



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011121710/02, 27.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.05.2011

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2012 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 27.03.2013 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2116150 C1, 27.07.1998. RU 2131311 C1, 10.06.1999. RU 1429410 C1, 15.10.1994. RU 2086393 C1, 10.08.1997. FR 2698815 A1, 10.06.1994.

Адрес для переписки:

410003, г.Саратов, ул. Б. Горная, 170, кв.8,
А.В. Королеву

(72) Автор(ы):

Королев Альберт Викторович (RU),
Королев Александр Альбертович (RU),
Королев Андрей Альбертович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Королев Альберт Викторович (RU),
Королев Александр Альбертович (RU),
Королев Андрей Альбертович (RU)

(54) СПОСОБ РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

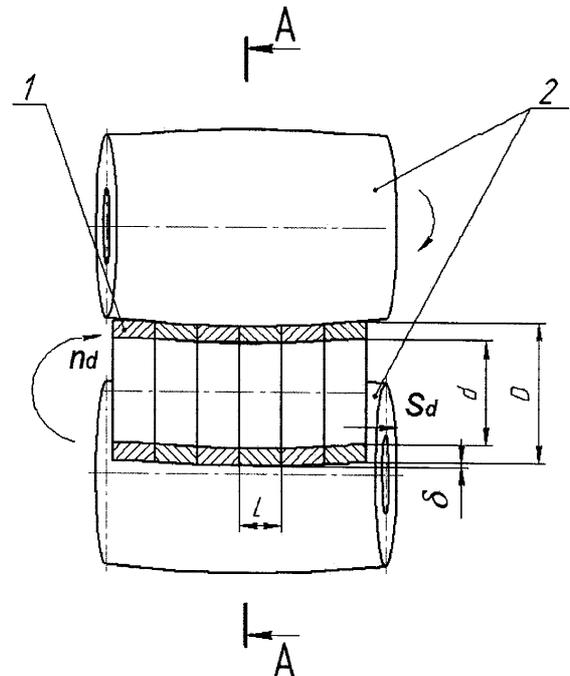
(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению и приборостроению, а именно к технологическим операциям релаксации остаточных напряжений в деталях, имеющих внутренний и внешний диаметры. Вводят в контакт с деталью три вращающихся вала, обеспечивающих ее упругую деформацию.

Силу деформации детали валками определяют из условия

$$P \leq \frac{\sigma_u \cdot W}{K_\sigma \cdot d},$$

где σ_u - предел упругости материала детали, МПа; $K_\sigma=0,094$; d - внутренний диаметр детали, мм; W - момент сопротивления изгибу, мм³. В результате повышается качество обработки и расширяются технологические возможности. 3 ил.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B24B 39/04 (2006.01)
B23P 25/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011121710/02, 27.05.2011

(24) Effective date for property rights:
27.05.2011

Priority:

(22) Date of filing: 27.05.2011

(43) Application published: 10.12.2012 Bull. 34

(45) Date of publication: 27.03.2013 Bull. 9

Mail address:

410003, g.Saratov, ul. B. Gornaja, 170, kv.8,
A.V. Korolevu

(72) Inventor(s):

Korolev Al'bert Viktorovich (RU),
Korolev Aleksandr Al'bertovich (RU),
Korolev Andrej Al'bertovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Korolev Al'bert Viktorovich (RU),
Korolev Aleksandr Al'bertovich (RU),
Korolev Andrej Al'bertovich (RU)

(54) **METHOD OF RESIDUAL STRESS RELAXATION**

(57) Abstract:

FIELD: process engineering.

