

М. 194645
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

КАПУСТИН Валерий Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ
ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ
НА ПЛАНЕТАРНОМ СТАНЕ С ЧЕТЫРЕХСТОРОННИМ
ОБЖАТИЕМ

(05.03.05 Технология и машины обработки металлов
давлением)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшем техническом училище
имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Никитин Г. С.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Королев А. А.,
кандидат технических наук Гришков А. И.

Ведущее предприятие: Электростальский завод тяжелого
машиностроения.

Автореферат разослан « . . . » 1973 г.

За 1973 г.
на за ация и механизаци
ция Ленина и ордена
Труд ческого училища
имен 005, 2-я Бауман-
ская

Е енные печатью,
прос
С библиотеке учи-
лищ

У
к О. А. Степанов.

М194645

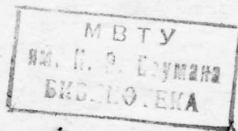
В соответствии с программой, принятой на XXIV съезде партии, в IX пятилетке предстоит произвести 142-150 млн. т стали и 101-105 млн. т проката и при этом значительно увеличить производство сортового металла.

В сортаменте мелкосортного производства высокоразвитых стран в последние годы происходит увеличение удельного веса качественных сталей и сплавов до 50-80%, но основным оборудованием для их производства остается линейный стан. Применение непрерывных станов для получения небольших партий широкого сортамента труднодеформируемых сплавов оказывается малоэффективным (большие капитальные затраты, малая загрузка, трудности выдержки необходимой температуры и перехода на другой сортament и т.д.). В таких случаях целесообразным будет использование планетарных станов конструкции Целикова-Носаля, которые имеют целый ряд достоинств: высокая вытяжка в одной клетке, компактность оборудования, возможность быстрого перехода на другой сортament; небольшое уширение металла от обжатия вальками малого диаметра; благоприятная схема деформации, исключающая возникновение растягивающих напряжений на большей части зоны обжатия, что позволяет проводить деформацию целого ряда малопластичных сплавов в предварительно деформированном и литом состоянии; значительный разогрев металла, обеспечивающий прокатку труднодеформируемых сплавов в узком температурном интервале и сокращающий затраты на нагрев заготовок и т.д.

Кроме того, малые скорости входа заготовки в планетарную клетку делают такие станы пригодными для совмещения их с агрегатами непрерывного литья, получившими широкое распространение в последние годы.

Листовые планетарные станы, применяемые на ряде зарубежных заводов, могут прокатывать только полосовой металл. Только в СССР во ВНИИМЕТМаше были впервые созданы и в настоящее время успешно эксплуатируются планетарные станы оригинальной конструкции А.И.Целикова и В.В. Носаля, предназначенные для получения сорта и труб.

Большой вклад в разработку теории планетарной прокатки внесли А.И. Целиков, В.В. Носаль, А.А. Королев, В.И. Ритман, В.И. Соколовский, К.Н. Товини, О.П. Соловьев, В.Д. Мерзляков и др.. Однако, несмотря на успехи, достигнутые в этой области, ряд вопросов остается еще недостаточно изученным.



Настоящая работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию процесса прокатки с четырехсторонним обжатием заготовки на планетарном стане.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование основных технологических и энергосиловых параметров процесса планетарной прокатки труднодеформируемых и углеродистых сталей и сплавов проводилась на стане "40". Стан, состоящий из планетарной клетки и расположенной перед нею подающей клетью, может прокатывать заготовку с общей вытяжкой за проход, равной 40. За планетарной клетью установлена 3-х клетьевая непрерывная группа с диаметром валков 155-165 мм.

Обжатие металла в планетарной клетке осуществляется с четырех сторон, то есть по высоте и ширине сечения. Клеть имеет два комплекта опорных и рабочих валков диаметром 595 мм и 85 мм, расположенных во взаимно-перпендикулярных плоскостях. Сепараторы рабочих валков связаны между собой зубчатой передачей, обеспечивающей попеременное прохождение горизонтальных и вертикальных валков по прокатываемому металлу. Заготовка ромбического сечения поступает в подающую клетку, где осуществляется обжатие на 10-15%, а затем полоса квадратного сечения $38,5 \times 38,5$ мм/ задается на "ребро" в планетарную клетку. Выходящая из клетки полоса сечением Φ 8,5 мм прокатывается в непрерывной группе и катанка Φ 8 мм сматывается в бунты весом до 200 кг.

