

Е. И. МАРУКОВИЧ, член корреспондент НАН Беларуси, ИТМ НАН Беларуси

## ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛОВ НАН БЕЛАРУСИ — РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ И ТЕХНИКИ ПРОЦЕССОВ ЛИТЬЯ



Литейное производство является основной заготовительной базой машиностроения. В нашей республике имеются мощности для производства около 100 кг отливок в год на душу населения. Это в 2 раза больше, чем

в среднем в развитых странах, например, в Англии — 24,5 кг, Японии, США — 54 кг отливок в год на душу населения.

Литые заготовки наиболее дешевые, расход металла — минимальный. Например, коэффициент использования металла при изготовлении деталей из отливок ~ 0,6, сваркой из проката — 0,55, из поковок — 0,3. Для особо сложных деталей и сплавов, не поддающихся обработке давлением, литейная технология является единственно возможной. Автомобили и тракторы состоят из литых деталей на 50—60%, а станки — на 80%. Поэтому проблема улучшения качества литых деталей, уменьшения их материалоемкости всегда актуальна.

Как улучшить свойства отливок? Основные проблемы здесь связаны с физической и химической неоднородностью металла. Частично решить эту проблему можно за счет облагораживающих добавок, т. е. легированием. Однако такой способ не стимулирует совершенствования технологии, не способствует увеличению производительности труда, а, главное, ведет к расходу дефицитных и дорогих легирующих материалов.

Мы выбрали другой путь — обойтись без дорогих добавок, но организовать процесс затвердевания жидкого расплава таким образом, чтобы использовать скрытые резервы улучшения физико-механических свойств металла.

С момента попадания расплава в форму процесс затвердевания отливки определяется в основном отводом теплоты с ее поверхности. При этом как в отливке, так и в форме могут происходить сложнейшие физико-химические превращения, но кинетика отвода теплоты определяет весь ход процесса. В конечном итоге создание оптимальных тепловых условий обеспечивает получение изделий высокого качества.

Как их создать? Вот принципиальная идея! Направленный односторонний (рис. 1) регули-

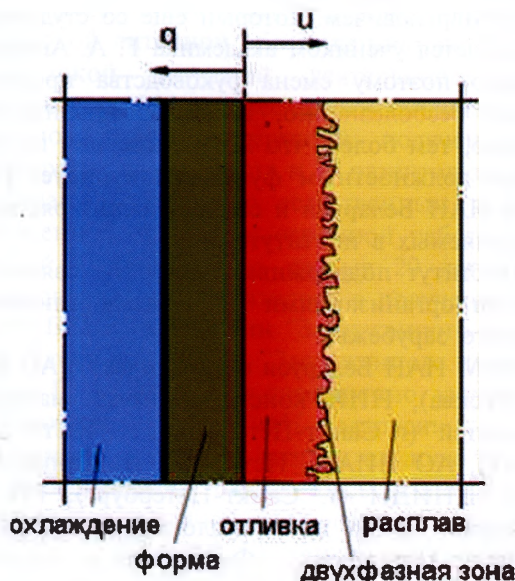


Рис. 1. Принципиальная схема

емой интенсивности теплоотвод. Направленное последовательное затвердевание. Обильное питание фронта кристаллизации расплавом и свободная усадка отливки.

Ни один из существующих методов литья в полной мере не удовлетворяет этому принципу, так как затвердевание расплава происходит в замкнутом объеме формы. Отсюда дефицит питания, объемное затвердевание, усадочные явления и результат — пористость, рыхлоты, раковины и худшие физико-механические свойства, чем у поковок и проката, в которых неоднородность частично устранена деформацией металла.

Эта идея наиболее эффективно воплотилась в разработанных нами методах непрерывного литья для получения широкой номенклатуры заготовок (рис. 2). Например, в методах непрерывного горизонтального (рис. 2, а) и вертикального (рис. 2, б) литья, в которых расплав непрерывно подается в проходную охлаждаемую неподвижную форму — кристаллизатор, а затвердевающая отливка вытягивается непрерывно по специальному циклическому режиму; способах непрерывного литья намораживанием на вращающихся кристаллизаторах (рис. 2, в): одном, двух без прокатки и с одновременной прокаткой отливки, между колесом-кристаллизатором и непрерывно-замкнутой лентой. И в самом оригинальном — методе непрерывно-циклического литья намораживанием (рис. 2, г), в котором расплав сифоном заливают в кристал-