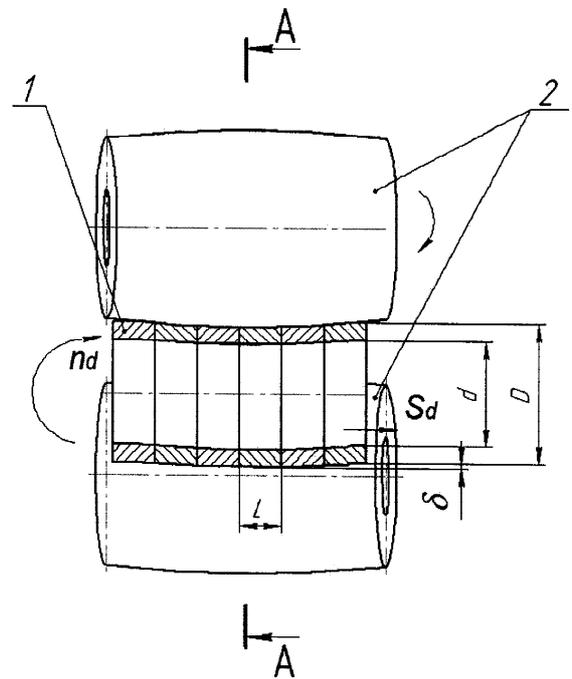
SUBSTANCE: invention relates to machine building and instrument making, particularly, to relaxation of residual stress in parts with ID and OD. Three revolving rolls are brought in contact with part to cause its elastic strain. Strain force is defined from the formula:

$$P \leq \frac{\sigma_u \cdot W}{K_\sigma \cdot d},$$

σ_u is part material elastic limit, MPa, $K_\sigma = 0.094$, d is part ID, mm, W is modulus of bending resistance, mm^3 .

EFFECT: higher efficiency of processing, expanded performances.

3 dwg



Фиг. 2

RU 2 4 7 8 0 3 1 C 2

RU 2 4 7 8 0 3 1 C 2

Изобретение относится к машиностроению и приборостроению, а именно к технологическим операциям релаксации остаточных напряжений в деталях.

Известен способ релаксации остаточных напряжений, включающий введение в контакт детали и инструмента, представляющего собой источник ультразвуковых колебаний, и поворот детали вокруг своей оси (RU 2140842 C1). Деталь закрепляют на неподвижной опоре в виде призмы, источник ультразвуковых колебаний устанавливают на жестко фиксированном расстоянии от опоры, поворот детали осуществляют периодически после некоторого времени обработки в каждом фиксированном положении детали.

Недостатками данного способа являются низкая производительность и низкое качество обработки, так как релаксация осуществляется неравномерно вдоль поперечного сечения детали, а также вдоль оси детали большой протяженности.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому эффекту к заявляемому (прототипом) является способ релаксации остаточных напряжений в цилиндрической детали, включающий введение в контакт с деталью трех вращающихся валков, обеспечивающее ее упругую деформацию и обкатку вокруг ее оси (патент RU №2116150 C1, B21D 3/10). Помимо радиального усилия, к детали прикладывают осевое сжимающее усилие, соответствующее пределу текучести материала заготовки, а также производят ее скручивание относительно продольной оси.

Недостатком данного способа является то, что под действием напряжения сжатия, соответствующего пределу текучести, деталь изменяет форму и размеры поверхностей, а в материале детали возникают новые остаточные напряжения. Кроме того, данный способ применим только для обработки длинномерных деталей.

Задачей настоящего изобретения является устранение указанного недостатка, а именно обеспечение релаксации остаточных напряжений без изменения формы, размера детали и образования новых остаточных напряжений, а также обеспечение возможности обработки как длинномерных, так и коротких деталей.

Ожидаемым техническим результатом является повышение качества обработки изделий и расширение технологических возможностей способа.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе релаксации остаточных напряжений в цилиндрической детали, включающем введение в контакт с деталью трех вращающихся валков, обеспечивающее ее упругую деформацию, силу деформации детали валками определяют из условия

$$P \leq \frac{\sigma_u \cdot W}{K_\sigma \cdot d},$$

где σ_u - предел упругости материала детали, МПа; $K_\sigma=0,094$; d - внутренний диаметр детали, мм; W - момент сопротивления изгибу, мм³.

