

УДК 621.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОГО УГЛА НА ПОВЕРХНОСТИ НАКАТНОГО РОЛИКА И УСЛОВИЙ ДВИЖЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ НАКАТЫВАНИИ ШЛИЦЕВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА ВАЛАХ В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ
THE DETERMINATION OF THE NEUTRAL ANGLE ON THE SURFACE OF THE DEFORMATION AND CONDITIONS OF METAL SHIFT WHILE COLD ROLLING SHAFTS

Г. Д. Федотов, В. А. Адакин
G. D. Fedotov, V. A. Adakin

ФГОУ ВПО «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия»
Federal state educational institution of higher professional
education «Ulyanovsk state agricultural academy»

The process of metal shift on cone and cylindrical parts of the deformation roller has been analyzed. The calculations of the neutral angle on the surface of the deformation roller circumferential speeds of the roller and axis speeds of metal shift.

Шлиценакатные ролики применяют для накатывания шлицевых профилей на валах в холодном состоянии, выпускаемых современной машиностроительной промышленностью. При применении процесса накатывания значительно уменьшаются отходы металла в стружку, снижаются затраты труда, сокращается расход электроэнергии, высвобождаются металлорежущие станки и производственные площади, повышается производительность. По механическим свойствам валы с накатанными шлицами вплотную приближаются к валам подвергаемых термической обработке. В процессе накатывания получается ориентированная структура металла с вытянутыми зёрнами по профилю шлицев, в результате чего повышается прочность и износостойкость накатанных валов.

Несмотря на преимущества, широкое внедрение в производство данной технологии во многих случаях сдерживается сравнительно низкой точностью профилей и низкой стойкостью инструмента.

В процессе формоизменения изделий накатной ролик испытывает значительные силовые нагрузки. Уровень силового воздействия на инструмент обычно характеризуется величинами нормальных и касательных напряжений.

При продольном накатывании шлицев на валах течение металла в заготовке происходит в двух направлениях: радиальном и осевом. Количественное распределение перемещающегося металла в этих направлениях зависит от многих факторов и, в частности, от величины относительной деформации металла за один проход деформирующих инструментов (роликов), схемы деформирования, отношения диаметра заготовки к диаметру накатного ролика, коэффициента замкнутости контура и т. д. [2].

Процесс продольного накатывания шлицев характеризуется большой неравномерностью деформации, обусловленной внешними зонами сложной конфи-

гурации и силами контактного трения, а также сложностью очага деформации. На неравномерное распределение деформации по объёму деформируемого тела влияет, прежде всего, величина и закономерности изменения течения металла по накатанной поверхности, кинематику которого, в свою очередь, изменяет контактное трение.

При установившемся процессе накатывания нормальные и касательные напряжения действуют на металл по всей дуге захвата. Металл деформируется в направлении наименьшего сопротивления, контактные силы трения в начале и в конце дуги захвата имеют противоположное направление.

Вертикальное сечение, в котором векторы скоростей течения металла изменяют направление, называют нейтральным. Соответствующий угол также называют нейтральным и обозначают γ_n . Нейтральное сечение делит зону деформации на зону отставания и зону опережения.

Опережением называют превышение скорости выхода прокатываемого металла из роликов по сравнению с их окружной скоростью, а отставанием – уменьшение скорости входа металла под ролики. Опережение и отставание имеют большое значение при расчёте не только режимов обжатий и скоростей, но также при определении усилий и моментов накатки, влияющих на геометрическую точность накатываемых профилей.

В продольном сечении заготовки характер течения металла в очаге деформации можно рассмотреть в четырёх зонах (рисунок 1).

