

получения высококачественных слитков хрома, титана, ванадия и др. высокорреакционных металлов и сплавов.

### Список литературы

1. Петельсдорф Х., Винтерхагер Х. Специальная электрометаллургия. — Киев: Наукова думка, 1972. — Т II. — С. 93–103.
2. Электрошлаковые печи / Под ред. Медовара Б.И. — Киев: Наукова думка, 1976. — 415 с.

© Рябцев А.Д., 1999.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛИТ НА ТОЛСТОЛИСТОВОМ СТАНЕ

ФИЛИППОВ Э.Л. (ДонГТУ)

*Исследованы научные и технологические основы прокатки особо тяжелых плит из литой заготовки с интенсификацией пластической деформации. Разработана конструкция тяжелых листов, обеспечивающая оптимальное формоизменение раската и снижение обрезки.*

Производство особо толстых листов, или плит, имеет свои особенности. В качестве исходной заготовки применяются слитки либо толстые непрерывнолитые слябы. При прокатке плит из литой заготовки механические свойства: прочность, пластичность, свариваемость, ударная вязкость и другие, как правило, получаются удовлетворительными. Однако, задачи получения плотной бездефектной структуры, однородности свойств по сечению, прямоугольной формы необрезных плит в плане и т.д. решены не в полной мере.

Эти проблемы особенно остро проявились в процессе освоения крупнейшего в Европе стана 5000, который был введен в эксплуатацию в 1985 г. на ПО «Ижорский завод» (г. Колпино). Ситуация усложнялась тем, что стан был построен в урезанном виде: отсутствовала чистовая клеть, не была построена машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

В качестве заготовки использовались кузнечные слитки. Однако прокатка плит из слитков большой толщины не гарантировала получение заданных механических свойств и удовлетворительной макроструктуры, поэтому слитки предварительно отковывались на прямоугольные заготовки — «брамы». Многоступенчатая технология производства плит приводила к дополнительному расходу энергоресурсов, увеличению отходов металла с обрезью, повышенной себестоимости.

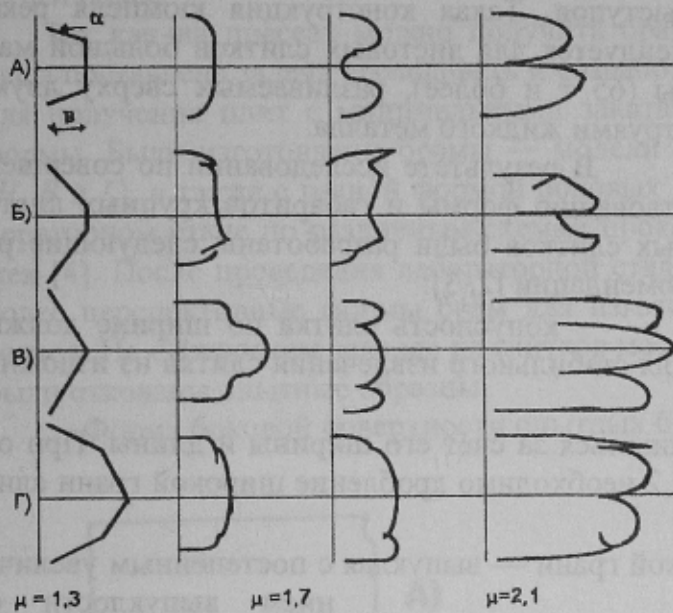
Совершенствованием технологии прокатки плит на стане 5000 занялась группа сотрудников кафедры ОМД ДонГТУ\* во главе с профессором В.М. Клименко.

Работа велась по нескольким направлениям:

- исследование, разработка и внедрение режимов прокатки плит из слитков, обеспечивающих максимальное уплотнение осевой рыхлости слитка;
- исследование и разработка рациональной формы слитка;
- исследование, разработка и внедрение рациональной формы брам и схем прокатки из них.

\* В работе принимали участие Ю.И.Юрченко, В.А.Джанджагава, Д.В.Синицин, В.Ф.Степанов.

В результате проведения исследований по первому направлению была создана принципиально новая технология прокатки с интенсификацией пластической деформации в центральных слоях слитка. Проведена опытная прокатка слитков толщиной 110 и 120 мм из слитков стали 22К и 18 ХНВА. Проведенные испытания, а также ультразвуковой контроль макроструктуры показали, что качество металла, прокатанного с интенсификацией процессов деформирования, не уступает качеству металла плит, прокатанных традиционным способом из брам. Внедрение новой технологии позволило отказаться от брамного передела при прокатке части сортамента плит на стане 5000. Сущность нового способа прокатки литой заготовки подробно описана в работе [1] и здесь не приводится.