Так как силу прижима инструмента к детали выбирают из условия возникновения исключительно упругой деформации детали, то при обработке не возникают новые напряжения, не изменяется ее форма и размеры. Из-за наличия внутреннего трения за счет многоциклового обкатки в материале детали накапливается внутренняя энергия, которая концентрируется в зоне остаточных напряжений, вызывает в этой зоне микроскопические пластические сдвиги и релаксацию напряжений без существенного изменения ее формы и размеров. Время, необходимое для полной релаксации напряжений, или необходимое число циклов нагружения определяются аналитически или экспериментально и зависят от величины остаточных напряжений, степени упругой деформации детали, частоты нагружения и величины внутреннего трения

материала детали. Помимо длинномерных деталей, которые под действием валков упруго деформируют вдоль оси, предлагаемым способом возможна обработка коротких кольцевых деталей, так как валки обеспечивают возможность поперечной упругой деформации стенок деталей. Тем самым обеспечивается повышение качества обработки и расширяются технологические возможности способа.

На фиг.1 изображена схема осуществления способа релаксации напряжений в длинной детали; на фиг.2 - схема релаксации остаточных напряжений в коротких деталях; на фиг.3 - то же, в поперечном сечении.

Обрабатываемую деталь 1 (фиг.1), представляющую собой полый вал с наружным диаметром D , внутренним диаметром d и длиной L , устанавливают в центрах 2. К ней подводят инструмент 3, представляющий собой бомбинированный валок.

Бомбинированный валок 3 имеет радиус бомбины r_v , меньший радиуса изгиба детали $r_d \geq r_v$ в процессе обработки. С помощью бомбинированного валка 3 деталь упруго деформируют на величину u_m . Затем детали 1 или инструменту 3 сообщают вращение, в результате чего под действием сил трения деталь вращается с частотой n_d , а инструмент 3 - с частотой n_v . После некоторого времени обработки вращение детали 1 и инструмента 3 прекращают, инструмент 3 отводят от детали, а деталь снимают с центров 2. Равномерное вращение детали обеспечивает равномерную релаксацию остаточных напряжений во всех ее поперечных сечениях, что способствует повышению качества обработки. Так как деталь деформировали упруго, то она в процессе обработки сохраняет свои размеры и форму.

При обработке коротких деталей 1 (фиг.2) их пропускают между инструментами 2, представляющими собой три цилиндрических валка, непрерывно вращающихся вокруг своих осей с частотой n_v . Детали 1 имеют наружный диаметр D , внутренний диаметр d и длину L . Валки 2 располагают под углом друг к другу. За счет разложения скорости, получаемой от валков 2, каждая деталь 1 получает вращение вокруг своей оси с частотой n_d и перемещение вдоль оси с подачей S_d . Валками 2 так воздействуют на расположенные между ними детали, что каждая из деталей в процессе обработки получает деформацию на величину u_m (фиг.3). При перемещении детали 1 между валками 2 со скоростью S_d деталь многократно деформируется, что обеспечивает релаксацию напряжений. Так как деталь вращается равномерно, то осуществляется равномерная релаксация остаточных напряжений во всех ее поперечных сечениях и по всей ее длине. Это обеспечивает повышение качества обработки. А так как обработка осуществляется между 3 валками напроход, то это обеспечивает высокую производительность обработки.

В рассмотренных примерах используется простой надежный инструмент в виде валков, что снижает затраты на обработку.

Приведем численный пример. Обработке подвергают цилиндрическую деталь: наружный диаметр $D=75$ мм, внутренний диаметр $d=57$ мм, высота $L=28$ мм. Материал детали - закаленная сталь 40X, имеющая предел упругости $\sigma_u=280$ МПа и модуль упругости $E=210000$ МПа. Максимальная величина остаточных напряжений в детали равна $\sigma_0=180$ МПа. Обработку осуществляем между тремя цилиндрическими валками длиной $L_v=280$ мм, расположенными под углом 120° . Оси валков развернуты к оси деталей на угол $\alpha=2^\circ$. Диаметр валков $D_v=150$ мм, частота вращения валков $n_v=50$ об/мин.

