

УДК 621.771.26.01

Б.П. Серета, д.т.н., проф., Т.В. Критська, д.т.н., проф., А.К. Коваленко, аспірант  
Запорізька державна інженерна академія

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СТЕПЕНИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАПАСА ПЛАСТИЧНОСТИ ОСЕВОЙ ЗОНЫ ПРОКАТЫВАЕМЫХ ВЫСОКИХ ПОЛОС ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ

*Розглянуто процес прокатування високих смуг на гладкій бочці. Запропонована математична модель впливу геометричних чинників осередку деформації на зміну ступеню коефіцієнту запасу пластичності осевої зони прокатуваних високих смуг. Знайдено оптимальне співвідношення параметрів калібру, що дозволяє раціонально використовувати енергетичні і матеріальні ресурси, а також отримувати прокат без браку. Побудована модель можуть бути використані при розробці режимів обчислень і калібрування валків, що забезпечують інтенсивну проробку структури металу і мінімальну вірогідність утворення дефектів.*

*The process of rolling of high stripes is considered on a smooth barrel. The offered mathematical model of influence of geometrical factors of cell of deformation is on the change of degree to the coefficient of supply of plasticity of axial area of the rolled high stripes. Optimal correlation of parameters of caliber is found, that allows rationally to use power and material resources, and also get rent without a shortage. Built of model can be used for development of the modes of prints of calibration of rollers which provide intensive doing of structure of metal and minimum authenticity of formation of defects..*

При анализе закономерностей изменения степени использования запаса пластичности ( $\Psi$ ) в объеме раскатов в зависимости от геометрических факторов, характеризующих очаг деформации, необходимо рассмотрение величины  $\Psi$  в различных зонах прокатываемого металла.

В этом случае оценка изменения степени использования запаса пластичности осевой зоны раската ( $\Psi_A$ ) для исследуемых условий прокатки наряду с показателем степени деформации сдвига ( $\Lambda$ ) может быть использована с целью оценки качества его внутренних слоев [1].

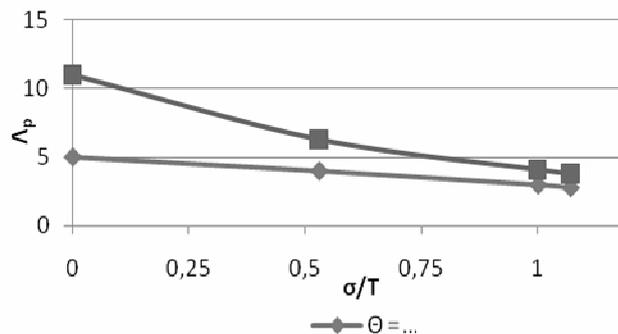


Рис. 1. Зависимость предельной степени деформации образцов литой стали 20X13N18 от коэффициента жесткости схемы напряженного состояния

Выделение двух основных групп интегральных показателей напряженно-деформированного состояния металла позволяет определять различные значения геометрических факторов очага деформации – предпочтительно для режимов деформирования малопластичных сталей и сплавов, склонных преимущественно к внутреннему и поверхностному дефектообразованию. Такое рассмотрение осуществлено ниже для условий горячей прокатки высоких полос из малопластичной стали 20X23N18, склонной как и к поверхностному, так и внутреннему дефектообразованию.

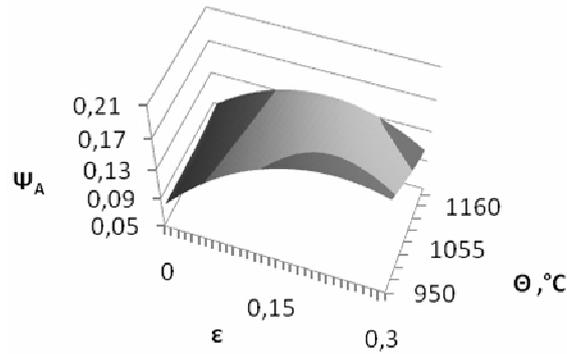
При прокатке на гладкой бочке валков изменение  $\Psi_A$  в зависимости от геометрических факторов очага деформации адекватно отображается следующей зависимостью:

$$\Psi_A = 1,99 + 1,6x_1 - 0,12x_2 - 3,21x_4 - 0,02x_5 - 0,28T + 0,20x_1 \cdot x_2 - 0,22x_1 \cdot x_3 + 0,49x_1 \cdot x_4 + 0,08x_1 \cdot x_6 + 0,07x_1 \cdot x_7 + 0,24x_2 \cdot x_4 - 0,03x_2 \cdot x_5 - 0,11T \cdot x_2 + 0,004x_3 \cdot x_6 - 0,02x_6 \cdot x_7 - 1,95x_1^2 + 0,03x_3^2 + 1,36x_4^2 - 0,12x_6^2 - 0,02x_7^2 + 0,17T^2 - 1,10x_1 \cdot T - 0,01x_2 \cdot T - 0,001x_5 \cdot T + 0,004x_6 \cdot T - 0,01x_7 \cdot T, \quad (3.3)$$

где  $T = \theta/1000$ ,  $\theta$  – температура прокатываемого металла, °C;  $x_1 = \epsilon$ ;  $x_2 = h_0/D$ ;  $x_3 = b_0/h_0$ ;  $x_4 = b_0/l$ ;  $x_5 = \beta/10$ , град;  $x_6 = \Delta f_B/h_0 \cdot 10$ ;  $x_7 = \Delta f_T/h_0 \cdot 10$ .

