

УДК 621.74.06+621.771.06

Роганов М. Л.
Роганов Л. Л.
Пыц В. Я.
Турчанин М. А.

ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ТОНКОСЛЯБОВЫХ ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТОВ

Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты подробно описаны в специализированной технической литературе [1–7]. Подчеркивается, что наиболее значительным революционным событием последних десятилетий в черной и цветной металлургии явилось создание производства горячекатаной стальной полосы на основе тонкослябовой непрерывной разливки стали и некоторых цветных металлов.

Первый литейно-прокатный агрегат по производству горячекатаной полосы из тонких слябов был сдан в эксплуатацию летом 1989 г. на заводе фирмы Nucorsteel в г. Кроуфордсвилл, шт. Индиана, США. Агрегат выполнен на основе технологии CSP (CompactStripProduction – компактное производство полосы), разработанной фирмой Schloemann-Siemag, Германия. С января 1992 г. на заводе фирмы Arvedi в г. Кремона (Италия) эксплуатируется агрегат, выполненный по технологии ISP (InlineStripProduction – поточный способ производства полосы), разработанный фирмой MannesmannDemag, Германия.

Таким образом, промышленное применение столь высоко оцениваемой технологии (именуемой некоторыми авторами технологией XXI в.) стало возможным лишь в конце 80-х годов, т. е. почти на 10 лет позже, чем создание аналогичных агрегатов для производства сортового проката.

Возможность и целесообразность создания тонкослябовых литейно-прокатных агрегатов (ЛПА) на рубеже 80–90-х годов, определяют:

- достижения в области технологии литья и широкое распространение машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), что обеспечило возможность получения плоского проката с размерами, близкими к размерам конечной продукции;
- положительный опыт создания мини-заводов по производству сортового длинномерного проката;
- неудовлетворительная экономическая ситуация в отрасли и состояние технологии широкополосных станов горячей прокатки (ШСП), характеризуемое по ряду технико-экономических показателей (сортамент, качество и др.) как достигшее уровня насыщения;
- энергетический кризис, способствующий интенсификации работ по созданию и освоению энергосберегающих технологий, таких, как горячий посад слябов в нагревательной печи, строительство высокорентабельных мини-заводов, перерабатывающих металлолом и т. д.;
- ужесточение норм охраны окружающей среды;
- поставка стали высокого качества при низкой стоимости, малыми партиями и в короткое время;
- защита окружающей среды путем сведения к минимуму отходов производства и снижению энергоемкости.

Целью данной статьи является обоснование необходимости разработки и реализации нового направления развития литейно-прокатных агрегатов, а именно их профилирование.

Суть профилирования состоит в том, что заготовка отливается с определенным профилем в виде гофр или чередующихся наклонных, расположенных под углом прямолинейных участков сочетающихся с прямолинейными участками. Возможные профили рассмотрены в литературе [1]. После отливки спрофилированная заготовка поступает в клеть прокатного стана, рабочие и опорные валки которого имеют профиль заготовки и обжимают заготовку до необходимой толщины t , требуемой на выходе.

После обжатия профиля заготовки в профилированных валках прокатного стана (реализуется процесс осадки заготовки) заготовка поступает в правильные гладкие валки, где ее профиль подвергается изгибу и выправлению в плоскую заготовку. Плоская заготовка затем поступает на моталку и сматывается в рулон.

Получение металла на профилированных литейно-прокатных агрегатах дает следующие преимущества перед существующими ЛПА.

– Повышается общая поверхность заготовки, выходящей из профилированного кристаллизатора, а значит и охлаждение заготовки можно увеличить, получив повышение производительности ЛПА.

– При обжатии профиля отлитой заготовки между профилированными валками прокатного стана увеличивается величина обжатия. Обжатие происходит между дугowymi или горизонтальными участками профиля и наклонными участками профиля, где большую роль играют касательные напряжения, которые повышают пластичность материала заготовки.

– Выпрямление листа производится после окончательной прокатки профиля заготовки. При выправлении профиля в гладких валках к заготовке прикладываются напряжения изгиба, величина которых в несколько раз меньше напряжений осадки. При этом может быть применена правка заготовки ее перегибом, что может обеспечить более качественную заготовку.

