

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛОСОВОГО ПРОКАТА В ЛПА С ДВУХВАЛКОВЫМИ ЛИТЕЙНЫМИ МАШИНАМИ

Р. Ж. Жумин (ООО «ШПС»), В. В. Решетов (ООО «Спецмаш»).

С начала 80-х годов прошлого века, непрерывная разливка стали на МНЛЗ стала главной промышленной технологией разливки в мире. Основной технологией получения полосовой продукции был метод разливки слябов толщиной 200...250 мм с последующей прокаткой на полосу. В последующие годы этот метод не претерпевал сколь-нибудь существенных изменений и его прогресс можно целиком отнести на счёт совершенствования производственного оборудования, инструмента, систем управления.

В конце 20 века, с развитием новых технологий непрерывной разливки стали, в мировой практике были сделаны существенные шаги в развитии металлургического производства. И сегодня предпочтение отдаётся двум вариантам технологического процесса получения полосовой продукции:

- процессу прокатки полос из непрерывно литых заготовок толщиной 50...90 мм, получаемых на тонкослябовых МНЛЗ;
- процессу «бесслитковой прокатки» полос на валковых литейно-прокатных агрегатах (ВЛПА), основным оборудованием которых является двух-валковая литейная машина, на которой, непосредственно из расплава, производится лента толщиной до 5-ти мм.

По сравнению с традиционным процессом непрерывной разливки стали литьё тонких слябов позволяет значительно сократить затраты на последующих стадиях обработки за счёт исключения нагревательной печи и клетей черновой прокатки. Но в этом случае перед холодной прокаткой сохраняется необходимость в применении чистовой группы клетей горячей прокатки.

Этого недостатка лишён процесс производства полосовой продукции на валковых литейно-прокатных агрегатах. Получаемая в этом случае лента сразу передаётся на клети холодной прокатки. Основное преимущество технологии получения стальной полосы в ВЛПА перед классической технологией производства полос из слябовых и тонкослябовых непрерывно литых заготовок заключается в исключении ряда промежуточных этапов, сопровождающихся многостадийным прокатом заготовки.

На рисунке 1 приведена сравнительная схема производства тонких полос с применением для разливки металла различных комплексов оборудования, а в таблице 1, по данным [1 и 2], представлено сравнение технико-экономических показателей производства полосовой продукции на этих комплексах.

В целом производство горячекатаной полосы с использованием валковых литейно-прокатных агрегатов позволяет снизить по сравнению с традиционными технологиями:

- капитальные затраты – до 75%;
- стоимость оборудования – до 45%;
- производственные площади – до 85%;
- энергопотребление – до 80%;
- вредные выбросы (CO_2 , NO_x , SO_2) на 70-90%.