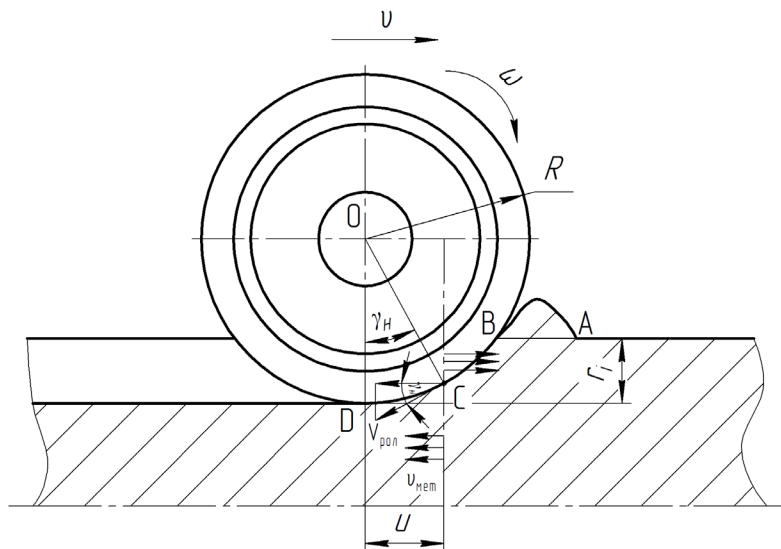


Рис. 1. Схема определения точки равенства скоростей

Деформация определённого объёма металла заготовки начинается на некотором расстоянии от места входов роликов в металл (в очаг деформации зона

АВ). При дальнейшем внедрении роликов в заготовку частицы металла, находящиеся вблизи роликов, начинают выпучиваться и перемещаться в направлении движения роликов. Такое течение металла происходит в зоне АВ.

В точке В ролик вступает в контакт с заготовкой, и с этого момента свободному перемещению металла начинает препятствовать торможение, так как направление течения металла и вращение ролика не совпадают и металл проскальзывает по поверхности ролика. С ростом площади контакта ролика с заготовкой увеличивается сопротивление проскальзыванию, поэтому скорость проскальзывания от точки В к точке С постепенно снижается. В точке С скорость перемещения металла равняется окружной скорости роликов, поэтому условную плоскость, проходящую через точку С, называют нейтральной плоскостью трения. Зона ВС называется зоной скольжения, или отставания. За зоной отставания начинается зона опережения CD. В этой точке постепенно увеличивается скорость движения металла, так как течение металла и вращение роликов происходят в одном направлении.

Для определения нейтрального угла γ_n и анализа условий движения металла составляем уравнение равновесия сил, действующих на дугу захвата, на ось x (Рис. 2):

$$\sum x = -F_{рол} \cdot \sin \alpha_x \cdot R d\alpha_x + \tau_x \cdot \cos \alpha_x \cdot R d\alpha_x - \tau_x \cdot \cos \alpha_x \cdot R d\alpha_x + \frac{(T_1 - T_0)}{2 \cdot d_{вн}} = 0 \quad (7)$$

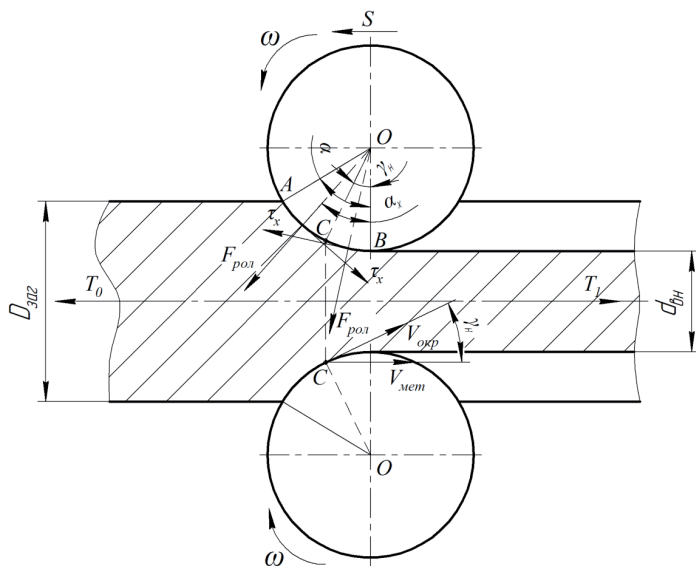


Рис. 2. Расчётная схема угла нейтрального сечения

Продифференцируем по углу захвата α и приняв $T_1 = T_0 = 0$ получим:

$$-\int_0^{\alpha} F_{роп} \cdot \sin \alpha_x \cdot R d\alpha_x + \int_{\gamma_n}^{\alpha} \tau_x \cdot \cos \alpha_x \cdot R d\alpha_x - \int_0^{\gamma_n} \tau_x \cdot \cos \alpha_x \cdot R d\alpha_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{F_{роп}}{\tau_x} \cdot (\cos \alpha - 1) = 2 \sin \gamma_n - \sin \alpha \quad (3)$$

Решив интеграл получим:

Приняв, $\tau_x = \mu \cdot F_{роп}$ и преобразовав выражение (3) получаем:

$$\sin \gamma_n = 0,5 \cdot \sin \alpha - \frac{1 - \cos \alpha}{2\mu} \quad (4)$$

Выражение (4) формула Экелунда [3].

