

Р. В. ЛЕЛЬ, Д. И. СУЯРОВ, Л. Г. ЧУБРИКОВ

### О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПЛЕЧА РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ УСИЛИЯ ПРОКАТКИ

Момент прокатки можно рассчитывать через среднее касательное напряжение

$$M = 2br^2\bar{\tau}(\alpha - 2\gamma) \quad (1)$$

или через удельное давление прокатки

$$M = 2\psi br^2 p \alpha^2, \quad (2)$$

где  $b$  — ширина листа, мм;

$r$  — радиус валка, мм;

$\alpha$  — угол захвата, рад;

$\gamma$  — критический угол, рад;

$\psi$  — коэффициент плеча равнодействующей, определяющий точку приложения усилия прокатки на дуге захвата.

Надежных данных о величине  $\tau$  и  $\gamma$  при разных условиях прокатки пока нет, поэтому момент прокатки обычно рассчиты-

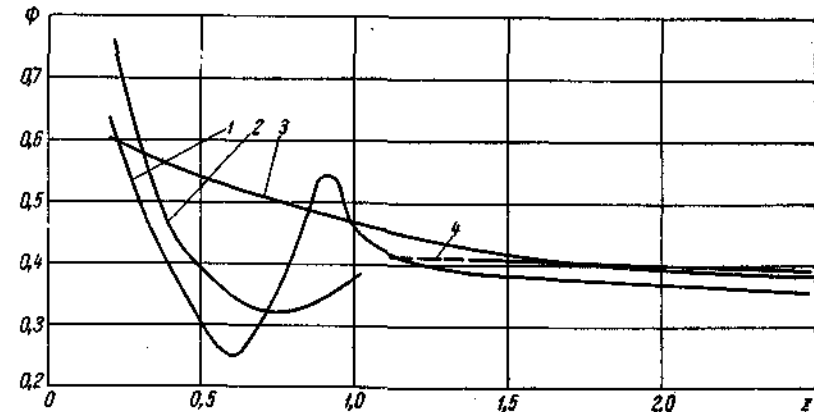


Рис. 1. Зависимость коэффициента плеча равнодействующей от фактора формы очага деформации по данным различных авторов:  
1 — И. В. Дадочкина, М. А. Зайкова; 2 — И. Я. Тарновского и др.; 3 — Е. С. Рокотьяна; 4 — Г. Валквиста

вают по формуле (2), полагая  $\psi=0,5$ . Однако результаты исследований ряда авторов [1—5] показали, что коэффициент плеча не

является постоянной величиной и зависит от фактора формы зоны деформации

$$Z = \sqrt{\frac{r \Delta h_i}{h_{i-1} h_i}}$$

Характер зависимости

$$\psi = \psi(Z) \quad (3)$$

в указанных выше исследованиях показан на рис. 1, из которого следует, что в области  $Z > 1$  все авторы дают примерно одинаковый характер зависимости (3), в области же  $Z < 1$  данные весьма противоречивы. В связи с этим авторы статьи выполнили исследование зависимости (3) на лабораторном стане института, который оснащен соответствующей измерительной

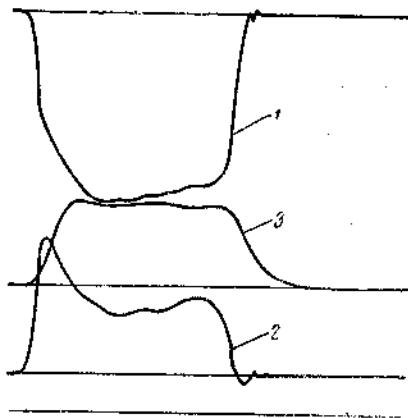


Рис. 2. Распределение моментов между верхним и нижним валками при малом значении фактора формы зоны деформации:

1 — момент на шпинделе верхнего валка; 2 — момент на шпинделе нижнего валка (измерено при помощи моментометров); 3 — сумма моментов (по якорному току при постоянном возбуждении)

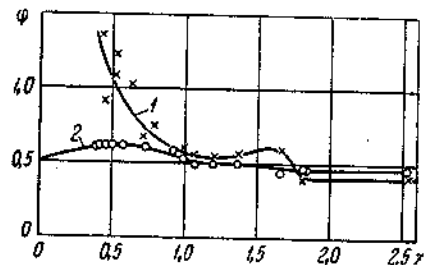


Рис. 3. Зависимость коэффициента плеча равнодействующей от фактора формы очага деформации:

1 — вычислено по методике И. В. Дадочкина; 2 — вычислено по методике авторов

аппаратурой [6]. Были прокатаны модели слябов (сечением  $25 \times 100$  мм) из алюминия по режиму, соответствующему заводской практике прокатки толстых листов ( $0,1 < Z < 2,5$ ). С целью выяснения влияния на зависимость (3) диаметра валков, опыты проведены на валках разного диаметра (257 мм, 100 мм, 55 мм).