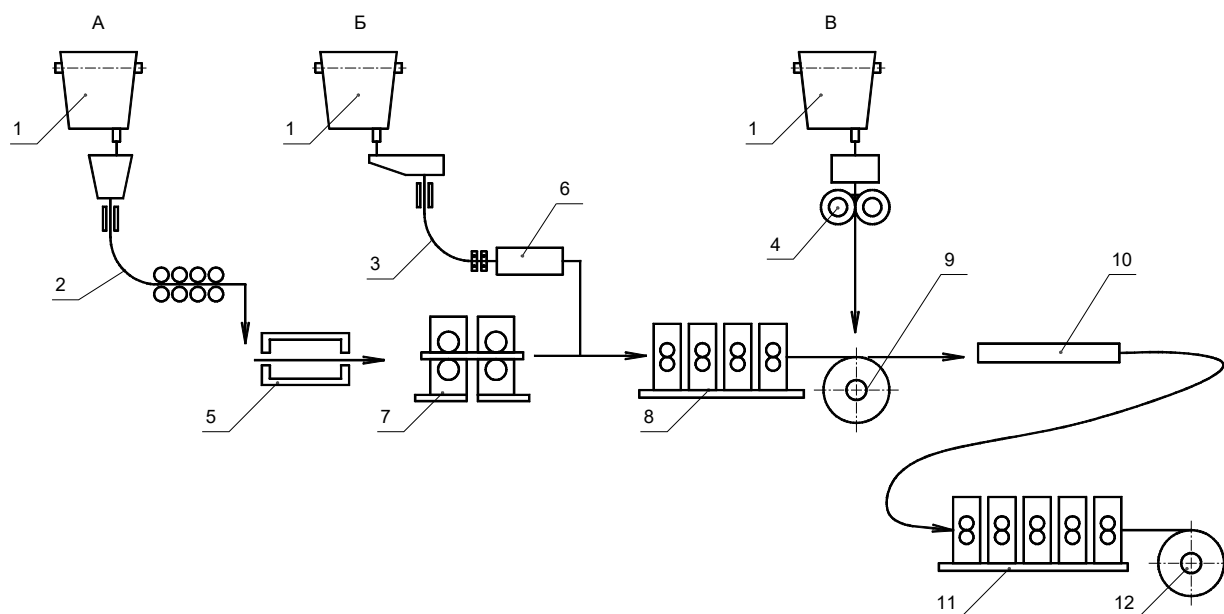


Рис. 2. Сравнительная схема производства тонких полос.

А – с применением традиционной слябовой МНЛЗ;
 Б – с применением тонкослябовой МНЛЗ;
 В – с применением двухвалковой литейной машины.
 1 – сталеразливочный ковш; 2 – слябовая МНЛЗ; 3 – МНЛЗ тонких слябов; 4 – двухвалковая литейная машина; 5 – печь нагрева слябов; 6 – печь подогрева тонких слябов; 7 – черновые клети горячей прокатки; 8 – чистовые клети горячей прокатки; 9, 12 – моталки; 11 – линия отжига; 11 – стан холодной прокатки.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели производства полосовой продукции на комплексах, использующих различные литейные агрегаты

Показатель	Значение		
	Слябовая МНЛЗ	Тонко-слябовая МНЛЗ	Валковая литейная машина
Толщина заготовки, мм	210...250	50...90	1...3
Скорость литья, м/мин	0,9...2,2	4...6	80
Производительность комплекса, млн. т/год	2...4	1...2	0,5
Протяжённость технологической линии, м	500...800	300...400	60...150
Удельный расход жидкой стали*, т/т	1,14...1,22	1,13	1,01
Удельные трудозатраты, чел-час/т	4...12	1...2	0,5...1
Удельные энергозатраты, ГДж/т	0,8...1,8*	0,4...0,8*	0,15...0,25
Выбросы CO ₂ , т/т	0,2	0,14	0,04
Начальные капвложения, млн. долл.	1000	800	140

* без учёта удельного расхода электроэнергии на выплавку стали.

** в зависимости от температуры погрузки заготовки в нагревательную печь

Над развитием технологии и оборудования бесслитковой прокатки полос на ВЛПА работают ведущие компании Европы, США, Японии [3]. Первоначально машиностроительными и металлургическими компаниями создавались собственные элементы технологии и оборудования. Затем, с целью экономии средств и интенсификации научно-исследовательских работ крупнейшие компании стали объединяться для выработки общих программ.

В качестве примера можно привести результаты совместной работы фирм Thyssen Krupp Steel (Германия), Usinor Sacilor (Франция), которые начали интенсивные научные исследования лабораторной двухвалковой машины в июне 1991 г (проект Myosotis).

В мае 1992 г. была доказана возможность разливки плавки весом 10 тонн в ленту шириной 865 мм и толщиной 3 мм. В дальнейшем вес плавки составил:

- в октябре 1993 г. – 25 т.;
- в марте 1995 г. – 42 т.;
- в июне 1995 г. – 62 т.;
- в октябре 1995 г. – 92 т.

Уже первые разливки на машине Myosotis показали, что качество полос соответствует всем требованиям, предъявляемым к готовой продукции, полученной по традиционной технологии, при значительном сокращении капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

Первая промышленная установка с двух-валковой литейной машиной была создана в Японии усилиями компаний Nippon Steel Corp. и Mitsubishi Heavy Industries, которая эксплуатируется с 1997 года [4]. При массе плавки 60 тонн и диаметре валков-кристаллизаторов 1200 мм годовая производительность установки составляет 350...400 тыс. тонн. Марки сталей – коррозионностойкие. Решение о сооружении этой промышленной установки были приняты по результатам экспериментальных исследований на лабораторной машине в Nippon Steel (вес плавки 1 т) и на опытном ВЛПА на заводе Hikari Works (вес плавки 10 т), которые продолжались с 1985 по 1996 г.

