

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ ПУТЕМ УЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ

В.В. Кашаев (ДонНТУ, г. Донецк)

*Представлены теоретические положения оценки эффективности формоизменения с помощью коэффициента полезного действия (КПД) работы пластической деформации, а также методика использования для анализа действующих калибровок и проектирования новых.*

Расход энергии при горячей прокатке связан с нагревом заготовок и работой затрачиваемой на деформацию металла в прокатных валках. Попытки осуществить экономию энергии на этапе нагрева за счет понижения температуры нагрева заготовок не дали положительных результатов при сортовой прокатке [1].

Поэтому остается возможность сокращения потребления электрической энергии на этапе деформации металла в валках.

Ввиду низкой цены на электроэнергию на протяжении последних десятилетий, понятие коэффициента полезного действия (КПД) деформации все реже стало упоминаться на страницах научной литературы. Незавершенность этого вопроса не позволяет в настоящее время иметь, помимо самых общих определений КПД прокатки, четких критериев эффективности, как формоизменения, так и работы деформации. Это, в свою очередь, не позволяет технологам при выборе или разработке той или иной системы калибров быстро и надежно оценить их КПД и отдать предпочтение энергосберегающим вариантам, при отсутствии других соображений.

В рамках данной работы мы будем вести речь о работе деформации и ее КПД, а также показателях характеризующих ее эффективность. Предельной экономичности процесса прокатки, согласно определению проф. З. Вусатовского [2], принято считать, когда коэффициент уширения  $\beta$  равняется коэффициенту вытяжки  $\lambda$ . Учитывая, что прокатка катанки и сорта граничит с пределом экономичности, а также то, что более 50 % работы прокатки составляет работа формоизменения, то и интерес к ее КПД очевиден. При решении задачи предпочтение будем отдавать аналитическим методам, опирающимся на закон постоянства объема.

В этом плане наибольший интерес представляет известная формула

С.Финка, позволяющая определить работу деформации или формоизменения в двух направлениях [3]. Работа, затраченная на вытяжку и уширение равна:

$$A = p_{cp} \cdot V \cdot \ln \frac{l_1}{l_0} + p_{cp} \cdot V \cdot \ln \frac{b_1}{b_0} = p_{cp} \cdot V \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (1)$$

где  $p_{cp}$  – контактное давление;

$$\frac{h_0}{h_1} = \frac{1}{\eta} - \text{коэффициент обжатия};$$

$$\frac{b_1}{b_0} = \beta - \text{коэффициент уширения};$$

$$\frac{l_1}{l_0} = \lambda - \text{коэффициент удлинения};$$

$V$  – объем металла.

КПД деформации  $\eta_\phi$  будет равняться отношению полезной работы деформации, затраченной на вытяжку, к полной работе затраченной на вытяжку и уширение:

$$\eta_\phi = \frac{p_{cp} \cdot V \cdot \ln \frac{l_1}{l_0}}{p_{cp} \cdot V \cdot \ln \frac{l_1}{l_0} + p_{cp} \cdot V \cdot \ln \frac{b_1}{b_0}} = \frac{\ln \frac{l_1}{l_0}}{\ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{b_1}{b_0}} = \frac{\ln \frac{l_1}{l_0}}{\ln \frac{h_0}{h_1}} = \frac{\ln \lambda}{\ln \frac{1}{\eta}}. \quad (2)$$

Полученное выражение будет справедливо для процесса продольной прокатки простых профилей и особенно эффективно при определении коэффициентов  $1/\eta$  и  $\lambda$  для вытяжных калибров с помощью номограмм Смирнова В.К., Шилова В.А. (рис.1) [4].

Анализируя полученную формулу (2) КПД формоизменения при прокатке в простых калибрах, в граничных случаях будем наблюдать следующее:

если  $b_1 \rightarrow b_0$  (уширение отсутствует), тогда  $\ln \frac{b_1}{b_0} \rightarrow 0$ , а  $\eta_\phi \rightarrow 1$ ;

если  $l_1 \rightarrow l_0$  (вытяжка отсутствует), тогда  $\ln \frac{l_1}{l_0} \rightarrow 0$ , а  $\eta_\phi \rightarrow 0$ .

Использование разработанных критериев эффективности формоизменения металла в калибрах позволили наилучшим образом дополнить системный подход, сделанный авторами учебного пособия [4] для калибровки прокатных валков.

Формулы для определения основных параметров прокатки в учебном пособии получены с применением вариационного принципа минимума полной мощности и в то же время обобщают опыт реальных калибровок

отечественных прокатных станов.

Авторами пособия построены номограммы [4] по соответствующим формулам. Поскольку ординатой номограммы является вытяжка  $\lambda$ , а по оси абсцисс отложена величина коэффициента обжатия  $1/\eta_1$ , легко провести линию из начала координат на поле номограммы, которая определит параметры калибровки, приближающиеся к КПД  $\eta_\phi = \frac{\ln \lambda}{\ln \frac{1}{\eta_1}} = 1$  или 100%.