Особенностью процесса прокатки при малых значениях фактора формы зоны деформации ( $Z < 1$ ) является неравномерное распределение моментов между валками. Момент прокатки всегда больше на том валке, в сторону которого изгибается выходящий из валков раскат. Если на первом валке момент увеличивается, то на втором уменьшается таким образом, что сумма моментов на обоих остается приблизительно постоянной (рис. 2). Из этого следует, что, удваивая момент прокатки, из-

меренный на шпинделе одного валка, истинную величину суммарного момента в области малых значений найти нельзя. Это правило нарушено в опытах Н. В. Дадочкина [2, 3], который находил суммарный момент прокатки, удваивая результаты измерений на шпинделе только одного верхнего валка. На рис. 3 зависимость (3) изображена двумя кривыми по результатам наших опытов. Кривая 1 получена по моментам прокатки, ко-

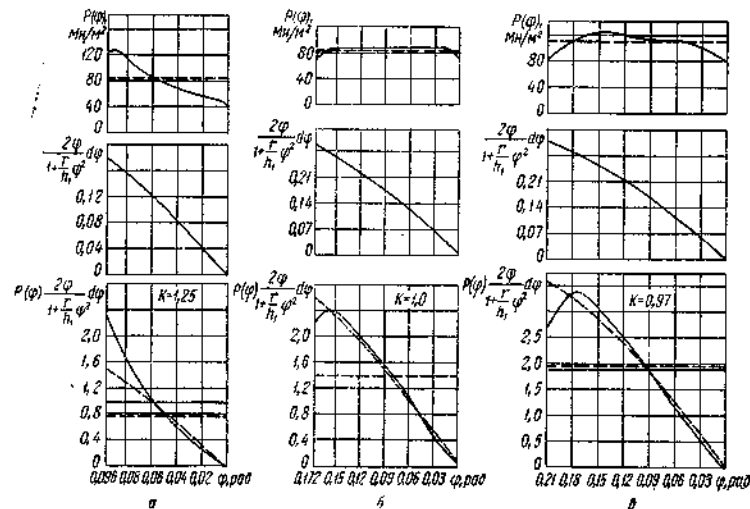


Рис. 4. Графическое интегрирование функции  $p \frac{2\phi}{1 + \frac{r}{h_i} \phi^2}$ :  
а — при  $z = 0,5$ ; б — при  $z = 1,0$ ; в — при  $z = 1,5$

торые найдены путем удвоения результатов измерения на шпинделе верхнего валка, а график 2 — по моментам прокатки в результате сложения результатов измерения моментов на верхнем и нижнем валках. Кривая 1 аналогична по характеру той, которую предлагает Н. В. Дадочкин (см. рис. 1), и дает искаженное представление о коэффициенте плеча, истинная величина которого представлена кривой 2 (см. рис. 3). Разница между истинным и ошибочным графиками определяется степенью изгиба выходящей из валков заготовки. Этот изгиб имеет место в области  $z < 1$  и зависит от температуры металла, вследствие чего Н. В. Дадочкин сделал вывод о решающем влиянии температуры металла на характер зависимости (3).

С целью выяснения принципиального характера зависимости (3) в области малых значений фактора формы поступаем следующим образом. Если исходить из формулы (2), то совершенная при повороте валков на угол  $\Phi$  работа прокатки

$$A = M \Phi = 2 \psi p b r \alpha^2 \frac{L}{\xi}, \quad (4)$$

где  $\xi$  — коэффициент опережения.  
Вместе с тем

$$A = V \int_0^{\alpha} \rho(\varphi) \frac{2\varphi}{1 + \frac{r}{h_1} \varphi^2} d\varphi. \quad (5)$$

Согласно теореме о среднем значении такого интеграла,

$$A = V p' \left[ \ln \frac{h_1}{r} \left( 1 + \frac{r}{h_1} \alpha^2 \right) - \ln \frac{h_1}{r} \right] = V p' \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (6)$$

где  $p'$  — среднее интегральное удельное давление, которое отличается от среднего эпюрного удельного давления  $\rho$ , входящего в равенство (4). Вводя поправочный коэффициент  $k = \frac{p'}{\rho}$  и приравнявая (4) к (6), находим

$$\psi = 0,5 k \xi \left[ \frac{h_1}{\Delta h} \ln \frac{h_0}{h_1} \right]. \quad (7)$$

Такая формула без поправочного коэффициента предложена В. А. Тягуновым [7], а позднее А. И. Целиковым [8].

