

Міністерство освіти і науки України

Донбаська державна машинобудівна академія



**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ
І ОБЛАДНАННЯ ОБРОБКИ ТИСКОМ
В МЕТАЛУРГІЇ І МАШИНОБУДУВАННІ**

Тематичний збірник наукових праць

КРАМАТОРСЬК – СЛОВ'ЯНСЬК 2003

<i>Устинов В.Е., Бочанов П.А., Ерёмкин Е.А.</i> Анализ технологических нагрузок при протяжке и шлихтовке и их математическая аппроксимация	258
<i>Алиева Л.И., Борисов Р.С.</i> Формообразование утолщений на полых и сплошных заготовках	262
<i>Маковецкий В.В.</i> Использование усовершенствованной технологии штамповки ряда изделий пространственной конфигурации	268
<i>Алиев И.С., Носаков А.А.</i> Точная штамповка полых деталей со сложным наружным профилем	272
<i>Сивак Р.И., Сивак Е.И.</i> Поперечное выдавливание с последующей осадкой пористой заготовки	276
<i>Пыц Я.Е., Оборнева Н.С., Оборнев С.Н.</i> Производство осесимметричных изделий из листа и труб способом обкатки	281
<i>Кравецкий В.О., Матвійчук В.А., Михалевич В.М.</i> Вплив технологічних параметрів на кінематику холодного торцевого розкочування	286
<i>Гринкевич В.А., Шломчак Г.Г., Данченко В.Н., Фирсова Т.И.</i> Об экспериментально-расчетном методе решения краевых задач обработки металла давлением	292
<i>Яковлев С.С., Проскурякова Н.Н., Нечепуренко Ю.Г.</i> Экспериментальные исследования силовых режимов первой операции изотермической вытяжки	298
<i>Майоров Г.И., Коробко Т.Б.</i> Экспериментальные исследования возможности интенсификации процесса вытяжки	301
<i>Чередниченко В.И., Маковецкий А.В., Маковецкий В.В.</i> Безоправочное деформирование осеботонкостенных обечаек	305
<i>Жердев Н.С.</i> Расчет запасаемой энергии при штамповке листовых полуторов на многоконтурных ЭГ-прессах	310
<i>Карнаух С.Г., Роганов Л.Л.</i> Современные подходы к реализации способа холодной ломки изгибом проката на мерные заготовки	313
<i>Гогаев К.А., Ульшин В.И., Сидорчук О.Н.</i> Влияние температурно-силовых режимов обработки на структуру и свойства заготовок, изготовленных из порошков быстрорежущих сталей	323
<i>Карнаух С.Г., Винников М.А.</i> Применение критериев разрушения материалов при выборе способа разделения сортового проката	329
<i>Белкин М.Я., Фельдман В.Е.</i> Сталь для поковок ответственного назначения	338
<i>Чигарев В.В., Жартовский А.В., Кассов В.Д.</i> Исследование влияния давления и деформации поверхностных слоев на активацию диффузного взаимодействия	341

РОЗДІЛ III – Обладнання та оснастка для обробки тиском

<i>Боташев А.Ю., Обрываева Т.Е., Мазниченко С.А., Колов О.М.</i> Моделирование рабочих процессов вертикальных импульсных машин с внутренним запирающим	346
<i>Винников М.А., Тарасов А.Ф.</i> Имитационное моделирование работы оборудования с учетом стохастичности технологического процесса	352

УДК 621.777

Краєвський В.О., Матвійчук В.А., Михалевич В.М. (Вінниця, ВДТУ)
**ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА КІНЕМАТИКУ
 ХОЛОДНОГО ТОРЦЕВОГО РОЗКОЧУВАННЯ**

Створена математична модель формоутворення під час холодного торцевого розкочування конічним валком. Модель визначає вплив на напрямок та інтенсивність течії металу технологічних параметрів процесу, що дозволяє цілеспрямовано змінювати параметри процесу і, отже, розширює можливості холодного торцевого розкочування.

In this work the mathematical model of the billets forming during cold face rolling by conical roller is created. The created model allows to change purposefully parameters of process, to operate a direction and intensity of metal flow, that expands opportunities of the cold face rolling.