Вторая линия, определяющая теоретический предел экономичности процесса прокатки, будет соответствовать  $\eta_\phi = 0,5$  или 50%. Это означает, что ниже этой линии будут параметры прокатки, определяемые номограммой, при которых уширение становится больше удлинения.

Анализ номограмма [4] свидетельствует, что прокатка по схеме плоский овал-круг отличается высокой эффективностью и очень тесно граничит с  $\eta_\phi = 1,0$  при  $A_1 = 4$  и  $a = 1,2 \div 2,0$  (рис. 1). Даже при значении  $A_1 = 5 \div 20$   $a = 2,1 \div 2,6$  и КПД не опускается ниже  $\eta_\phi = 0,6$ . Высокая вытяжная способность в данном случае не ведет к существенному снижению КПД формоизменения (деформации).

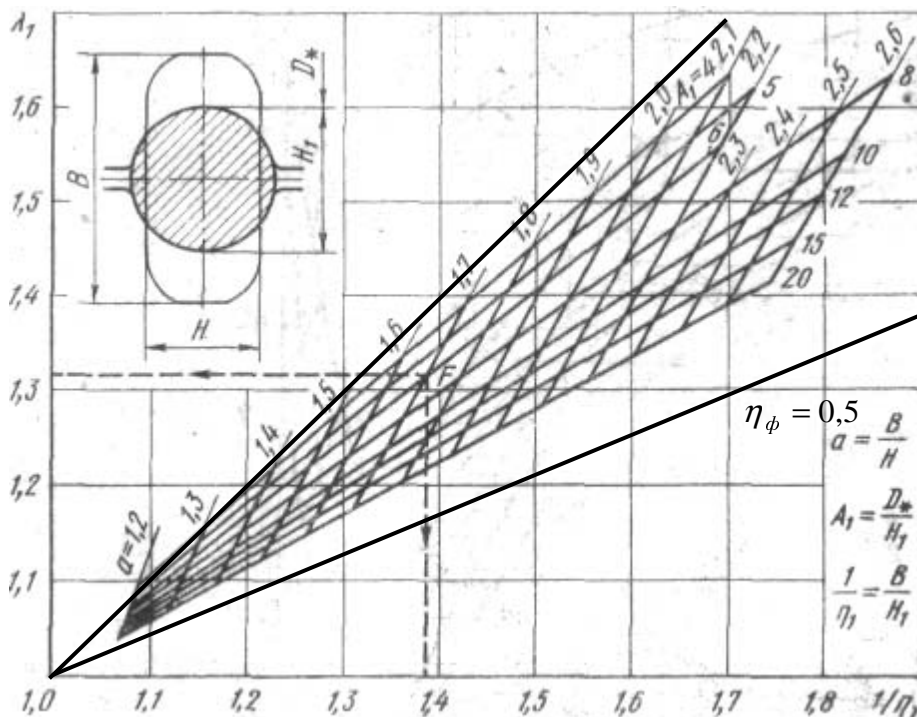


Рисунок 1 - Номограмма для определения коэффициента обжатия  $1/\eta_1$  и коэффициента вытяжки  $\lambda_1$  при прокатке по схеме плоский овал-круг [4] с расчетными границами эффективности прокатки по формуле (2)

Номограмма [4] для схемы овал-круг относительно проведенного луча  $\eta_\phi = 0,5$  менее выгодно располагает свои параметры калибров в срав-

нении с плоский овал-круг (рис. 2). Так в диапазоне параметра  $A_1 = 15 \div 40$  при всех значениях  $a = 1,2 \div 2,2$  эффективность деформации меньше  $\eta_\phi = 0,5$ .

Граница эффективной деформации при  $\eta_\phi > 0,5$  находится только в диапазоне  $A_1 = 5 \div 7$  при всех значениях  $a = 1,2 \div 2,2$ .

