

DEVELOPMENT OF RATIONAL SCHEMES OF CALIBERS OF SECTION MILL ROLLS

A. Vinogradov, Candidate of Technical sciences, Associate professor, Head of a Chair
M. Timofeeva, Candidate of Technical sciences, Associate Professor
Cherepovets State University, Russia

A new technique for analysis of systems of section mill roll's calibrations was proposed. The following criteria for analysis were proposed to use: the uniformity coefficient and the efficiency coefficient. They determine the degree of reaming of the structure at the section bars rolling. Possible schemes of deformation, as well as strengths and weaknesses of each scheme have been analyzed in the example of calibration systems for production of 28 mm round profile.

Keywords: systems of calibers, flat-and-edge rolling, the efficiency criterion

Conference participants, National Research Analytics Championship

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ КАЛИБРОВ ВАЛКОВ СОРТОВЫХ СТАНОВ

Виноградов А.И., канд. техн. наук, доцент
Тимофеева М.А., канд. техн. наук, доцент
Череповецкий государственный университет, Россия

Предложена новая методика анализа систем калибровок валков сортовых станов. В качестве критериев предложено использовать коэффициенты неравномерности и эффективности, определяющие степень проработки структуры при прокатке сортовых профилей. На примере систем калибровки для производства круглого профиля диаметром 28 мм проанализированы возможные схемы деформации, а также преимущества и слабые места каждой из них.

Ключевые слова: системы калибров, сортовая прокатка, критерий эффективности

Участники конференции, Национального первенства по научной аналитике

Постановка задачи. Построение рациональной калибровки валков сортопрокатного стана – сложная задача. И ее сложность определяется приоритетом того или иного ожидаемого результата. Известно, что одни калибровки «заточены» на максимально быстрое формоизменение, другие на лучшую проработку структуры. Существуют калибровки, обеспечивающие более точные размеры поперечного сечения или позволяющие осуществлять энергоэффективные режимы деформации.

Известные из литературных источников системы калибровки имеют множество разновидностей, подсхем и подчас, решая одну задачу, существенно ухудшают условия другой. Поэтому разработка методики анализа системы калибровки на основе обоснованных критериев является актуальной научной задачей.

Методика проведения работы. Для анализа систем калибровок выбраны пары последовательных калибров, позволяющие с одной стороны рассмотреть все возможные схемы сочетаний калибров, а с другой обеспечить исследования предела членения сложной системы, такой как калибровка валков непрерывного сортовых станов.

В качестве критериев эффективности системы выбраны коэффициенты неравномерности $K_{инф}$ и эффективности $K_{эф}$, определяющие степень проработки структуры металла [1]:

$$K_{инф} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\lambda_i - \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} \right)^2}{n}} \quad (1)$$

$$K_{эф} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n} \quad (2)$$

где $\lambda_i = b_i/a_i$ – компонента матрицы формоизменения;

a_i, b_i – длины радиус-векторов в i -ой точке поперечного сечения заготовки и выходящей полосы соответственно;

n – количество радиус-векторов.

Коэффициенты неравномерности и эффективности формоизменения, определяющие степень проработки структуры металла, в значительной степени зависят от форм чередующихся калибров, соотношения длин осей неравноосных калибров. Неправильный выбор отношения осей приводит к появлению трещин и разрывов в полосе при прокатке профилей особенно из труднодеформируемых сталей.

В процессе прокатки любого сортового профиля можно выделить два основных этапа: прокатка квадратной непрерывно-литой заготовки в черновых и промежуточных клетях стана с целью получения подката требуемой формы и размеров для чистовой группы клетей и прокатка в чистовых клетях. При построении рациональной калибровки валков прокатного стана необходимо стремиться к использованию одних и тех же калибров в черновых и промежуточных клетях

при получении проката широкого профильного сортамента.

Так, при прокатке круглой стали диаметром 25-105 мм и шестигранной стали №№ 28-48 на среднесортном стане «350»ЧерМК ОАО «Северсталь» используемые системы калибровки [2] отличаются только в чистовых и некоторых промежуточных клетях.

Попробуем на основе критериев эффективности формоизменения провести анализ проработки структуры при различных системах калибровок. В качестве примера рассмотрим прокатку круглой стали диаметром 28 мм.

При моделировании в качестве граничных приняты следующие условия: обеспечение захвата полосы валками, т.е. $\alpha_i \leq [\alpha]$, обеспечение устойчивости раската в калибре и обеспечение требуемой ширины раската.

