

Взаимодействие Fe_2O_3 с монооксидом углерода. Для расчета скорости восстановления по предлагаемому уравнению необходимо иметь значение тока обмена (i_0). Оценка этой величины приведена в работе [3] и для температуры 1573 К составляет $7,2 \cdot 10^{-13}$ моль/($m^2 \cdot c$).

Ниже представлены экспериментальные данные, взятые из работы [4], в которой методом идеального смешения газового потока в реакционной ячейке исследовалась кинетика взаимодействия газа-восстановителя (СО) с оксидом железа (III) при его концентрации до 5,7 % в расплаве $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ и $p_{CO} = 0,5$ атм, $T = 1623$ К. Было установлено, что процесс превращения оксида Fe_2O_3 до FeO происходит в кинетическом режиме. Сопоставление теоретических и экспериментальных значений порядка реакций по концентрации СО и Fe_2O_3 и скоростей процессов восстановления показывает их удовлетворительное согласие: порядок реакции по концентрации Me_nO_m в опытах составил 0,90, по расчету – 0,75, по концентрации СО – соответственно 0,65 и 1,0; скорость реакции по опытным

данным $v \cdot 10^{12} = 5,0$ моль $Me_nO_m/(m^2 \cdot c)$, а по расчетным $v \cdot 10^{12} = 3,9$ моль $Me_nO_m/(m^2 \cdot c)$.

Выводы. Предложено уравнение, позволяющее рассчитывать скорость взаимодействия Me_nO_m с оксидом углерода (II) в кинетическом режиме. Расчеты по уравнению показывают удовлетворительное согласие с экспериментальными результатами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бороженков В.Н., Есин О.А., Шурыгин П.М., Кухтин Б.А. // Электрохимия. 1965. Т. 1. Вып. 10. С. 1245 – 1252.
2. Есин О.А. // Успехи химии. 1957. Т. 26. Вып. 12. С. 1374 – 1387.
3. Попель С.И. Теория металлургических процессов. – М.: ВИНТИ, 1971. – 132 с.
4. Лямкин С.А., Лямкина Н.С. // Расплавы. 2000. № 4. С. 27 – 34.
5. Кухтин Б.А., Смирнов В.М. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1984. № 12. С. 6 – 9.

© 2014 г. С.А. Лямкин, Н.С. Семенова
Поступила 26 апреля 2012 г.

УДК 621.771.014

Ж.А. Ашкеев

Карагандинский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКЕ ПОЛОСЫ В ВАЛКАХ С ОБРАТНОЙ КОНУСНОСТЬЮ

Аннотация. Изложены результаты исследования напряженного состояния при несимметричной прокатке полосы в валках с обратной конусностью. Анализ результатов показывает, что при несимметричной прокатке полосы в валках с обратной конусностью обеспечиваются более благоприятные условия напряженного состояния, способствующие устранению внутренних дефектов заготовок за счет повышенного гидростатического давления, а также уменьшению осевых растягивающих напряжений, что снижает вероятность разрушения металла в продольном направлении.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, валки с обратной конусностью, годограф скоростей, условие несжимаемости, напряжение.

Zh.A. Ashkeev

Karaganda State Technical University

THE RESEARCH OF A STRESSED STATE BY AN ASYMMETRICAL ROLLING OF A BAND IN ROLLS WITH A REVERSE TAPER

Abstract. In the paper the author sets out the results of a stressed state by an asymmetrical rolling of a band in rolls with a reverse taper. The analysis of the results shows that by an asymmetrical rolling of a band in rolls with a reverse taper more favourable conditions of the stressed state are provided. They promote the removal of all internal defects of a blank at the expense of a high hydrostatic pressure, as well as the decrease of an axial tension. That reduces the probability of metal destruction in a lengthwise direction.

Keywords: asymmetrical rolling, rolls with the return conicity, godograph of speeds, incompressibility condition, tension.

E-MAIL: jashkeev@mail.ru

Процесс прокатки заготовок в гладких цилиндрических валках приводит к различию механических свойств по всему объему прокатываемого тела (анизотропии), так как зерна в основном вытягиваются в продольном направлении, т.е. по направлению прокатки, а в поперечном направлении течение металла незначи-

тропии), так как зерна в основном вытягиваются в продольном направлении, т.е. по направлению прокатки, а в поперечном направлении течение металла незначи-

тельно. Кроме того, при прокатке в цилиндрических валках вдоль продольной оси полосы появляются опасные растягивающие напряжения, которые могут привести к разрушению металла в осевой зоне заготовки. Поэтому большой интерес представляет изменение характера течения металла за счет воздействия валков со специальной конфигурацией рабочей поверхности, что обеспечивает выравнивание механических свойств по всему объему полосы.