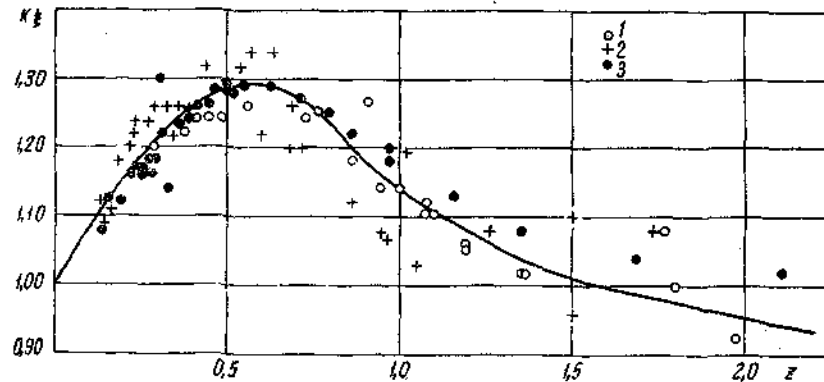


Рис. 5. Зависимость функции  $k\xi$  от фактора формы очага деформации при разных радиусах валков:  
1 —  $r = 128,5$  мм; 2 —  $r = 29,35$  мм; 3 —  $r = 49,75$  мм

Величину поправочного коэффициента  $k$  можно оценить посредством графического интегрирования уравнения (5), задавая распределение удельного давления в зоне деформации.

При очень малых значениях коэффициента формы зоны деформации под действием внешних зон эпюра удельных давлений приобретает вогнутую форму и коэффициент  $k$  получается больше единицы (рис. 4, а). С увеличением фактора формы зоны деформации коэффициент достигает наибольшего значения (при  $z=0,5$ ), затем начинает уменьшаться и становится равен единице, когда эпюра приобретает прямоугольную форму (рис. 4, б).

Эпюра удельных давлений при больших значениях фактора формы зоны деформации под действием контактного трения приобретает выпуклую форму и коэффициент  $k$  становится меньше единицы (рис. 4, в).

С целью проверки изложенных выше соображений величина

$$k \xi = \frac{\psi}{0,5 \frac{\Delta h}{h_1} \ln \frac{h_0}{h_1}} \quad (8)$$

представлена в виде экспериментального графика на рис. 5. Этот график несколько искажен воздействием опережения, измерить которое вследствие изгибания заготовок трудно, однако общий характер графика подтверждает наличие у коэффициента  $k$  максимума и убывание его до единицы при  $z=0$ . Как видно из расположения экспериментальных точек на рис. 5, полученный график величин  $k\xi$  мало зависит от радиуса валков.

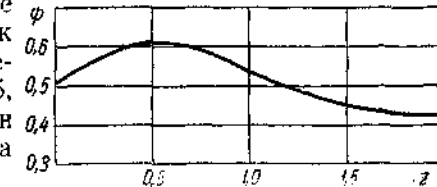


Рис. 6. Зависимость коэффициента плеча равнодействующей от фактора формы очага деформации

После подстановки экспериментальных значений величины  $k\xi$  в уравнение (7) получена зависимость для определения коэффициента плеча, изображенная на рис. 6. Эта зависимость близка к предложенной М. Л. Зарошинским и А. И. Гришковым [9], но требует экспериментального уточнения в условиях горячей прокатки стали.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. С. Рокотян. Силовые воздействия в обжимных и листовых станах. Сб. «Вопросы обработки металлов давлением», изд-во АН СССР, 1958.
2. И. В. Дадочкин, М. А. Зайков. Плечо равнодействующей в зависимости от различных факторов прокатки. Изв. высших учебных заведений, Черная металлургия, 1960, № 12.
3. Н. В. Дадочкин. Плечо равнодействующей давления металла на валки при прокатке. Автореферат канд. диссертации, изд. Сибирского института им. С. Орджоникидзе, Новокузнецк, 1961.
4. И. Я. Тарновский, Ю. И. Одинокоев, А. А. Чичгин. Усилия прокатки на слябинге. Изв. высших учебных заведений, Машиностроение, 1963, № 1.
5. Г. Валквист. Исследование энергосиловых параметров при горячей прокатке металла. Металлургиздат, 1957.
6. В. П. Корж, В. И. Шилов. Аппаратура для исследования процесса ленточной прокатки. Труды Института металлургии УФАН СССР, вып. 9. Сб. «Исследование процессов листовой и ленточной прокатки», Свердловск, 1962.
7. В. А. Тягунов. Режимы прокатки на реверсивных станах. Металлургиздат, Свердловск, 1954.
8. А. И. Целиков. О влиянии натяжения на расход работы при прокатке. Сталь, 1962, № 10.
9. М. Л. Зарошинский, А. И. Гришков. Влияние скорости деформации при прокатке на распределение удельного давления. Сталь, 1959, № 5.