**Рисунок 1** — Динамика изменения боковой поверхности слитков-моделей.

узкой грани слитка на форму боковой грани необрезной плиты и глубину залегания заката. Вытяжки по ширине ( $\mu$ ), равные 1,3; 1,7; 2,1, условно соответствуют прокатке «узких», «средних» и «широких» плит. Вогнутость торцов раската на этапе продольной прокатки приводит к формированию боковых закатов, определяющих величину боковой обрезки.

Наиболее рациональной признана форма боковой грани слитка, показанная на рисунке 2.

Результаты исследования влияния угла наклона боковой грани слитка  $\alpha$  и суммарной вытяжки  $\mu$  при разбивке ширины на разноширинность раската приведены на рисунке 3. Как следует из рисунка, разноширинность раската минимальна при  $\alpha=35-40^\circ$  для всего диапазона вытяжек. При малых вытяжках (кривая 1) она практически не зависит от изменения угла  $\alpha$ . При больших вытяжках (кривые 2 и 3) разноширинность растет при углах больших или меньших оптимального значения.

Известно, что донная часть слитка (кюмпель) в процессе прокатки образует как бы недеформированную внешнюю зону, оказывающую определенное влияние на формоизменение полосы. При проведении лабораторных экспериментов кюмпель имитировался выступами на торцевой грани слитка — модели. Варьировались размеры, форма и масса кюмпеля, коэффициенты вытяжек на этапах протяжки, попе-

Большой объем исследований был проведен в ходе изучения формоизменения полосы при прокатке плит из слитков. В ходе лабораторных экспериментов исследовалось влияние формы и величины прибыли, кюмпеля, конусности, соотношения габаритов, конфигурации широкой и боковой граней листового слитка, параметров прокатки на форму необрезных листов и плит в плане и величину обрезки. Исследования проводились на литых свинцовых образцах, толщиной 35 мм и более, прокатка образцов производилась на листовом лабораторном стане 225, моделирующем в масштабе 1:20 толстолистовой стан 5000.

На рисунке 1 приведена качественная картина влияния профиля

речной и продольной прокатки. Было установлено, что при увеличении ширины кюмпеля увеличивается масса и длительность воздействия внешней зоны. Влияние

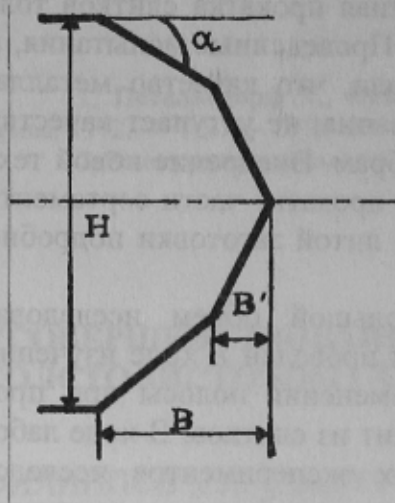


Рисунок 2 — Рекомендуемая форма узкой грани слитка.

увеличения его толщины неоднозначно. Первоначально с увеличением толщины увеличивается масса «внешней» зоны, а, следовательно, и сдерживающий эффект. Однако такой кюмпель раньше начинает деформироваться и его роль, как «внешней» зоны пропадает. Снижение разноширинности может быть достигнуто уменьшением ширины кюмпеля или переходом к конструкции кюмпеля, выполненного в виде двух выступов. Такая конструкция кюмпеля рекомендуется для листовых слитков большой массы (65 т и более), разливаемых сверху двумя струями жидкого металла.

В результате исследований по совершенствованию формы и габаритов крупных листовых слитков были разработаны следующие рекомендации [2, 3]:

— конусность слитка по ширине должна быть минимальной, но достаточной для стабильного извлечения слитка из изложницы, примерно, 1,5–2%;

— масса слитка должна увеличиваться за счет его ширины и длины. При отношении ширины к толщине свыше 2,2 необходимо дробление широкой грани слитка наклонными участками;