Одним из таких способов является прокатка в валках с обратной конусностью (см. поз. б рисунка). Отличительной особенностью предлагаемого способа прокатки от традиционного является конусность валков, которая определяется отношением $(D - d)/(2L)$, где D и d – диаметры большего и меньшего оснований валков; L – длина бочки валков.

Например, течение металла со стороны большего диаметра верхнего валка будет интенсивнее, чем со стороны меньшего диаметра нижнего валка. Аналогичное явление будет наблюдаться с противоположной боковой поверхности полосы, где со стороны большего диаметра нижнего валка скорость течения будет больше, чем со стороны меньшего диаметра верхнего валка. В результате такого течения металла в объеме полосы возникают более благоприятные условия, обеспечивающие закрытие внутренних дефектов, более равномерное распределение механических свойств по объему заготовок и снижение осевых продольных растягивающих напряжений.

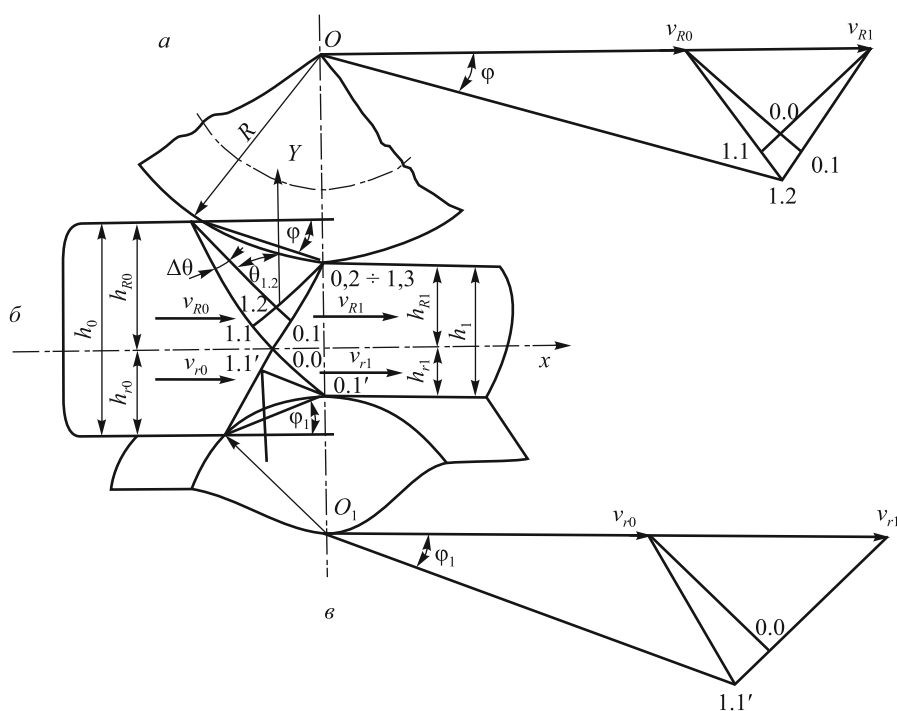
Таким образом, процесс несимметричной (асимметричной) прокатки в валках с обратной конусностью по-

ложительно влияет на формирование однородной мелкозернистой структуры металла, на усиление прокатки и удаление окалины с поверхности заготовок.

В настоящей работе представлены результаты исследования напряженного состояния при несимметричной прокатке в валках с обратной конусностью и его влияние на качество металла. Для исследования напряженного состояния построено поле линий скольжения и соответствующее поле скоростей как со стороны верхнего, так и со стороны нижнего валков. При этом отношение диаметра (радиусов) большего валка к диаметру меньшего приняли $R/r \approx 1,5$, а относительное обжатие $\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \cdot 100 = 35,0 \%$, где h_0 и h_1 – соответственно исходная и конечная толщина полосы (см. рисунок, поз. б).

Такая же форма очага деформации будет распространяться с противоположной боковой стороны полосы, но в обратном направлении. Построение производили до пересечения главной оси x , которую линии скольжения должны пересекать под углом $\pi/4$, что означает правильность построения сетки линий скольжения.