В машино- і приладобудуванні значну частку загальної номенклатури деталей становлять круглі деталі з віссю симетрії. Методи формоутворення таких деталей обумовлюються їх формою, маркою матеріалу, розміром, обсягом виробництва тощо. До ефективних економічних способів виробництва металевих деталей відносяться, перш за все, методи пластичного деформування. А наявність у деталі осі симетрії робить її здебільшого придатною для формування обробкою тиском з застосуванням ротаційних процесів. Одним з таких процесів і є холодне торцеве розкочування (ХТР).

ХТР відноситься до нестационарних ротаційних процесів із локальним осередком деформації. При торцевому розкочуванні основне силове зусилля деформуючими валками здійснюють в осьовому чи похилому до торця заготовки напрямку. Локалізація пластичної зони дозволяє зменшити при розкочуванні зусилля деформування у 10-15 раз у порівнянні із традиційними способами холодного об'ємного штампування. Великою перевагою торцевого розкочування є низька вартість оснастки, незначний час підготовки виробництва, універсальність, можливість використання обладнання відносно невеликої потужності для виготовлення великогабаритних деталей. ХТР дозволяє максимально наблизити форму та розміри заготовок до кінцево оброблених деталей і тим самим досягнути значної економії металу, знизити трудомісткість виготовлення, отримувати заготовки складної конфігурації. При цьому похибка розмірів розкатаних заготовок відповідає 8...11 квалітету, а шорсткість розкатаних поверхонь знаходиться у межах від 5 до 1,25 мкм за параметром Ra.

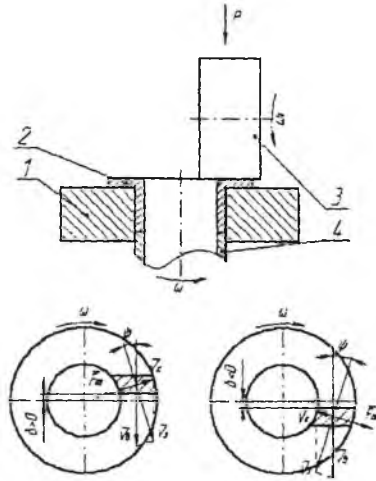
Слід відзначити, що процеси ХТР є досить складними і недостатньо вивченими в силу дії різних факторів впливу. До основних з них слід віднести:

- різноманітність і складність схем деформування, які визначаються геометрією, взаємним розташуванням та рухом елементів оснастки;
- геометрія контакту та ступінь розбіжності векторів швидкості на поверхнях валка і заготовки, які суттєво залежать від форми валка, кута нахилу його осі і розміщення вершини по відношенню до осей заготовки, що в свою чергу чинить визначальний вплив на напрям течії металу і характер формоутворення заготовки;
- деформівність і стійкість елементів заготовки, а також контактні напруги і жорсткість обладнання, що визначає можливість реалізації процесу і отримання заготовок необхідної форми і розмірів.

Основна проблема при розробці і реалізації процесу полягає в управлінні напрямом течії металу, що у результаті визначає можливість отримання заготовки необхідної форми без руйнування і втрати стійкості. В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено, що інтенсивність напрямку течії металу залежить переважно від взаємного розташування валка і заготовки. Цілеспрямоване зміщення валка по відношенню до заготовки дозволило реалізувати нові способи розкочування і формувати високоякісні складнопрофільні заготовки [1,2]. Разом з тим природа процесу, як і його кількісні закономірності, залишилися до кінця не визначеними.

В процесі ХТР течію металу у радіальному напрямку обумовлює дія радіальної складової сили тертя ковзання, що викликана різною направленістю векторів швидкості заготовки та інструменту у зоні контакту. У випадку розкочування циліндричним валком,

залежність напрямку течії матеріалу заготовки від зміщення інструмента по відношенню до осей заготовки δ очевидна із геометричної побудови (рис. 1). При зміщенні валка у додатному напрямку (див. рис. 1), матеріал тече до центру заготовки, при від'ємному зміщенні – від центру. Також очевидна тут залежність інтенсивності течії від величини зміщення δ : чим більше зміщення, тим більший кут між векторами швидкості інструмента та заготовки – відповідно більша інтенсивність.



