

Тришевський О.І.

Воробійов Д.С.

Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
імені Петра Василенка  
м. Харків, Україна  
E-mail: zshev@ukr.net

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ МЕТАЛУ НА ВАЛКИ ПРИ НАКАТЦІ РЕЛЬЄФУ НА ЕЛЕМЕНТАХ ГНУТИХ ПРОФІЛЕЙ

УДК 621.771.2

*Тришевський О.І., Воробійов Д.С. «Визначення тиску металу на валки при накатці рельєфу на елементах гнутих профілей»*

Виконаний комплекс експериментальних та теоретичних досліджень процесу нанесення накатного рельєфу на плоскі дільниці листових гофрованих гнутих профілів на профілезгинальному стані 1-8 × 60-730 мм в одному потоці. Для формування рисунку були виготовлені спеціальні накочувальні шайби зі сталі 45 з наступною термічною обробкою до твердості 400-450 НV. За основні типи рисунків накаток прийняті ялинкова і пірамідальна. Накатка ялинкового типу виконана на робочій поверхні плит шириною 45 мм під кутом 45 ° з розмірами: ширина насічки 0,3 мм, глибина насічок 0,6-0,7 мм, крок між ними 5 мм. Накатка пірамідального типу виконана на робочій поверхні плит шириною 40 мм з кутом нахилу поверхні пірамідок, що вдавлюються, 45 ° і глибиною вдавлювання 0,5-0,8 мм. Встановлено, що на профілезгинальному стані глибина накатки залежить від величини зазору між валками, пружної деформації кліті, товщини і пружності металу, що накочується. Запропонований метод розрахунку тиску металу на валки при накатці на профілезгинальному стані в залежності від необхідної глибини вдавлення при різних типах накатки. Питомий тиск при накатці на профілезгинальному стані необхідно приймати рівним 4,1  $\sigma_{0,2}$  металу, що накочується. Замірний тиск при накатці пірамідального типу склав 88200 Н, а при накатці ялинкового типу 137200 Н.

Розроблена технологія дозволяє виробляти накатку поверхні гнутих профілів на профілезгинальному стані в одному потоці.

При накатці гнутих профілів на профілезгинальному стані глибина накатки залежить від величини зазору між валками, пружної деформації кліті, товщини і пружності металу, що накочується.

Запропонований метод розрахунку дозволить визначити тиск металу на валки при накатці на профілезгинальному стані в залежності від необхідної глибини вдавлення при різних типах накатки.

Питомий тиск при накатці на профілезгинальному стані необхідно приймати рівним 4,1  $\sigma_{0,2}$  металу, що накочується.

**Ключові слова:** накочування, рельєф, гофровані гнуті профілі, плоскі дільниці, накочувальні шайби, ялинковий, пірамідальний рисунок, глибина накатки, питомий тиск накатці.

*Тришевский А.И., Воробьев Д.С. «Определение давления металла на валки при накатке рельефа на элементах гнутых профилей»*

Выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований процесса нанесения накатного рельефа на плоские участки листовых гофрированных гнутых профилей на профилеизгибочном состоянии 1-8 × 60-730 мм в одном потоке. Для формирования рисунка были изготовлены специальные накатывальные шайбы из стали 45 с последующей термической обработкой до твердости 400-450 НV. За основные типы рисунков накаток приняты елочная и пирамидальная. Накатка елочного типа выполнена на рабочей поверхности плит шириной 45 мм под углом 45 ° с размерами: ширина насечки 0,3 мм, глубина насечек 0,6-0,7 мм, шаг между ними 5 мм. Накатка пирамидального типа выполнена на рабочей поверхности плит шириной 40 мм с углом наклона поверхности пирамидок, что вдавливаются, 45 ° и глубиной вдавливания 0,5-0,8 мм. Установлено, что на профилеизгибочном состоянии глубина накатки зависит от величины зазора между валками, упругой деформации клетки, толщины и упругости металла, что накатывается. Предложенный метод расчета давления металла на валки при накатке на профилеизгибочном состоянии в зависимости от требуемой глубины вдавливания при различных типах накатки. Удельное давление при накатке на профилеизгибочном состоянии необходимо принимать равным 4,1  $\sigma_{0,2}$  металла, что накатывается. Измеренное давление при накатке пирамидального типа составило 88200 Н, а при накатке елочного типа 137200 Н.