— рекомендуемая форма широкой грани — выпуклая с постепенным увеличением

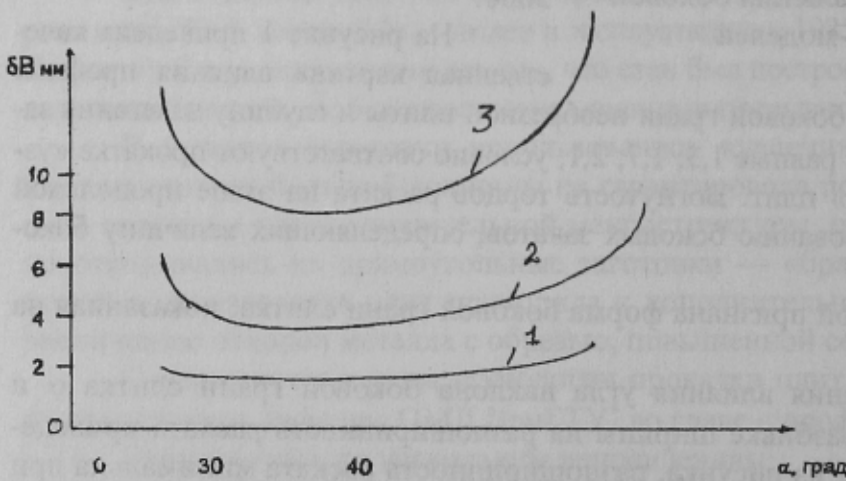


Рисунок 3 — Влияние угла наклона узкой грани и суммарной вытяжки при разбивке ширины на разноширинность раската: 1 —  $\mu=1,3$ ; 2 —  $\mu=1,7$ ; 3 —  $\mu=2,1$ .

выпуклости от донного к прибыльному участку. Поверхность выпуклой широкой грани волнистая, количество волн и их профиль могут варьироваться;

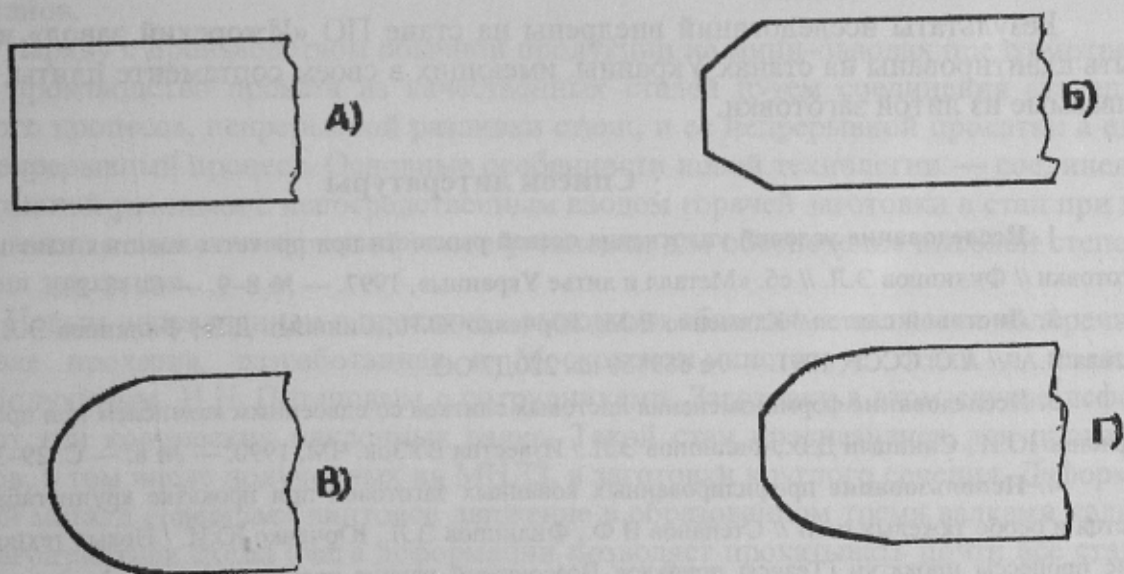
— боковая поверхность слитка должна быть выпуклой и образуется четырьмя наклонными гранями. Общая выпуклость 0,3–0,4 от толщины слитка, угол наклона периферийных граней 35–40°, выпуклость центрального участка должна составлять 0,2–0,4 от общей выпуклости;

— для особо тяжелых слитков, разливаемых двумя струями, целесообразно донную часть иметь в виде двух выступов с перемычкой, меньшей высоты между ними.

Внедрение новой конструкции слитков и новой технологии прокатки с интенсификацией пластической деформации в центральных слоях раската позволило отказаться от брамного передела на части сортамента стана. Однако прокатка особо крупных плит большой массы продолжала осуществляться из брам, откованных из слитков массой от 32,6 до 63,7 тонн и более. Как правило, брамы изготавливались прямоугольной или близкой к прямоугольной формы. Прокатка прямоугольных брам в условиях «высоких» очагов деформации характеризуется большой неравномерностью деформации по толщине, что приводит к образованию боковых и торцевых закатов, а, следовательно, к увеличению обрезки на этапе получения брам и плит из брам. При этом отходы металла суммировались и достигали в отдельных случаях 35% и более.