На основе изложенного можно сделать вывод, что все применяемые в настоящее время литейно-прокатные агрегаты можно выполнять профилированными, что позволит в целом повысить их технико-экономические показатели.

Была создана машина (ВНИИМетмаш, Россия) (см. рис. 1).

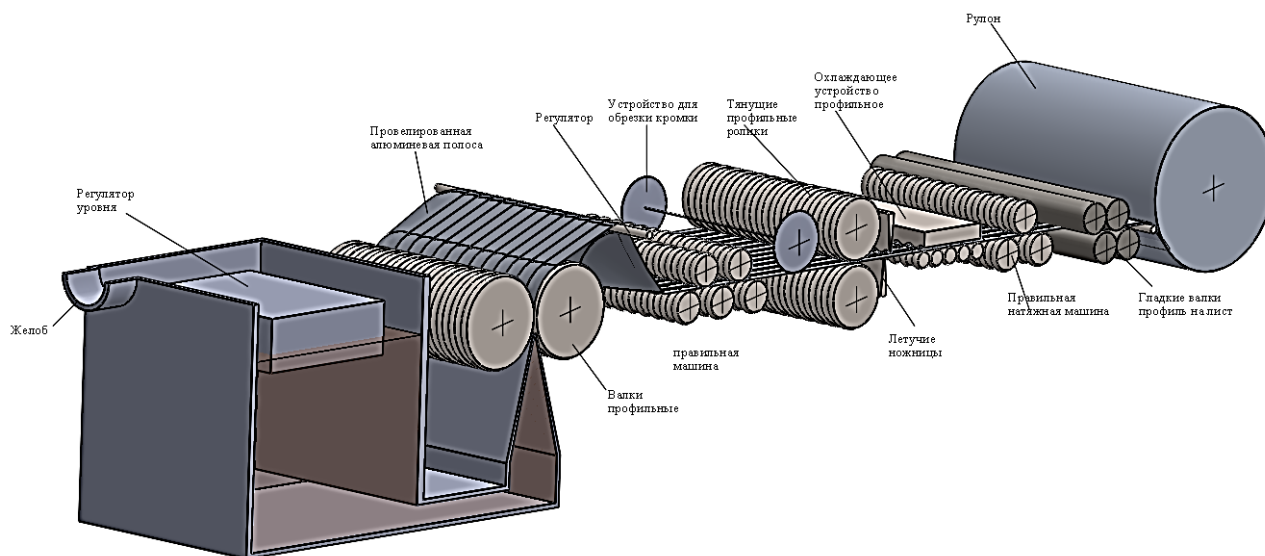


Рис. 1. Профилированный литейно-прокатный агрегат для получения полосы из алюминия толщиной 3–8 мм и менее

Процесс кристаллизации в литейно-прокатном агрегате осуществляется между двумя валками, оси которых расположены в одной горизонтальной плоскости. С этой плоскостью должен совпадать и уровень поверхности жидкого алюминия в ванне, находящейся рядом с валками. Расплавленный металл подается по желобу в приемную ванну литейной машины. Под действием металлоостатического давления металл поступает из ванны по мере вращения валков в межвалковое пространство. Оси валков расположены в одной горизонтальной плоскости. В результате контакта с валками, охлаждаемыми водой, жидкий металл кристаллизуется и выходит вверх в виде профильной полосы толщиной 3–8 мм. Эта полоса изгибается и подается правильной машине, которая фиксирует полосу в горизонтальной плоскости. Между литейной и правильной машинами создается петля, величина которой поддерживается петлеустройством. За правильной машиной кромка полосы обрезается специальным

устройством. Протягивание полосы для преодоления усилия резания при обрезке кромки осуществляется тянущими роликами. В случае необходимости сразу за тянущими роликами полоса может быть разрезана на части летучими ножницами. За этими ножницами установлено охлаждающее устройство и правильно-натяжная машина, затем полоса, проходя между гладкими валками, превращается в гладкую. Создается натяжение при наматывании полосы в рулон. По окончании наматывания рулона полоса разрезается, а рулон транспортируется на участок складирования. Толщина полосы после обжима на профильных и гладких валках достигает менее 3–8 мм.