В Европе компании Thyssen Krupp Steel, Usinor Sacilor, Assian Special Terni (Италия), Voest Alpine (Австрия) объединились для разработки проекта *Eurostrip*. По этому проекту были разработаны и в 1999 году введены в эксплуатацию промышленные установки в г. Терни (Италия) и г. Крефельд (Германия).

Проектная годовая производительность промышленных установок Eurostrip с валками диаметром 1500 мм при массе плавки 60...90 т составляет 400...500 тыс. тонн [1]. Разливаемые марки – от сталей углеродистых до коррозионностойких жаропрочных сплавов.

В США с 1989 года успешно действует проект *Castrip* созданный совместными усилиями компаний BHP Steel (Австралия), Ishikawajima-Harim Heavy Industries (Япония) и Nucor Corp. (США) [5]. По итогам положительных результатов экспериментов на опытной установке в г. Порт Кембла (Австралия) была разработана, изготовлена и в 2002 г. введена в эксплуатацию промышленная установка для получения полосовой продукции на заводе Nucor в г. Кроуфордсвилл (США). Годовая производительность установки с валками диаметром 500 мм и массе плавки 110 т составляет 500 тыс. тонн. Марки сталей – углеродистые и коррозионностойкие.

В таблице 2 приведены технические характеристики некоторых промышленных ВЛПА, эксплуатируемых за рубежом [6].

Помимо компаний, упомянутых выше, работы по развитию валковых литейно-прокатных агрегатов, уже в новом веке, стали вести компании: Clecim (Франция), Hitachi Zosen и Sumitomo (Япония), British Steel (Великобритания), Danieli (Италия) и некоторые другие.

Таблица 2. Технические характеристики промышленных ВЛПА.

Компания	Вместимость ковша, т	Диаметр валка, мм	Толщина полосы, мм	Ширина полосы, мм	Масса рулона, т
Castrip (Кроуфордсвилл, США)	110	500	0,7...2,0	1345...2000	25
Eurostrip (Крефельд, Германия)	90	1500	1,3...3,5	1430...1450	30
Eurostrip (Терни, Италия)	60	1500	1,4...3,5	1130...1350	60
Eurostrip (<i>ex-Myosotis</i>) (Исберг, Франция)	92	1500	2,0...4,0	865...1300	15
ВНР/INI (Порт-Кемпбл, Австралия)	60	500	0,9...2,0	1345	25
Nippon St./ Mitsubishi (Хиккари, Япония)	60	1200	2,0...5,0	800...1330	10
Posco/Davy (Южная Корея)	5 10	750 1250 1300	1,8...5,0	350...1300	1,8

В нашей стране работы по созданию технологии и оборудования для производства тонких полос непосредственно из расплава начали проводиться с середины 80-х годов прошлого века во ВНИИМЕТМАШ [6, 7].

В 1987 г. на первой опытной установке, имеющей диаметр валков 400 мм, была получена тонкая полоса шириной 150 мм. Разливку вели непосредственно из тигля индукционной плавильной печи вместимостью 50 кг. Отрабатывалась технология производства мелкокристаллической ленты толщиной 0,1...0,3 мм.

Разливали сплавы в широком диапазоне марочного состава, в том числе:

- электротехнические стали с содержанием кремния до 6,5%;
- интерметаллидные сплавы системы Fe-Al с содержанием алюминия до 13,5% и кобальта до 2%;
- фехраль (Х23Ю);
- лезвийную сталь (65Х13);
- резистивные сплавы типа Н70МХЮЭ;
- а также другие спецсплавы.

Изучение макро- и микроструктуры полученных полос проводили совместно со специалистами ЦНИИЧЕРМЕТ.