Разработанная технология позволяет производить накатку поверхности гнутых профилей на профилегибочном состоянии в одном потоке.

При накатке гнутых профилей на профилегибочном состоянии глубина накатки зависит от величины зазора между валками, упругой деформации клетки, толщины и упругости металла, накатывается. Предложенный метод расчета позволяет определить давление металла на валки при накатке на профилегибочном состоянии в зависимости от требуемой глубины вдавливания при различных типах накатки.

Удельное давление при накатке на профилегибочному состоянии необходимо принимать равным 4,1 60,2 металла, накатывается.

**Ключевые слова:** накатки, рельеф, гофрированные гнутые профили, плоские участки, накаточные шайбы, елочный, пирамидальный рисунок, глубина накатки, удельное давление накатке.

**Tryshevskyi O.I. Vorobiev D.S. «Determination of metal pressure on the rolls during the formation of the relief on flat working areas of curved profiles»**

A complex of experimental and theoretical studies of forming relief on flat sections of corrugated bent profiles in a rolling mill 1-8 × 60-730 mm was performed. For the formation of the figure, special washers were made from steel 45 with subsequent heat treatment to a hardness of 400-450 HV. The main types of drawings knurled taken Christmas tree-type and pyramid-type. Christmas- tree-type knurling is made on a flat working proiles surface 45 mm wide at an angle of 45 ° with dimensions: notch width 0.3 mm, notch depth 0.6-0.7 mm, pitch between them 5 mm. The pyramid-type knurling is performed on a flat working proiles surface 40 mm wide with a surface inclination angle of 45 ° indented pyramids and an indentation depth of 0.5-0.8 mm. It has been established that during the forming of relief on flat working proiles surface, the depth of knurling depends on the size of the gap between the rollers, the elastic deformation of the stand, the thickness and plasticity of the rolled metal. A method for calculating the pressure of the metal on the rolls during knurling on a roll forming mill is proposed, depending on the required indenta-tion depth for various types of knurling. The unit pressure when rolling on a roll forming mill should be taken equal to 4.1 40.2 of the rolled metal. Measured pressure at pyramidal knurling was 88200 N, and when knurling Christmas-tree type 137200 N.

The developed technology allows us to make the surface of the bending profiles on the profiled state in one flow.

When rolling down bending profiles on profilesignal state, the depth of rotation depends on the size of the gap between the rolls, the elastic deformation of the cage, the thickness and elasticity of the rolling metal.

The proposed method of calculation will allow to determine the pressure of the metal on the rollers when rolling on the profilegeal state depending on the required depth of inhibition for different types of rolling.

The specific pressure during rolling on the profiled state must be taken to be 4.1 60.2 rolled metal.

**Keywords:** knurling, relief, corrugated bent profiles, flat sections, forming washers, Christmas-tree, pyramidal pattern, knurling depth, specific knurling pressure.

### **Актуальність проблеми.**

Накочування поверхонь деталей насічкою є порівняно давно відомим методом обробки. Перевагами методу є висока продуктивність, гарна якість, низька вартість деталей. Крім того, деталі мають високі зносостійкість, механічну і втомну міцність. Найчастіше метод накатки застосовується для отримання зовнішніх фасонних поверхонь деталей за рахунок вдавлення інструменту в матеріал заготовки і видавлювання частинок його в западини інструменту [1].