При $\gamma_n = 0$ угол захвата достигает теоретического максимума:

$$0,5 \sin \alpha_{\max} = \frac{1 - \cos \alpha_{\max}}{2\mu} \quad \text{или} \quad \frac{1}{\mu} \cdot 2 \sin^2 \frac{\alpha_{\max}}{2} = 2 \sin \frac{\alpha_{\max}}{2} \cdot \cos \frac{\alpha_{\max}}{2}$$

$$\frac{1}{\mu} \sin \frac{\alpha_{\max}}{2} = \cos \frac{\alpha_{\max}}{2}; \quad \mu = \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} \Rightarrow \mu = \operatorname{tg} \frac{\alpha_{\max}}{2} \quad (5)$$

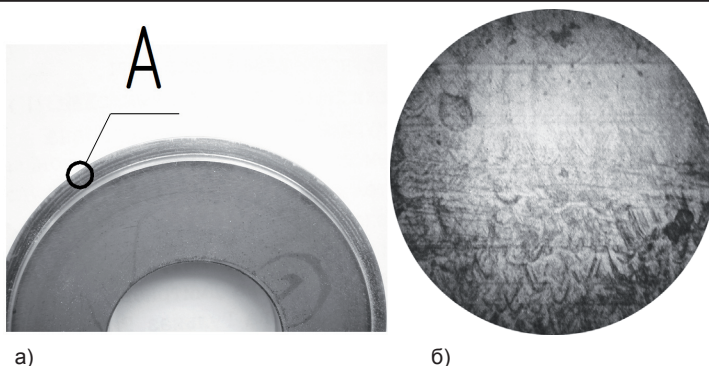
На основании изложенного при $F_{роп} = \text{const}$, $\tau_x = \mu \cdot F_{роп} = \text{const}$ и $T_0 = T_1 = 0$
 $\alpha_{\max} = 2\varphi$ (6)

где φ – угол трения.

Учитывая, что угол захвата $\alpha \leq 13^\circ$, а $\cos \alpha$ этого угла практически равен единицы, то вторая часть уравнения Экелунда равна нулю и формула приобретает вид:

$$\sin \gamma_n = 0,5 \cdot \sin \alpha \Rightarrow \gamma_n = \frac{\alpha}{2} \quad (7)$$

Нейтральное сечение оказывает влияние на стойкость инструмента. Из-за разности направлений движения металла до нейтрального сечения и до перепада напряжений, на конической части ролика образуется чешуйчатость параболической формы (Рис. 3).



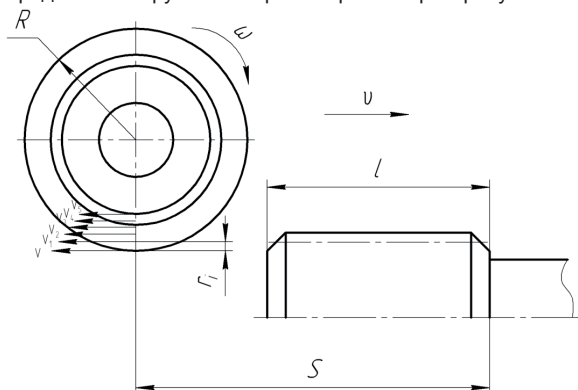
а)

б)

Рис. 3. Чешуйчатость на конической части ролика*а – Ролик накатной; б – Чешуйчатость*

При циклическом нагружении конической поверхности ролика на месте чешуек образуются радиальные микротрещины, перерастающие в окружные. В связи с этим возникает необходимость расчёта окружной скорости роликов и скорости осевого перемещения металла.

Для определения окружных скоростей рассмотрим рисунок 4.