1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – валок; 4 – виштовхувач.

Рис. 1 - Холодне торцеве розкочування циліндричним валком

Що стосується розкочування заготовок конічним валком, то тут за допомогою простих побудов неможливо визначити ні напрямок, ні величину швидкості ковзання. Тому досі для забезпечення необхідного напрямку течії матеріалу заготовки користувались рекомендаціями, що ґрунтуються на експериментальних даних. У відповідності із експериментами матеріал тече до центру заготовки при від'ємному зміщенні δ (рис. 2), а при додатному зміщенні δ спостерігається інтенсивна течія від центру заготовки. Визначення закономірностей залежності течії матеріалу заготовки від ряду технологічних параметрів процесу розкочування, основними з яких, крім зміщення інструмента по відношенню до осей заготовки δ , є кут конуса інструмента α , подача інструменту h і радіус заготовки R , у літературі нами знайдено не було. А оскільки виявлення впливу параметрів процесу на кінематику розкочування є особливо актуальним для подальшого розвитку теорії і практики обробки металів тиском, то саме дослідженню цієї проблеми і присвячена дана робота.

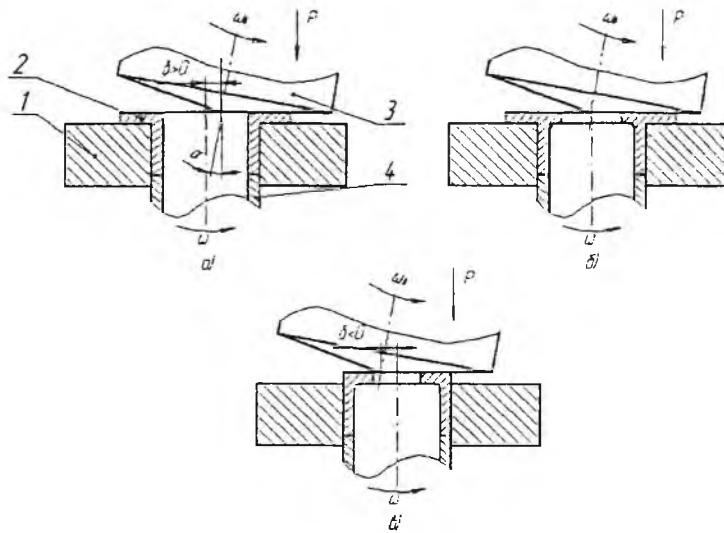
Для визначення напрямку швидкостей заготовки та інструменту застосували апарат аналітичної геометрії. Візьмемо декартову систему координат, площина Oxy якої збігається із площиною здеформованої заготовки, а центр координат O лежить на її осі обертання (рис. 3). У цій системі координат, згідно позначень прийнятих на рис. 2, рівняння поверхні інструменту (конуса) запишемо у вигляді (рис. 4)

$$F(x, y, z) = ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha)^2 + y^2 - \frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha}. \quad (1)$$

Знайдемо лінію початку контакту конічного валка та заготовки. При подачі h лінією початку контакту є парабола, що утворюється при перетині площини $z = h$ із поверхнею конічного валка (1), і описується рівнянням

$$y = \sqrt{\frac{((x - \delta) \cdot \sin \alpha + h \cdot \cos \alpha)^2}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - h \cdot \sin \alpha)^2}. \quad (2)$$

Визначимо взаємне розташування векторів швидкостей заготовки та інструмента т. $M_0(x_0, y_0, z_0)$, що лежить на лінії початку контакту $y_0 = y(\alpha, h, \delta)$ на відстані $x_0 = R$ від осі обертання заготовки ($z_0 = h$).



1 – матриця; 2 – заготовка; 3 – валок; 4 – виштовхувач.