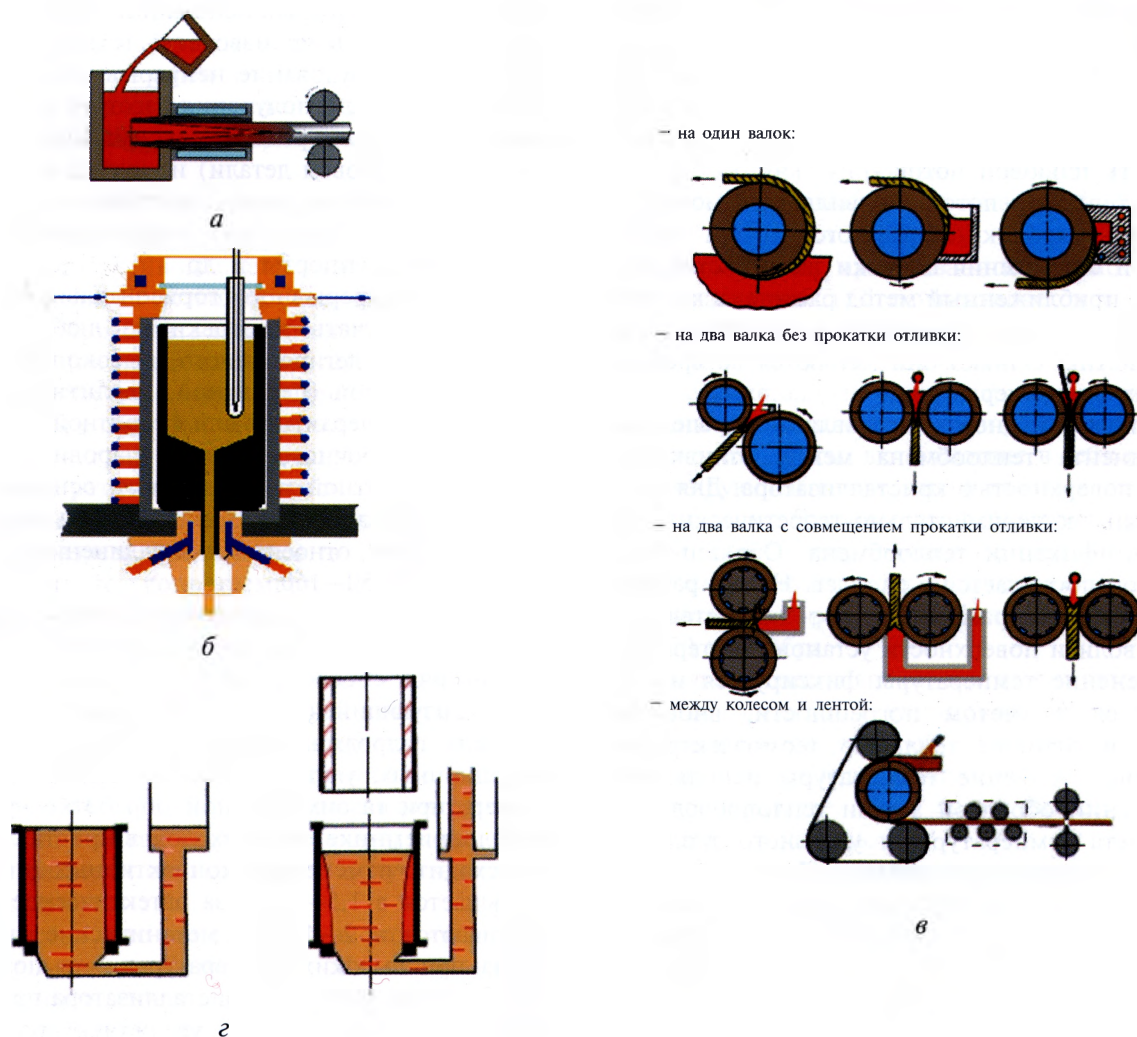


Рис. 2. Методы непрерывного литья:  
а — горизонтальное; б — вертикальное; в — во вращающиеся катализаторы; г — намораживанием

лизатор, заготовки извлекают вверх по мере намораживания необходимой толщины. Все эти методы в наибольшей степени удовлетворяют выдвинутой идее.

Интенсивный направленный теплоотвод способствует направленной кристаллизации, уменьшению ликвационной неоднородности, неметаллических и газовых включений. Непрерывная подача расплава к фронту затвердевания обеспечивает постоянное питание растущих кристаллов, устранение усадочных дефектов и получение плотных отливок.

Однако управление этими процессами, их оптимизация представляет большие трудности. Протекающие при формировании непрерывной отливки теплофизические и физико-химические процессы очень сложны, так как стадии заливки расплава, отвода теплоты перегрева, затвердевания отливки в форме, охлаждения в форме и вне ее смещены не во времени как в обычных способах литья, а в пространстве и происходят одно-

временно. Поэтому решение проблемы исключительно трудно в научном плане: литейные сплавы затвердевают в интервале температур кристаллизации и имеют сложные зависимости выделения теплоты кристаллизации от температуры и скорости охлаждения, в затвердевающей отливке одновременно происходит множество процессов, которые ответственны за химическую и физическую неоднородность материала; усложняют тепловую картину циклическое вытягивание слитка и сложная конфигурация отливок. При литье, например, чугуна добавляются вопросы графитизации, диффузии, предсадочного расширения. Поэтому проектирование технологии немислимо без предварительного математического моделирования.

Труднее всего было воссоздать тепловую картину процесса. В начале необходимо было рассчитать температурное поле кристаллизатора при циклических тепловых воздействиях. На основе решения дифференциального уравнения теплопроводности с использованием гармонического анализа разра-

ботаны методики аналитического расчета изменения температуры. Решение достаточно сложное особенно для цилиндрической стенки, однако позволяет провести полный анализ температурного режима кристаллизатора по сечению, длине и определить тепловой поток.

Зная тепловой поток, появилась возможность разработать методику поэтапного расчета затвердевания и охлаждения отливки вне кристаллизатора. Это приближенный метод расчета, в котором используются средние значения теплофизических характеристик. Однако они меняются во времени и зависят от температуры.

Большую трудность составляет определение коэффициента теплообмена между отливкой и рабочей поверхностью кристаллизатора. Для этого разработан экспериментально-теоретический метод идентификации теплообмена. Образец-кристаллизатор погружается в расплав. На его рабочей поверхности намораживается корочка металла. В образце вблизи поверхности установлена термопара. Изменение температуры фиксируется и корректируется с учетом погрешности, вносимой каналом и оттоком тепла по термоэлектродам. Полученное значение температуры используется при решении обратной задачи теплопроводности для расчета температуры и удельного теплового потока на поверхности образца. Далее, используя эти значения, решается задача затвердевания, из которой находится температура на поверхности корочки. И, наконец, из уравнения Ньютона определяется искомый коэффициент теплообмена между кристаллизатором и отливкой.

Используя методики расчета температурного поля кристаллизатора, удельного теплового потока, коэффициента теплообмена между кристаллизатором и отливкой, разработаны математические модели для различных способов литья: в подвижные валковые и стационарные кристаллизаторы, учитывающие теплоотвод от расплава, отливки, элементов кристаллизатора и литниковой системы в осевом и радиальном направлениях, конфигурацию отливки, зависимость теплофизических свойств от температуры, наличие двухфазной зоны, выделение теплоты кристаллизации, конвекцию в расплаве, влияние газового зазора между отливкой и кристаллизатором, технологических параметров, конструкции и материала кристаллизатора.

Численные решения на ЭВМ позволили воссоздать тепловую картину формирования отливки, из которой можно определить в любой момент времени толщину твердой корки, скорость затвердевания, тепловой поток, температуру отливки и кристаллизатора, темп изменения этих параметров и его зависимость от интенсивности теплоотвода. Причем на мониторе можно наблюдать реальную картину затвердевания в любой момент времени.

Тепловые параметры удалось связать с особенностями структурообразования сплавов и пара-

метрами технологии. На основании этого разработаны и освоены в производстве технологические процессы и оборудование непрерывного горизонтального литья для получения заготовок (простой и сложной конфигурации, максимально приближающиеся к готовой детали) из чугуна и цветных сплавов для станко-, авто-, тракторо- и судостроения. Это детали гидравлики, направляющие станков, салазки, суппорты и др.

Способ непрерывного горизонтального литья позволяет получать заготовки из любых марок чугуна: серого, легированного, высокопрочного с любой структурой (перлитной, перлитно-ферритной, ферритно-перлитной или ферритной). Заготовки из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и ферритной металлической основой имеют прочность  $\sigma_b \sim 500$  Н/мм<sup>2</sup>, предел текучести  $\sigma_{0,2} \sim 300$  Н/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение  $\delta \sim 23\%$ , твердость HB 150—160.

Для управления процессами структурообразования при больших скоростях затвердевания разработан ряд способов внешних воздействий на кристаллизующийся расплав: тепловых, термохимических, гидродинамических, электромагнитных, вибрационных, ультразвуковых, плазменных. Например, при газоимпульсной обработке чугуна в металлоприемнике перед входом в кристаллизатор происходит изменение конвективных потоков, уменьшается в 1,5—2,0 раза эвтектическое зерно, повышаются в 2—4 раза механические свойства чугуна при высоких температурах, что позволяет вытягивать заготовку из кристаллизатора при большей доле жидкой фазы и увеличить производительность процесса в 1,5 раза.

Умение управлять кинетикой отвода теплоты и скоростью фазовых превращений имеет важное значение при получении износостойких отливок. Так, ускоренная кристаллизация легированных белых чугунов заэвтектического состава приводит к измельчению ледебуритной эвтектики, формированию в условиях значительного переохлаждения упрочняющих эвтектических композиций типа "матрица—фаза внедрения", которые могут иметь, например, в случае железо—карбид ванадия волокнистый характер. Это создает эффект естественного композиционного упрочнения и повышение пластичности и ударной вязкости эвтектического сплава. Таким образом, был разработан принципиально новый способ непрерывного литья мелющих тел из чугуна с сочетанием исключительных свойств: высокой твердости и ударостойкости. А это, например, при размоле цемента является определяющим. Чем меньше железа в цементе, тем выше его марка.