В соответствии с целями работы была разработана методика комплексного исследования всех основных энергосиловых параметров и замерены: вертикальная составляющая усилия прокатки, тангенциальное усилие на сепараторе, усилие подачи, моменты на валу привода сепараторов и опорных валков, ток главного двигателя, усилие и моменты подающей клетки, усилия в I и III клетях непрерывно группы, температура металла в печи, до и после планетарной клетки, а также непосредственно в зоне обжатий планетарной и подающей клеток. Кроме того, были проведены замеры контактных давлений металла на рабочий валок планетарного стана.

Во время исследований были прокатаны заготовки из сталей и сплавов 35Л, 50Л, 0Х27Ю5А, Х20Н80, 50Н и др., полученные с УНРС ВНИИМТМаша и завода "Электросталь", а также предварительно деформированные из стали Р18М и сплава Х20Н80.

Исходное сечение полосы - Φ 40 мм, конечное - Φ 8,5 мм и Φ 12,0 мм. Прокатка в планетарной клетке осуществлялась при скорости вращения сепараторов $n_c = 100-150-200$ об/мин, подаче $S = 1-4$ мм/вал и скорости подачи $V_n = 1-4$ м/мин. Замеры контактных давлений проводились при $n_c = 50$ об/мин и $S = 3$ мм/вал. Нагрев заготовок до температуры $900-1300^\circ\text{C}$ производился в селитровой печи.

Вертикальная составляющая усилия прокатки замерялась с помощью специальных месдоз-подшипников, установленных в верхнем (постоянно) и нижнем узле сепараторов, а также тензодатчиков, наклеенных на стяжные шпильки. Усилие подачи замерялось тензодатчиками, наклеенными на балку, установленную между планетарной и подающей клетями, тангенциальное усилие на сепараторе - на наружные поверхности опор рабочего вала в сепараторе. Тарировка усилий осуществлялась непосредственно на стане с помощью специальных гидроцилиндров, крутящих моментов - с помощью контрольного динамометра и кранбалки.

Температура металла во время прокатки замерялась с помощью фотоэлектрических и оптических пирометров и непосредственно в зоне обжатия с помощью хромель-алюмелевых термопар, смонтированных в заготовки из стали 35Л. Были проведены также замеры температуры при прокатке алюминия в холодном состоянии с помощью термокарандашей.

В качестве регистрирующей аппаратуры использовались осциллографы МПО-2 и Н-700 и усилители 8АН4-7М; замеры температуры в очаге деформации проводились по безусилительной схеме.

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПРОКАТАННОГО МЕТАЛЛА

В связи с особенностями пластической деформации труднодеформируемых сплавов и сталей вопросам исследования качества металла на различных стадиях обработки было уделено большое внимание.

Исследование качества металла проводилось на продольных и поперечных макротемплетах, отобранных по ходу прокатки, отструктура изучалась с помощью микрошлифов. Оценка глубины обезуглероживания осуществлялась на микроскопе МИМ-6.

Исследования качества предварительно деформированных марок Х20Н80 и Р18М показали, что макроструктура исходной заготовки, промежуточных сечений и прутка плотная, дефектов нет. Дальнейший передел (волочение сплава Х20Н80 до Φ 0,5 мм и стали Р18 до Φ 5,5 мм) прошел без трудностей по заводской технологии. Исследования механических и физических свойств полученной проволоки по-

казачи, что она полностью удовлетворяет требования ГОСТа.

Исследования макроструктуры металла из литых заготовок показали, что несплошности, обусловленные процессом кристаллизации, после деформации на планетарном стане завариваются и качество готового проката определяется качеством исходной литой заготовки.

Исследованиями установлено также, что при производстве продукции на установке непрерывной разливки, совмещенной с планетарным станом, значительно сокращаются потери на угар металла. При обычной схеме производства катанки из стали П18 приходится производить, как минимум, трехкратный нагрев металла. Угар его за каждый нагрев составляет около 3-4%; таким образом, при полном цикле производства потеря металла на угар составляют примерно 80 кг/т. При производстве по новому технологическому процессу эти потери металла существенно сокращаются и выход годного увеличивается на 7-10%, что позволяет сэкономить 100-200 руб на тонну готовой продукции (в зависимости от марки стали).