Определим время обработки и число циклов нагружения. Допустимую силу деформации детали определяем, с одной стороны, из условия недопустимости остаточной (пластической) деформации по формуле

$$P \leq \frac{\sigma_u \cdot W}{K_\sigma \cdot d}, \quad (1)$$

Где σ_u - предел упругости материала детали, МПа; K_σ - коэффициент, зависящий от
 5 числа k_v валков (при $k_v=3$, $K_\sigma=0,094$); W - момент сопротивления изгибу, мм, для
 поперечного сечения детали прямоугольной формы, равный

$$W = \frac{L}{24} \cdot (D - d)^2.$$

Для указанного выше примера

$$W = \frac{28}{24} \cdot (75 - 57)^2 = 378 \text{ мм}^3;$$

$$P \leq \frac{280 \cdot 378}{0,094 \cdot 57} = 19670 \text{ Н.}$$

Принимаем $P=10000\text{Н}$. Так как между валками одновременно располагается $L_v/L=$
 280/28=10 деталей, то сила прижима валков к деталям равна

$$Q = P \cdot \frac{L_v}{L} = 100000 \text{ Н.}$$

Под влиянием трех сил P кольцевая деталь будет деформироваться в трех точках на
 величину

$$u_m = \frac{P \cdot D^3}{8 \cdot E \cdot J_o} K_1 + \frac{P \cdot D}{2 \cdot E \cdot F} \cdot K_2, \quad (2)$$

где J_o - момент инерции поперечного сечения детали относительно центральной оси
 (мм⁴), равный

$$J_o = \frac{B}{96} \cdot (D - d)^3 \cdot L = \frac{1}{96} \cdot (75 - 57)^3 \cdot 28 = 1701 \text{ мм}^4,$$

F - площадь поперечного сечения детали (мм²), равная

$$F = 0,5 \cdot (D - d) \cdot L = 0,5 \cdot (75 - 57) \cdot 28 = 252 \text{ мм}^2.$$

Тогда по формуле (2) находим:

$$u_m = \frac{10000 \cdot 75^3}{8 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 1701} \cdot 0,016 + \frac{10000 \cdot 75}{2 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 252} \cdot 0,493 = 0,027 \text{ мм.}$$

Окружная скорость валков и деталей равна

$$V_v = \frac{\pi \cdot D_v \cdot n_v}{1000} = \frac{\pi \cdot 150 \cdot 50}{1000} = 23 \text{ м/мин.}$$

Так как валки развернуты под углом 2°, то скорость осевой подачи детали

$$S_v = V_v \cdot \sin 2^\circ = 23 \cdot 0,035 = 0,8 \text{ м/мин.}$$

Такт выпуска деталей равен

$$T = \frac{L \cdot 60}{1000 \cdot S_v} = \frac{28 \cdot 60}{1000 \cdot 0,8} = 2,1 \text{ с.}$$

Так как длина рабочей части валков равна $L_v=280$ мм, то время одного цикла
 обработки

$$\tau_1 = \frac{60 \cdot L_v}{S_v} = \frac{60 \cdot 280}{1000 \cdot 0,8} = 21 \text{ с.}$$

Частота воздействия внешней силы на деталь равна

$$n_c = n_v \frac{D_v}{60 \cdot D} \cdot k_v = 50 \frac{150}{75} \cdot 3 = 5 \text{ с}^{-1}.$$

За все время обработки каждое поперечное сечение детали получит число циклов деформации, равное
 5 $c = n_c \cdot \tau = 5 \cdot 21 = 105$.

Обычно такого числа циклов нагружения достаточно, чтобы в полной мере осуществить релаксацию остаточных напряжений. В противном случае обработку следует повторить.