По результатам эксплуатации первой установки, в начале 90-х годов была создана опытная установка с валками-кристаллизаторами диаметром 600 мм и шириной 300 мм. Данная установка получила наименование АМКЛ-300. Выпуск металла из тигля индукционной плавильной печи в валки, также как и на первой установке производили непосредственно из плавильного узла, через шиберный затвор.

Технические характеристики установки АМКЛ-300:

- масса плавки – 160 кг;
- диаметр валков – 565...600 мм;

- толщина полосы – 0,3...3,0 мм;
- ширина полосы – 300 мм;
- скорость литья, максимальная – 15 м/с;
- материал бандажей – бронза БрХ;
- мощность привода валков – 55 кВт.

Общий вид установки, а также фото плавильного узла и двух-валкового кристаллизатора приведены на рисунках 2...4.

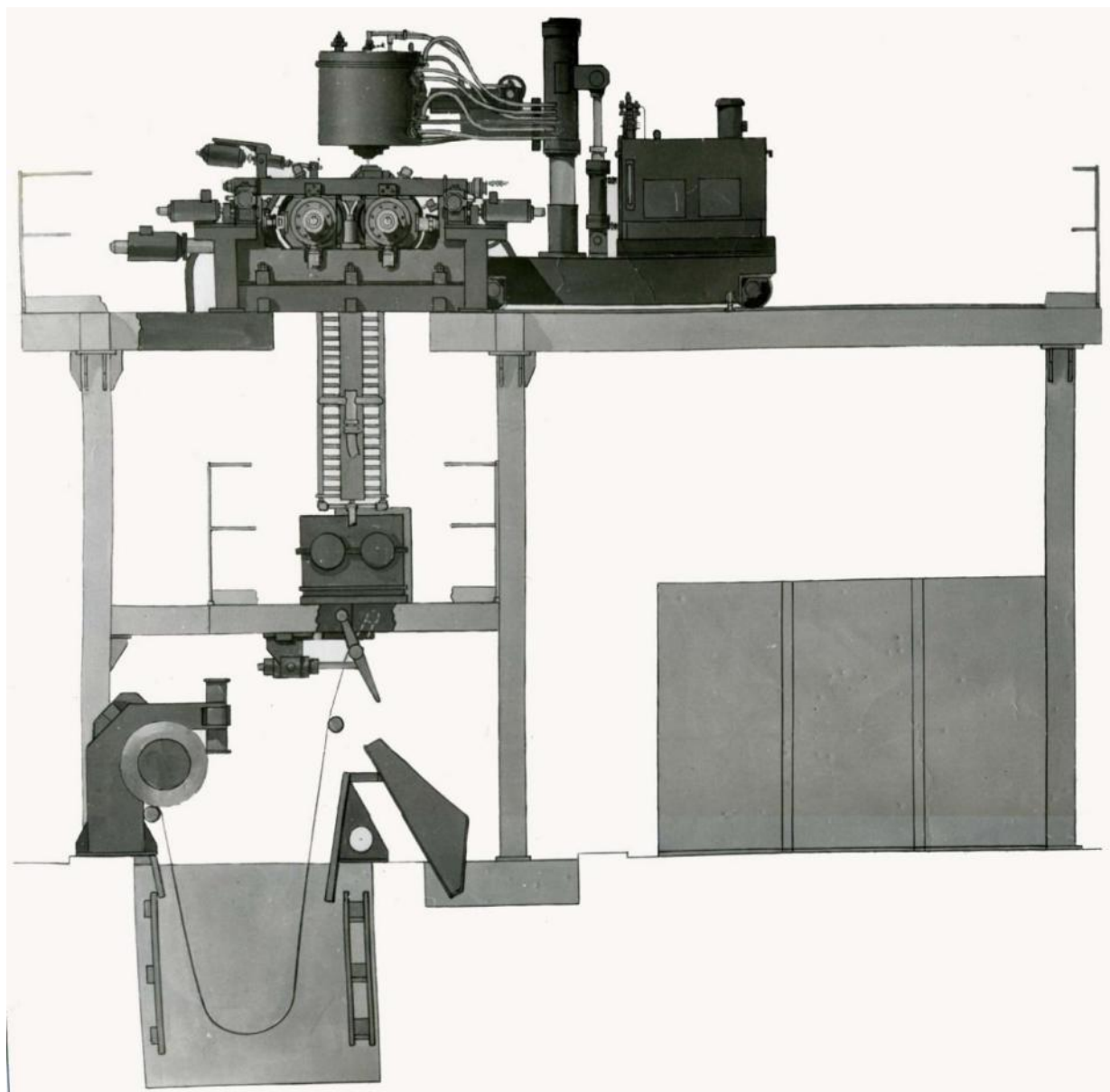


Рис. 2. Валковый литейно-прокатный агрегат АМКЛ-300



Рис. 3. Плавильный узел установки АМКЛ-300.



Рис. 4. Валки-кристаллизаторы.

На АМКЛ-300 разливали сплавы систем Fe-Si, Fe-Al, фехраль, а также стали углеродистые и высоколегированные.

Основные результаты, полученные при эксплуатации опытных двух-валковых литейных агрегатов во ВНИИМЕТМАШ, в сравнении с традиционной технологией:

- трансформаторная сталь с содержанием кремния 4,5...6,0%, применяемая при изготовлении шаговых, а также высокооборотных электродвигателей, имеет удельные потери электроэнергии на перемагничивание на 30% ниже;

- нержавеющая лента из лезвийной стали 65X13 имеет мелкодисперсные равномерно распределённые карбиды и величину зерна не более 3 мкм, благодаря чему отсутствует выкрашивание ленты в местах скопления карбидов;
- лента из резистивного сплава Н70МХЮЭ, применяемого при производстве электронной аппаратуры, имеет температурный коэффициент электросопротивления в 4...6 раз меньше; получено улучшенное качество поверхности лент в микронных толщинах.
- лента из магнитострикционного сплава с содержанием алюминия 12...13% превосходит по своим показателям магнитострикционный сплав 49К2Ф (пермендюр), содержащий 50% кобальта, за счёт повышения технологической пластичности в 3...5 раз и повышения однородности свойств; стоимость сплава пермендюр в 10 раз больше, по сравнению с лентой из сплава с алюминием;
