

В. С. КАРПИЦКИЙ, канд. техн. наук,
Ю. В. КАРПИЦКИЙ, канд. техн. наук (БНТУ)

УСИЛИЕ И НАПРЯЖЕНИЯ ПРОЦЕССА АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ ПОЛОС В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В условиях симметричной прокатки силы трения, приложенные к полосе со стороны валков, оказывают подпирющее действие на деформируемый объем металла, в связи с чем контактные напряжения, необходимые для пластической деформации полосы, значительно возрастают. Это приводит к повышенному расходу энергии, ухудшению геометрии и качества поверхности проката, появлению значительной разнотолщинности полосы.

Практические методы решения указанной проблемы путем повышения температуры нагрева прокатываемого металла или создания растягивающих напряжений на концах полосы не позволяют в должной мере устранить отмеченные недостатки.

Снизить давление металла на валки также возможно путем изменения схемы напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации [1]. В частности, реализация таких условий возможна при продольной прокатке с принудительным рассогласованием окружных скоростей валков [2].

Значительный практический интерес представляет осуществление данного способа прокатки в условиях граничных значений кинематических параметров [3]. При критическом рассогласовании окружных скоростей валков, когда очаг деформации состоит из зон отставания и сдвига, прокатка возможна без приложения переднего натяжения полосы, скорость выхода полосы из валков равна окружной скорости ведущего валка (валок, вращающийся с большей окружной скоростью) и опережение со стороны ведущего валка отсутствует. На контактных поверхностях в зоне сдвига сила трения нейтрализуется, что приводит к снижению давления металла на валки.

Из условия постоянства объема металла, проходящего через каждое сечение очага деформации в единицу времени, выведена

зависимость для расчета коэффициента критического рассогласования окружных скоростей валков k_x

$$k_x = 1 + \frac{R}{h_0 \left(1 - \frac{R}{h_0} \alpha^2\right)} \alpha^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2\mu}\right)^2, \quad (1)$$

где R – радиус валков; h_0 – исходная толщина полосы; α – угол захвата; μ – коэффициент контактного трения.

В формуле (1) выражение в знаменателе

$$1 - \frac{R}{h_0} \alpha^2 = 1 - \frac{h_0 - h_1}{h_0} > 0, \quad (2)$$

так как максимальное обжатие при прокатке $\Delta h = h_0 - h_1$ не может быть равным или большим исходной толщины полосы. Теоретически установлено, что с увеличением μ (рис. 1) и R/h_0 (рис. 2) значение k_x растет. При этом зависимость k_x от α/μ в общем виде при отсутствии ограничения по формуле (2) выражается кривой с максимумом, соответствующем наибольшему значению естественного угла захвата, т. е. при $\alpha = \mu$. При этом показано, что при более низких значениях μ и R/h_0 область возможных значений α/μ для осуществления процесса несимметричной прокатки находится во всем исследуемом диапазоне от нуля до двух. С ростом μ и R/h_0 область возможных значений α/μ сужается, что обусловлено достижением абсолютного обжатия за проход, равного начальной толщине полосы, т. е. ограничения согласно выражению (2).

Путем совместного решения дифференциального уравнения равновесия в очаге деформации и условия пластичности получено выражение для определения среднего нормального контактного напряжения при прокатке с критическим рассогласованием окружных скоростей валков.

$$\frac{P_{\text{ср}}}{s} = \frac{1}{\Delta h} h_{\text{гр}} \left(\frac{1}{\delta} \left(\left(\frac{h_0}{h_{\gamma k}} \right)^\delta - 1 \right) + \ln \frac{h_{\gamma k}}{h_1} \right), \quad (3)$$

где $h_{\gamma k}$ – высота полосы в нейтральном (критическом) сечении; $\delta = 2\mu/\alpha$.