Такие же результаты достигнуты и для других заэвтектических сплавов, например, силуминов. Не модифицируя сплав, получена инвертированная эвтектика с коагулированными кристаллами первичного кремния дисперсностью 20 — 30 мкм.

Сплав имеет высокие прочность и пластичность. Это открывает совершенно новую сферу применения силуминов взамен чугуна и стали для деталей машин. Полученные результаты позволяют значительно расширить сферу применения непрерывно-го литья.

Теоретические исследования теплофизических процессов формирования заготовки в кристаллизаторах с интенсивным теплоотводом и динамики движения слитка позволили нам спрогнозировать, а затем и разработать принципиально новый способ получения полых заготовок. Непрерывный слиток формируется в многоступенчатом кристаллизаторе таким образом, что своеобразным "дорном" служит отливка, затвердевающая в предыдущей ступени. В результате получается сложносоставной непрерывнолитый слиток, который после поперечного разреза разнимается в продольном направлении по сопрягаемым поверхностям на сплошную и полую заготовку в случае двухступенчатого кристаллизатора, на сплошную и две полые заготовки при трехступенчатом кристаллизаторе и т. д. Выполнение ступеней кристаллизатора различной формы позволяет получать заготовки с различной комбинацией внутренней и наружной поверхностей: цилиндр, квадрат, шестигранник и т. п. Устанавливая соответствующую схему поперечной разрезки слитка, можно получать втулки с буртом, дном и т. п.

Известно, что наибольшую экономию металла дает применение биметаллов. Их использование обеспечивает деталям комплекс свойств, необходимых в процессе эксплуатации, а также увеличивает ресурс работы. В настоящее время нами разрабатывается принципиально новый способ непрерывного литья биметаллов, в котором компоненты соединяются между собой в жидкофазном состоянии не перемешиваясь, что позволит получить самое плотное соединение металлов. Это стало возможным потому, что мы научились управлять процессами. В первую очередь теплоотводом. Созданы специальные кристаллизаторы с дифференцированным теплоотводом по периметру и длине. Пришлось даже для этого начать создавать специальные градиентные материалы с изменяющейся теплопроводностью по толщине и длине. Это позволило разработать оборудование и технологию непрерывного литья проволоки из цветных и драгоценных металлов. Диаметр проволоки 3—10 мм.

ИТМ НАН Беларуси разрабатывает, изготавливает и поставяет оборудование для непрерывного горизонтального литья не только предприятиям Беларуси, но и России, Украины, Кореи (рис. 3).

Известно, что тонкие ленты, полосы, листы изготавливают прокаткой или прессованием. Однако самым дешевым, а иногда и единственно возможным способом изготовления таких заготовок является непрерывное литье. Например, когда

лента из соли — хлорида меди. Эти исследования проводятся в лаборатории контактного теплообмена (заведующий канд. техн. наук Э. Ф. Барановский, вед. науч. сотр., канд. техн. наук В. М. Ильошенко).

Разработана уникальная технология непрерывного литья электродного материала толщиной 0,4 — 0,9 мм и шириной 430 мм на основе хлористой меди, армированной медной сеткой. Литье расплава CuCl осуществляется в валковый кристаллизатор с ребордами. Формирование отливки происходит в результате теплообмена расплава с кристаллизатором и армирующей сеткой. Созданы промышленные линии для изготовления электродной ленты, включающие в себя подготовку армирующей сетки, литье ленты и разрезку ее на электроды. Решение этой проблемы позволило осуществить замену хлористого серебра в водоактивируемых химических источниках тока на хлористую медь, в результате было сэкономлено более 700 т серебра.

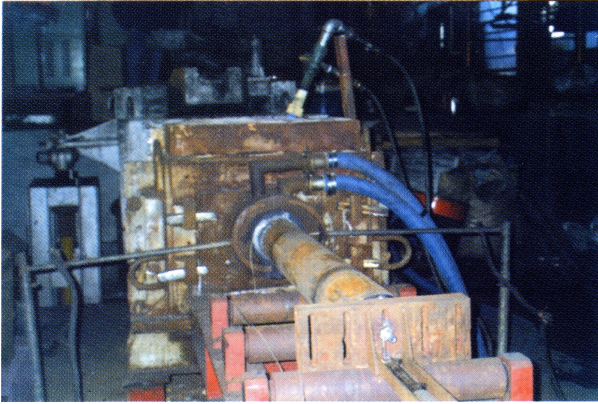
Автомобилисты знают, как важен аккумулятор. Главным элементом свинцовой аккумуляторной батареи является решетка. Уровень технологии ее изготовления определяет прогресс в аккумуляторном производстве. Пока такую решетку во всем мире льют в кокиль.

В ИТМ НАН Беларуси создан процесс непрерывного литья аккумуляторной решетки (рис. 4). Расплав непрерывно подается в устройство-питатель, которое плотно прилегает к вращающемуся кристаллизатору-барабану, на поверхности которого нанесен профиль решетки. Затвердевающая лента-решетка непрерывно извлекается со скоростью до 30 м/мин и наматывается на катушку. Существенно повышается точность и снижается масса решетки.

Разработаны технология и опытно-промышленное оборудование, производительность которого на порядок выше серийного. Разработка технологии и оборудования инициировали проведение работ по созданию производства аккумуляторных батарей на ГП "Энергия" (г. Кличев), где будет производиться до 30 тыс. аккумуляторов в год.

Промышленность Республики Беларусь в значительных объемах потребляет полосы из цинка и алюминия толщиной 8—12 мм и шириной 80—120 мм. Для этих целей закупается дорогостоящий прокат. Значительно дешевле изготавливать такие полосы непосредственно в республике с применением отходов цинка и алюминия.

Нами разрабатывается способ получения полос в кристаллизатор "колесо—лента". Формирование отливки происходит в ручье, образованном водоохлаждаемым колесом и бесконечной стальной лентой, которая в зоне формирования отливки интенсивно охлаждается водой. Это обеспечивает высокую интенсивность охлаждения отливки и формирование тонкой микроструктуры металла.



а



б

Рис. 3. Установка горизонтального литья на фирме "Sam Chang"

Опытные партии цинковых анодов размером  $10 \times 80 \times 500$  мм успешно прошли производственные испытания на Белорусском металлургическом заводе при латунировании металлокорда. В институте создан участок для изготовления анодов мощностью 300 т в год с использованием отходов гальванического производства БМЗ.