Попытки увеличить скорость литья и уменьшить толщину слитка привело к созданию профильной установки непрерывной разливки металла (ПУНРМ) с подвижными кристаллизаторами (этот термин, как и многие другие, имеет недостатки: на обычных УНРМ кристаллизатор также выполнен «подвижным», но он не движется поступательно в одном направлении, а совершает возвратно поступательные движения около некоторого «среднего» положения. Это делается для уменьшения «прилипания» металла к кристаллизатору, что повышает качество поверхности профильного листа.)

Известны установки УНРМ следующих типов:

- а) наклоняемые ленточные (например «Роллкаст»), совмещенный с планетарным станом (см. рис. 2);
- б) роторные с использованием кристаллизатора-диска (ротора) (см. рис. 3);
- в) двухвалковые с заливкой расплава в межвалковый промежуток (известны разработки ряда японских фирм: «Кавасаки», «Сумитомометалс», «Кобестил» и др.);
- г) одновалковые с подачей жидкого металла на поверхности валка-кристаллизатора.

На рис. 2 показана схема наклонной ленточной ПУНРМ. Кристаллизатор образован профильными лентами 1, 2 между которыми формируется слиток 3. Эти стальные ленты обычно имеют толщину 0,5–2 мм, поддерживаются профильными роликами 4 для обеспечения их жесткости и охлаждаются форсунками 5. Ленты совершают движение с помощью барабанов 6–9. Стальные ленты 1 и 2 имеют профиль, совпадающей с профилем роликов 4, и барабанов 6–9. По боковым поверхностям обычно расположены упоры в виде подвижных блоков, обеспечение плотности их стыковки с лентами (и одного с другим) является сложной задачей.

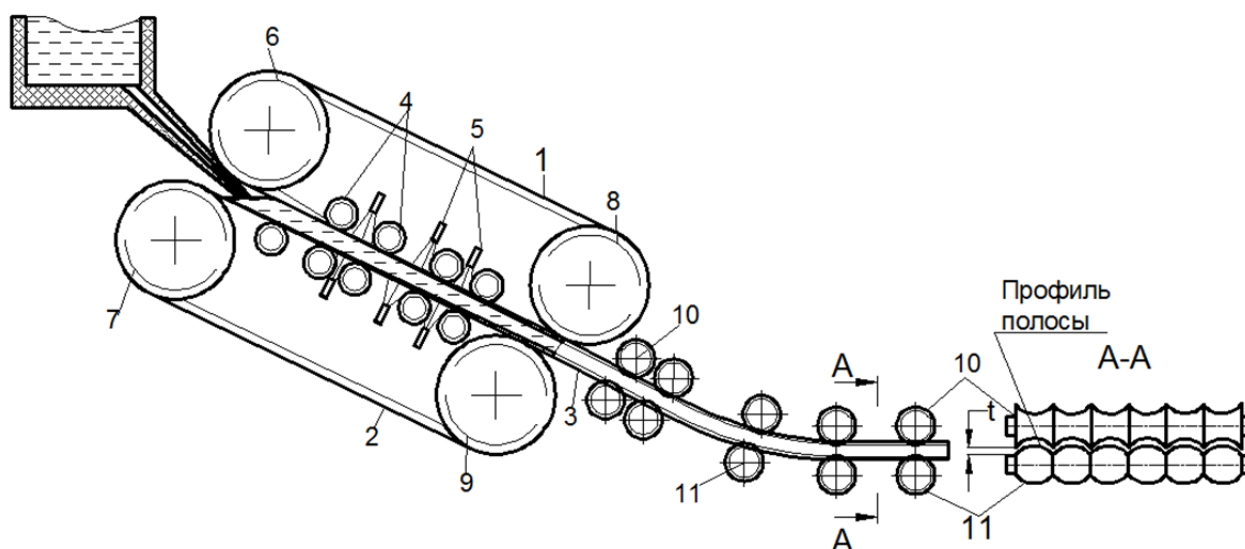


Рис. 2. Схема наклоняемой ленточной УНРМ

Обычно такие ленточные УНРС располагают под углами 15–30° к горизонтали. При длине кристаллизатора 10 м и скорости разливки 10 м/мин на этой длине (10 м) сформируется корка металла толщиной $(2,8-3,1) \times 10^{-2}$ м, т. е. практически такая же, как при разливке в обычный кристаллизатор скольжения длиной 0,8–1,0 м со скоростью 0,8–1 м/мин.

