

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ ОБЖАТИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОДУКТОВ

М. В. Оборов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель М. Н. Верещагин

Вопросы, связанные с выбором величины обжатий и распределением их по проходам, имеют первостепенное значение для производительности стана и качества проката. Величина обжатий определяется условиями захвата, пластичностью металла, прочностью валков и деталей стана, мощностью привода.

Режим обжатий должен удовлетворять следующим требованиям:

- получение проката заданной формы, размеров и качества;
- отсутствие перегрузок электродвигателей главного привода и превышение допустимых усилий прокатки;
- обеспечение нормальных условий захвата раската валками;
- минимальная продолжительность цикла прокатки.

Рациональные режимы обжатий и схема прокатки достигаются в результате сопоставительного анализа нескольких вариантов с учетом технических возможностей стана и экономических показателей.

Основными факторами, ограничивающими величину обжатий, являются пластичность металла, условия захвата металла валками, мощность привода и прочность оборудования (как правило, прочность валков).

Рассмотрим условия захвата металла валками.

За счет поступательного движения полосы и неизбежной шероховатости контактных поверхностей полосы и валков при определенных условиях полоса захватывается валками и втягивается в межвалковое пространство.

Центральным углом между линией, соединяющей центры валков, и радиусом, проходящим через точку соприкосновения контактирующей поверхности полосы с валками, носит название угла захвата. При этом со стороны валков действуют нормальные  $N$  и касательные  $T = N \cdot f$  силы, приложенные к полосе через ее контактирующие грани (рис. 1).

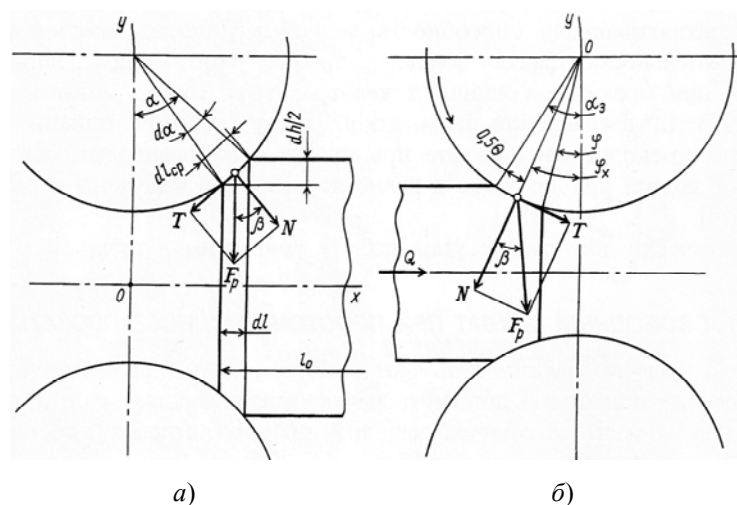


Рис. 1. Схема сил при свободном (а) и принудительном (б) захвате полосы валками

Захват полосы валками может произойти при условиях, когда втягивающие усилия преобладают над выталкивающими. Поскольку угол между нормальной силой  $N$  и равнодействующей  $F_p$  равен углу трения  $\beta$ , то из рис. 1, *a* непосредственно следует [1]:

$$\beta \geq \alpha. \quad (1)$$

Работа сил трения в момент захвата должна преобладать над работой пластической деформации объема металла, ограниченного дугой контакта:

$$dA_f \geq dA_d. \quad (2)$$

Работа сил трения в момент захвата полосы равна:

$$dA_f = 2 \cdot p \cdot f_3 \cdot b \cdot dl_{cp} \cdot dl_{cp}. \quad (3)$$

Работа пластической деформации на основании известной формулы С. Финка равна:

$$dA_d = p \cdot V \cdot \frac{dh}{h} = p \cdot b \cdot h \cdot dl \cdot \frac{dh}{h}. \quad (4)$$

После подстановки полученных значений в (2), на основании рис. 1, *a*, получим:

$$2 \cdot f_3 \geq \sin 2\alpha. \quad (5)$$

В таком приближении, принимая  $f = \check{\beta}$ ,  $\sin 2\alpha = 2 \cdot \check{\alpha}$ , получим  $\beta \geq \alpha$ .

Таким образом, для устойчивого захвата металла валками угол захвата не должен превышать угла трения.

На практике захват металла валками всегда происходит при наложении на полосу дополнительных внешних сил. Такими силами являются усилия прижатия полосы к валкам от предыдущей клетки или рольганга, от задающего устройства, а также сила инерции движущейся полосы. Рассматриваемый процесс захвата полосы валками называют принудительным, при этом схема сил, действующих при захвате, будет включать в себя, помимо втягивающих и выталкивающих сил, так же инерционную силу ( $Q_{ин}$ ) или заталкивающую силу ( $Q$ ).

Под действием заталкивающей силы происходит смятие и истирание передних кромок полосы. На образовавшейся контактной поверхности возникают силы трения  $T$ , стремящиеся втянуть металл в межвалковое пространство, и силы нормального давления  $N$  (рис. 1, *б*).

Образование площадок смятия облегчает условия захвата, так как положение точки приложения равнодействующих сил нормального давления и трения смещает к линии центров валков.