Рис. 2 - Холодне торцеве розкочування конічним валком

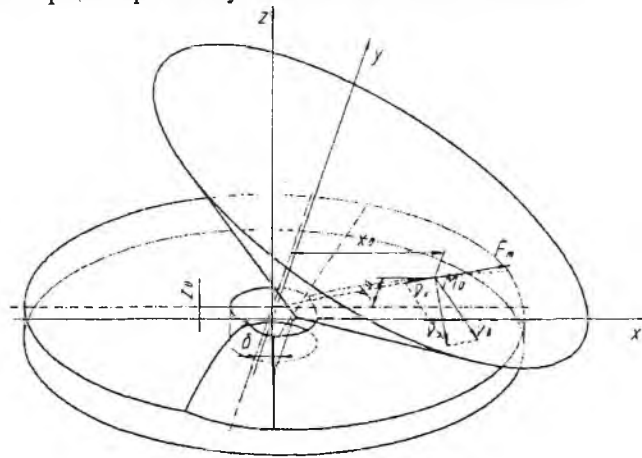


Рис. 3 - Розрахункова схема

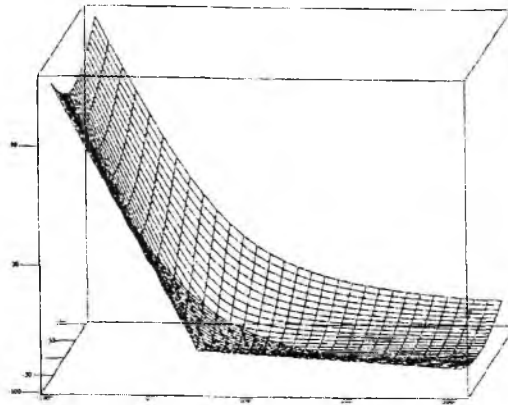


Рис. 4 - Поверхня інструменту (розрахунок за (1))

Визначимо напрям вектора швидкості точки M_0 , що належить заготовці. Заготовка здійснює обертальний рух навколо осі OZ , тому вектор швидкості напрямлений перпендикулярно до радіуса обертання (див. рис. 3). Рівняння проекції прямої, на якій лежить вектор швидкості точки M_0 , на площину $z = z_0$ запишемо у вигляді

$$y = -\frac{x_0}{y_0} \cdot (x - x_0) + y_0. \quad (3)$$

Так як інструмент здійснює обертальний рух навколо своєї осі, вектор швидкості точки M_0 інструмента лежить на прямій перетину площини, що дотична до поверхні конуса у т. M_0 із площиною, що перпендикулярна осі конуса і проходить через т. M_0 . Знайдемо рівняння цих площин.

Рівняння площини, що дотична до поверхні конуса у т. $M_0(x_0, y_0, z_0)$ запишемо у вигляді

$$\frac{\partial F}{\partial x} \cdot (x - x_0) + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot (y - y_0) + \frac{\partial F}{\partial z} \cdot (z - z_0) = 0, \quad (4)$$

де $\frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y}, \frac{\partial F}{\partial z}$ - частинні похідні від (1) по x, y, z відповідно.

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 2 \cdot \cos \alpha \cdot ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha) - \frac{2 \cdot \sin \alpha \cdot ((x - \delta) \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha)}{\operatorname{tg}^2 \alpha};$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 2 \cdot y;$$

$$\frac{\partial F}{\partial z} = -2 \cdot \sin \alpha \cdot ((x - \delta) \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha) - \frac{2 \cdot \cos \alpha \cdot ((x - \delta) \cdot \sin \alpha + z \cdot \cos \alpha)}{\operatorname{tg}^2 \alpha}.$$

Нормальний вектор дотичної площини

$$\bar{n}_1 \left(\frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y}, \frac{\partial F}{\partial z} \right).$$

Нормальний вектор площини у якій лежить переріз, що перпендикулярний до осі обертання конуса, має координати

$$\bar{n}_2 (\sin \alpha; 0; \cos \alpha).$$

Враховуючи, що площина проходить через точку $M_0(x_0, y_0, z_0)$, її рівняння запишемо у вигляді

$$z = z_0 - \operatorname{tg} \alpha \cdot (x - x_0). \quad (5)$$

Тоді рівняння прямої, на якій лежить вектор швидкості точки M_0 інструменту

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x} \cdot (x - x_0) + \frac{\partial F}{\partial y} \cdot (y - y_0) + \frac{\partial F}{\partial z} \cdot (z - z_0) = 0 \\ z = z_0 - \operatorname{tg} \alpha \cdot (x - x_0) \end{cases} \quad (6)$$