**Рис. 4. Расчётная схема определения окружных скоростей**

Рассчитаем длину окружности деформирующего инструмента (ролика) и его число оборотов:

$$l_{\text{рол}} = 2 \cdot \pi \cdot R \quad (8)$$

$$n_i = \frac{l_i}{t_{\text{деф}} \cdot l_{\text{рол}}} \quad (9)$$

где $t_{\text{деф}}$ – время деформирования заготовки, с

l_i – длина деформируемой части заготовки на каждом проходе, м

R – радиус деформирующего инструмента (ролика)

Окружная скорость деформирующего инструмента:

$$V_i = 2 \cdot \pi \cdot n_i \cdot R_i \quad (10)$$

где R_i – расстояние от центра ролика до поверхности детали, м

r_i – поперечная глубина внедрения ролика, м

$$R_i = R - r_i \quad (11)$$

После преобразований окончательно получаем выражение для определения окружной скорости деформирующего инструмента (ролика):

$$V_i = 2 \cdot \pi \cdot v_{cp} \cdot (R - r_i) \quad (12)$$

где v_{cp} – средняя скорость движения фильеры, м/с

Определим количество накатанных деталей N при которых ролик займёт первоначальное положение, совершив один оборот.

В процессе накатывания заготовка увеличивает длину на 12...14 мм, следовательно, увеличение длины после одного прохода в среднем составляет:

$$\Delta l_{прох.} = \frac{(12 \dots 14)}{5} = 2,4 \dots 2,8 \quad n = \frac{l_i}{l_{рол}} \quad (13)$$

где n – количество оборотов совершаемое роликом при i проходе.

При накатывании одной детали ролик повернётся на n' :

$$n' = n_s - n \quad (14)$$

Для определения количества накатанных деталей N до возвращения ролика в исходное положение необходимо:

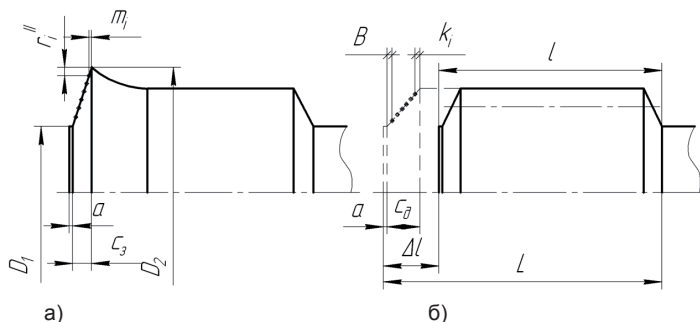
$$N = \frac{1}{n'} \quad (15)$$

Подставляя выражения в формулу (10) получим:

$$N = \frac{l_{рол}}{l_s - l_1} = \frac{0,251}{0,0767 - 0,0655} = \frac{0,251}{0,011} = 25 \text{ деталей.}$$

При средней накатке в 6000 деталей, количество циклов совпадений будет равно 240. Т.е. ролик выдерживает в среднем 240 повторений нагрузки в одном и том же месте.

Расчёт осевых скоростей движения металла в заготовке рассчитаем по изменению угла наклона фаски в процессе накатывания шлиц. Т.к. в процессе накатывания шлиц послойное движение металла неодинаковое, то на детали появляются волны деформирования на разном расстоянии друг от друга, следовательно, угол фаски имеет разное значение.

**Рис. 5. Схема расположения волн деформирования**

а) до накатки; б) после накатки

Рассчитаем фактическое значение отставания верхней части металла заготовки от сердцевины P за шесть проходов:

$$P = c_3 - c_3, \quad (16)$$

где c_3 – длина конической части детали, м

c_3 – длина конической части заготовки, м

Определим истинное значение смещения металла за один проход:

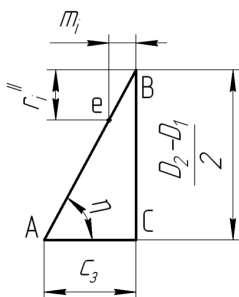
$$M_i = k_i - m_i, \quad (17)$$

где k_i – попроходное расстояние расположения волн деформаций на детали после накатки, м

m_i – попроходное расстояние расположения точек волн деформаций на заготовке до накатки, м

Определим попроходное расстояние расположения точек волн деформаций на заготовке до накатки m_i , рассмотрев рисунок 5 а.

Рассмотрим данный конус как треугольник ABC рисунок 6.