Методом накочування можуть бути утворені буртики, канавки, клейма, дрібні шліцьові і зубчасті поверхні, а також різні рифлення. Найбільшого поширення метод отримав в механообробних цехах машинобудівних підприємств, де процес здійснюється спеціальними роликами з насічкою для нанесення рельєфу на циліндричні поверхні виготовлених деталей [2].

На відміну від методів обробки різанням накатка не супроводжується зняттям поверхневого шару з оброблюваної деталі і перетворенням його в стружку [3,4]. При накатці поверхневий шар оброблюваної деталі піддається пружної і пластичної деформації. Пластична деформація викликає течію металу на поверхні і, завдяки цьому, заповнення западин та виступів рельєфу на поверхні.

При накатці здійснюється зміцнення поверхневого шару - наклеп, що дає істотне підвищення зносостійкості деталей. Однак процес накатки слід вести дуже обережно, так як надмірна деформація поверхневого шару може викликати його руйнування.

Останнім часом все частіше виникає необхідність нанесення рифленої поверхні накочуванням на окремі плоскі ділянки гнутих профілів різного призначення в потоці високопродуктивних профілезгинальних станів. Технологія отримання такого виду профілів недостатньо добре вивчена, немає відомостей також про теоретичні

дослідження зусиль при даному процесі нанесення рифлень, які мають велике значення для правильної розробки техпроцесу, вибору або розрахунку необхідного обладнання для його здійснення, отримання якісної продукції. Тому в роботі був виконаний комплекс досліджень, метою якого було відпрацювання технології нанесення рифленої поверхні на окремі плоскі елементи гофрованих листів, а також отримання залежностей для визначення тиску металу на валки в цьому процесі.

### Виклад основного матеріалу

Гнуті профілі з накатаним рельєфом на окремих дільницях застосовуються в різних галузях господарства. Найбільш вигідним є виготовлення таких профілів нанесенням накатки на профілезгинальному стані в процесі профілювання.

Нова комбінована технологія виготовлення гнутих профілів формуванням з наступним нанесенням накатки розроблена стосовно профілезгинальному стану  $1-8 \times 60-730$

Для нанесення накатки були виготовлені спеціальні накочувальні шайби (рис. 1) зі сталі 45 з наступною термічною обробкою до твердості 400-450 HV.

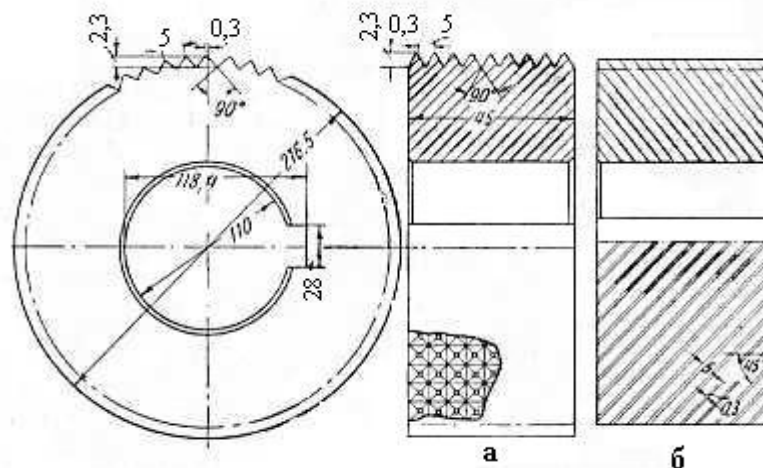


Рис.1. Накочувальні шайби з пірамідальною (а) і ялинковою (б) насічками

В останній робочій кліті (рис. 2) встановлено накочувальні шайби 1 на верхньому робочому валі 2 за допомогою дистанційних втулок 3. На нижньому валі 4 встановлені шайби 5, відповідні конфігурації профілю 6.

Нижні шайби виготовлені з чавуну для зменшення тертя між смугою і нижнім валком і запобігання отримання в цій кліті дефектів на готовому профілі.