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И МОМЕНТОВ ПРИ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРОКАТКЕ НА СТАНЕ С ЧЕТЫРЕХСТОРОННИМ ОБЖАТИЕМ

Одной из характерных особенностей планетарной прокатки является повторно-периодический характер усилий и наличие динамических нагрузок. В данной работе предлагается методика расчета усилий и моментов.

Величина контактной площади при планетарной прокатке зависит от размеров рабочих и опорных валков, подачи металла на валки, размеров сечения прокатываемой полосы и способа ее задачи в валки планетарной клетки. При прокатке на стане с четырехсторонним обжатием длина и ширина площади контакта величины переменные, зависящие от положения валка в зоне обжатий ($F_x = \nu_x \cdot l_x$).

Ширина мгновенного очага деформации ν_x , если пренебречь величиной уширения, может быть определена аналитически для трех участков зоны обжатий, образованных пересечением орбит сепараторов с поверхностями заготовки.

$$\nu_{x1} = 2\sqrt{\left[\frac{H-h}{2} - R(1-\cos\varphi_k)\right]\left[2R_{сxp} - \frac{H-h}{2} + R(1-\cos\varphi_k)\right]}, \quad (1)$$

$$\nu_{x2} = H-h + 0,82R_{сxp} - 2R(1-\cos\varphi_k), \quad (2)$$

$$\nu_{x3} = h + 2R(1-\cos\varphi_k), \quad (3)$$

где H и h - начальная и конечная высота полосы, R , $R_{оп}$ и $R_{сxp}$ - радиусы орбиты, опорного и рабочего валков ($R = R_{оп} + 22$),

$A_{схр}$ - радиус скругления заготовки, ψ_x - угол, определяющий положение вала на зоне обжатий.

Методика определения параметров очага деформации при планетарной прокатке листа разработана А.И.Целиковым и Р.И. Ритманом, а для случая прокатки на стане с четырехсторонним обжатием с подачей заготовки "на плоскость" В.Д.Мерзляковым.

В предлагаемой методике для случая подачи заготовки "на ребро" (как на практике и ведется прокатка) зона обжатий разбивается на три участка, для каждого из которых на основе общих принципов периодической прокатки получены выражения для определения полного смещения исходного контура (ΔX) и величины обжатия (Δh)

$$\Delta X_I = \frac{8a - b_x}{8a - 2b_x} S, \quad (4)$$

$$\Delta X_{II} = \frac{8a^2}{b_x^2} S, \quad (5)$$

$$\Delta h_{III} = \frac{b_k - b_x}{2} + \frac{2B \cdot \sin(\psi_k + \beta_k) + b_k^2(b_k - b_x)}{2b_k^2 \cdot b_x} \cdot S \cdot B^2 [\lg(\psi_k + \beta_k) - \frac{b_k^2}{2B^2}], \quad (6)$$

$$\sin(\psi_k + \beta_k) \approx \lg(\psi_k + \beta_k) = \frac{2 + \Delta X_k}{X},$$

$$\Delta h = \Delta X \cdot \sin \psi_k,$$

$$c = \sqrt{2 \Delta h \cdot c},$$

$$B = a \cdot c \cdot \sin \frac{\Delta \psi_k}{2}$$

где S - подача на пару горизонтальных и пару вертикальных валков, H - начальная (по диагонали) высота заготовки ($H = 4a$), B - сторона заготовки ($B = \frac{H}{\sqrt{2}}$), b_k - критическая ширина, соответствующая сечению, в котором смещение исходного контура достигает диаметральной плоскости, β_k - угол, определяющий положение задней границы смещаемого объема на III участке зоны обжатий.

Величина полного смещения на II участке зоны обжатий (прокатка "на плоскость") подсчитывалась по формуле (5), предложенной В.Д.Мерзляковым.

В соответствии с положениями современной теории прокатки величина среднего удельного давления подсчитывается по формуле:

$$P_{ср} = \gamma \cdot \pi \beta \cdot \pi \beta \cdot \pi \beta \cdot \pi \beta \cdot \Delta \varphi.$$

Поскольку прокатка на планетарном стане с 4-х сторонним обжатием может рассматриваться как случай объемной деформации, когда имеются благоприятные условия для деформации в ширину и можно принять, что $\beta_2 = \beta_3$, и $\gamma = 1,0$.