Враховуючи, що пряма (6) утворюється перетином площин (4) та (5), тоді напрямний вектор прямої

$$\bar{s}(l; m; n) = \bar{n}_1 \times \bar{n}_2;$$

$$\bar{s} = \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial y} & \frac{\partial F}{\partial z} \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{vmatrix} = \bar{i} \cdot \begin{vmatrix} \frac{\partial F}{\partial y} & \frac{\partial F}{\partial z} \\ 0 & \cos \alpha \end{vmatrix} - \bar{j} \cdot \begin{vmatrix} \frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial z} \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} + \bar{k} \cdot \begin{vmatrix} \frac{\partial F}{\partial x} & \frac{\partial F}{\partial y} \\ \sin \alpha & 0 \end{vmatrix};$$

$$\begin{cases} l = \frac{\partial F}{\partial y} \cdot \cos \alpha \\ m = \frac{\partial F}{\partial z} \cdot \sin \alpha - \frac{\partial F}{\partial x} \cdot \cos \alpha \\ n = -\frac{\partial F}{\partial y} \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (7)$$

Знайдемо проекцію прямої (6) на площину $z = z_0$. Проекцією прямої (6) на площину $z = z_0$ є перетин площини Ω , яка перпендикулярна до площини $z = z_0$ і містить пряму (6), із площиною $z = z_0$.

Нормальний вектор площини $z = z_0$ $\vec{n}_3(0;0;1)$ лежить у площині Ω . Напрямний вектор прямої (6) $\vec{s}(l;m;n)$ також лежить у площині Ω . Площина Ω проходить через точку $M_0(x_0, y_0, z_0)$. Так як вектори \vec{n}_3 , \vec{s} , $\vec{M_0M}$ компланарні, тоді рівняння площини Ω запишемо

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ l & m & n \\ x-x_0 & y-y_0 & z-z_0 \end{vmatrix} = 0; \quad (8)$$

$$l \cdot (y - y_0) - m \cdot (x - x_0) = 0. \quad (9)$$

Отже проекція вектора швидкості точки конуса на площину $z = z_0$ визначається за формулою

$$y = \frac{m}{l} \cdot (x - x_0) + y_0. \quad (10)$$

Кут між векторами швидкості інструменту та заготовки у плямі контакту

$$\psi = \arctg\left(\frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 \cdot k_2}\right), \quad (11)$$

де $k_1 = -\frac{x_0}{y_0}$, $k_2 = \frac{m}{l}$ – кутові коефіцієнти проєкцій прямих, на яких лежать вектори швидкостей інструменту та заготовки, на площину $z = z_0$.

Результати розрахунків за формулами (3) та (10) показано на рис. 5.

Згідно розрахунків при додатному зміщенні валка матеріал тече від центру заготовки, а при від'ємному – до центру. Отримані аналітичні залежності дозволяють цілеспрямовано управляти інтенсивністю течії металу у заданому напрямі при розкочуванні трубчастих заготовок за схемами осадки, висадки, калібрування, відбуртовки тощо.

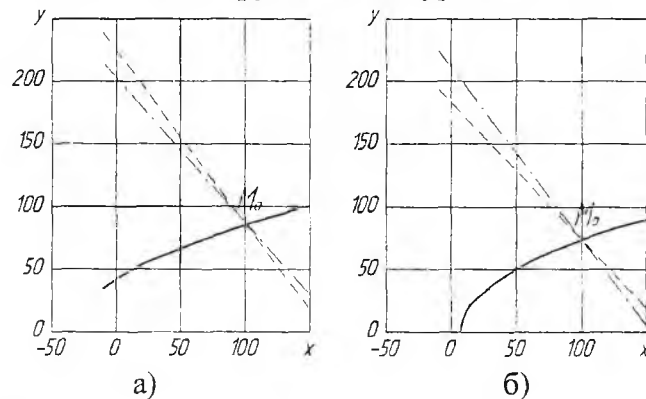


Рис. 5 - Проекції прямих, на яких лежать вектори швидкостей інструменту (штрихова лінія) та заготовки (штрих-пунктирна лінія), на площину $z = z_0$ при додатному (а) та від'ємному (б) зміщенні δ (суцільна лінія – лінія початку контакту)