И, наконец, еще один пример самого уникального метода непрерывно-циклического литья намораживанием. Работы выполнены в лабораториях затвердевания металлов (заведующий канд. техн. наук В. Ф. Бевза) и проблем конструкционных материалов (заведующий канд. техн. наук А. М. Бодяко). Принципиальной особенностью метода является возможность получения полой отливки без применения стержня. Это создает ряд преимуществ перед другими способами. Первое и главное — формирование отливки происходит при наличии одного фронта кристаллизации и его свободном питании жидкой фазой в течение всего времени

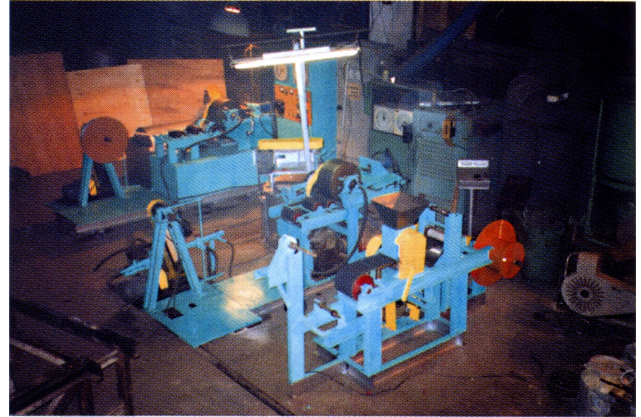


Рис. 4. Установка непрерывного литья аккумуляторной решетки

затвердевания при интенсивном радиально-направленном теплоотводе. Это устраняет образование усадочной и газовой пористости, попадание в тело отливок неметаллических и шлаковых включений и обеспечивает получение заготовок с высокодисперсной структурой и плотностью, близкой к теоретической.

Второе — отсутствие стержня обеспечивает свободную усадку отливок как в процессе затвердевания, так и при последующем охлаждении после извлечения из формы.

Третье — извлечение отливки из кристаллизатора с высокой температурой (всего лишь на  $30 - 50^\circ\text{C}$  ниже температуры солидуса) открывает широкие возможности для управления процессом структурообразования за счет собственной теплоты отливки.

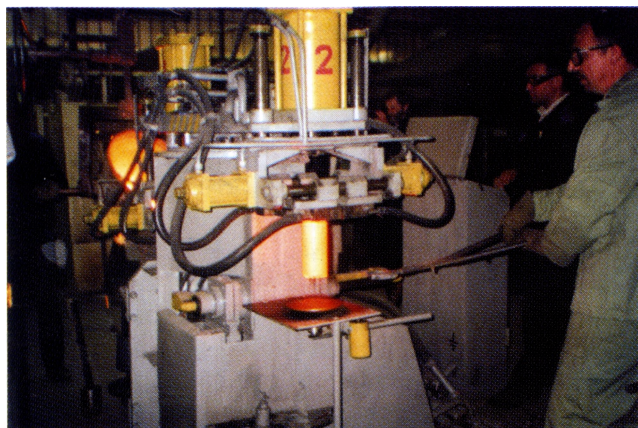
Данный способ позволяет получать в непрерывно-циклическом режиме полые отливки мерной длины без применения стержня с заданными структурой и физико-механическими свойствами. Диаметр заготовок —  $20 - 250$  мм, толщина стенки —  $8 - 30$  мм, высота —  $100 - 300$  мм, производительность —  $100 - 240$  отливок/ч, выход годного —  $90 - 95\%$  (рис. 5).

Уникальные результаты получены при литье белых высокохромистых чугунов (БВХЧ).

Известно, что ударно-абразивному износу лучше противостоят сплавы с тригональными карбидами. Обычно они образуются при  $18\% \text{Cr}$ . В нашем методе достаточно  $12\% \text{Cr}$  для получения в структуре до  $70\%$  карбидов от полностью разориентированных до нормально направленных к поверхности теплоотвода. Последние обеспечивают максимальную износостойкость при абразивном изнашивании.

Температура отливки БВХЧ в момент извлечения из кристаллизатора составляет примерно  $1150^\circ\text{C}$ . Скорость охлаждения отливки после извлечения из кристаллизатора существенно влияет на размеры и морфологию карбидов. Было обнаружено, что при медленном охлаждении ( $\sim 2$  град/с) карбиды меняют форму своих очертаний и укрупняются.

Рис. 5. Установка для литья намораживанием



ются, т. е. происходит коагуляция карбидов. С целью ускорения процессов коагуляции карбидов отливки после извлечения из кристаллизатора необходимо помещать в печь с температурой 950°C. После 2—3 ч выдержки крупные карбидные включения приобретают овальную форму и изолированное расположение в металлической матрице. Твердость составляет более 32 HRC.

Известно, что белый чугун — это хрупкий и не поддающийся обработке резанием материал. При токарной обработке нашего чугуна, так же как и при обработке стали, образуется сливная стружка.

Практическое воплощение полученные результаты нашли при изготовлении износостойких вставок для пуансонов, применяемых при производстве пустотного силикатного кирпича, работающих в чрезвычайно жестких условиях ударно-абразивного изнашивания (усилие прессования составляет 120 т), и фильер для правильно-отрезных станков, работающих в условиях высоких динамических нагрузок и сухого трения. Время работы пуансонов увеличилось в 2—3 раза, а фильер — в 40 раз. Создание новых дизельных форсированных двигателей требует повышения производительности турбокомпрессора (ТК). Работоспособность и долговечность ТК напрямую зависят от уплотнения ротора, вращающегося со скоростью до 160 000 об/мин. В качестве уплотнительного элемента используется упругое разрезное, по типу поршневого, кольцо. Оно должно сохранять высокие упругие и износостойкие свойства в процессе эксплуатации. Причем, чем меньше размер кольца, тем труднее его получить, так как поперечное сечение меньше, а абсолютное значение упругой силы должно быть как в большом кольце. Проблема решена с помощью этого метода. Теперь все кольца для Борисовского завода агрегатов (20 тыс. в месяц) изготавливаются по нашей технологии из чугуна с шаровидным графитом.

Во всем мире стремятся заменить обычный серый чугун чугуном с шаровидным графитом, так как он прочнее, хотя и дороже. Мы, наобо-

рот, заменили высокопрочный чугун более дешевым серым при изготовлении уплотнительных колец с крючковым замком для трансмиссий тракторов Т150, К-700 "Беларус" МТЗ. Однако он обеспечил более высокие упругость и предел прочности на изгиб. Утечка масла при использовании наших колец снизилась в 2 раза.

В заключение остановимся еще на гильзах цилиндров. Отливка гильзы с древних времен считается "королевой" отливок, так как при недопустимости всех известных литейных дефектов требуются высокие прочностные и износостойкие характеристики. Проблема получения качественных заготовок для гильз остается и сегодня. Минский моторный завод покупает гильзу за рубежом.

Два главных требования, предъявляемых к гильзе, прочность и износостойкость — это действительно сложная задача для литейщика, так как эти характеристики трудно совместимы. Ферритная металлическая основа, обеспечивающая высокую конструкционную прочность и кавитационную стойкость, не работает на износ, и наоборот, высокоизносостойкие в условиях трения—скольжения перлитные чугуны имеют более низкие прочностные характеристики. Мы совместили несовместимое, создав технологию, обеспечивающую получение отливок с градиентом свойств по сечению стенки; от ферритной структуры на наружной поверхности до перлитной на внутренней. Иными словами, высокоизносостойкая структура внутренней рабочей зоны гильзы находится в мягкой и прочной наружной оболочке.