На большей части зоны обжатий $e/H_{ср} = 1$, поэтому влиянием внешнего трения можно пренебречь (возможность этого допущения доказана экспериментально), а учитывать влияние внешних зон.

Влияние чередующегося подпора и натяжения, сопровождающего деформацию на планетарном стане, как показали расчеты, невелико.

Кроме того, для первого участка зоны обжатий характерно наличие боковых необжимаемых объемов, влияние которых учитывается коэффициентом влияния боковых внешних зон $\Pi_{\text{бв}}$.

Расчеты показали, что коэффициент $\Pi_{\text{в}}$, учитывающий влияние ширины полосы, изменяется в пределах 0,87–0,99.

В общем случае можно считать, что

$$\rho_{\text{ср}} = \Pi_{\text{в}}'' \cdot \Pi_{\text{бв}}'' \cdot \Pi_{\text{в}}''' \cdot \varepsilon_{\text{ср}} \quad (7)$$

Для определения сопротивления деформации $\varepsilon_{\text{ср}}$ необходимо знать величину и характер изменения температуры металла вдоль зоны обжатий. В представленной работе приращение температуры на поверхности полосы принимается пропорциональным величине текущей вытяжки K_{λ} , а следовательно, работе деформации

$$T_{\lambda} = T_0 + K_{\lambda} \cdot \frac{\Delta T}{\lambda}, \quad (8)$$

где T_{λ} и T_0 – температура в произвольном и начальном сечениях полосы, ΔT – общее приращение температуры, λ – общая вытяжка (ΔT и T_0 ввиду сложности их точного аналитического определения были взяты из экспериментов).

В соответствии с приведенной методикой был проведен расчет нормальных контактных напряжений $\rho_{\text{ср}}$ и усилий прокатки $P_{\text{в}}$ применительно к деформации на планетарном стане "40" (таблица I). Сравнение расчетных и экспериментальных данных $\rho_{\text{ср}}$ показало их хорошую сходимость, разница на большей части зоны обжатий не превышает 15%. Значения усилий, подсчитанные аналитически, как по характеру распределения, так и по абсолютной величине близки к замеренным. При $\Pi_{\text{с}} = 50$ об/мин разница экспериментальных и расчетных значений усилия составила менее 10%. С увеличением скорости вращения сепараторов при прочих равных условиях характер и величина изменения усилия вдоль зоны обжатия меняется и возрастает разница максимальных расчетных и экспериментальных значений усилий. Эта разница объясняется динамическим приложением нагрузки и колебаниями, возникающими в системе. В связи с трудностями учета этих факторов введем понятие коэффициента динамичности – $K_{\text{д}}$

$$K_{\text{д}} = \frac{P_{\text{в макс}}}{P_{\text{в макс р}}} \quad (9)$$

где $P_{\text{в макс}}$ – максимальное экспериментальное значение усилия;

Таблица I

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ
И УСИЛИЙ ПРИ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРОКАТКЕ

№ п/п	ГРЕБЕНЬ ДЕФОРМАЦИИ				УСЛОВНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ РАБОЧЕГО ВАЛКА НА ЗОНЕ ОБЖАТИЯ										Р _с , %	
	скорость пола- т-ра	сепара- тор	валки	Давле- ние н/н	18	16	14	12,7	10	8	6	4	2	0		
	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм		
1.	50	3,0	1280	Р _{ср} х, кг/мм ²	-	26,4	25,5	22,6	18,5	15,0	13,6	13,2	12,7	11,5		
2.	"	"	"	Р _{ср} р, " "	29,7	27,8	25,5	21,3	20,4	19,2	18,2	16,7	14,2	12,2		
3.	100	1,5	12,80	Р _{ср} х, " "	-	-	26,2	23,0	20,5	18,0	15,5	13,5	12,0	9,95		
	"	"	"	Р _{ср} р, кг/мм ²	34,0	31,3	28,8	24,65	23,0	22,0	20,5	18,5	15,8	12,7		
4.	50	3,0	1280	Р _{ср} х, т	2,9	4,7	5,7	5,65	4,5	3,7	3,0	2,1	1,4	0,4		
	"	"	"	Р _{ср} р, " "	2,35	4,2	5,6	5,9	5,0	4,3	3,5	2,6	1,7	1,2		
4.	100	1,5	1280	Р _{ср} х, " "	7,2	4,3	5,18	4,6	2,5	2,7	1,9	1,8	1,1	0,3		
	"	"	"	Р _{ср} р, " "	1,9	3,3	4,47	4,95	4,1	3,5	2,8	2,0	1,4	0,82		
5.	100	1,5	1230	Р _{ср} х, " "	9,7	6,85	7,9	8,35	4,25	4,65	3,9	2,75	1,55	0,4		
	"	"	"	Р _{ср} р, " "	2,51	4,75	6,3	7,02	5,91	5,11	4,15	3,0	2,19	1,4		
6.	150	1,5	1230	Р _{ср} х, " "	6,0	15,0	9,3	5,5	4,7	4,9	3,85	2,7	1,5	0,4		
	"	"	"	Р _{ср} р, " "	2,68	4,85	6,59	7,36	6,3	5,51	4,31	3,18	2,25	1,5		
7.	200	1,5	1230	Р _{ср} х, " "	5,5	14,5	14,0	10,35	3,1	2,0	3,9	4,0	2,2	0,5		
8.	"	"	"	Р _{ср} р, т	2,85	5,1	6,85	7,78	6,5	6,5	6,5	3,42	2,36	1,56		