При нанесенні на гнутих профілях товщиною 3 мм зі сталі 08кп накатки глибиною до 0,7-0,8 мм верхній валок повинен бути притиснутий до нижнього зі значним зусиллям.

Після закінчення накатки верхній валок завдає незначну накатку на гладкі шайби нижнього, проте це не викликає появи яких-небудь дефектів на нижній поверхні готового профілю. При виготовленні цих шайб зі сталі пошкодження поверхні нижнього валка від верхніх накочувальних шайб викликають подряпини і вм'ятини на готовому профілі.

Однак застосування чавунних шайб на нижньому валці призводить до підвищеного зносу їх. Слід зазначити, що при безперервному процесі профілювання з різкою готового профілю за станом немає необхідності в застосуванні чавунних шайб, так як валки накочувальної кліті не можуть стикатися з-за постійного знаходження стінки профілю між ними.

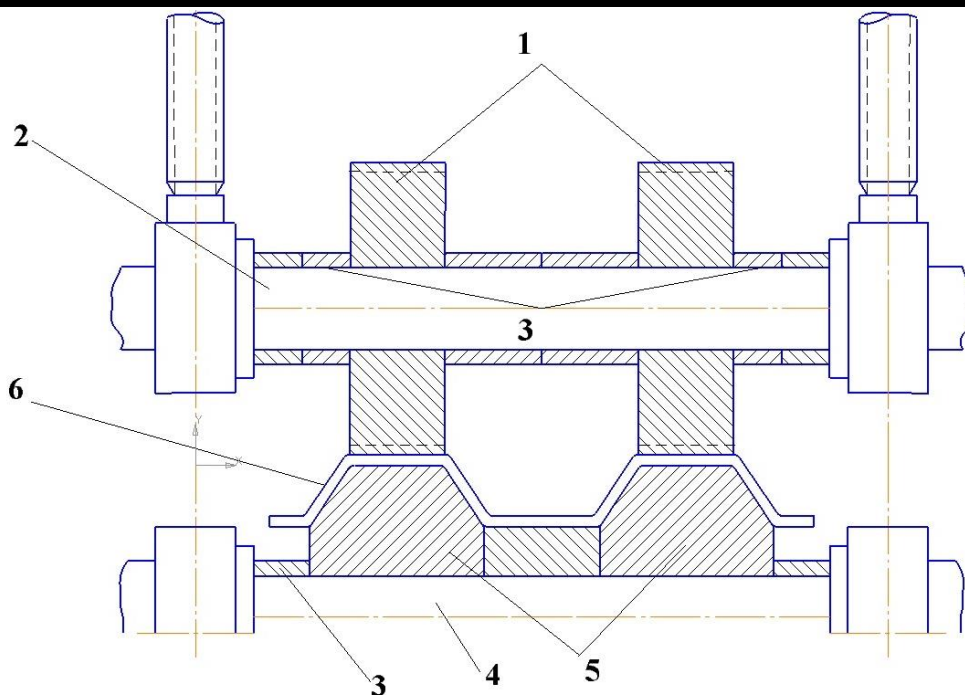


Рис.2. Схема установки накочувальних шайб на валу робочої кліті профілезинального стану

Умови роботи нижніх валків будуть значно полегшені якщо їх встановлювати на більш жорстких клітях. В цьому випадку зазор між валками

$$H = d - (h + k + \Delta d) \quad (1)$$

де  $d$  - товщина профілю, що накочується;

$h$  - глибина накатки;

$k$  - пружна деформація кліті;

$\Delta d$  - пружна деформація по товщині профілю.

Крім того, в жорстких клітях нижні шайби валків можна виготовляти сталевими, а для посадки верхнього валка на нижній передбачати опорні поверхні з обох сторін накочувальних шайб. Для зменшення зносу цих поверхонь шайби піддають термічній обробці.