Показатели, характеризующие точность аппроксимации данных, приведены в таблице 1 [2]. Введение и другие нижеприведенные зависимости температурного фактора направлено на определение степени влияния геометрических и физических факторов процесса прокатки на показатели качества деформированного металла.

В этой связи получено, что при варьировании температурой прокатки в интервале от 950°C до 1200°C  $\Psi_A$  монотонно уменьшается в 2,5...1,6 раза (рис. 2).



$$h_0/D = 0,48; b_0/h_0 = 1; b_0/l = 0,95; \beta = 0; \Delta f_B/h_0 = 0; \Delta f_T/b_0 = 0$$

Рис. 2. Влияние относительного обжатия и температуры на  $\Psi_A$  при прокатке на гладкой бочке валков

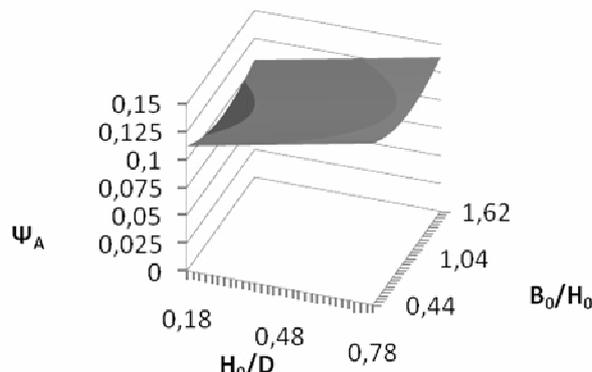
Такое уменьшение определяется соответствующим повышением уровня предельной пластичности металла (рис. 1). Однако, влияние температурных условий прокатки не рассматриваемый показатель качества необходимо исследовать во взаимосвязи с геометрическими факторами очага деформации, о чем свидетельствует наличие значимых коэффициентов при смешанных взаимосвязях типа  $\theta x_i$ ; (где  $i = 1 \dots 7$ ) в зависимости (1).

Увеличение относительного обжатия до 20% обуславливает рост значений  $\Psi_A$  до уровня 0,090...0,140, дальнейшее увеличение  $\epsilon$  до 25% не оказывает существенного влияния на  $\Psi_A$ . Однако, благодаря использованию при планировании рассматриваемого эксперимента значительного числа опытов с обжатиями, близкими к 30%, удалось показать существование значимого уменьшения  $\Psi_A$  при увеличении  $\epsilon$  от 15 до 30%, составляющего до 10% от максимального его значения для заданной температуры (рис. 2).

Таблица 1

Точность аппроксимации экспериментальных данных

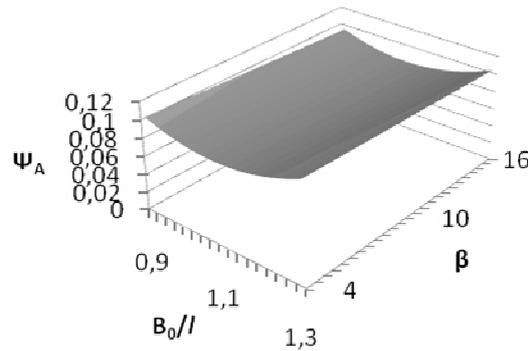
Процесс	Показатель	Среднеквадратичное отклонение	Максимальное отклонение	Табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5%
Прокатка на гладкой бочке валков	$\Psi_A$	0,0086	0,0243	1,725
	$\Psi_B$	0,0053	0,0197	1,791
	$\Psi_K$	0,0088	0,0325	1,775
	$\Psi_Y$	0,0139	0,0566	1,791
Прокатка в ящичных калибрах	$\Psi_A$	0,0078	0,0578	1,508
	$\Psi_B$	0,0098	0,0693	1,508
	$\Psi_K$	0,0196	0,1602	1,514
	$\Psi_Y$	0,0224	0,1305	1,508



$$\epsilon = 0,3; b_0/l = 1; \beta = 0; \Delta f_B/h_0 = 0; \Delta f_T/b_0 = 0; \theta = 1050^\circ\text{C}$$

Рис. 3. Влияние факторов  $b_0/h_0$  и  $h_0/D$  на  $\Psi_A$  при прокатке на гладкой бочке валков