$P_{\text{макр}}$ - максимальное расчетное значение усилия.

Величина коэффициента K_3 зависит от скорости вращения сепараторов и колеблется в пределах от 1 до 2,5.

Полученные данные о влиянии на величину коэффициента динамичности перекрытия валков (угла зоны обжатия, на котором деформация металла осуществляется двумя парами рабочих валков) согласуются с результатами исследований В.И. Соколовского и Т.Б. Сатовской.

Для случая планетарной прокатки, когда динамической составляющей энергии можно пренебречь, мощность, расходуемая на прокатку и преодоление дополнительных сил трения, определится:

$$N_{\text{пр}} + N_{\text{тр}} = N_{\text{дб}} - N_{\text{лх}} \quad (\text{IО})$$

где $N_{\text{дб}}$, $N_{\text{пр}}$, $N_{\text{тр}}$ и $N_{\text{лх}}$ - мощность двигателя, прокатки, сил трения и холостого хода, квт.

По определению удельного расхода энергии имеем

$$Q = \frac{N_{\text{пр}} + N_{\text{тр}}}{G} \cdot t \quad (\text{II})$$

где G - вес прокатанного металла, t - время прохода.

После подстановки в выражение (II) входящих в него величин получим для случая прокатки стали

$$Q = 214 \cdot \frac{N_{\text{дб}} - N_{\text{лх}}}{F_0 \cdot V_n} \quad \text{квт. час/т} \quad (\text{II})$$

где F_0 - сечение подаваемой полосы, см^2 ; V_n - скорость подачи, м/мин.

Наиболее надежным способом определения средних моментов при планетарной прокатке будет их расчет по удельному расходу энергии. Необходимый для вращения момент равен

$$M_{\text{вр}} = 456 \cdot Q \cdot F_0 \cdot S \cdot \frac{360}{\varphi_0 + \varphi_k + \varphi_{\text{пер}}}, \quad \text{кгм} \quad (\text{I2})$$

где S - подача на валки, м; φ_0 , φ_k и $\varphi_{\text{пер}}$ - углы встречи, выхода рабочих валков и перекрытия, $^\circ$.

Момент вращения идет на полезную работу деформации и преодоление дополнительных сил трения. Расчеты показали, что для стана "40" потери на трение составляют 35% и тогда удельный расход энергии, идущей на пластическую деформацию, равен $a_{\text{пр}} = 0,65 \cdot a$.

Зная $a_{\text{пр}}$ по формуле Е.С. Рокотяна можно определить среднее по зоне обжатия контактное давление

$$p_{\text{ср}} = 0,367 \sqrt{\frac{a_{\text{пр}}}{\epsilon \pi L}}$$

Разница расчетных и экспериментальных значений $p_{\text{ср}}$ составила менее 10%.

При проведении исследований установлено влияние неравномерного износа рабочих валков на усилия прокатки. Разница диаметров в 0,5-0,7% от номинального диаметра валка приводит к увеличению усилий прокатки на 100%.