На підставі досвіду виробництва гнутих профілів встановлено, що при профілюванні між смугою і валками відбувається прослизання. Так як при накатці прослизання стає неможливим, то різниця швидкостей валків і смуги неминуче призведе до погіршення якості профілю, підвищеного зносу накочувальних шайб, а в деяких випадках до поломки деталей. У зв'язку з цим верхній шпindelь накочувального валка відключався, що забезпечувало однакову лінійну швидкість робочих поверхонь верхнього і нижнього валків і смуги.

При відсутності приводу верхнього накочувального валка і підпору з боку валків попередньої кліті після виходу з них заднього кінця смуги можливі випадки пробуксовки нижнього валка по смугі. Для усунення її за кліттю з накочувальними валками встановлюють ще одну кліть, що тягне, з валками, які мають калібр по формі готового профілю.

При накатці готового профілю в потоці в початковий момент захоплення переднього кінця смуги валками накочувальної кліті забезпечується підпором попередньої чистової кліті і зусиллям, що тягне, створюваним нижнім приводним валком. При виході заднього кінця смуги з чистової кліті тягове зусилля створюється валками кліті, встановленої за накочувальною кліттю, і нижнім валком останньої.

Кліть, що тягне, необхідна при поштучному профілюванні смуг. При

безперервному процесі з різкою на мірні довжини готового профілю немає необхідності в установці цієї кліті.

При освоєнні технології накатки робочої поверхні ребристих плит було розроблено п'ять різних типів накочувальних малюнків. За основні типи накаток прийняті ялинкова (рис. 3, а) і пірамідальна (рис. 3,б). Накатка ялинкового типу виконана на робочій поверхні плит шириною 45 мм під кутом  $45^\circ$  з розмірами: ширина насічки 0,3 мм, глибина насічок 0,6-0,7 мм, крок між ними 5 мм. Накатка пірамідального типу виконана на робочій поверхні плит шириною 40 мм з кутом нахилу поверхні пірамідок, що вдавлюються,  $45^\circ$  і глибиною вдавлювання 0,5-0,8 мм. Накатка квадратного типу (рис. 3, в) виконана з розмірами комірок 5x5 мм і глибиною насічок до 0,5-0,7. Накатку наносили в двох клітях двома парами накочувальних валків з кутами нахилу насічок  $45^\circ$  в різні боки.

Комбінована накатка ялинкового і пірамідального типів (рис. 3, г) була виконана за допомогою установки двох пар накочувальних валків з розмірами насічки, зазначеними окремо для кожного типу накатки. Комбінована накатка квадратного і пірамідального типів (рис. 3, д) була виконана за допомогою установки трьох пар накочувальних валків з розмірами насічки в межах, зазначених окремо для кожного типу накатки.