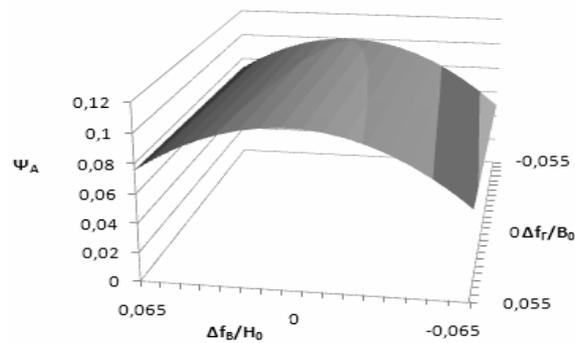
Полученный характер изменения степени использования запаса пластичности осевой зоны раската обуславливает эффективность применения максимальных суммарных значений  $\Psi_A$ . Значимым является влияние на  $\Psi_A$  факторов  $b_0/h_0$  и  $h_0/D$ , характеризующих размеры прокатываемых высоких полос (рис. 3). При этом увеличение отношения  $b_0/h_0$  приводит к уменьшению  $\Psi_A$ . Наиболее заметно влияние  $b_0/h_0$  на величину степени использования запаса пластичности осевой зоны прокатываемых высоких полос при  $\epsilon = 30\%$ , уменьшение  $\epsilon$  до 15% практически нивелирует изменение  $\Psi_A$ , обусловленное варьированием  $b_0/h_0$  в интервале от 1,0 до 1,3 (рис 3).



$$\varepsilon = 0,3; h_0/D = 0,48; b_0/h_0 = 1; \Delta f_B/h_0 = 0; \Delta f_T/b_0 = 0; \theta = 1050^\circ\text{C}$$

Рис. 4. Влияние профилировки рабочей поверхности гладкой бочки валков на  $\Psi_A$ 

Использование профилировок рабочей поверхности гладкой бочки валков не приводит к заметному изменению  $\Psi_A$  (рис. 4), так как даже при единичном относительном обжатии  $\varepsilon = 30\%$  наибольшее снижение  $\Psi_A$  по сравнению с использованием гладкой бочки валков составляет 0,02.



$$\varepsilon = 0,3; h_0/D = 0,48; b_0/h_0 = 1; b_0/l = 1; \beta = 0; \theta = 1050^\circ\text{C}$$

Рис. 5. Влияние конфигурации поперечного сечения полосы на  $\Psi_A$  при прокатке на гладкой бочке валков

Сравнение значений  $\Psi_A$  для условий прокатки высоких полос с поперечным сечением различной конфигурации показывает, что форма боковых граней может обуславливать изменение степени использования запаса пластичности осевой зоны раската до 1,5 раз (рис. 5). При этом значимость влияния фактора  $\Delta f_B/h_0$  возрастает с увеличением величины обжатия. В целом с позиций возможного снижения  $\Psi_A$  использование оптимальных значений геометрических факторов очага деформации при прокатке высоких полос на гладкой бочке валков для рассматриваемой стали и прежде всего относительного обжатия не менее эффективно, чем правильный выбор температурных условий прокатки [3, 4].

Обобщая результаты анализа изменения  $\Psi_A'$  от рассматриваемых факторов по степени их влияния на уровень показателя при прокатке на гладкой бочке валков, получили следующее отношение:

$$\varepsilon: T: b_0/h_0: \Delta f_B/h_0: b_0/l: h_0/D: \Delta f_T/b_0: \beta = 100: 90: 60: 60: 55: 35: 20: 15$$

## Выводы

Комплексный анализ изменения всех полученных в результате обработки первичных экспериментальных данных характеристик напряженно-деформированного состояния металла в зависимости от значений геометрических факторов очага деформации, в том числе определяющих локальные особенности пластического течения металла, подтвердил правомерность использования экспериментально - теоретического подхода для решения задачи трехмерного пластического течения металла.

Построенная модель может быть использована при разработке режимов обжатий обжимных и толстолистовых станов, обеспечивающих интенсивную проработку структуры металла и (или) минимальную вероятность дефектообразования в результате нарушения его сплошности [3,4].

## Список литературы

1. Колмогоров, В.Л. Напряжения. Деформация. Разрушение / В.Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 230 с.
2. Новик, Ф.С., Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, 1980. – 304 с.
3. Серeda, Б.П. Технология производства прутков из стали 40 ХГМ диаметром 200...275 мм / Б.П. Серeda, А.К. Коваленко, Ю.А. Белокопья / зб. наук. праць «Металургія» №21. – Запоріжжя, 2010. – с. 166 – 170.
4. Серeda, Б.П. Розробка оптимальних режимів прокатки та після деформаційної обробки прутків зі спеціальної сталі діаметром більше 270 мм / Б.П. Серeda, О.М. Тумко, І.В. Кругляк, А.К. Коваленко / зб. наук. праць «Металургія» №19. – Запоріжжя, 2009. – с. 109 – 114.