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Анализом осциллограмм установлено, что в связи с динамическим характером приложения нагрузки в момент встречи рабочих валков с металлом происходит переход кинетической энергии сепараторов в работу пластической деформации и потенциальную энергию упругих звеньев клетки и привода. Переходные процессы, происходящие при этом определяют величину и характер изменения усилий и моментов. Типовые осциллограммы изменения усилия прокатки показали наличие двух характерных "пиков" нагрузки. Первый "пик" определяется динамикой процесса, второй — соответствует максимальной площади контакта валков с металлом. Выявлено влияние протяженности зоны обжатия и режимов деформации на величину и характер изменения P_A .

В результате обработки полученных данных построены зависимости $P_A = f(n, S, V_n \text{ и } \epsilon_{\phi})$ для различных марок сталей и сплавов. Анализ показал, что экспериментальные кривые изменения усилия прокатки в зависимости от положения рабочего валка в зоне обжатия и скорости вращения сепараторов хорошо согласуются с расчетными, причем максимальные значения усилия прокатки для целого ряда сплавов прямо пропорциональны скорости вращения сепараторов. $P_{B \max}$ возрастает также с увеличением подачи и сопротивления деформации прокатываемого металла.

Величина и характер изменения усилия подачи P_n определяется в основном изменением горизонтальной составляющей усилия прокатки и зависит от тех же параметров, что и P_B ; максимальное значение $P_{n \max}$ составило $\pm 0,3 \cdot P_{B \max}$.

Замеры контактных давлений с помощью штифтовой мессдозы позволили установить величину и характер изменения $p_{уд}$ и длины дуги контакта ℓ в зависимости от углового положения рабочего валка.

Тангенциальное усилие на сепараторе P_c , действующее на подшипники рабочих валков и их опоры в сепараторах, составляло (8–12%) P_B .

Средние значения момента привода сепараторов ($M_{ср}$) возрастают с увеличением подачи, общей вытяжки, сопротивления деформации и практически не зависят от скорости вращения сепараторов. Величина момента привода опорных валков составляла 9–12% от момента привода сепараторов.

Характер изменения тока $I_{дв}$, а следовательно, и мощности двигателей постоянного тока такой же, что и $M_{ср}$, поскольку эти два параметра определяются работой деформации.

Замеры температуры с помощью термопар и термокарандашей показали, что при горячей прокатке углеродистой стали разогрев на поверхности составил $120-180^{\circ}\text{C}$, в центре полосы - 50°C , а при холодной прокатке алюминия - 400°C .

Исследованиями по прокатке рабочими валками, имеющими шлифованную и насеченную бочку, установлено, что усилие прокатки практически не зависит от состояния поверхности рабочих валков (это подтверждает, что $\mu_s = 1$).

Определение истинной ширины зоны обжатия стана "40" проводилось по недокатам образцов и по отпечаткам зоны обжатия на новых валках при горячей прокатке стали. Эксперименты показали, что значения максимальной ширины на 7-11% больше подчитанных аналитически.

Особенностью работы подающей клетки планетарного стана с четырехсторонним обжатием является то, что горизонтальная составляющая усилия прокатки возникает попеременно, то в вертикальной, то в горизонтальной плоскости. Исследования позволили выявить увеличение на 20-50% средних и на 40-100% максимальных значений усилий и моментов в период совместной работы планетарной и подающей клеток; частота и амплитуда колебаний при этом определялась режимами деформации планетарной клетки. Величина усилий и моментов возрастала также с увеличением подачи заготовки, подачи на валки и скорости вращения сепараторов.

Экспериментами по осадке и продольной прокатке образцов различной формы из свинца, алюминия, меди и стали установлено влияние боковых внешних зон на сопротивление деформации, в связи с чем при расчете контактных давлений на первом участке зоны обжатия коэффициент, учитывающий влияние внешних зон, должен быть увеличен на 20-30%.

В результате проведенных исследований определены оптимальные режимы деформации исходя из максимально-возможной производительности и качества готового проката, при минимальной затрате энергии и допустимых нагрузках: $n = 150-200$ об/мин, $S = 1,5-2$ мм/вал, $V_n = 3-4$ м/мин и температуре металла на выходе из подающей клетки $1000-1100^{\circ}\text{C}$ для сплава Х20Н80, 1000°C - для стали Р18М и сплава ОХ2705А, $900-1000^{\circ}\text{C}$ - стали 35Л.