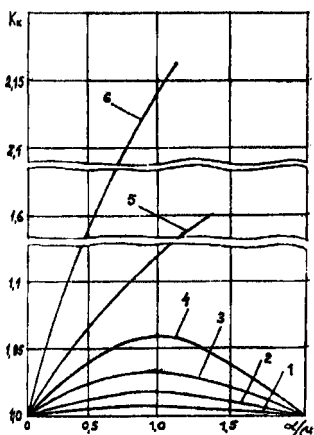


Рис. 1. Теоретическая зависимость коэффициента критического рассогласования окружных скоростей валков от относительной величины α/μ при $R/h_0 = 5$ для различных значений μ : 1 - $\mu = 0,05$; 2 - 0,1; 3 - 0,15; 4 - 0,2; 5 - 0,3; 6 - $\mu = 0,3$

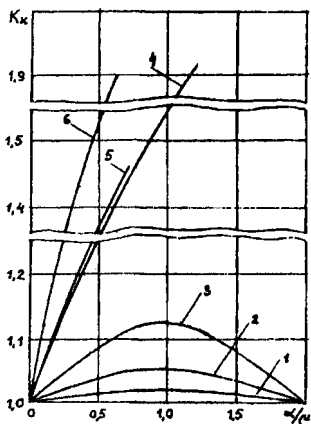


Рис. 2. Теоретическая зависимость коэффициента критического рассогласования окружных скоростей валков от относительной величины α/μ при $R/h_0 = 15$ для различных значений μ : 1 - $\mu = 0,05$; 2 - 0,1; 3 - 0,15; 4 - 0,2; 5 - 0,3; 6 - $\mu = 0,35$

Теоретически проанализировано влияние основных параметров на величину нормальных контактных напряжений при прокатке с критическим рассогласованием окружных скоростей валков (3) в сравнении с процессом симметричной прокатки. Установлено, что с увеличением α/μ значения средних нормальных контактных напряжений возрастают и в большей степени при более высоких значениях R/h_0 и μ . Для всех значений исследуемых параметров кривые, характеризующие процесс несимметричной прокатки, в общем виде имеют максимум снижения среднего нормального контактного напряжения в точке, соответствующей углу естественного захвата металла валками, т. е. $\alpha = \mu$. С ростом R/h_0 и μ степень снижения ρ_0/σ_s увеличивается, но при этом граница возможных значений параметров стабильного осуществления процесса прокатки сужается, что обусловлено достижением абсолютного обжатия за проход, равного начальной толщине полосы.

Определение экспериментальным путем силовых параметров процесса несимметричной прокатки сводилось к установлению зависимостей усилия прокатки и средних нормальных контактных напряжений от величины обжатия при различных значениях коэффициента рассогласования окружных скоростей валков. Процесс горячей прокатки моделировали с использованием свинцовых полос сечением 30×4 мм. Установлено, что величина силовых параметров процесса несимметричной прокатки значительно ниже, чем при симметричной прокатке. С ростом коэффициента вытяжки это снижение увеличивается в большей степени при более высоких значениях коэффициента рассогласования окружных скоростей валков. Так, при симметричной прокатке с коэффициентом рассогласования $k_v = 1,0$ и степенью вытяжки $\lambda = 3$, величина среднего нормально-го контактного напряжения (p_{cp}/σ_s) составила 1,78. При несимметричной прокатке с $k_v = 2,2$ и $\lambda = 3$ величина p_{cp}/σ_s составила 1,1, что согласуется с теоретическими данными.

Для реальных условий прокатки (R, h_0, μ и α) определены значения коэффициента критического рассогласования окружных скоростей валков (k_k) при различных степенях вытяжки за проход и значениях μ и α , соответствующих данной вытяжке. Установлено, что изменение коэффициента k_k для исследуемых параметров прокатки имеет близкую сходимость с расчетными, при этом более сложный характер экспериментальных кривых обусловлен неодинаковой интенсивностью роста μ и α при увеличении коэффициента вытяжки.

В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что предложенный способ прокатки с критическим рассогласованием окружных скоростей валков позволяет снизить давление металла на валки до 40 %, устранить растягивающие напряжения в прокатываемом изделии и повысить размерную точность по толщине прокатанной полосы в пределах $\pm 0,1$ мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целиков, А. И. Теория продольной прокатки / А. И. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Рокотян. – М.: Металлургия, 1980. – 319 с.
2. Синицын, В. Г. Несимметричная прокатка листов и лент / В. Г. Синицын. – М.: Металлургия, 1984. – 165 с.
3. Прокатка полос с критическим рассогласованием окружных скоростей валков / А. В. Степаненко [и др.] // Технология 99: материалы 6-й международной науч.-техн. конф. – Братислава (Словакия), 1999. – С. 417–420.