- были проведены работы по отработке технологии получения проката из высоколегированной стали аустенитного класса 08X18Н10. Отливали полосы толщиной 1,0...1,8 мм, которые затем прокатывали на стане холодной прокатки в полосу толщиной 0,2 мм без промежуточных отжигов. Структурный анализ показал полное отсутствие α -фазы, что несомненно способствует получению высококачественного холоднокатаного листа.

К сожалению, в 2010 году эксперименты на установке АМКЛ-300 были прекращены и, по сведениям авторов, на сегодняшний день работы по освоению разливки стали и сплавов на двух-валковых литейных машинах в РФ не ведутся.

Принимая во внимание полученные технологические результаты, а также экономические преимущества ВЛПА, показанные при эксплуатации этих агрегатов за рубежом, становится очевидной необходимость возобновления работ по развитию бесслитковой прокатки стали и сплавов в РФ.

В этой связи следует отметить следующее обстоятельство. В большинстве случаев ВЛПА рассматривались, как агрегаты, предназначенные для работы с легированными сталями и спецсплавами. В тоже время, в последние годы, в РФ, отмечен интерес к процессу прямого получения полос из углеродистых марок стали со стороны производителей гнутых тонкостенных строительных профилей. В данном случае речь идёт о производстве тонких лент толщиной 0,5...2,0 мм в объёмах, не превышающих 15...20 тыс. тонн в год. Рассматривать производство тонких лент в таких объёмах традиционными способами бессмысленно. В тоже время в случае применения ВЛПА такое производство может быть реализовано. Решение задачи облегчается ещё и тем, что заказчики таких микрокомплексов, как правило уже располагают производственными площадями и энергетическими ресурсами. Кроме того, в ряде случаев, эти предприятия, по роду своей деятельности, имеют доступ к лому чёрных металлов, что является дополнительным ресурсом для снижения себестоимости конечной продукции.