Расчет экономической эффективности от внедрения агрегата непрерывной разливки (радиального типа) с планетарным станом, пред-

назначенным для производства сортового проката из сплавов X20H80 и 0X27W5A показал, что эффект достигается за счет снижения затрат по переделу, уменьшения расходных коэффициентов по шихте и устранения угара на промежуточных переделах. При производительности агрегата 5000 т/год при любом сортаменте экономический эффект будет составлять 3,5-4 млн. рублей (капитальные затраты на строительство агрегата 2 млн. руб). Кроме того, улучшится качество готового проката в связи с увеличением выхода годного, а следовательно, и доли свежих материалов в шихте; производительность труда возрастает в 1,5-2,5 раза; значительно улучшатся условия труда и культура производства.

ВЫВОДЫ

1. На опытно-промышленном агрегате с планетарным станом "40" производящем обжиг в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, получена катанка из предварительно деформированных и отлитых на установках непрерывной разливки стали (УНРС) заготовок сталей 35Л, 50Л, П18М и сплавов X20H80, 0X27W5A и 50Н.

2. Исследование качества прокатанных сталей и сплавов и определение их прочностных и физических свойств показало, что катанка полностью удовлетворяет требованиям ГОСТа, а ее качество определяется в основном качеством исходной заготовки.

3. По разработанной методике комплексного исследования были замерены все основные энергосиловые параметры процесса и определены оптимальные режимы деформации для ряда марок сталей и сплавов.

4. На основании теоретического анализа процесса планетарной прокатки заготовки, подаваемой "на ребро", предложена уточненная инженерная методика расчета усилий и моментов с учетом динамики.

5. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили правильность основных положений предложенной методики расчета параметров процесса.

6. Впервые экспериментально установлен характер изменения контактного давления и длины дуги контакта в мгновенном очаге деформации в зависимости от углового положения рабочего вала в зоне обжатия.

7. Замеры температуры металла непосредственно в зоне обжатия планетарной клетки показали, что разогрев на поверхности полос достигают в зависимости от режимов деформации 130-180°C, а в центральных слоях - 50°C.

Проведение эксперименты позволили более обоснованно подойти к выбору оптимальных режимов деформации, а также к расчету энергосиловых параметров при прокатке на станах такого типа.

8. Показано, что разница диаметров рабочих валков до 5-7%, возникающая вследствие неравномерного износа, приводит к удвоению усилий на валки.

9. Выявлено влияние боковых внешних зон на усилия при прокатке и осадке, в связи с чем при расчете контактных давлений на первом участке зоны обжатия для случая деформации заготовки, подаваемой "на ребро", коэффициент, учитывающий влияние внешних зон, должен быть увеличен на 20-30%.

10. Исследования подающей клетки планетарного стана позволили выявить увеличение на 20-50% средних значений усилий и моментов в период ее совместной работы с планетарной клетью. Величина нагрузок возрастала с увеличением скорости подачи заготовки, подачи на валки и скорости вращения сепараторов.

11. Результаты проведенной работы были использованы при разработке конструкции промышленного планетарного стана "100".

12. Расчет экономической эффективности убедительно доказывает целесообразность применения технологического процесса непрерывной разливки - прокатки с использованием планетарного стана четырехстороннего обжатия для производства катанки из прецезионных сплавов и сталей. Агрегат производительностью пять тысяч тонн в год катанки из сплавов X20H80 и OK2705A даст экономию в размере 3500 тыс. рублей.

Диссертационная работа содержит 101 страницу текста, 84 рисунка, 25 таблиц. Список цитированной литературы включает 66 наименований.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Никитин Г.С., Капустин В.А. "Прокатки труднодеформируемых сплавов на планетарном стане с 4-х сторонним обжатием. Тезисы докладов 3-ей Всесоюзной научно-технической конференции "Научные основы технологии и прогрессивные технологические процессы в машино- и приборостроении", Москва, 1970.

2. Никитин Г.С., Жучин В.Н., Капустин В.А., Евстропов Г.М., Цветков А.Б. Прокатка труднодеформируемых сталей и сплавов на

планетарном стане. Сталь, № 2, 1971.

3. Лучин В.Н., Никитин Г.С., Капустин В.А., Евсегонов Г.М., Муравлев А.И. Определение контактных напряжений при прокатке на сортовом планетарном стане. Известия ВУЗов, Машиностроение, № 7, 1971.

4. Никитин Г.С., Капустин В.А. Влияние боковых внешних зон на сопротивление деформации. Известия ВУЗов, Машиностроение, № 5, 1972.