Так как на прессах можно получить брамы практически любой конструкции, была поставлена задача исследовать и разработать рациональную конструкцию брам для получения плит с минимальными закатами и отклонением от прямоугольной формы. Были изготовлены брамы — модели с различным соотношением размеров ( $H$ ,  $B$  и  $L$ ), а также с разной формой боковых граней. Брамы были прокатаны на лабораторном стане по различным схемам прокатки и с различным сочетанием вытяжек [4]. После проведения лабораторной стадии эксперимента были отобраны наиболее перспективные формы брам для изготовления опытных промышленных образцов. На «Ижорском заводе» из слитков массой 32,6 т; 42,8 т; 51,8 т; 55,6 т и 63,7 т были откованы опытные образцы.

Форма боковой поверхности опытных брам приведена на рисунке 4.



**Рисунок 4** — Форма боковой поверхности опытных брам: *a* — плоская; *б* — трапециевидная; *в* — параболическая; *г* — плоскопараболическая

Прокатка плит из опытных брам [5] производилась по обычным режимам. Плиты предназначались для отгрузки заказчикам.

Для изучения влияния формы боковой поверхности на разноширинность, производили измерение плит в 6–8 местах по длине. Кроме того, производили измерение и зарисовку формы боковой поверхности, фактической и годной длин плит

для получения комплекса данных о форме плит в плане. На опытных планках изучалась глубина залегания заката на кромках.

Установлено, что закат полностью отсутствует на плитах, полученных из брам с параболической боковой поверхностью, откованных из слитков 32,6 т без осадки и 55,6 т с осадкой. Незначительные закаты имеют плиты, прокатанные из брам с плоскопараболической и трапециевидной боковой поверхностью. Плиты, полученные из брам с плоской боковой поверхностью, имели либо форму «двойной бочки», либо закаты.

Разноширинность минимальна у плит, полученных из брам с плоскопараболической и трапециевидной боковой гранью (до 90 мм) и максимальна (до 230 мм) у плит, полученных из брам без профилирования боковых поверхностей.

После обработки результатов экспериментов была получена формула для расчета ожидаемой разноширинности листов, прокатываемых из профилированных брам ( $\delta B$ )

$$\delta B = -16,634 + 28,808\mu_{1,3} - 24,744B + 20,829B\mu_{1,3}/\mu_2 - 9,8665(\mu_{1,3}/\mu_2)^2 - 30,999B^2,$$

где  $\delta B$  — разноширинность, %;  $\mu_{1,3}/\mu_2$  — отношение суммарной продольной и поперечной вытяжек;  $B$  — величина выноса боковой поверхности брамы.

Коэффициент совокупной корреляции  $R=0,96$ .

В результате выполнения исследований разработаны научные и технологические основы прокатки с интенсификацией пластической деформации зоны осевой рыхлости литой заготовки.

Результаты исследований внедрены на стане ПО «Ижорский завод» и могут быть адаптированы на станах Украины, имеющих в своем сортаменте плиты, прокатываемые из литой заготовки.

### Список литературы

1. Исследование условий уплотнения осевой рыхлости при прокатке толстых плит из литой заготовки // Филиппов Э.Л. // сб. «Металл и литье Украины», 1997. — № 8–9. — С. 18–21.
2. Листовой слиток / Клименко В.М., Юрченко Ю.И., Сеницын Д.В., Филиппов Э.Л., Джанджгава В.А. // А.С. СССР, 1991. — № 683150 кл. 220Д7 ОО.
3. Исследование формоизменения листовых слитков со сдвоенным кюмпелем при прокатке // Юрченко Ю.И., Сеницын Д.В., Филиппов Э.Л. / Известия ВУЗов. ЧМ, 1990. — № 8. — С. 29–30.
4. Использование профилированных кованных заготовок при прокатке крупногабаритных листов и особо тяжелых плит // Степанов В.Ф., Филиппов Э.Л., Юрченко Ю.И. / Новые технологические процессы прокатки (Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции) Челябинск, 1988. — С. 26–28.
5. Снижение материальных ресурсов при прокатке толстых листов из кованных заготовок // Филиппов Э.Л., Степанов В.Ф., Джанджгава В.А. / Тезисы докладов Всесоюзного семинара «Ресурсосбережение в производстве листового проката» (ИЧМ СССР, ВДНХ СССР, ДонНИИЧермет) — Донецк, 1990. — С. 33–34.

© Филиппов Э.Л., 1999.