В ООО «Спецмаш» совместно со специалистами АХК ВНИИМЕТМАШ разработаны проектные предложения по строительству микро-металлургического комплекса, для выпуска тонких лент для последующего производства из них гнутых строительных профилей. При разработке предложений рассматривались фактические условия конкретного

машиностроительного предприятия, выпускающего строительные тонкостенные профили. В таблице 3 приведены характеристики основных агрегатов комплекса и удельные расходные характеристики энергоносителей, а на рис. 5 – планировочное решение по оборудованию.

Таблица 3. Основные характеристики микро-металлургического комплекса.

Наименование	Ед. изм.	Характеристика
Общие характеристики		
Производительность	т/год	2400
Толщина ленты	мм	0,8...1,7
Ширина ленты	мм	300
Марки сталей	-	углеродистые
Установленная эл. мощность комплекса	кВА	800
Индукционная плавильная установка		
Ёмкость, ном/макс	кг	450 / 500
Мощность источника питания	кВА	500
Рабочая частота тока	кГц	0,5
Продолжительность плавки	мин	70
Расход воды	м ³ /час	12
Двух-валковая литейная машина		
Диаметр валков-кристаллизаторов	мм	600
Длина рабочей поверхности валков	мм	300
Раствор валков	мм	1...3
Скорость литья (диапазон)	м/сек	0,1...1,0
Мощность главного привода	кВт	55
Расход воды на охлаждение валков	м ³ /час	200
Прокатная клеть		
Тип клетки	-	дуо
Диаметр валков	мм	250
Толщина исходной полосы	мм	1,0...2,0
Толщина проката	мм	0,8...1,7
Мощность главного привода	кВт	45
Моталка		
Тип моталки	-	намоточно-натяжная
Диаметр барабана	мм	400
Наружный диаметр рулона	мм	650
Мощность привода	кВт	11,0
Удельные расходы энергоносителей		
Электроэнергия	кВтч/т	710
Природный газ	нм ³ /т	12,0
Вода на подпитку оборотных контуров	м ³ /т	0,5
Кислород на технологические нужды	нм ³ /т	0,05