Правильность сетки линий скольжения также подтверждает годограф (поле) скоростей (поз. а, в рисунка). Таким образом, на рисунке представлены поле линий скольжения и годограф скоростей со стороны валков большего и меньшего диаметров при прокатке полосы в валках конусностью примерно 10° . Такую величину можно считать рациональной, так как с увеличением конусности ухудшается условие задачи заготовки в зазоре между валками, особенно при производстве заготовок



Поле линий скольжения и годограф скоростей при несимметричной прокатке полосы с относительной разностью диаметров валков 1,50: а – план скоростей течения металла со стороны валка с большим диаметром; б – поле линий скольжения при несимметричной прокатке в валках с обратной конусностью; в – план скоростей течения металла со стороны валка с меньшим диаметром

большой массы. Следовательно, конусность не должна превышать 10° , поэтому большой интерес представляет исследование напряженного состояния при прокатке в валках с обратной конусностью, наклоном бочки валков к горизонту до 10° .

Построение поля линий скольжения и годографа скоростей производилось по известной методике¹. Угол наклона линий скольжения к оси y в узловой точке 1.2 равен $\theta_{1,2} = 45^\circ$. Принимаем шаг изменения линий скольжения $\Delta\theta = 15^\circ$, тогда, прибавляя $\Delta\theta$ к значению $\theta_{1,2}$, получим соответствующую величину угла наклона линий скольжения к оси y в узловой точке 0.1, т.е. угол наклона составит $\theta_{0,1} = 60^\circ$, в узловой точке 1.1 имеем $\theta_{1,1} = 30^\circ$, так как $\Delta\theta$ отнимаем от значения $\theta_{1,2}$. Угол наклона линий скольжения в узловой точке 0.0, расположенной на главной оси x , составит

$$\theta_{0,0} = \frac{\theta_{1,1} + \theta_{0,1}}{2} = \frac{30 + 60}{2} = 45^\circ.$$

Пересечение линий скольжения с главной осью x говорит о правильности построения сетки линий скольжения. Аналогичным образом производилось построение сетки линий скольжения со стороны нижнего валка с меньшим диаметром. Кроме того, правильность построения сетки можно проверить из условия несжимаемости полосы при прокатке в валках с обратной конусностью.

Условия несжимаемости со стороны верхнего валка с большим диаметром и стороны нижнего валка с малым диаметром следующие:

$$\frac{h_{R0}}{h_{R1}} = \frac{v_{R1}}{v_{R0}} \approx 1,50 \quad \text{и} \quad \frac{h_{r0}}{h_{r1}} = \frac{v_{r1}}{v_{r0}} \approx 1,71.$$

Отсюда с погрешностью примерно 1 – 3 % можно считать, что условие несжимаемости выполняется, т.е. построенное поле линий скольжения отвечает кинематическим возможным полям скоростей при известных граничных условиях.

Главная ось x является осью, где скорости в направлении прокатки со стороны верхнего и нижнего валков равны (узловая точка 0.0) (см. рисунок, поз. a , b). Скорость течения металла усредняется на выходе из очага деформации (т.е. $v_{R1} \approx v_{r1}$), течение металла совпадает с направлением (касательной) окружной скорости валков. Отсюда еще раз подтверждается правильность построения сетки линий скольжения. Следует отметить, что скорости узловых точек откладывали из полюсов O и O_1 (см. рисунок, поз. a , b).

Таким образом, построенное поле линий скольжения отвечает всем требованиям, предъявляемым для проверки правильности сетки линий скольжения. Из поз. b рисунка видно, что поле линий скольжения (очаг

деформаций) со стороны валков большего диаметра распространяется на большую глубину, чем со стороны меньшего диаметра. При этом осевая зона смещается в сторону валков с меньшим диаметром. Кроме того, длина контактной поверхности со стороны валков большего диаметра будет больше, чем со стороны меньшего. Очаг пластической деформации полосы при этом будет несимметричным относительно оси x . При этом главная ось будет смещена и не будет продольной осью симметрий.

Из годографа скоростей видно, что скорости узловых точек в очаге деформации со стороны валков большего диаметра на 10 – 12 % больше, чем со стороны валков меньшего диаметра относительно узловой точки 0.0 или оси x , где скорость узловой точки должна быть одинаковой как со стороны валков большего диаметра, так и со стороны меньшего.

Таким образом, теоретическое предположение о том, что скорость полосы со стороны валков большего диаметра будет больше, чем со стороны валков меньшего диаметра, полностью подтверждается. Из-за разностей скоростей точек в очаге деформации возникают интенсивные сдвиговые деформации в объеме полосы, благоприятно влияющие на закрытие и «залечивание» всех внутренних дефектов литых заготовок.