Залежність кута ψ між проєкціями прямих, на яких лежать вектори швидкостей інструменту та заготовки, на площину $z = z_0$, від напрямку та величини зміщення інструменту відносно осей заготовки δ розрахована за формулою (11) при різних кутах конуса інструменту, зображена на рис. 6. Аналіз отриманих залежностей показує, що вони не є симетричними відносно нульового зміщення: матеріал більш інтенсивно тече від центру заготовки.

Встановлена залежність дозволяє посилювати вплив зміщення валка на напрям течії металу шляхом зміни кута конусності валка для зазначених вище схем розкочування.

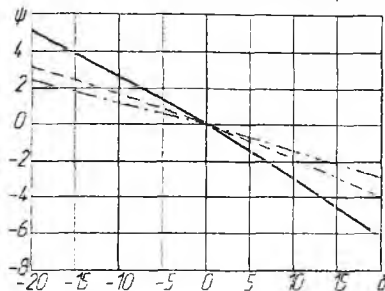


Рис. 6 - Залежність кута ψ від напрямку та величини зміщення δ розрахована за формулою (11) при різних кутах конуса: $\alpha = 2^{\circ}$ (суцільна лінія), $\alpha = 10^{\circ}$ (штрихова лінія), $\alpha = 20^{\circ}$ (штрих-пунктирна лінія)

Найбільше розповсюдження отримали технологічні процеси з кутом $\alpha = 10^{\circ}$. Це обумовлено, головним чином, тим фактом, що при зменшенні кута нахилу збільшується площа плями контакту і, відповідно, сила деформування. При його збільшенні зростають радіальні навантаження на інструментальний блок, що вимагає значного посилення жорсткості обладнання. Таким чином можливості управління процесом деформування шляхом зміни кута нахилу валка досить обмежені. Але все ж таки залежність кута ψ від кута інструменту α є особливо визначальною в процесах осадки та переформування квадратних заготовок в круг в калібрах. В даному випадку управляти течією металу шляхом зміщення валка неможливо, оскільки вершина валка співпадає, як правило з центром заготовки. А отже основним параметром управління залишається кут валка α . Крім того отримані залежності показують інтенсивність течії металу на різних відстанях від центру заготовки (рис. 7), що дозволяє обґрунтовано проектувати технологічні процеси розкочування плоских заготовок переформуванням з утворенням порожнин в центральній частині деталі.

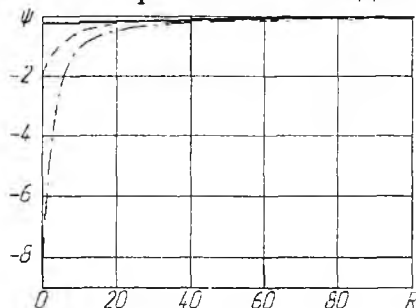


Рис. 7 - Залежність кута ψ від відстані від центру розрахована за формулою (11) при різних кутах конуса: $\alpha = 2^{\circ}$ (суцільна лінія), $\alpha = 10^{\circ}$ (штрихова лінія), $\alpha = 20^{\circ}$ (штрих-пунктирна лінія)

Проведений аналіз впливу параметрів процесу на кінематику холодного торцевого розкочування дозволяє цілеспрямовано управляти напрямом течії металу з метою розширення технологічних можливостей процесу, підвищення деформівності та стійкості заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. 1493359 СССР, МКЧ В 21 D 53/00. Способ получения колец из трубной заготовки.
2. А. С. 1183245 СССР, МКЧ В 21 D 37/12; В 21 H 1/06. Способ изготовления плоских круглых изделий.