10 Потребное время обработки найдем из условия, чтобы энергия упругой деформации в каждой точке детали e_u за время обработки превышала энергию e_0 , необходимую для релаксации остаточных напряжений с учетом ее потерь:

$$15 e_u \geq \frac{e_0}{k_g}, \quad (3)$$

где k_g - коэффициент гистерезисных потерь, вызванных поглощением энергии материалом при его упругой деформации (для стали $k_g=0,02$).

20 Энергия деформации кольцевой детали в произвольном радиальном сечении за время обработки равна

$$e_u = P \cdot u_m \cdot n_c \cdot \tau, \quad (4)$$

где P - сила воздействия на поперечное сечение детали, Н;

u_m - амплитуда деформация поперечного сечения детали в месте приложения силы,
 25 мм;

n_c - частота воздействия силы, с^{-1} .

30 Так как в процессе релаксации остаточных напряжений соответственно изменяется форма детали, то, следовательно, для релаксации остаточных напряжений необходимо, чтобы в процессе релаксации материал детали получил энергию, равную или большую той, которая ранее вызвала в ней остаточные напряжения.

Энергия деформации кольцевой детали, эквивалентная энергии образования остаточных напряжений, равна

$$35 e_0 = \frac{1}{2} \cdot P_\sigma \cdot u_\sigma, \quad (5)$$

где u_σ - деформация детали (мм) после релаксации остаточных напряжений величиной σ (МПа);

40 P_σ - внешняя нагрузка (Н), которую P надо приложить к детали, чтобы вызвать ее деформацию величиной u_σ (мм).

Подставляя равенства (4) и (5) в выражение (3), найдем время (c), потребное для релаксации остаточных напряжений

$$45 \tau \geq \frac{P_\sigma \cdot u_\sigma}{2 \cdot k_g \cdot P \cdot u_m \cdot n_c}. \quad (6)$$

Предположим, что после релаксации напряжений величиной σ деталь приобретает овальную форму. Известно, что для того чтобы круглой детали придать овал и вызвать в ней напряжения σ , к ней нужно приложить пару противоположно направленных сил величиной

$$50 P_\sigma = \frac{\sigma t \cdot W_k}{D \cdot K_\sigma},$$

где K_σ - коэффициент, зависящий от числа точек k на наружной поверхности детали,

в которых приложена нагрузка величиной P_{σ} (при $k=2$ $K_0=0,159$).

Подобно выражению (2)

$$u_{\sigma} = \frac{P_{\sigma} \cdot D^3}{8 \cdot E \cdot J_0} K_1 + \frac{P_{\sigma} \cdot D}{2 \cdot E \cdot F} \cdot K_2,$$

где для $k=2$, $K_1=0,074$, $K_2=0,393$.

Тогда

$$P_{\sigma} = \frac{180 \cdot 378}{75 \cdot 0,159} = 5705 \text{ Н}$$

$$u_{\sigma} = \frac{5705 \cdot 75^3}{8 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 1701} \cdot 0,074 + \frac{5705 \cdot 75}{2 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 252} \cdot 0,393 = 0,064 \text{ мм.}$$

Подставляя эти и ранее найденные значения величин в формулу (6), получим:

$$\tau \geq \frac{5705 \cdot 0,064}{2 \cdot 0,02 \cdot 10000 \cdot 0,027 \cdot 5} = 6,76 \text{ с.}$$

Как было показано выше, фактическое время цикла обработки детали намного больше и составляет $\tau_1=21$ с. Поэтому остаточные напряжения будут у детали гарантированно удалены всего за один цикл обработки. Новые напряжения в детали не появятся, так как деформация детали осуществляется в пределах упругих напряжений.

Так как такт выпуска деталей равен $T=2,1$ с, то производительность способа очень высокая.

