

УДК 621.771

Математическое моделирование продольной прокатки

Студенты гр.104415 Шегидевич А.А., Карбовский А.С., Батан А.В.

Научный руководитель – Кудин М.В.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Основными параметрами влияющие на процесс продольной прокатки являются: точность размеров и свойств исходной заготовки, отклонений от заданной температуры ее нагрева, состояния контактной с валками поверхности, условий смазки, скоростного режима процесса и др. Все они оказывают влияние на величину действующего на валки усилия P , что приводит к изменению зазора между валками и на точность прокатанной заготовки.

Усилие на валки рассчитывается по формуле

$$P = n_{\sigma} \gamma \sigma_t R b \alpha, \quad (1)$$

где n_{σ} – коэффициент напряженного состояния;

γ – коэффициент учитывающий влияние главного нормального напряжения σ_2 ;

σ_t – сопротивление деформации;

R – радиус бочки валков;

b – ширина полосы;

α – угол захвата.

Проведенные эксперименты прокатки образцов в валках показали зависимость колебания зазора между валками от усилий на валки (рисунок 1). Из рисунка 1 видно, что с увеличением усилий на валки интенсивность приращения толщины проката уменьшается до значения, близкого к линейному.

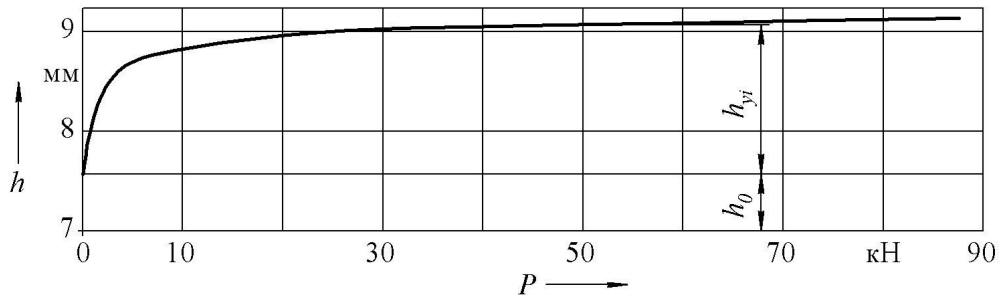


Рисунок 1 - Зависимость толщины проката от действующих на валки сил

При этом выделяется две области: первая, соответствующая сравнительно малым обжатиям и усилиям на валки, в которой с ростом усилий упругая игра валков h_y возрастает с уменьшающейся интенсивностью, и вторая – с близко к линейной зависимости h_y от P , то есть

$$h_y \approx P/J, \quad (2)$$

где J – коэффициент (модуль) жесткости рабочей клетки.

При этом толщина прокатанной заготовки рассматривается как сумма установочного раствора валков h_0 и их упругого отжатия h_y :

$$h = h_0 + h_y = h_0 + P/J \quad (3)$$

Нелинейное, интенсивное изменение толщины прокатанной полосы в функции ее обжатия, а следовательно, и усилий на валки, обусловлено в первой области непостоянством жесткости рабочей клетки прокатного стана, состоящей из большого числа находящихся под технологической нагрузкой имеющих разную жесткость деталей и сопрягаемых поверхностей. Очевидно, в связи с этим, нецелесообразно проводить прокатку в силовом режиме, соответствующим первой области: разнотолщинность исходной заготовки и отклонение от номинальной ее температуры, а следовательно и сопротивление деформации, обуславливают значительную, трудно предсказуемую в условиях не постоянной жесткости рабочей клетки разнотолщинность прокатанной полосы.

Для прогнозирования точности по толщине прокатанной полосы переменные в пределах технологического допуска входными параметрами являются разнотолщинность исходной заготовки $dH = H_{\max} - H_{\min}$ и сопротивлению деформации металла σ_t , зависящему от его температуры.

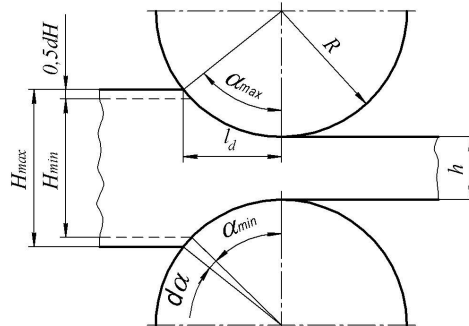


Рисунок 2 - Схема продольной прокатки полосы

Разнотолщинность исходной заготовки (рисунок 2) приводит к изменению угла захвата, который при сравнительно малых углах захвата можно выразить через обжатие и радиус валков

$$\alpha = \sqrt{\Delta H / R} \quad (4)$$

Разнотолщинность исходной заготовки (рисунок 2) приводит к изменению угла захвата, который при сравнительно малых углах захвата можно выразить через обжатие и радиус валков

$$\alpha = \sqrt{\Delta H / R} \quad (4)$$

Изменение сопротивления деформации может происходить при изменении напряженно-деформированного состояния материала, которое в условиях продольной прокатки полосы может быть принято постоянным ($n_\sigma = 0,8$), а так же от изменения температуры металла в очаге деформации из-за неточности и неравномерности нагрева заготовки, ее охлаждения в процессе обработки, деформационного нагрева и др. неизбежных, но допускаемых по технологическим условиям факторов. Для учета отклонения температуры Δt от номинальной t использовали известную экспоненциальную зависимость механических свойств металлов, в том числе и сопротивления деформации, от температуры

$$\sigma_t = \sigma_{t_0} \exp(n_t \Delta t), \quad (5)$$

где n_t – устанавливаемый экспериментально параметр.

Для математического описания этих зависимостей выражение (1) дифференцировали в частных производных, принимая α и σ_t переменными

$$dP = \frac{\partial P}{\partial \alpha} d\alpha + \frac{\partial P}{\partial \sigma} d\sigma. \quad (6)$$

Находили составляющие полученного дифференциального уравнения дифференцируя P (1) по двум переменным α и σ .

$$\frac{\partial P}{\partial \alpha} = n_\sigma \gamma b R \sigma_t; \quad \frac{\partial P}{\partial \sigma} = n_\sigma \gamma b R \alpha; \quad (7)$$

Полученные дифференциалы подставляем в (6)

$$dP = n_\sigma \gamma b R \sigma_t d\alpha + n_\sigma \gamma b R \alpha d\sigma \quad (8)$$

При этом дифференцируя (4) и (5) определили дифференциалы переменных величин

$$d\alpha = \frac{dH}{2\sqrt{R\Delta H}}, \quad d\sigma = n_t \sigma_{t_0} e^{n_t \Delta t} \Delta t.$$

Подставив их значения в (8) получили выражение

$$dP = 0,5 \gamma n_\sigma b \sigma_{t_0} \sqrt{R / \Delta H} (dH + 2n_t \Delta H e^{n_t \Delta t} \Delta t) \quad (9)$$

Выражение (9) представляет математическую модель продольной прокатки, взаимно увязывающую изменение усилия на валки, с отклонением от номинальной толщины исходной заготовки $\pm dH$, ее температуры $\pm \Delta t$ и общего обжатия ΔH .