

10. **Mathematical Model of Dynamic Recrystallization** / A.V.Kaptsan, Yu.N.Gornostyrev, V.N.Urtsev, V.I.Levit // The 8-th Int. Congr. Heat Treat. Mater. «Heat and Surface '92». — Tokyo, 1992. — P. 77–80.

11. **Adebanjo Richardson O., Viller Alan K.** Modelling the Effects of Recrystallization on the Flow Behavior During Hot Deformation by Modifying an Existing Constitutive Model // Vfter. Sci. And Eng. A, 1989. — V. 119. — P. 87–101.

12. **Karhausen Kai, Kopp Reiner.** Model for Integrated Process and Microstructure Simulation in Hot Forming // Steel Res, 1992. — 63. — № 6. — P. 247–256.

© Горбатенко В.П., Горбатенко В.В., Лейрих И.В., 2001

РУДЕНКО Е.А. (ДОНГТУ)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕДУЦИРОВАНИЯ СЛЯБОВ В КАЛИБРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКАХ

*В статье приведены результаты экспериментального исследования на лабораторном стане деформационных и силовых параметров процесса редуцирования слябов по ширине. Получены математические зависимости для определения предельного обжатия по ширине по устойчивости сляба от поперечного изгиба, среднего давления прокатки и коэффициента плеча момента прокатки.*

Современной тенденцией развития широкополосных станов горячей прокатки (ШСП) является установка в начале черновой группы клетей редуцирующих агрегатов — мощных реверсивных вертикальных или универсальных клетей с калиброванными вертикальными валками (ВВ).

Технология редуцирования слябов по ширине позволяет значительно повысить эффективность работы машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) в технологическом комплексе МНЛЗ-ШСП. Сокращение позиций размерного ряда слябов по ширине увеличивает производительность и уменьшает расходы по переделу МНЛЗ, а также является предпосылкой создания толстослябового литейно-прокатного модуля, основанного на использовании прямой прокатки непрерывнолитых слябов с незначительным их подогревом и термостатированием [1, 2]. В этой связи, для проектирования редуцирующих клетей необходимо иметь надежные данные по предельным обжатиям по ширине в калиброванных ВВ и соответствующим им силовым параметрам.

Исследования силовых и геометрических параметров редуцирования слябов в ящичных калибрах ВВ редуцирующих клетей выполнили путем физического моделирования на лабораторном стане 340. Моделировали обжатие слябов толщиной 315, 250 и 190 мм, шириной 1200, 1600, 2000 и 2400 мм в ящичных калибрах ВВ с катающим диаметром 1600 мм. В качестве моделирующего материала выбрана сталь Ст.3. Масштаб моделирования 1:16,5.

Из условия геометрического подобия процесса прокатки с учетом масштаба моделирования приняли: диаметр валков по бурту  $D_в = 120$  мм; катающий диаметр (по дну калибра)  $D_{вк} = 85$  мм; толщину образцов 19,1; 15,2 и 11,5 мм; ширину посередине их длины 72,7; 97; 121,2 и 145,5 мм; длину 400 мм. Образцы были изготовлены с переменной шириной по длине с разницей ширин на концах в 12 мм.

Прокатку образцов выполнили в трех ящичных калибрах. Для обеспечения прокатки без защемления ширину калибров по дну приняли равными толщине образцов. Форма ящичных калибров показана на рис.1, а значения их размеров и параметров в таблице. Калибры характеризуются следующими параметрами [3]:  $k = 2b_p/B$ ;  $n = 2b_p/h_d$ ;  $\delta_1 = tg\alpha_1 = (h_n - h_d)/2b_1$ ;  $\delta_2 = tg\alpha_2 = (h_p - h_d)/2b_2$  (где  $k$  — коэффициент глубины;  $n$  — коэффициент формы;  $h_d$ ,  $h_n$ ,  $h_p$  — ширина у дна, в пережиме и у разъема;  $b_p$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  — полная

глубина калибра и частей с разными выпусками;  $\delta_1, \delta_2$  — коэффициенты выпуска у дна и у разъема;  $\alpha_1, \alpha_2$  — углы выпуска у дна и у разъема).

Таблица — Значения размеров и параметров калибров (натура)

N	$h_p$ , мм	$h_{\partial}$ , мм	$h_m$ , мм	$b_1$ , мм	$b_2$ , мм	$b_p$ , мм	$\alpha_1$ , гр	$\alpha_2$ , гр	$k$	$n$	$\delta_1$	$\delta_2$
1	380	315	350	250	50	300	4	17	0,6–0,25	1,9	0,07	0,305
2	307	250	276	250	50	300	3	17	0,6–0,25	2,4	0,05	0,305
3	238	190	208	250	50	300	2	17	0,6–0,25	3,2	0,04	0,305

Образцы нагревали до 1100–1150°C и прокатывали с переменным обжатием по ширине со скоростью 0,04–0,05 м/с. Обжатие на переднем конце раскатов устанавливали из условия достижения критического значения (по устойчивости от поперечного изгиба) на участке заднего конца. В процессе прокатки осциллографировали по длине образцов силу прокатки, крутящие моменты на обоих шпинделях, температуру с использованием тензостанции «Топаз-3-01», светолучевого осциллографа «Н-145» и пирометра «ОПИР-С».