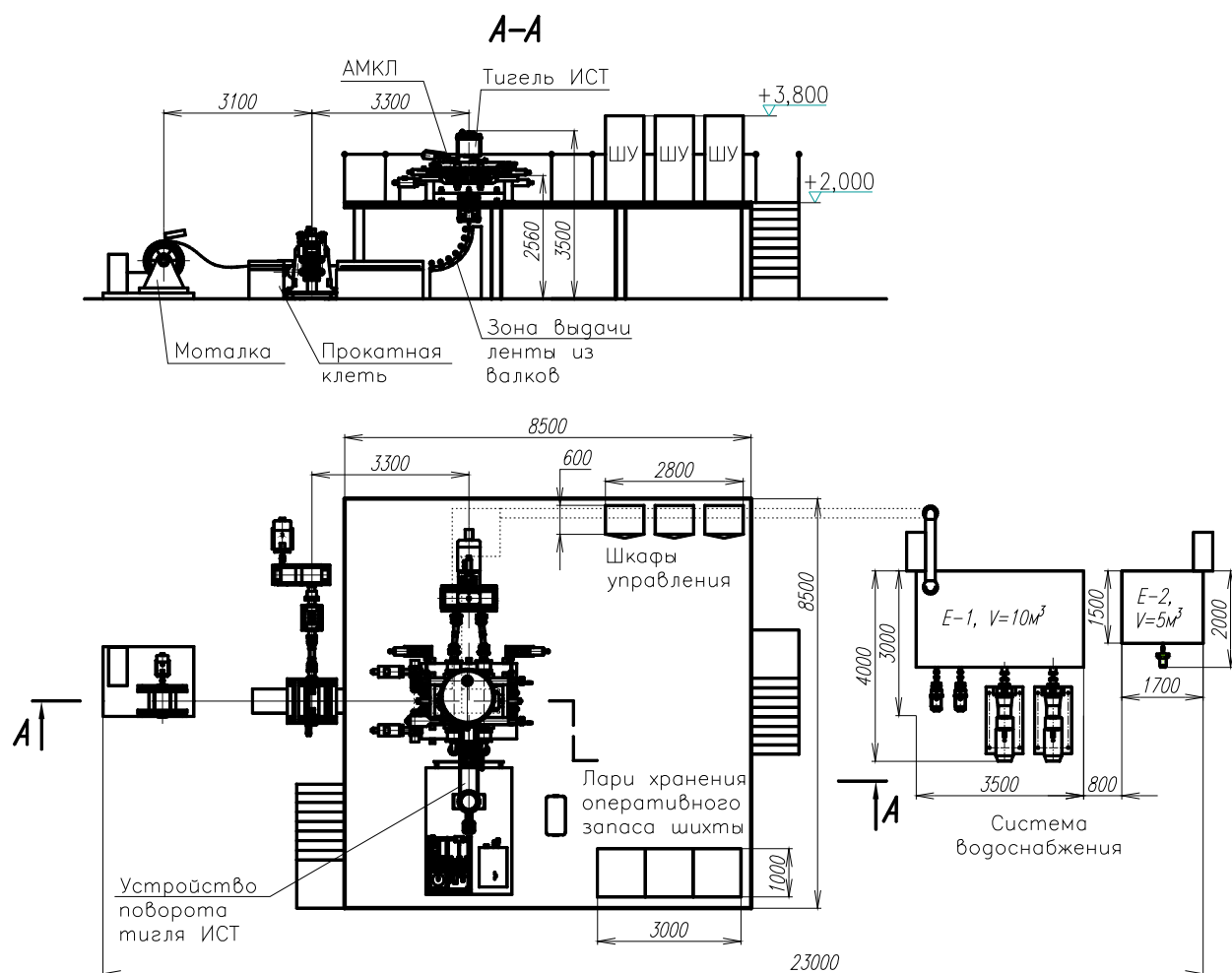


Рис. 5. Планировочное решение по оборудованию микро-металлургического комплекса для производства тонких полос

На первой очереди освоения производственный статус комплекса рассматривался, как опытно-промышленный, что было необходимо для восстановления и освоения отечественной технологии производства тонкого листа. После завершения строительно-монтажных работ планировался период опытной эксплуатации комплекса продолжительностью не менее года. Предполагалось получать холоднокатанную ленту не только из углеродистых, но и из легированных сталей. На второй очереди комплекс должен был быть переведён на промышленное производство ленты с годовым выходом не менее 2400 тонн.

К сожалению, финансирование проекта в 2022 году прекратилось и было отложено на неопределённое время.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Технология валкового литья-прокатки тонких полос. Результаты исследований и промышленное освоение. Матвеев Б. Н. – ОАО «Черметинформация», 2008. 59 с.
2. Hohenbichler G. et al/ Eurostrip – direct strip casting of carbon and stainless steels. Latest results from Terni and Krefeld // 4-th European Continuous Casting Conference 14-16 Oct. 2002 Birmingham. 2003. V.2. P. 869-881.
3. Ю. В. Коновалов. Настоящее и будущее литейно-прокатных агрегатов // Производство проката. 2010. №1. С. 21-38.
4. World's first commercial twin-drum strip casting process at Hikari Works Nippon Steel Corporation / Yamada et al. // 4-th European Continuous Casting Conference, 14-16 Oct. 2002. Birmingham. V. 2. 2003. P. 891-901.
5. A. Cramb, A. Rollet Strip casting: Anticipating New Routes to Steel Sheet // AI-SI/DOE Technology Roadmap Program. Final Report. Pittsburgh. U. S. A. 2001. 21 p.
6. В. В. Егоров, В. Ю. Сосенко, С. Ю. Сосенко Литейно-прокатный агрегат с двухвалковой машиной для производства горячекатаного листа // Тяжёлое машиностроение. 2006. №5. С. 8-11.
7. В. В. Егоров, А. И. Майоров Двухвалковые литейные машины для производства стального листа. В сб. «60 лет научно-конструкторской и производственной деятельности ВНИИМЕТМАШ» / сост. В. Г. Дрозд, А. И. Майоров, Б. А. Сивак. – М.: Наука, 2005. – 509 с.