По построенной сетке линий скольжения и плану скоростей приступим к расчету среднего напряжения и компонентов напряжения в узловой точке 0.0. Для этого составим уравнение равновесия всех сил, приложенных к пластической области на выходе из очага деформаций:

$$\int_{0,0}^{0,1} \sigma dy + \sigma_{0,1} (y_{0,2} - y_{0,1}) + kx_{0,2} + \sigma_{0,0} (y_{0,0} - y_{0,1'}) + kx_{0,1'} = 0. \quad (1)$$

Из соотношения Генки имеем

$$\sigma = \sigma_{0,0} - 2k \left(\theta - \frac{\pi}{4} \right); \quad (2a)$$

$$\sigma_{0,1} = \sigma_{0,0} - 2k \left(\theta_{0,1} - \frac{\pi}{4} \right), \quad (2b)$$

где σ – среднее нормальное напряжение вдоль линий скольжения 0.0 и 0.1; $\sigma_{0,1}$ и $\sigma_{0,0}$ – среднее нормальное напряжение в узловых точках 0.1 и 0.0; k – пластическая постоянная, или предел текучести на сдвиг; θ – угол наклона касательной вдоль линий скольжения 0.0 и 0.1; $\theta_{0,1}$ – угол наклона линий скольжения в узловой точке 0.1; $y_{0,0}, y_{0,1}, y_{0,2}, y_{0,1'}$ – координаты соответственно узловых точек 0.0, 0.1, 0.2 и 0.1' по оси y ; $x_{0,2}$ и $x_{0,1'}$ – координаты узловых точек 0.2 и 0.1' по оси x .

Подставляя значения напряжений из соотношений (2, a , b) в уравнение (1), после преобразования получим следующее выражение:

¹ То м л е н о в А. Теория пластического деформирования металлов. – М.: Металлургия, 1972. – 362 с.

$$\frac{\sigma_{0,0}}{2k} = \frac{\left(\theta - \frac{\pi}{4}\right)y_{0,1} + \left(\theta_{0,1} - \frac{\pi}{4}\right)(y_{0,2} - y_{0,1}) + x_{0,2}}{y_{0,2} - y_{0,1}}. \quad (3)$$

После подстановки значений координат и углов непосредственно из рисунка в соотношение (3) получим

$$\frac{\sigma_{0,0}}{2k} = -0,875.$$

Компоненты напряжения в узловой точке 0.0 следующие:

напряжение вдоль оси x

$$\sigma_{x_{0,0}} = \sigma_{0,0} + k \sin 2\theta_{0,0} = -k(1,75 - 1,0) = -0,75k;$$

напряжение по оси y

$$\sigma_{y_{0,0}} = \sigma_{0,0} - k \sin 2\theta_{0,0} = -k(1,75 + 1,0) = -2,75k.$$

Анализ результатов исследования напряженного состояния показывает, что компоненты напряжения в узловой точке 0.0 сжимающие и не представляют никакой опасности при прокатке, т.е. не приводят к разрушению металла. Как известно, при традиционной прокатке в цилиндрических валках в основном возникают опасные растягивающие напряжения, которые при определенных значениях могут превысить предел текучести ме-

талла и привести к разрушению (разрыхлению) металла в данном направлении. Кроме того, сжимающие напряжения способствуют закрытию и завариванию всех внутренних дефектов, особенно литых, которые в основном сосредотачиваются в осевой зоне слитков.

Скорости течения металла в узловых точках поля линий скольжения со стороны валков большего диаметра на 10 – 12 % превышают скорости течения металла со стороны валков меньшего диаметра. Таким образом, прокатка в валках с обратной конусностью способствует созданию более благоприятной схемы напряженно-деформированного состояния, обеспечивающей повышение качества металла полосы и уменьшение усилия прокатки, а также интенсивное удаление окалины с поверхности полосы.

Выводы. Использование способа несимметричной прокатки в валках с обратной конусностью обеспечивает создание более благоприятной схемы напряженно-деформированного состояния, что способствует устранению внутренних дефектов литых заготовок, а также предотвращает возникновение опасных осевых растягивающих напряжений. В результате происходит более равномерное распределение механических свойств и формирование более однородной структуры по объему прокатываемой полосы.

© 2014 г. Ж.А. Ашкеев
Поступила 24 сентября 2012 г.