Пористость при разливке со столь высокой скоростью будет выше, чем на обычных УНРС, что потребует достаточно высокой степени деформации при последующей прокатке на профильных валках 10–11 и, по-видимому, ограничений по сортаменту разливаемой стали.

На современных ленточных УНРС в связи с действием резких «термических ударов» при попадании лент в зону мениска расплава их стойкость составляет в зависимости от сортамента и условий разливки 20–50 часов эксплуатации (после чего в лентах появляются трещины). При разливке меди, никеля, их сплавов стойкость может возрасти в 5–10 раз. Фирма «Мицубиси МеталКо» (Япония) разработала установку, в которой замкнутая лента выполнена из меди (или её сплава). Кроме того предусмотрена стальная лента, огибающая медную ленту и прижимающая её к валку. Локальная температура ленты достигает 190–210 °С и более (особенно при неполадке и остановке слитка).

На рис. 3 показана ПУНРС роторного типа, включающая промежуточный ковш 1 и ротор 2, в котором выполнены три стенки прямоугольного сечения 100 × 120 мм. Четвертая грань образована лентой 3, у мениска находится устройство контроля уровня 4, ниже форсунки 5 и отделительная профильная планка 6 (отделяющая сформированный слиток от ротора 2). Далее в технологической линии находятся тянуще-правильные ролики 7, форсунки охлаждения слитков 8. Затем спрофилированный слиток 9 поступает в первую клеть непрерывного прокатного стана 10. Лента 3, тянуще-правильные ролики 7 и ролики прокатного стана выполнены профильными (гофрированными), три стенки сечения кристаллизатора выполнены медными, четвертая – стальная профильная лента толщиной 2 мм. Так как обеспечение надежной работы лент создает ряд проблем, известны конструкции ПУНРС роторного типа, в которых четвертая поверхность полости образована жестким радиальным блоком, совершающим возвратно-поступательное движение, в то время как ротор вращается с постоянной скоростью, обеспечивая движение слитка.

Для отливки тонких слитков (лент), следует применять ПУНРС валкового типа. Несколько схем двухвалковых установок приведено на рис. 4, где показано формирование профильного слитка 1 при заливке металла в зазор между профильными валками 2 и 3. С торцевых поверхностей валков расположены плиты 4, а расплав подается из промежуточного ковша 5. Валки 2 и 3, а также тянущие ролики 6 выполнены профильными.