**Рис. 6. Расчётная схема расположения точек волн на заготовке**

Из прямоугольного треугольника ABC вычислим попроходное расстояние расположения точек волн деформаций на заготовке m_i :

$$m_i = \frac{2 \cdot r_i^{II} \cdot c_3}{D_2 - D_1}, \quad (18)$$

где D_1 – диаметр фаски, м

D_2 – наибольший диаметр заготовки, м

Определим перемещение верхних слоёв металла в заготовке при накатывании шлиц:

$$\Delta l_i = \Delta l - M_i, \quad (19)$$

где Δl – смещение сердцевины в процессе накатывания шлиц, м

В окончании получаем:

$$\Delta l_i = \Delta l - \left(k_i - \frac{2 \cdot r_i^{II} \cdot c_3}{D_2 - D_1} \right) \quad (20)$$

Рассчитываем скорость течения верхних слоёв металла в заготовке при накатывании шлиц:

$$v_{мет} = \frac{\Delta l_i}{t_{деф}} = \frac{v_{сп} \left[\Delta l - \left(k_i - \frac{2 \cdot r_i^{II} \cdot c_3}{D_2 - D_1} \right) \right]}{t_{деф}} \quad (21)$$

Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты расчётов окружных скоростей на деформирующем инструменте (ролике), скоростей движения металла и угла нейтрального сечения попоходено

Параметры	№ прохода фильеры					Примечание
	1	2	3	4	5; 6	
r_f , мм	1,075	2,085	2,960	3,610	4,000	
l_f , мм	0,0655	0,0683	0,0711	0,0739	0,0767	при 14 мм
	0,0655	0,0679	0,0703	0,0727	0,0751	при 12 мм
$l/l_{роп}$	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	при 14 мм
	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	при 12 мм
$t_{деф}$, с	1,69	1,76	1,84	1,91	1,98	при 14 мм
	1,69	1,75	1,82	1,88	1,94	при 12 мм
n , с ⁻¹	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	при 14 мм
	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154	при 12 мм
V_f , м/с	0,03766	0,03668	0,03584	0,03521	0,03483	$V = 0,03870$
r_i^{II} , мм	1,075	1,010	0,875	0,650	0,390	
k_f , мм	0,665	0,575	0,530	0,520	0,510	
m_f , мм	0,0769	0,0722	0,0626	0,0465	0,0279	
Δl_f , мм	1,8119	1,8972	1,9326	1,9265	1,9179	

$u_{мет}, м/с$	0,0010721	0,0010779	0,0010503	0,0010086	0,0009686	
$r_{цип}, мм$	1,075	1,010	0,875	0,650	0,390	
$\alpha, град$	13,3134	12,9029	12,0062	10,3432	8,0074	
$\mu,$	0,1167	0,1131	0,1052	0,0905	0,06999	
$\gamma_n, град$	6,6567	6,4515	6,0031	5,1716	4,0037	

Литература:

1. Поперечно-клиновая прокатка в машиностроении. А. И. Целиков, И. И. Казанская, А. С. Сафонов и др.; Под ред. А. И. Целикова. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.
2. Проскуряков Ю. Г., Осколков А. И., Торхов А. С. и др. Обработка деталей без снятия стружки. Барнаул, Алт. кн. Изд., 1972. – 176 с.
3. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. М.: Металлургия, 1980. – 320 с.

УДК 621.43

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ ТОПЛИВА A DEVICE FOR CLEANING FUEL

А.В. Баканова, В.И. Курдюмов
A.V. Bakanova, V.I. Kurdyumov

Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия
Ulyanovsk state agricultural academy

The urgency of process of clearing of fuel is proved. Drawbacks commercially available devices for cleaning fuel. A new device for cleaning the fuel and the scheme of his work.

В развитии современного общества важную роль играют топливно-энергетические ресурсы. Двигатели внутреннего сгорания являются основными энергетическими средствами. Общая мощность двигателей внутреннего сгорания в нашей стране превышает в несколько раз мощность всех электростанций. Отсюда вытекает важнейшая задача - повышение надежности двигателей внутреннего сгорания. [1].

Надежность двигателей внутреннего сгорания в первую очередь определяется безотказностью топливной аппаратуры, около 50 % отказов которой происходит вследствие загрязненности топлива. Загрязнение топлива существенно повышает износ не только деталей топливной аппаратуры, но и деталей двигателей. Поэтому в двигателестроении и в отраслях, эксплуатирующих двигатели, совершенствованию систем очистки топлива уделяют большое внимание. [1].