the operational properties of flat profile with recurrent ripples in this work proposed new configuration of the profiles of high rigidity (PVZH). It will help to increase the stiffness and strength of the metal at lower metal content.

Keywords: profiles of high rigidity, operational properties, hardness, strength, intensity of deformation, plasticity margin.

Гнутые профили являются одним из наиболее экономичных видов металлопродукции. Они позволяют значительно снизить удельный расход