Продлав подобные вычисления для детали большой протяженности $L=500$ мм того же поперечного сечения из того же материала, получим

$$W = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) = \frac{\pi \cdot 75^3}{32} \cdot \left(1 - \frac{57^4}{75^4}\right) = 309,7 \text{ мм}^3;$$

$$P \leq \frac{4 \cdot \sigma_u \cdot W}{L} = \frac{4 \cdot 280 \cdot 310}{500} = 694 \text{ Н.}$$

Осевой момент инерции сечения и площадь поперечного сечения

$$J_0 = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (75^4 - 57^4) = 1,03 \cdot 10^6 \text{ мм}^4;$$

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (75^2 - 57^2) = 7465 \text{ мм}^2.$$

Тогда

$$u_m = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_0} = \frac{694 \cdot 500^3}{48 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 1,03 \cdot 10^6} = 0,008 \text{ мм.}$$

При частоте вращения валка $n_v=50$ об/мин за 1 секунду заготовка сделает число циклов нагружения, равное

$$n_c = n_v \cdot \frac{D_v}{D} \cdot \frac{1}{60} = 50 \cdot \frac{150}{75} \cdot \frac{1}{60} = 1,66 \text{ с}^{-1}.$$

Если релаксация остаточных напряжений приводит к изгибу оси детали, то

$$P_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma_t \cdot W}{L} = \frac{4 \cdot 180 \cdot 310}{500} = 446 \text{ Н,}$$

а

$$u_{\sigma} = \frac{P_{\sigma} \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J_0} = \frac{446 \cdot 500^3}{48 \cdot 21 \cdot 10^4 \cdot 1,03 \cdot 10^6} = 0,006 \text{ мм.}$$

Тогда по формуле (6) определяем потребное время обработки

$$\tau \geq \frac{446 \cdot 0,006}{2 \cdot 0,02 \cdot 694 \cdot 0,008 \cdot 1,7} = 7 \text{ с.}$$

Таким образом, потребуется всего 7 секунд, чтобы обеспечить релаксацию остаточных напряжений, что подтверждает высокую производительность предлагаемого процесса.

Технико-экономическая эффективность предложенного способа обработки заключается:

- 1) в повышении производительности обработки за счет увеличения амплитуды деформации детали и уменьшения вспомогательного времени,
- 2) в уменьшении затрат на реализацию способа, так как его использование не требует применения сложного дорогостоящего оборудования,
- 3) в повышении качества обработки за счет обеспечения равномерности деформаций детали по всему профилю,
- 4) в расширении технологических возможностей способа за счет расширения номенклатуры обрабатываемых деталей и области применения способа.