Результаты работы. Результаты математического моделирования по возможным сочетаниям калибров представлены в виде графических зависимостей на рисунках 1-4.

Коэффициент $K_{инф}$ (рис. 1) характеризует неравномерность деформации металла по поперечному сечению профиля. Большее значение коэффициента говорит о большей неравномерности такой деформации при получении одного и того же профиля и, как следствие, лучшей прорабатываемости структуры металла. Для сравнимых схем калибровки использовались известные из литературных источников неравноосные калибры

(например, овальные, ромбические), с различным соотношением осей.

При прокатке круглого профиля в чистой паре калибров возможно применение систем овал-круг и плоский овал-круг. Как показано на рисунке 1 (линии 1,2) величина максимального значения коэффициента $K_{инф}$ в 1,4-1,5 раза больше при использовании в качестве предчистового плоского овального калибра.

Таким образом, с точки зрения лучшей проработки структуры, наиболее предпочтительной является система плоский овал-круг. При этом необходимо учитывать, что данная система при производстве круглой стали малых размеров требует высокой точности настройки стана для исключения дефектов круглого профиля «ус» или «лампас», а также «плоские грани», возникающих из-за переполнения или незаполнения калибров.

При производстве круглой и шестигранной стали в промежуточных и предчистовых клетях часто используют системы калибров с ребровым овалом, такие как овал-ребровой овал и ребровой овал-овал. В данных системах, как показали исследования, величина коэффициента неравномерности формоизменения $K_{инф}$ в значительной степени зависит не только от отношения осей однорадиусного овального калибра (рис.1, линии 4 и 5), но и от отношения осей ребрового овала. Как показали результаты моделирования, наилучшие условия деформации обеспечивает калибр «ребровой овал», форма которого близка к кругу, т.е. отношения осей ребрового овала в промежуточных и предчистовых клетях равны 0,94-0,96. При таком отношении осей ребрового овала площадь высотной деформации становится соизмерима с площадью поперечной деформации, что приводит к увеличению значения коэффициента $K_{инф}$. Изменяя отношение осей ребрового овала с 0,75 до 0,95, коэффициент формоизменения меняется от 0,038 до 0,138. При задаче раската овальной формы с отношением осей от 1,5 до 2,65 в ребровой овальной калибр, отношение осей которого равно 0,95, коэффициент $K_{инф}$ изменялся от 0,06 до 0,31. Таким образом, интенсивность роста неравномерности деформации в системе ребровой овал-овал больше чем в системе овал-ребровой овал.

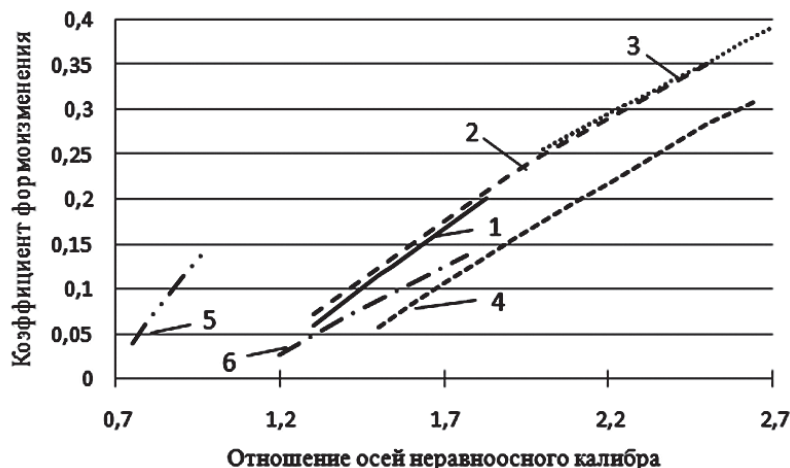


Рис. 1. Коэффициент интегральной неравномерности формоизменения

$K_{инф}$:

1- овал-круг; 2 – плоский овал-круг; 3 – овал-квадрат; 4 – овал-ребровой овал; 5 – ребровой овал-овал; 6 – ромб-квадрат.

В промежуточных клетях сортового стана при производстве круглого профиля возможно применение системы калибров овал-квадрат, в которой, как показало моделирование, отношение осей овального раската может быть в 1,5 раза больше чем в системе овал-круг при одних и тех же коэффициентах вытяжки. Это приводит к увеличению более чем в два раза коэффициента $K_{инф}$ (линии 1, 3 рис. 1), что обеспечивает лучшую проработку структуры металла.