В начале мы продемонстрировали это на ремонтных гильзах, потом на гильзах пневмокомпрессоров трактора "Беларус", организовав производство 5 тыс. шт. гильз в месяц. Брак с учетом всех технологических операций не превышает 2%, в то время как на существующих производствах — 40—70%.

Сейчас в институте начата работа по созданию технологии получения гильз для форсированных двигателей трактора. Опытные гильзы имеют усилия на разрыв 43—45, серийные — 23—28 МПа. На промежуточных стадиях испытаний все снимаемые показания имеют улучшенные значения: износостойкость и кавитационная стойкость выше, прорыв картерных газов и расход масла меньше.

В настоящее время на Минском моторном заводе организовывается производство гильз цилиндров форсированных двигателей мощностью 600 тыс. шт. в год.

Следует подчеркнуть, что все разработанные технологические процессы непрерывного литья — экологически чистые ресурсо- и энергосберегающие. Они предусматривают комплексную переработку отходов, получающихся в процессе литья и при механической обработке отливок.

Разработки института используются в станкостроении, авто- и тракторостроении, судостроении, промышленности строительных материалов,

различных областях машиностроения, электротехнической промышленности, военно-промышленном комплексе. По разработкам института создано 19 цехов и участков. Новые процессы внедрены на предприятиях в Могилеве, Минске, Гомеле, Мозыре, Солигорске, Баку, Туапсе, Каунасе, Вильнюсе, Челябинске, Самаре и др.

Институт активно сотрудничает с ведущими центрами и учеными России, Польши, Литвы, Украины, Китая, Турции, Индии, Корейским институтом промышленных технологий (Республика Корея).

Сотрудниками института опубликовано более 600 научных трудов, в том числе в Польше, Болгарии, Югославии, Республике Корея, Индии. Издано 6 монографий, 7 брошюр, получено более 500 авторских свидетельств и 30 патентов зарубежных стран.

Результаты исследований докладывались и демонстрировались на международных конференциях и выставках в Польше, Югославии, ФРГ,

Голландии, Китае, Республике Корея, Индии, Турции, США, Японии, Франции.

Результаты исследований отмечены Государственной премией БССР (Г. А. Анисович, Е. И. Марукович), почетными званиями "Заслуженный деятель науки и техники БССР" (Г. А. Анисович), "Заслуженный изобретатель Республики Беларусь" (Е. И. Марукович), медалью Франциска Скорины (Е. И. Марукович), премией НАН Беларуси за лучшую работу 1999 г. (Г. А. Анисович, Е. И. Марукович, В. Ф. Бевза). В 1998 г. Институт технологии металлов НАН Беларуси удостоен Международного приза "За качество" (Франция), который ежегодно присуждается предприятиям и научно-исследовательским организациям, отличившимся качеством своей продукции.

Свое 30-летие ИТМ НАН Беларуси встречает динамично развивающимся. Средний возраст сотрудников 45 лет, 22% сотрудников моложе 30 лет. В институте 15 аспирантов и докторантов. И поэтому мы с уверенностью смотрим в будущее.

# БЕЛАРУСЬ МОГИЛЕВ Институт технологии металлов НАН Беларуси



ИТМ НАНБ 212030, Бялыницкаго-Бірулі, 11,  
Могилев, Беларусь  
Факс 375 – 0222 – 326593  
Тел. 375 – 0222 – 264643  
E-mail: info@intehmet.belpak.mogilev.by

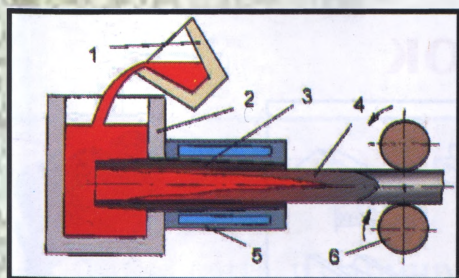
## НЕПРЕРЫВНОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ



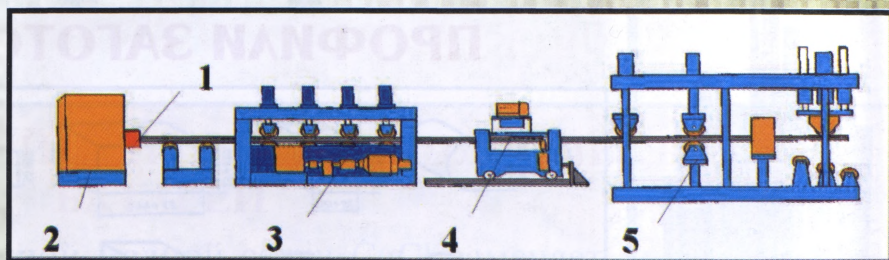
Установку можно использовать для получения заготовок станко- и машиностроения, гидро- и пневмоаппаратуры.

Исходное сырье: стальной и чугунный лом, литейный и пердедельный чугуны, цветные сплавы.

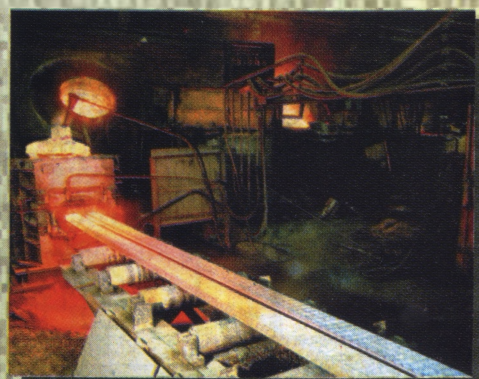
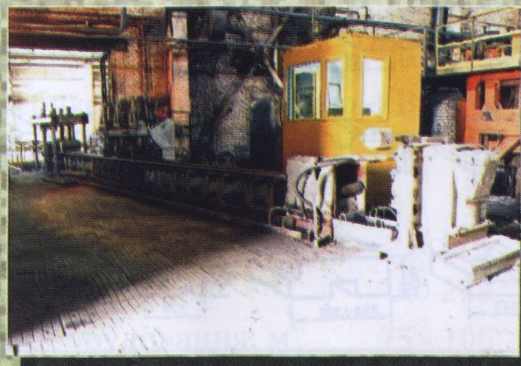
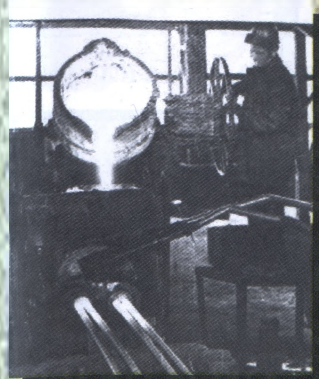
Конечным продуктом процесса является высококачественная непрерывнолитая заготовка с заданной структурой и физико-механическими свойствами.