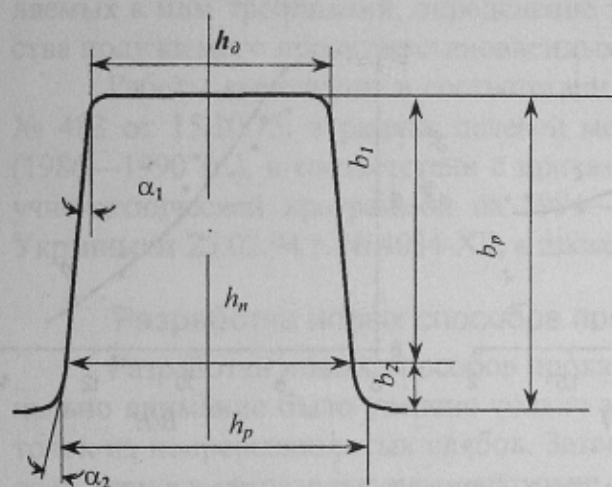


Рис. 1. Размеры редуцирующего калибра

В связи с изменением температуры по длине образцов во время прокатки, значения силовых параметров по длине привели к температуре 1150°C. Натурные значения силы и момента прокатки определяли пересчетом [4].

Ограниченный крутящий момент электродвигателя привода валков не позволил достичь критических обжатий по поперечному изгибу при прокатке образцов толщиной 19,1 мм (натура 315 мм) всех ширин и 15,2 мм (250 мм) шириной 72,5 и 97 мм (1200 и 1400 мм). При моменте прокатки более 3,5 МНм (натура) и обжатии 150–200 мм (натура) валки останавливались.

По измеренным силам  $P_{\partial}$  и моментам прокатки  $M_{\partial}$  в каждом условном сечении по длине образцов рассчитывали средние давления  $p_{\partial cp}$  и коэффициенты приложения равнодействующей силы прокатки  $\psi_{\partial}$ .

Результаты моделирования силовых условий прокатки в калиброванных ВВ, приведенные к натурным значениям, показаны на рис. 2.

Как видно из рис. 2 а, б, максимальные значения усилия 7,5–8,5 МН и момента — 3,4–3,5 МН зафиксированы при прокатке слябов (раскатов) толщиной 315–250 мм с обжатием 150–200 мм. Для условий деформации слябов толщиной 190 мм предельные нагрузки, отвечающие критическим (по устойчивости от поперечного изгиба) обжатиям составляют: сила прокатки 5,2–6,5 МН; момент прокатки 2,3–2,5 МНм.

Регрессионный анализ экспериментальных данных показал, что теснота связи силы, момента и среднего давления прокатки с критерием  $l_{\partial \partial} / H$  (где  $l_{\partial \partial}$  — длина очага деформации) сильнее, чем с принятым для листовой прокатки отношением  $l_{\partial \partial} / B$ . Кривые на рис. 2 г, д аппроксимируются следующими зависимостями:

$$p_{\partial cp} = 65(l_{\partial \partial} / H)^{0,45}; \quad (1)$$

$$\psi_{\partial} = 0,59(l_{\partial \partial} / H)^{-0,35}. \quad (2)$$

Установлено, что при  $B/H > 8$  и относительном обжатии  $\varepsilon > 7\%$  сляб (раскат) теряет устойчивость, изгибаясь в поперечном направлении. Причем, с увеличением  $B/H$  величина критического обжатия  $\varepsilon_{кр}$  уменьшается. Так, при прокатке слябов толщиной 190 мм с увеличением ширины от 1600 до 2400 мм критическое обжатие уменьшилось с 192 мм до 175 мм. Для слябов толщиной более 250 мм критическое обжатие превышает 200 мм.