В системе калибров ромб-квадрат,

которую также можно использовать в промежуточных клетях, коэффициент интегральной неравномерности формоизменения примерно в 3 раза меньше чем в системе овал-квадрат, так как отношение осей ромбического калибра может быть 1,2-1,8, а овального калибра может быть 2-2,7. Такое соотношение осей ромбического калибра обусловлено ограничением по условию захвата. Поэтому при производстве круглой стали целесообразнее в качестве вытяжной использовать систему калибров овал-квадрат.

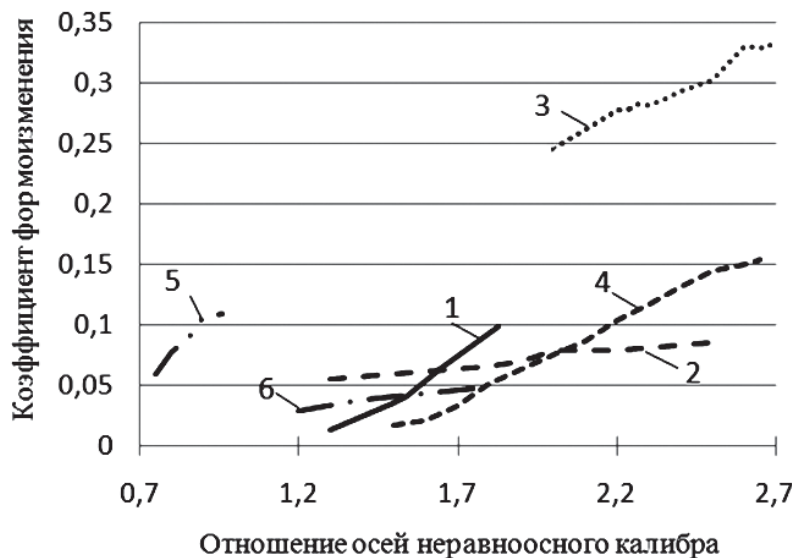


Рис. 2. Коэффициент формоизменения $K_{инф}$:

1- овал-круг; 2 – плоский овал-круг; 3 – овал-квадрат; 4 – овал-ребровой овал; 5 – ребровой овал-овал; 6 – ромб-квадрат.



Рис.3. Распределение коэффициента формоизменения $K_{инф}$ при прокатке круглого профиля диаметром 28 мм на стане «350».



Рис. 4. Распределение коэффициента формоизменения $K_{зв}$ при прокатке круглого профиля диаметром 28 мм на стане «350»

ния коэффициентов $K_{зв}$ для других систем.

При сравнении систем овал-круг и плоский овал-круг (рис. 2, линии 1 и 2) видно, что деформация более эффективна в системе овал-круг, где величина коэффициента $K_{зв}$ при одних и тех же отношениях осей овальных калибров в 1,5-1,8 раза больше.

При использовании ребрового овального калибра коэффициент эффективности деформации в элементах калибра больше при прокатке в системе овал-ребровой овал, чем в системе ребровой овал-овал последней (рис. 2, линии 4 и 5). Так, изменяя в системе ребровой овал-овал отношение осей ребрового овала с 0,75 до 0,95, коэффициент формоизменения $K_{зв}$ меняется от 0,06 до 0,11. При задаче раската овальной формы с отношением осей от 1,5 до 2,65 в ребровой овальной калибр, отношение осей которого равно 0,95, коэффициент $K_{зв}$ изменялся от 0,017 до 0,154.

Таким образом, интенсивность роста эффективности деформации в системе овал-ребровой овал больше чем в системе ребровой овал-овал.

С учетом отмеченных закономерностей распределения коэффициентов формоизменения в различных системах калибров предложены четыре варианта схем калибровки промежуточных, предчистовых и чистовых клеток среднесортного стана «350» при про-

Таблица 1.

Варианты калибровки валков среднесортного стана «350» при производстве круглого профиля диаметром 28 мм.

клеть	форма калибра						
	6	7	8	9	10	11	12
1 вариант	ящичный (1,2)	овал (2,25)	квадрат	плоский овал (2,25)	круг	овал (1,83)	круг
2 вариант	ящичный (1,6)	овал (2,7)	квадрат	овал (2)	круг	овал (1,83)	круг
3 вариант	ящичный (1,5)	овал (2,65)	ребровой овал (0,96)	овал (2)	круг	овал (1,83)	круг
4 вариант	ящичный (1,2)	овал (2,5)	ребровой овал (0,96)	овал (2,6)	ребровой овал (0,96)	овал (1,83)	круг

Примечание: () – отношение осей неравноосного калибра

Анализ данных по коэффициенту эффективности деформации в элементах калибра $K_{зв}$ (рис. 2), который позволяет оценить, насколько рациональна данная система калибров по

вытяжной способности, показывает, что максимальные коэффициенты имеют место в системе овал-квадрат (рис. 2, кривая – 3), величина которых в среднем в 2 раза превышает значе-

катке круглой стали диаметром 28 мм (см. табл. 1). Предложенные варианты отличаются системами калибров в промежуточных и предчистовых клетях. Во всех вариантах получены мак-

Таблица 2.