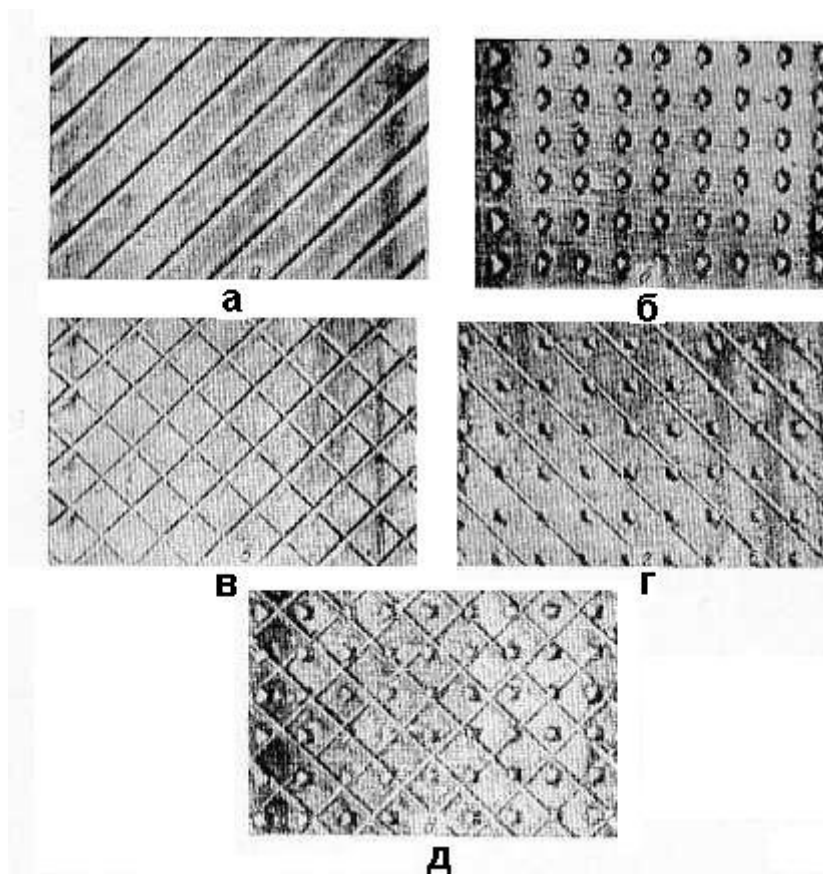


Рис.3. Типи накаток на робочій поверхні плит

Досвід накатки робочої поверхні ребер плит показав, що для нанесення накатки ялинкового або пірамідального типу цілком достатня установка однієї пари накочувальних валків, що забезпечують при достатньому притиску верхнього валка необхідну глибину накатки. Регулювання глибини накатки проводиться підйомом або опусканням натискних гвинтів верхнього робочого валка.

Для правильного вибору потужності приводу, розмірів робочих клітей і їх

деталей, а також розробки раціональної технології накатки гнутих профілів в потоці необхідно визначити тиск металу на накочувальні валки. У загальному вигляді величина цього тиску визначається за формулою

$$P = pF, \quad (2)$$

де  $p$  - питомий тиск при накатці;

$F$ - площа проекції, контактної поверхні що видавлюється, на горизонтальну площину.

При визначенні площі проекції контактних поверхонь накочувальних валків з металом на горизонтальну площину глибина вдавнення  $h$  в осьовому перерізі валків повинна бути заздалегідь задана.

При нанесенні пірамідальної насічки (рис. 4) центральний кут  $\alpha$  між двома сусідніми пірамідами визначається за формулою

$$\alpha = \frac{360}{n}, \quad (3)$$

де  $n$  - число пірамід на поверхні накатного валка в торцевому перерізі.

Площа проекції контактних поверхонь на горизонтальну площину для пірамід, які перебувають в осьовому перерізі валка, визначається (рис. 4) за рівнянням

$$F_1 = (0,3 + 2h)^2 m, \quad (4)$$

де  $m$  - число пірамід, які перебувають в одному ряду.

При визначенні площі проекції контактних поверхонь наступних пірамід, які перебувають в контакт з металом, з огляду на малу величину центрального кута між сусідніми пірамідами допускаємо, що вдавнення їх відбувається перпендикулярно площині металу, що накочується.

При цьому глибина вдавнення кожної наступної піраміди буде зменшуватися на величину (рис. 4)

$$s = R[1 - \cos(n-1)\alpha], \quad (5)$$

де  $R$  - радіус накочувального валка;

$\alpha$  - центральний кут між двома сусідніми пірамідами;

$n$  - порядковий номер ряду пірамід в осьовому перерізі.