Источники информации

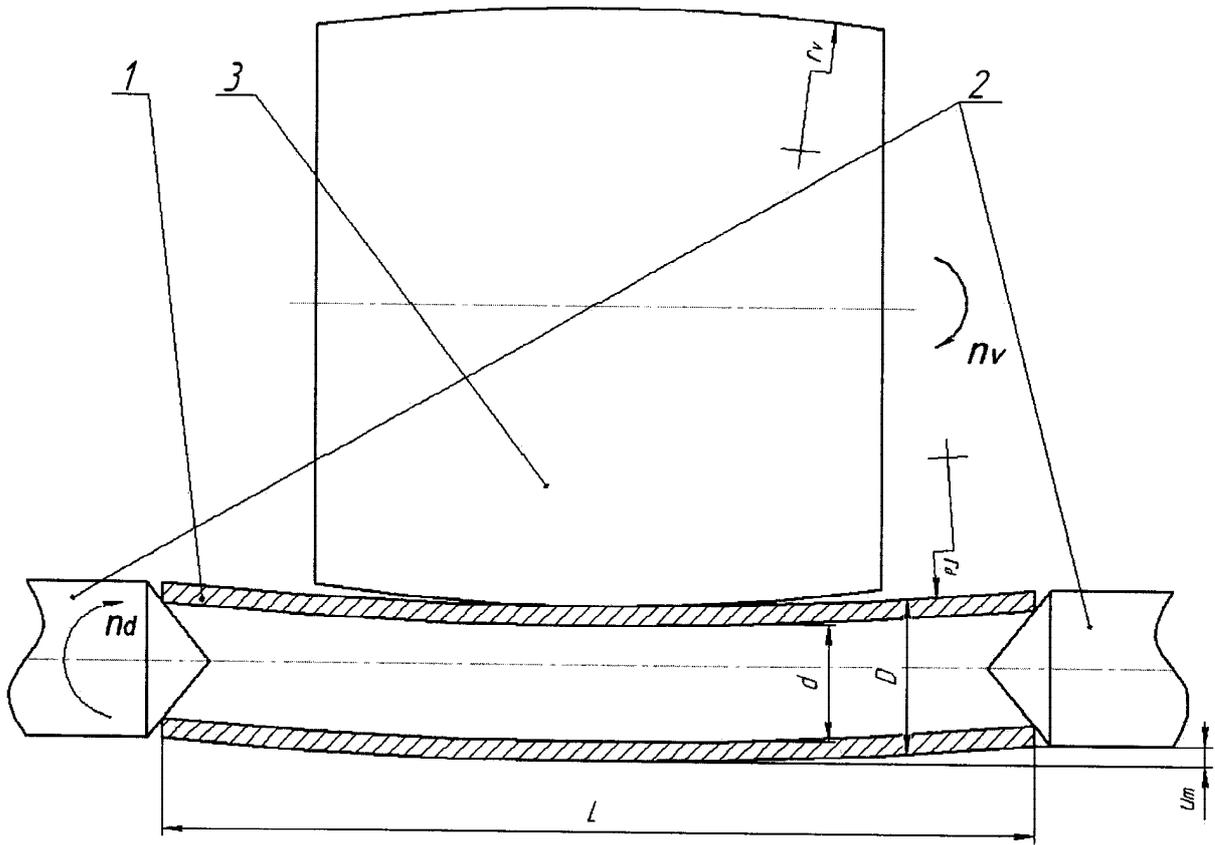
1. FR 1333445 A, 27.11.63.
2. RU 2140842 C1 - прототип.

Формула изобретения

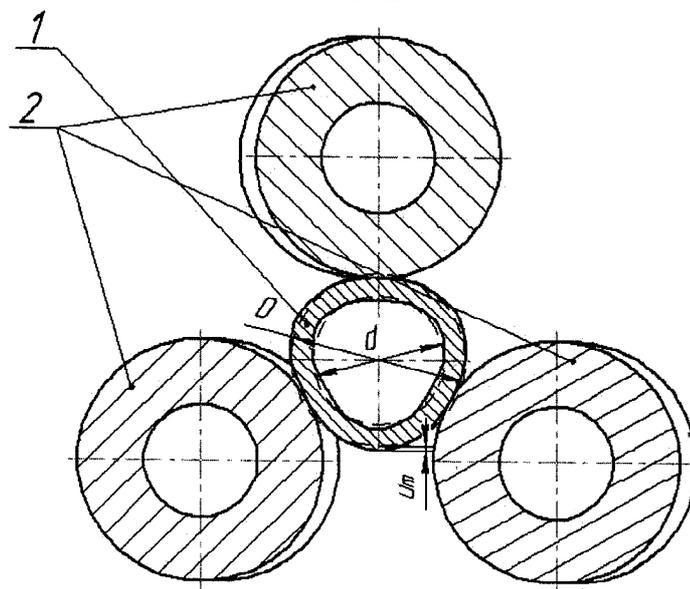
Способ релаксации остаточных напряжений в цилиндрической детали, имеющей внутренний диаметр, включающий введение в контакт с деталью трех вращающихся валков, с помощью которых обеспечивают упругую деформацию детали, которую непрерывно вращают вокруг своей оси, отличающийся тем, что упругую деформацию детали валками осуществляют силой, определяемой из условия:

$$P \leq \frac{\sigma_u \cdot W}{K_{\sigma} \cdot d},$$

где σ_u - предел упругости материала детали, МПа, $K_{\sigma}=0,094$, d - внутренний диаметр детали, мм, W - момент сопротивления изгибу, мм³.



+
Фиг. 1



Фиг.3