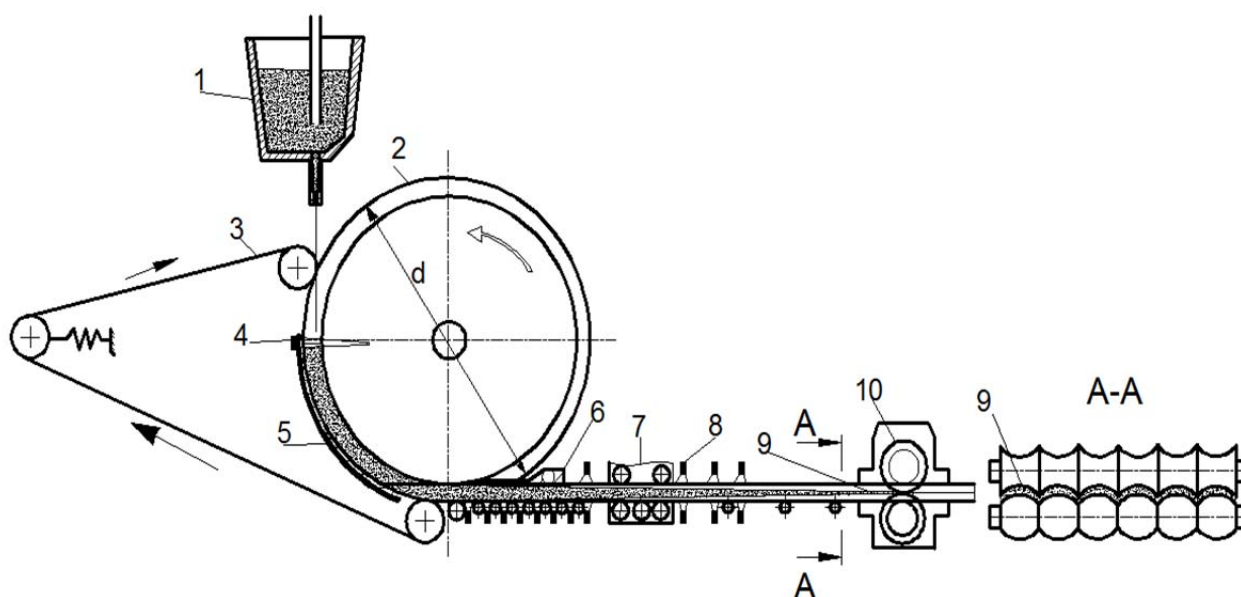


Рис. 3. Роторная ПУНРС

В настоящее время имеется ряд опытно-промышленных двухвалковых УНРС для отливки слитков толщиной до 6 мм. В странах ЕЭС над созданием двухвалковых установок работают фирмы SMS, Demag, MainAG/MTAG [2–7].

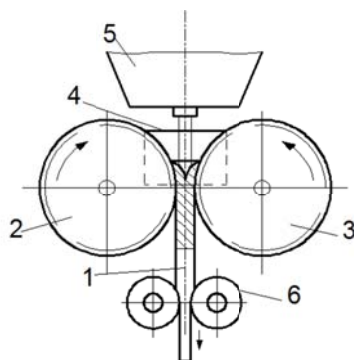


Рис. 4. УНРС валкового типа

В ряде случаев под кристаллизатором расположена камера охлаждения, а дальше профильная лента может поступать в непрерывный прокатный стан. С профильными валками можно создать установки с подачей металла в валки не по вертикали, а в горизонтальном направлении (см. рис. 5).

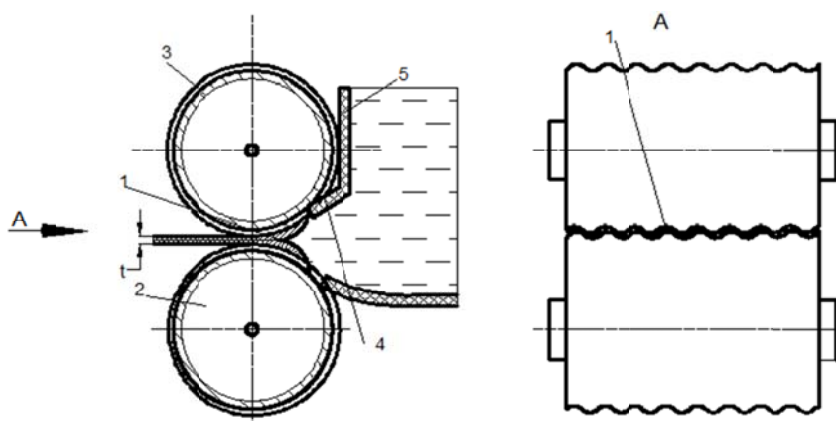


Рис. 5. Двухвалковые ПНУРС с горизонтальной подачей металла между профильными валками:

1 – слиток; 2, 3 – валки; 4 – желоб; 5 – металлоприемник

В этом случае при разливке стали трудно обеспечить стыковку желоба 4 с валками. Такая установка может найти применение для литья цветных металлов и сплавов.

На рис. 6 показано сечение слитка 1 в валках (оно заштриховано, а начальное (верхнее) сечение обозначено пунктиром).

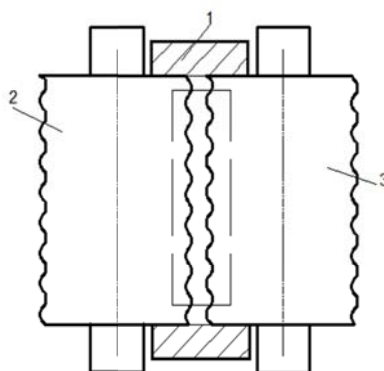


Рис. 6. Разливка между профильными валками (вид сверху)

На рис. 7 показана четверть сечения слитка 1 в разрезе и поверхности его контакта с валком 2 и торцевой стенкой 4.