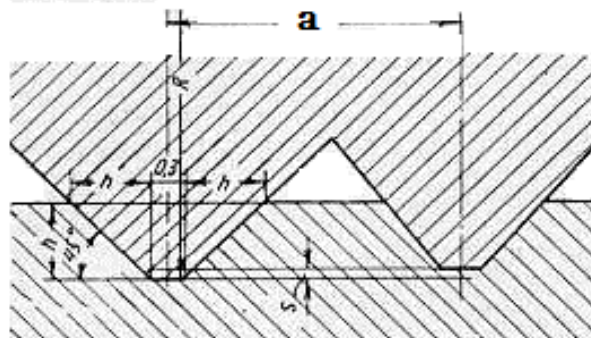


Рис.4. Схема для визначення площі проекції контактних поверхонь на горизонтальну площину при нанесенні пірамідальної накатки

Для другого ряду пірамід площа проекції контактних поверхонь на горизонтальну площину

$$F_2 = R[1 - \cos(n-1)\alpha], \quad (6)$$

Загальна площа проекції контактних поверхонь на горизонтальну площину при пірамідальній накатці

$$F = (0,3 + 2h)^2 mk + \left\{0,3 + 2[h - R(1 - \cos \alpha)]\right\}^2 mk +$$

$$\begin{aligned}
 & + \{0,3 + 2[h - R(1 - \cos \alpha)]\}^2 mk + \dots + \\
 & \langle 0,3 + 2\{h - R[1 - \cos(n-1)\alpha]\} \rangle^2 mk,
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

де  $k$ - число накочувальних шайб на валу кліті, які виробляють накатку одночасно по ширині профілю.

Розрахунок за формулою (7) має сенс лише тоді, коли величина  $h > R [1 - \cos(n-1)\alpha]$ . В іншому випадку даний і наступні ряди пірамід не знаходяться в контакті з металом, що накочується.

При ялинкової накатці відстань між двома ребрами, що вдавлюються у метал, накочувального валка в осьовому перерізі (рис. 5)

$$b = \frac{t}{\cos \beta}
 \tag{8}$$

Число накочувальних ребер, що одночасно знаходяться в контакті з металом, може бути визначено за співвідношенням

$$i = \frac{B}{b},
 \tag{9}$$

де  $B$  - ширина поверхні, що накатується

З виразу (8) отримуємо

$$i = \frac{B \cos \beta}{t}
 \tag{10}$$

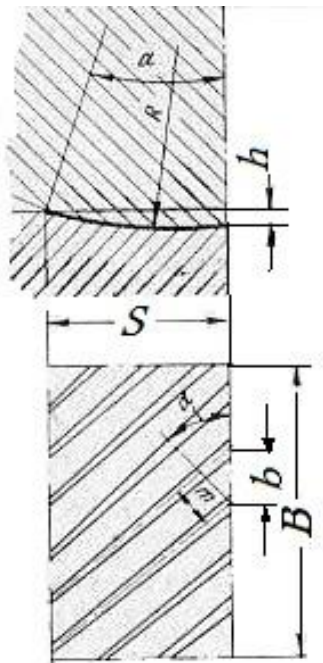


Рис.5. Схема для визначення кута контакту ролика, що накатує з металом

Кут контакту накатує валка з металом (рис. 5)

$$\cos \alpha = \frac{R - h}{R}$$

або

$$\alpha = \arccos \frac{R - h}{R}
 \tag{11}$$

де  $R$  - радіус валка, що накатує  
 $h$  - глибина вдавлювання ребра в метал

Проекція довжини ділянки дотику валка, що накатує, з металом на горизонтальну площину

$$S = R \sin \alpha$$

або

$$s = R \sin \arccos \frac{R-h}{R} \quad (12)$$

Загальна площа проекції контактних поверхонь на горизонтальну площину, при ялинкової накатці може бути визначена, якщо врахувати число ребер накочувального валка, що знаходяться в контакті з металом, що накочується, та число накочувальних шайб, які одночасно виконують накатку по ширині. Тоді

$$F = \frac{RBk}{t} (0,3 + h) \sin \arccos \frac{R-h}{R}. \quad (13)$$

Питомий тиск при накатці приймається в залежності від величини межі текучості

$$p = (3,5 - 4,1) \sigma_{0,2} \quad (14)$$

При накатці ребристих плит виміряли загальне тиск металу на накаточні валки. Тиск при накатці пірамідального типу склав  $88200 \text{ Н}$  ( $9000 \text{ кг}$ ), а при накатці ялинкового типу  $137200 \text{ Н}$  ( $14000 \text{ кг}$ ).