Для осуществления захвата необходимо, чтобы сумма горизонтальных проекций сил, способствующих захвату, была равной или превышала сумму проекций сил, препятствующих захвату, т. е. граничным условием является:

$$0,5Q + T_x = N_x. \quad (6)$$

Так как

$$T = f_3 \cdot N, \text{ а } T_x = f_3 \cdot N \cdot \cos \varphi \text{ и } N_x = N \cdot \sin \varphi, \quad (7)$$

то получаем

$$0,5Q + f_3 \cdot N \cdot \cos \varphi = N \cdot \sin \varphi, \quad (8)$$

где  $f_3$  – коэффициент трения металла и валков при захвате;  $\varphi$  – переменный угол, характеризующий положения сил  $N$  и  $T$ .

Разделив выражение на  $N \cdot \cos \varphi$  и заменив  $\varphi = \alpha - 0,5 \cdot \theta$  и  $f_3 = \operatorname{tg} \beta_3$ , будем иметь:

$$\operatorname{tg}(\alpha - 0,5 \cdot \theta) = \operatorname{tg} \beta_3 + \frac{Q}{2N \cdot \cos(\alpha - 0,5 \cdot \theta)}, \quad (9)$$

где  $\alpha$  – угол захвата;  $\theta$  – угол смятия передних кромок полосы;  $\beta_3$  – угол трения при захвате.

Полученное уравнение является общим для любых случаев захвата [2].

Величина заталкивающего усилия определяется по формуле

$$Q = \frac{p \cdot b_{\text{cp}} \cdot R \cdot (\tilde{\alpha} - \beta_3)^2}{\cos \beta_3}, \quad (10)$$

где  $p$  – удельное давление на площадке контакта;  $R$  – радиус валка;  $b_{\text{cp}}$  – средняя ширина раската.

Если сила прижатия равна нулю, то из уравнения (10) следует, что:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta_3, \quad (11)$$

или

$$\alpha = \beta_3. \quad (12)$$

При заданном усилии подпора достигаемый угол захвата:

$$\tilde{\alpha}_3 \leq \tilde{\beta}_3 + \sqrt{\frac{Q}{p \cdot b \cdot R} \cdot \cos \beta_3}. \quad (13)$$

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод, что принудительный захват металла валками является важным критерием при определении обжатий и зависит не только от коэффициента трения и усилия подпора, но также от основного параметра стана – рабочего радиуса валков, ширины раската и сопротивления металла деформированию.

#### Литература

1. Зайков, М. А. Процесс прокатки / М. А. Зайков, В. П. Полухин. – М. : МИСИС, 2004. – С. 106.
2. Чекмарев, А. П. Принудительный захват металла валками при прокатке / А. П. Чекмарев, П. В. Фирсов // Обработка металлов давлением : сб. науч. работ. – Вып. 4. / ДметИ. – М. : Металлургиздат, 1956. – С. 32–39.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ  
МЕДЬ-УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ**

**Я. М. Орловская**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель В. А. Ковтун

Углеродные нанотрубки и в целом наноструктуры призваны сыграть значимую роль в экономике наступившего века. Интерес к наноструктурным материалам вызван перспективным прикладным значением для многих отраслей народного хозяйства: промышленности, сельского хозяйства, энергетики, специальной техники и др. [1], [2].

Актуальной задачей является улучшение триботехнических характеристик и физико-механических свойств антифрикционных композиционных материалов, используемых в узлах трения. С этой целью в данные материалы вводятся многочисленные добавки в различной концентрации, снижающие коэффициент трения и интенсивность изнашивания.

Обладая механическими свойствами, сопоставимыми со свойствами литых материалов, порошковые материалы имеют более лучшую прирабатываемость, более низкий коэффициент трения и большую износостойкость. Детали из этих материалов обладают свойствами самосмазывания и саморегулирования подачи смазки в зону трения [3].

Одним из перспективных наполнителей, повышающим триботехнические характеристики порошковых материалов, являются наноструктуры углерода. Путем введения наноструктур углерода различной формы, в частности углеродных нанотрубок (УНТ) и луковичных наноструктур углерода (ЛНУ), представляется возможным значительно повысить износостойкость композиционных материалов [4]–[7].

В качестве материала матрицы износостойких композитов триботехнического назначения, получаемых методом электроконтактного спекания, использовали порошок меди электролитический ПМС-1 ГОСТ 4960–75. В качестве комбинированного углеродного наноструктурного наполнителя (КУНН) использовали смесь, состоящую из 20 % УНТ и 80 % ЛНУ, полученную при пиролизе ароматических углеводородов.

Материалы получали методом электроконтактного спекания с использованием модернизированной машины контактной сварки МШ 3207.

В качестве объекта исследования выступали композиционные износостойкие материалы на основе медной матрицы с содержанием углеродного наноструктурного наполнителя от 0,01 до 0,1 мас. %.

Приготовление порошковых композиций при создании материала осуществляли путем механоактивации составляющих компонентов в опытном устройстве для смешивания и активации порошковых материалов в течении 60 мин.

Механические испытания композиционных материалов на основе систем «медь–УНТ» и «медь–ЛНУ» показали, что композиты с трубчатыми наноструктурами углерода по сравнению с композитами, содержащими луковичные наноструктуры углерода, имеют более высокие значения разрушающего напряжения при сжатии (рис. 1). Как видно, прочность композита медь–УНТ незначительно возрастает при увеличении содержания наполнителя до 0,07 мас. %. В то же время необходимо отметить интенсивное снижение прочности композита медь–ЛНУ при дальнейшем увеличении содержания наполнителя в составе материала.