Средние значения показателей деформации и коэффициентов формоизменения при прокатке круглого профиля по различным схемам калибровки

вариант параметр*	1	2	3	4
$\lambda_{\text{ср}}_{7-12}$	1,34	1,36	1,29	1,32
λ_{Σ}_{7-12}	7,67	8,25	6,04	6,92
$K_{\text{уиф, ср}}$	0,265	0,254	0,228	0,272
$K_{\text{эдз, ср}}$	0,201	0,204	0,164	0,195

* - $\lambda_{\text{ср}}_{7-12}$ – средняя вытяжка по клетям №№ 7-12; λ_{Σ} – суммарная вытяжка по клетям №№ 7-12

симально возможные коэффициенты эффективности формоизменения $K_{\text{уиф}}$ и $K_{\text{эдз}}$ по клетям стана «350» при выполнении граничных условий.

Распределение коэффициентов эффективности по клетям стана представлены на рис. 3, 4. Для сопоставления предложенных вариантов были рассчитаны средние значения коэффициентов формоизменения $K_{\text{уиф}}$, $K_{\text{эдз}}$ и коэффициента вытяжки по шести клетям стана №№ 7-12. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Из табл. 2 видно, что максимальное среднее значение коэффициента $K_{\text{уиф}}$ имеет место в 4 варианте при использовании системы калибров овал-ребровой овал в промежуточных клетях, максимальное среднее значение коэффициента $K_{\text{эдз}}$ и коэффициента вытяжки во 2 варианте, при использовании системы овал-квадрат и овал-круг.

Таким образом, прокатка с использованием схемы калибровки 4 варианта обеспечит максимальную по сравнению с другими вариантами прорабатываемость структуры металла, а значит минимальную бальность зерна структуры металла готового профиля.

Третий вариант характеризуется минимальными средними значениями $K_{\text{уиф}}$ и $K_{\text{эдз}}$, что обеспечивает минимальные затраты энергии и может быть рекомендован для сортамента, подверженного последующей термообработке, нивелирующей разницу в получаемых структурах.

Вариант 2 является компромиссным и может быть использован для получения профилей с невысокими требованиями к структуре, но позволяющий снизить затраты энергии для прокатки профилей.

Заключение. Таким образом, проведенный анализ и моделирование

калибровки валков сортового стана «350» при варьировании таких параметров как отношение сторон неравноосных калибров (овал, ребровой овал) и коэффициентов вытяжки в предчистовых и чистовых клетях показали возможность разработки рациональных схем калибровки по критериям «лучшая прорабатываемость структуры» или «максимальная энергоэффективность».

References:

1. A.I. Vinogradov, S.O. Korol' K voprosu sozdaniya kalibrovok sortovykh valkov, povyshayushchikh effektivnost' proizvodstva profilei iz trudnodeformiruemykh materialov [On the creation of the grooved roll calibrations improving the efficiency of production of profiles made of hard-to-deform materials] Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Cherepovets State University] – 2010., No. 3(26)., pp.116-120.

2. B.M. Plyukovich, N.E. Nekhaev, S.E. Merkur'ev Prokatka i kalibrovka. Spravochnik v 6 tomakh [Rolling and

calibration. Handbook in 6 volumes], Vol. 1. - Dnepropetrovsk., Dnepro-VAL; 2002/

Литература:

1. А.И. Виноградов, С.О.Король К вопросу создания калибровок сортовых валков, повышающих эффективность производства профилей из труднодеформируемых материалов/ Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010.- №3(26).- с.116-120
2. Б.М. Илюкович, Н.Е. Нехаев, С.Е. Меркурьев Прокатка и калибровка. Справочник в 6 томах, том 1, Днепропетровск, Днепро-ВАЛ.-2002

Information about authors:

1. Aleksey Vinogradov - Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Head of a Chair, Cherepovets State University; address: Russia, Cherepovets city; e-mail: gradi@mail.ru
2. Marina Timofeeva - Candidate of Technical sciences, Associate Professor, State University; address: Russia, Cherepovets city; e-mail: t-marina@bigmir.net