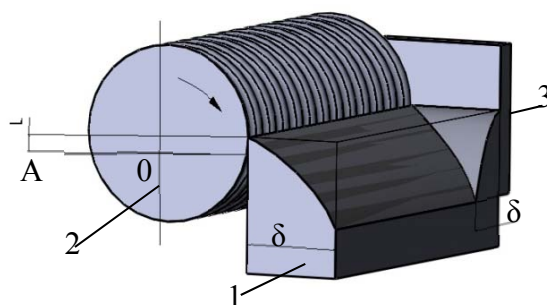


Рис. 7. Разрез сечения слитка (четверть)

На рис. 8 показаны некоторые схемы одновалковых УНПМ. На рис. 8, а струя металла подается на валок-кристаллизатор 1 из промежуточного ковша 2, тонкий профильный слиток 3 отделяется от валка 1 и подается в профильные прокатные валки 4. На (рис. 8, б) профильный валок 1 погружается в расплав, находящийся в емкости 2, и при вращении профильного валка 1 на нем кристаллизуется слой металла в виде листа 3, подаваемого роликами 4 к прокатному стану.

На (рис. 8, в, е) с валком 1 контактирует промежуточный ковш 2, а жидкий металл 3 затвердевает на поверхности валка 1 и деформируется между валками 1 и 4 (на рис. 8, з деформация осуществляется валками 1 и 5, 4 валок транспортирующий).

Следует отметить, что если валок 1 погружен в расплав (см. рис. 8, г), находящийся в емкости 2, то слиток 3 неизбежно будет кристаллизоваться и на бочке валка 1, и на его торцевых поверхностях – на участке А.

После отделения листа от валка на этих участках возможно появление трещин (изогнутые участки могут отламываться). Если выполнить бочку валка 1 по всей ширине емкости 2 (рис. 8, д), то в зонах А из-за трения неизбежно возникновение зазоров и здесь (на торцевых поверхностях валка, куда будет затекать металл) будут возникать заусеницы. Потребуется обработка (шлифование, зачистка) боковых поверхностей тонкого листа по всей его длине. Если подавать расплав на валок по схеме рис. 8, а или при погружении в расплав спрофилированного валка с выпуклой бочкой (рис. 8, е, ж), то изгиба на торцах листа не будет, но возникает существенная разнотолщинность листа 3 (поперечная разнотолщинность по сечению и продольная по его длине).

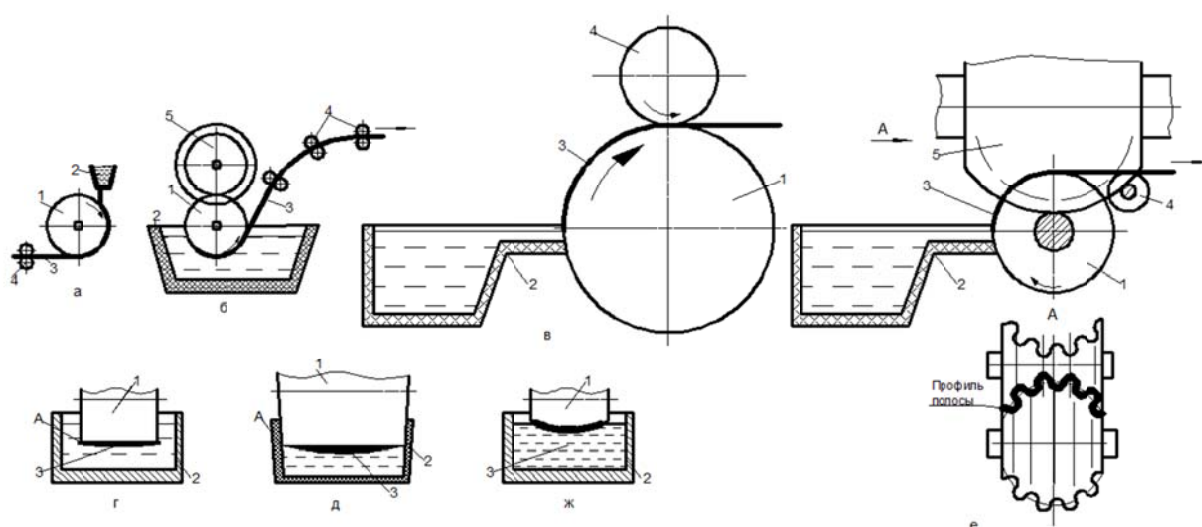


Рис. 8. Одновалковые МНЛЗ:

а – при подаче металла на валок; б – при погружении валка в металл; в, е – при контакте валка с емкостью, содержащей расплав; г – схема кристаллизации металла на валке; д – схема валка, контактирующего со стенками емкости для расплава; ж – схема кристаллизации металла на выпуклом валке-кристаллизаторе

При прокатке необходимо эту разнотолщинность устранять, что является сложной задачей. Возможное решение выполнения валков 1 и 5 выпукло-вогнутыми с профилем, выполненным на этих выпукло-вогнутых поверхностях (см. рис. 9).