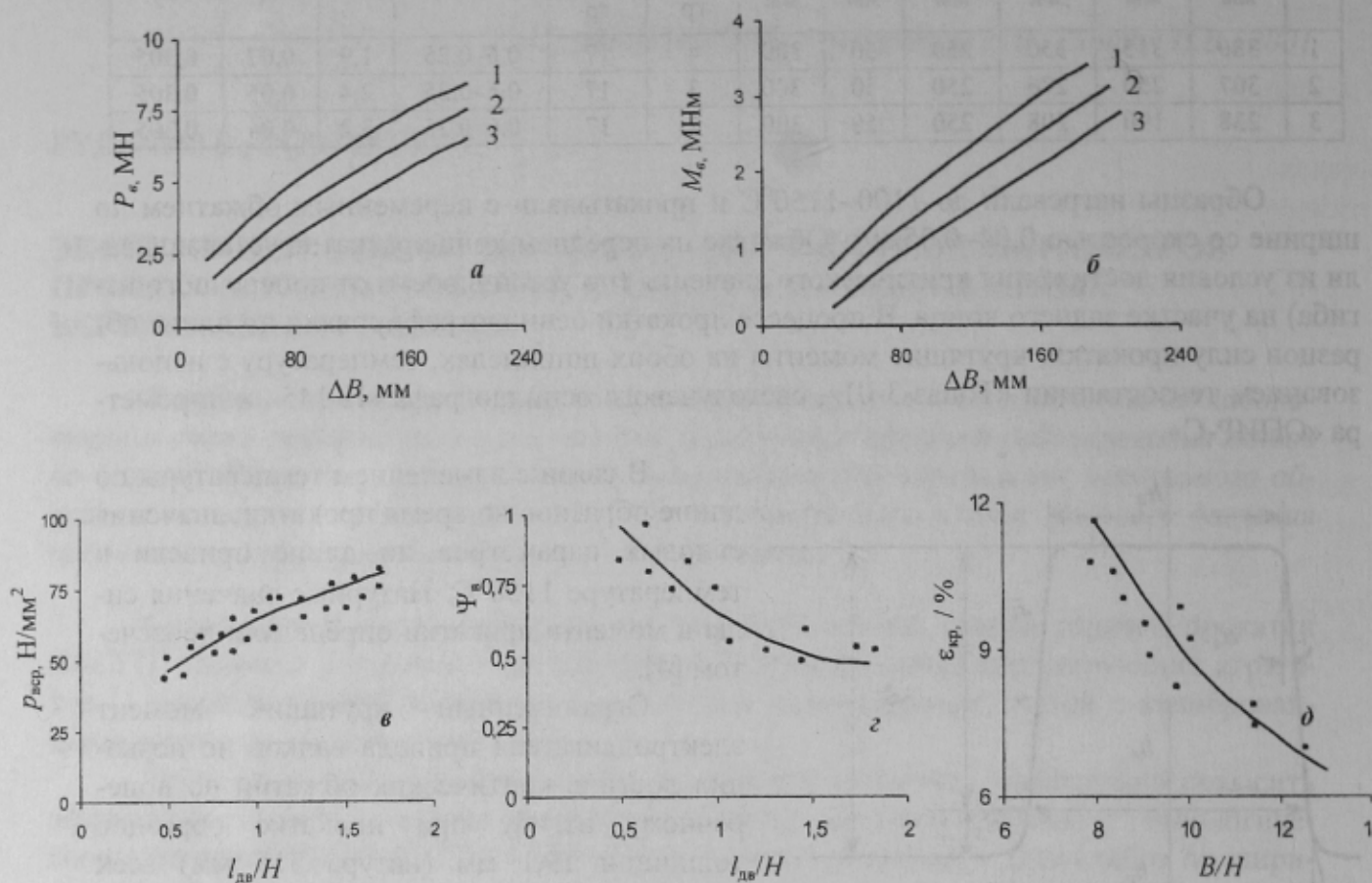


Рис. 2. Силовые параметры редуцирования: 1 —  $B/H=3,8-7,6$ ; 2 —  $B/H=4,8-9,6$ ; 3 —  $B/H=6,3-12,6$

Графическую зависимость критической степени относительной деформации  $\varepsilon_{кр}$  от отношения  $B/H$  (рис. 2 д) можно описать выражением:

$$\varepsilon_{кр} = 1,4(B/H)^{-1,19}. \quad (3)$$

В результате выполненных исследований установлены предельные обжатия по устойчивости от поперечного изгиба при редуцировании слябов в калиброванных вертикальных валках и соответствующие им сила и момент прокатки. Получены зависимости для определения среднего давления и коэффициента плеча равнодействующей силы прокатки, которые могут быть использованы при разработке режимов редуцирования и параметров редуцирующих агрегатов.

### Список литературы

1. Коновалов Ю.В., Оробцев В.В. Опыт и перспективы применения листовых литейно-прокатных модулей // *Металлург*, 1997. — № 8. — С. 41–45.
2. Минаев А.А., Коновалов Ю.В. Толсто- и тонкослябовые литейно-прокатные модули как путь быстрой реконструкции металлургических предприятий // *Сб. науч. тр. «Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке»*. — М.: Металлургия, 1994. — Т. 3. — С. 193–195.
3. Чижиков Ю.М. Редуцирование и прокатка металла непрерывной разливки. — М.: Металлургия, 1974. — 384 с.
4. Чижиков Ю.М. Теория подобия и моделирование процессов обработки металлов давлением. — М.: Металлургия, 1970. — 296 с.