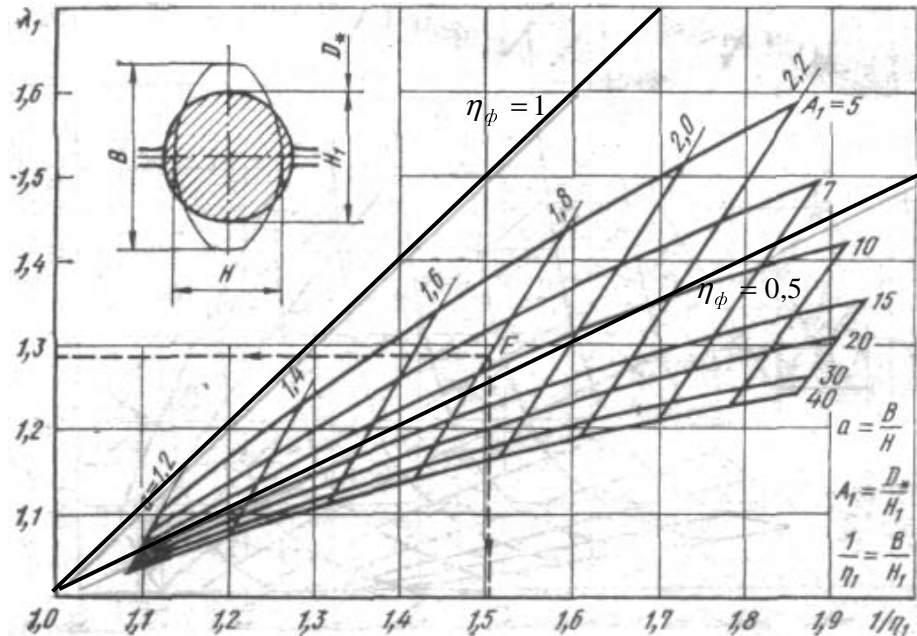


Рисунок 2 - Номограмма для определения коэффициента обжатия  $1/\eta_1$  и коэффициента вытяжки  $\lambda_1$  при прокатке по схеме овал-круг [4] с расчетными границами эффективности прокатки по формуле (2)

Таким образом, использование КПД формоизменения как критерия энергетической эффективности деформации в номограммах расчета калибровок [4] позволяет вести выбор параметров формоизменения в нанесенном на номограмму секторе эффективной деформации, т.е. от  $\eta_\phi = 0,5$  до  $\eta_\phi = 1,0$ .

Сопоставление рис. 1 и рис. 2, благодаря нанесенным лучам границ эффективной деформации, позволяет сразу же отдать предпочтение плоскому овалу по критерию КПД формоизменения. Учитывая и другие преимущества плоского овала перед однорадиусным, на стане 150 ЗАО «ММЗ» была освоена калибровка с КПД  $\eta_\phi = 0,65$  вместо  $\eta_\phi = 0,55$ . Это позволило снизить показатель удельной работы деформации с  $a_w = 143$  кВт·ч/т до  $a_w = 131$  кВт·ч/т. Нетрудно подсчитать, что экономический эффект только от снижения энергозатрат составит несколько миллионов гривен в год. Учитывая, что износ дорогостоящего твердосплавного инструмента пропорционален величине  $a_w$ , то энергоэффективность обеспечивает и ресурсосбережение.

Из характера номограмм можно сделать вывод, что увеличение вытяжки не ведет само по себе к увеличению энергетической эффективности

калибров.

Анализ влияния приведенного диаметра  $A_1=D^*/H_1$  на величину КПД формоизменения (рис. 1, 2) показал, что он определяет перспективы развития проволочных станов и стремление снизить диаметры валков, в том числе, и за счет перехода на однониточную прокатку.

В рамках представленной работы сделана попытка использования преимуществ двух процессов – прокатки и волочения, которые удалось совместить в одном калибре. Это позволило поднять КПД формоизменения до  $\eta_\phi=0,8$ , снизив не только бесполезное уширение в вытяжной системе калибров, но и влияние контактных сил трения на работу деформации в не-приводных элементах калибра.

Очевидно, что полученный критерий может служить удобным инструментом энерго-экономического анализа эффективности процессов деформации металлов. Он позволил получить тождественное выражение формулы С.Финка, удобное для подсчета расхода суммарной энергии на деформацию

$$A_{д\sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{(p_{cp})_i \cdot V \cdot \ln \lambda_i}{(\eta_\phi)_i} = \frac{(p_{cp})_{cp} V \cdot \ln \lambda_{сум}}{(\eta_\phi)_{cp}}. \quad (3)$$

Полученные результаты представляют новые решения научно-технической задачи, которая состоит в разработке критериев и методов оценки эффективности формоизменения при проектировании простых калибров и поиске рациональных форм. Практическим использованием полученных результатов являются реально освоенные энергоэффективные системы калибров с плоским овалом на стане 150 ЗАО «ММЗ». Результаты планируется использовать на мелкосортных и проволочных станах завода ОАО КГМК «Криворожсталь».

### Литература

1. Пути снижения энергозатрат при непрерывной сортовой прокатке / С.М. Жучков, Л.В. Кулаков, А.В. Сокуренок, В.А. Шеремет, А.В. Кекух // Сталь. – 2004. - №6. – С. 64-66.
2. Вусатовский З. Основы прокатки. – М.: Metallurgia, 1967. – 581 с.
3. Павлов И.М. Определение работы по теоретическим формулам // Metallurg. – 1932. -№ 8. – С. 12-16.
4. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инарович Ю.В. Калибровка прокатных валков. – М: Metallurgia, 1987. – 368 с.

© Кашаев В.В. 2007