1 – заливочный ковш; 2 – металлоприемник; 3 – графитовая вставка; 4 – слиток; 5 – кристаллизатор; 6 – механизм вытяжки



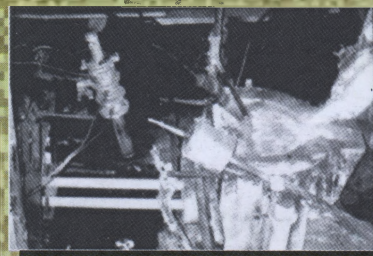
1 – кристаллизатор; 2 – металлоприемник; 3 – клеть тянущая; 4 – механизм надрезки; 5 – механизм ломки





## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- \* Производительность, т/ч 0,4 – 10
- \* Потребляемая мощность, кВт 20
- \* Масса, т 19
- \* Габариты, мм 16000x6300x3000



## СТРУКТУРА ЧУГУНА

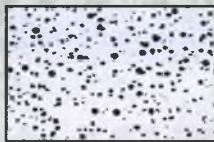
### СЕРЫЙ ЧУГУН

100%-ный  
ПЛАСТИНЧАТЫЙ  
ГРАФИТ. X 100

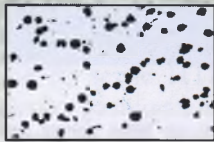


### ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН

> 95% ШАРОВИДНЫХ  
ВКЛЮЧЕНИЙ. X 100

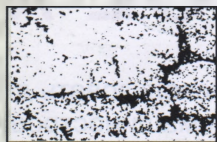


100%-ный ФЕРРИТ.  
X 200

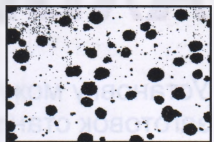


$\sigma_B \sim 500 \text{ Н/мм}^2$ ;  $\sigma_{0.2} \sim 300 \text{ Н/мм}^2$   
 $\delta \sim 23\%$ ; НВ 150-160

90%-ный ФЕРРИТ.  
X 100



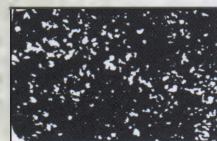
> 95% ШАРОВИДНЫХ  
ВКЛЮЧЕНИЙ. X 100



50%-ный ФЕРРИТ.  
X 200



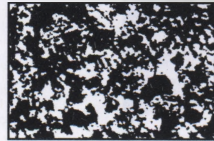
100%-ный ПЕРЛИТ.  
X 100



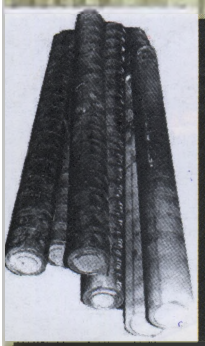
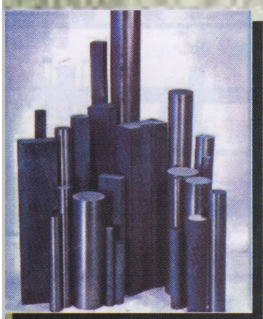
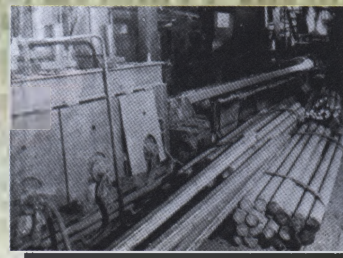
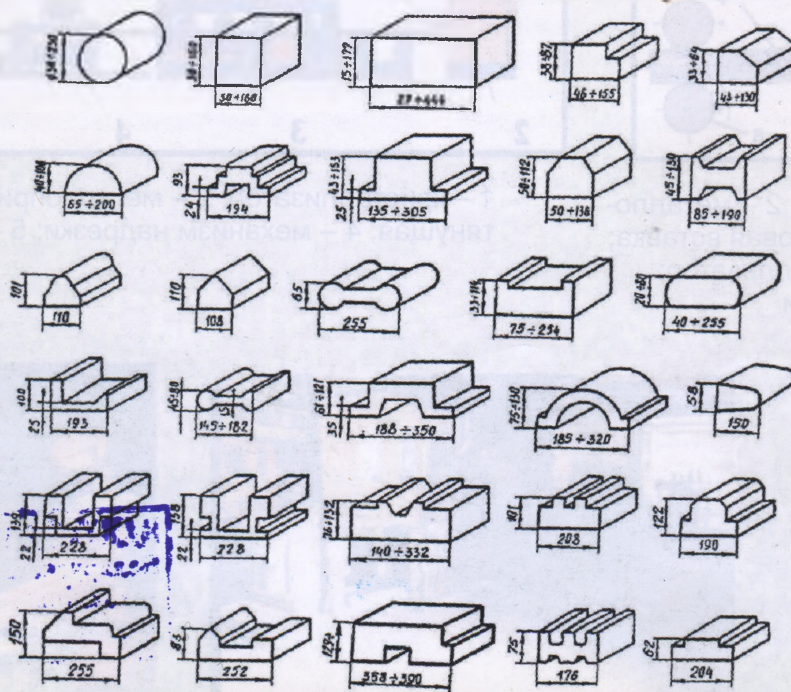
X 1000