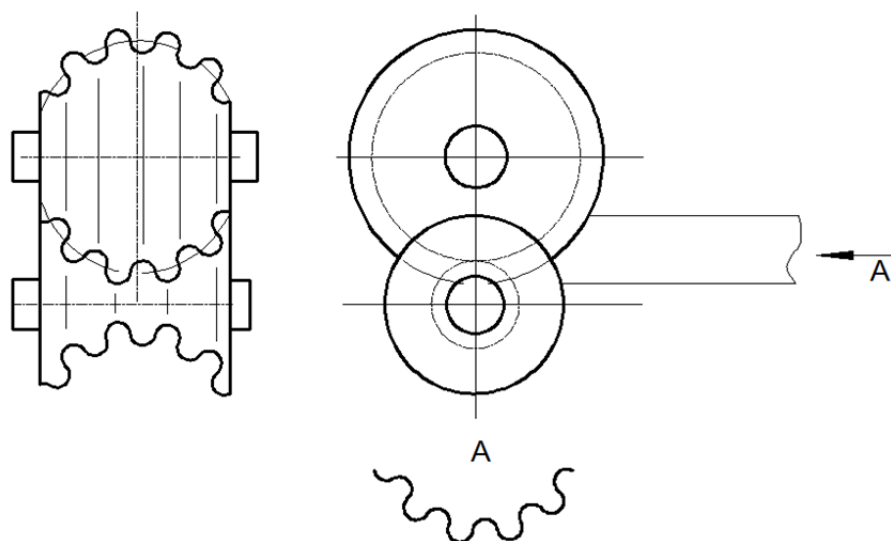


Рис. 9. Профильные выпукло-вогнутые валки

ВЫВОДЫ

Для отливки слитков толщиной до 3 мм чаще используют двухвалковые установки. Одновалковые УНРМ имеют недостатки: слиток получается с высокой разнотолщинностью, качество одной из поверхностей листа низкое.

Основным затруднением при создании УНРМ с подвижными кристаллизаторами является обеспечение плотности стыковки различных его частей: ленты и торцевых плит, ленты и ротора, валков и торцевых плит и т. д. Часто от удачного конструкторского решения этих узлов зависит успешное освоение профилированных УНРМ и их эксплуатация.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Роганов М. Л. Новые направления в развитии профилированных литейно-прокатных агрегатов / М. Л. Роганов, Л. Л. Роганов, В. Я. Пыц // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 3 (36). – С. 182–185.*
2. *Flick A. Etal, SteelTimesInt / A. Flick. – 2000. – № 5. – P. 17–20.*
3. *Wigman S. L. 6th Intern. Conf. on Refining Processes / S. L. Wigman, M. D. Millett, V. I. Scanijet. – 1992. Lulea. Sweden. – P. 1–17.*
4. *Bald W. Steel Times Int. / W. Bald, G. Keppe, D. Rosental. – 2000. – № 9. – P. 16–19.*
5. *CRU Int. Ltd. Thin-Gauge hot-rolled versus cold-rolled. Special Report, September. – 1998. – P. 180.*
6. *Barret R. Metall Bull / R. Barret // Monthly. – 1999. – № 4. – P. 25–29.*
7. *Thin gauge hot strip. Steel Times int. – 2000. – № 7. – P. 30–34.*

Роганов М. Л. – канд. техн. наук, директор ИПКПК;

Роганов Л. Л. – д-р техн. наук, проф. каф. МПФ ДГМА;

Пыц В. Я. – аспирант ДГМА;

Турчанин М. А. – д-р хим. наук, проф., зав. каф. ТОЛП ДГМА.

ИПКПК – Институт повышения квалификации и переподготовки кадров, г. Краматорск.
ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: vlad1m1rpyts@gmail.com

Статья поступила в редакцию 14.04.2013 г.