Середня глибина вдавнення при пірамідальної накатці дорівнює  $0,6 \text{ мм}$ . При глибині накатки  $0,6 \text{ мм}$  проекція поверхонь контакту на горизонтальну площину за формулою (7) дорівнює  $74,6 \text{ мм}^2$ . Тоді питомий тиск

$$p = \frac{9000}{74,6} = 121 \text{ кг/мм}^2 \text{ (1,19 кПа)}$$

Ребристі плити профільованого зі сталі 08кп, межа міцності металу ребер, що накочуються, дорівнює  $29,6 \text{ кг / мм}^2$ . При накатці пірамідального типу питомий тиск

$$p = \frac{121}{24,6} = 4,1 \sigma_{0,2}$$

При накатці ялинкового типу середня глибина вдавнення дорівнює  $0,4 \text{ мм}$ . Проекція площі контакту на горизонтальну площину, підрахована за формулою (13), дорівнює  $116,8 \text{ мм}^2$ . Тоді питомий тиск

$$p = \frac{14000}{116,8} = 119,8 \text{ кг/мм}^2 \text{ (1,182 кПа)}$$

або

$$p = \frac{119,8}{29,6} = 4,16 \sigma_{0,2}$$

Таким чином, отримані експериментальні дані підтверджують можливість використання наведеного вище методу розрахунку тиску металу на валки при накатці.

## Висновки

1. Розроблена технологія дозволяє виробляти накатку поверхні гнутих профілів на профілезгинальному стані в одному потоці.

2. При накатці гнутих профілів на профілезгинальному стані глибина накатки залежить від величини зазору між валками, пружної деформації кліті, товщини і



пружності металу, що накочується.

3. Запропонований метод розрахунку дозволить визначити тиск металу на валки при накатці на профілезгинальному стані в залежності від необхідної глибини вдавнення при різних типах накатки.

4. Питомий тиск при накатці на профілезгинальному стані необхідно приймати рівним  $4,1 \sigma_{0,2}$  металу, що накочується.

#### **Список використаних джерел**

1. Фещенко В.И., Махмутов Р.Х. Токарная обработка // М. Высшая школа –1986 г. 288 стр.

2. Королев А.В., Воробьев Р.В. Прогрессивная технология получения кольцевых заготовок из трубного проката. // Вестник инженерной Академии – Украины. КВ № 2635. №3. – 2001г. Ч1 С. 211-214.

3. Bathe, K. J. Finite Element Procedures // Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ,– 1995.

4. Усов В.П. Кинематика пластического течения металла при деформировании резьбового профиля. // Кузнечно-штамповочное производство. –1977. -№9. -С.16.

#### **References**

1. Feshchenko V.I. Makhmutov R.Kh. Tokarnaya obrabotka // M. Vysshaya shkola – 1986 g. 288 str.

2. Korolev A.V.. Vorobyev R.V. Progressivnaya tekhnologiya polucheniya koltsevykh zagotovok iz trubnogo prokata. // Vestnik inzhenernoy Akademii – Ukrainy. KV № 2635 .№3. – 2001g .Ch1 S.211-214.

3. Bathe. K. J. Finite Element Procedures // Prentice-Hall. Englewood Cliffs. NJ.– 1995.

4. Usov V.P. Kinematika plasticheskogo techeniya metalla pri deformirovanii rezbovogo profilya. // Kuznechno-shtampovochnoye proizvodstvo. –1977. -№9. -S.16.