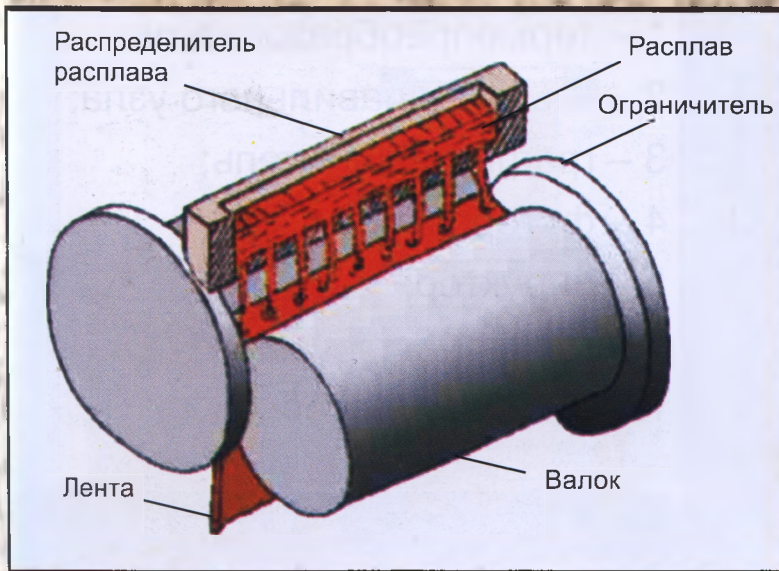
100%-ный ПЕРЛИТ.  
X 100



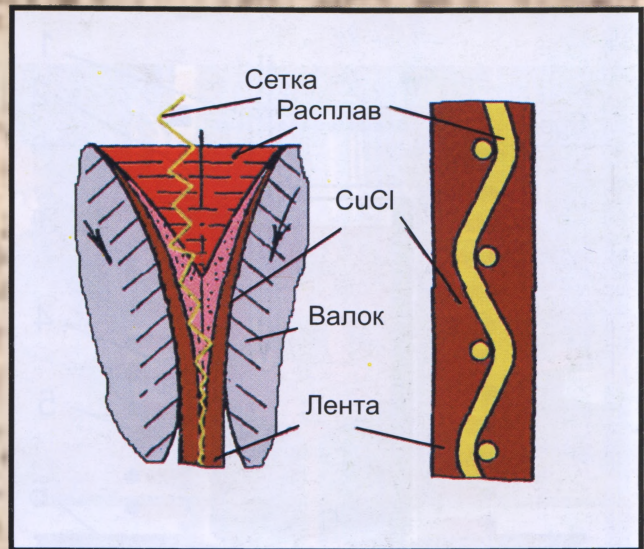
## ПРОФИЛИ ЗАГОТОВОК



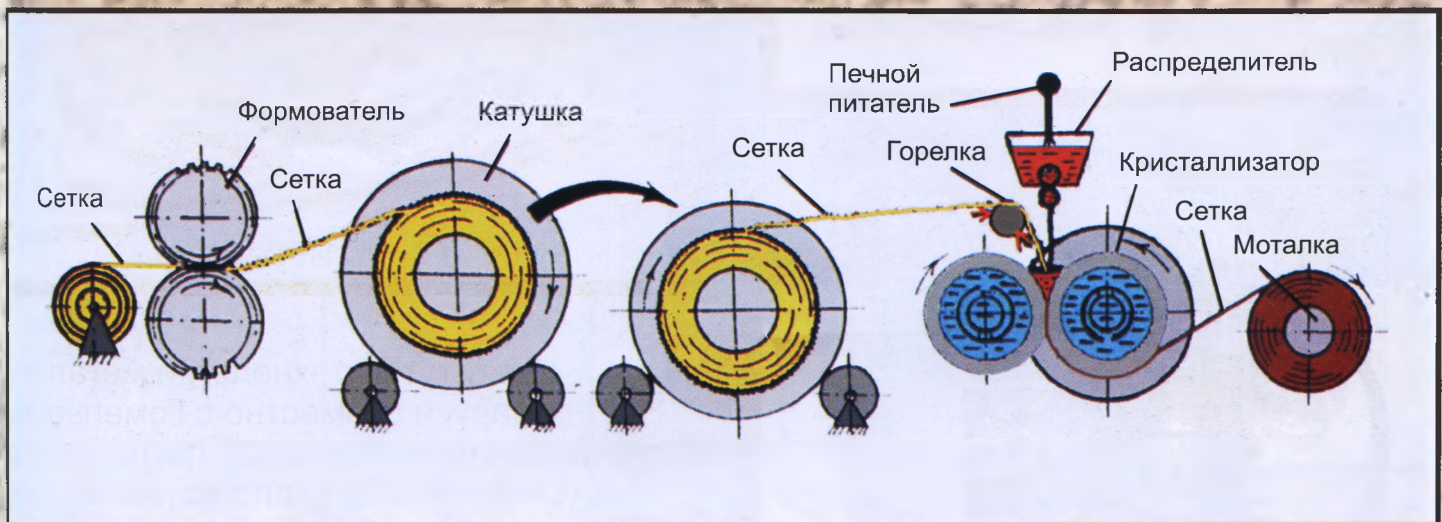
# СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ КАТОДНОЙ ЛЕНТЫ ИЗ $CuCl$



**ВАЛКОВЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР**



**ФОРМИРОВАНИЕ АРМИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ**



## ЛИТЬЕ АРМИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ ИЗ $CuCl$ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ БАТАРЕЙ

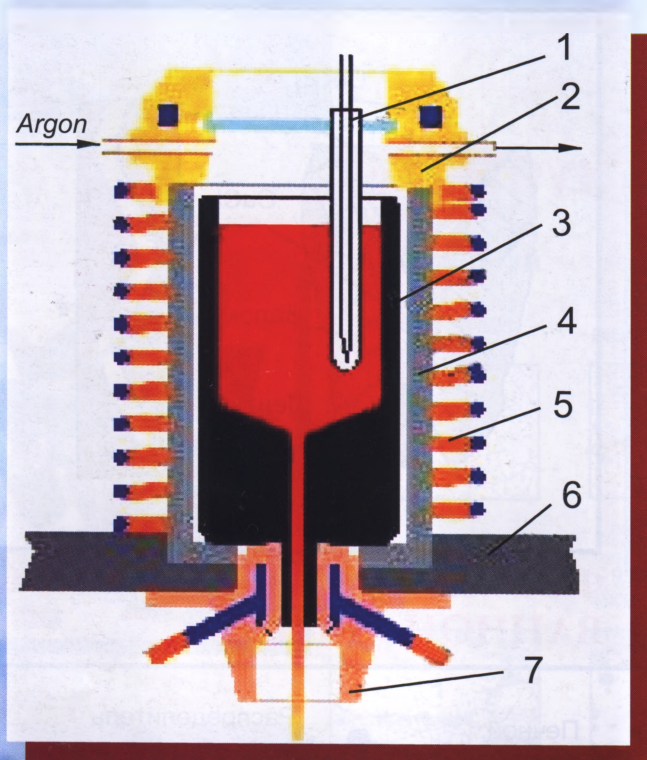
Литая лента из армированной медной сетки  $CuCl$  заменяет прокат из  $AgCl$  в активируемых морской водой химических источниках тока. Стоимость катодного материала на основе  $CuCl$  в **30 - 40** раз ниже, чем из  $AgCl$ .

### КОМПЛЕКТ ОБОРУДОВАНИЯ

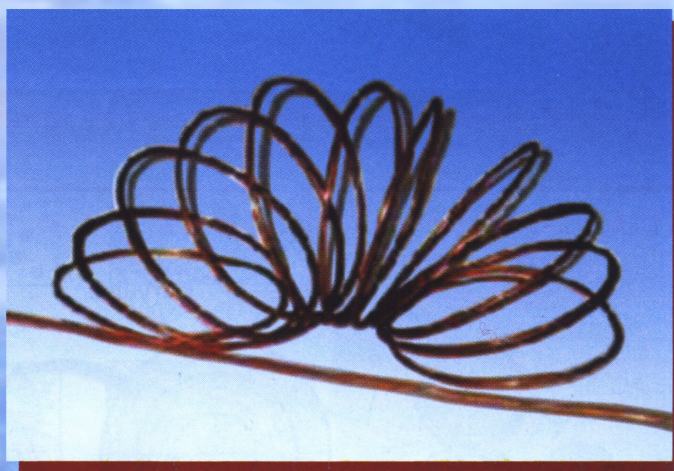
Ножницы барабанного типа для разрезки медной сетки  
 Формователь поверхности медной сетки  
 Плавильная печь с потребляемой мощностью, кВт **100**  
 Валковый кристаллизатор:  
 мощность электроприводов, кВт **10**  
 потребление воды на охлаждение, м<sup>3</sup>/ч до **16**  
 масса рулона ленты, кг до **200**  
 Площадь для установки оборудования, м<sup>2</sup> **75 - 100**

Толщина ленты, мм **0,4 - 0,9**  
 Ширина ленты, мм до **430**  
 Скорость литья, м/мин **6 - 9**

# ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ПРОВОЛОКИ



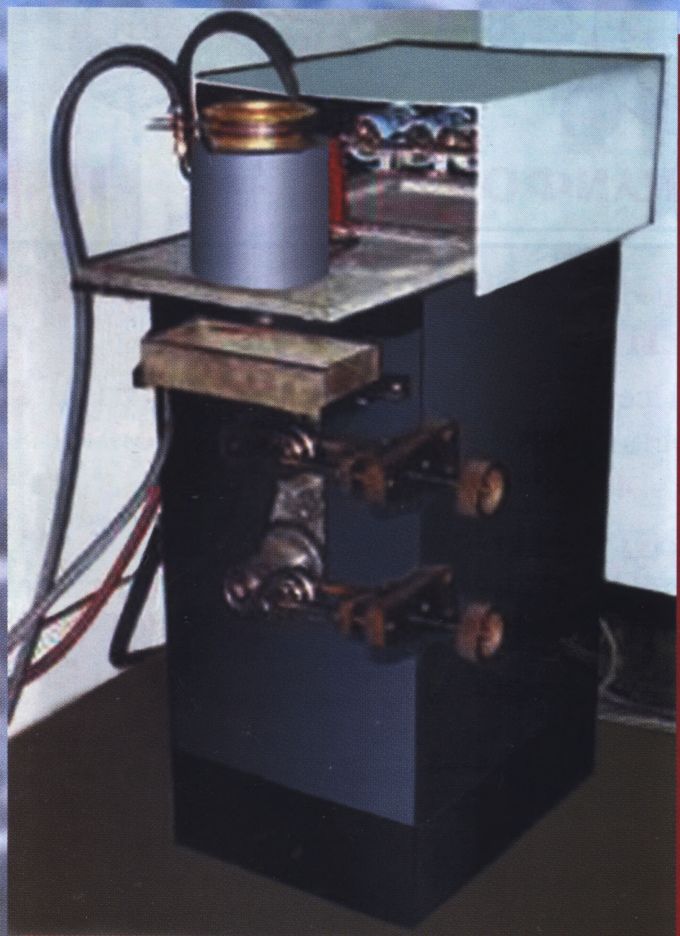
- 1 – термопреобразователь;
- 2 – крышка плавильного узла;
- 3 – графитовый тигель;
- 4 – футеровка;
- 5 – индуктор;
- 6 – плита;
- 7 – кристаллизатор



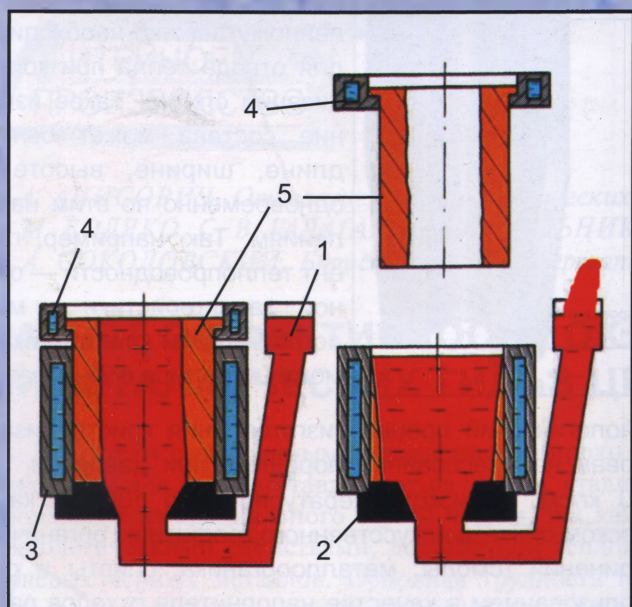
Институтом технологии металлов НАН Беларуси совместно с Гомельским производством «Ювелир» разработаны оборудование и технология непрерывного литья проволоки из цветных и драгоценных металлов.

Производительность, кг/ч	1
Потребляемая мощность, кВт	10,7
Объем тигля, см <sup>2</sup>	220
Выход годного, %	99
Диаметр проволоки, мм	3–10
Габаритные размеры установки, мм:	
длина	540
ширина	710
высота	1140

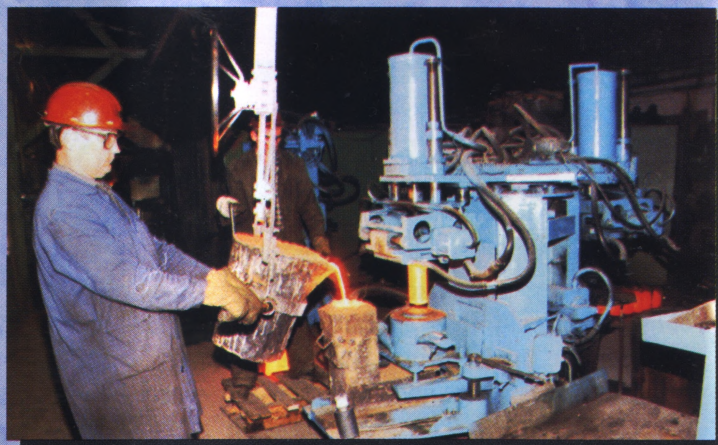
Оборудование внедрено на Гомельском производстве «Ювелир» и применяется для литья проволоки ЗлСрМ-585-80.



# НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОЕ ЛИТЬЕ НАМОРАЖИВАНИЕМ



1 – металлопровод; 2 – соединительный стакан;  
3 – кристаллизатор стационарный;  
4 – кристаллизатор подвижный; 5 – отливка



- Производительность, отл./ч 100–240
- Размеры отливок, мм:
  - наружный диаметр 35–250
  - толщина стенки 8–30
  - длина 100–300

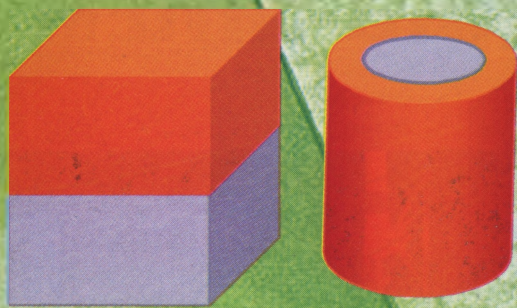
## КОЛЬЦА УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ ДЛЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

(Материал — ЧШГ специальный)

ТКР–8,5 ТКР–11	ТКР–7	ТКР–6
Ø 29,6 мм	Ø 23 мм	Ø 13, 18 мм
<i>для комбайнов «Дон–1500», «Нива», «Енисей», «Колос», КСК и КСКЦ тракторов Т–150, ДТ–75</i>	<i>для тракторов МТЗ–100, Т–9017, автобусов «Икарус», ЛАЗ, автомобилей ЗиЛ, МАЗ</i>	<i>для тракторов МТЗ, автомобилей ЗиЛ</i>



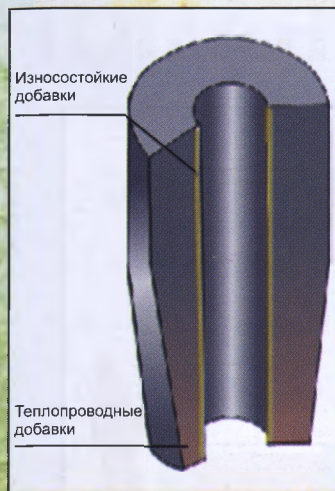
## НЕПРЕРЫВНОЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ЛИТЬЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК



Новый способ получения биметаллов заключается в том, что соединение металлов происходит в жидкофазном состоянии без перемешивания в процессе непрерывной разливки. Высокая активность металлов при температурах плавления, чистота взаимодействующих поверхностей способствуют активному протеканию физико-химических процессов в зоне контакта, что позволяет достичь требуемого качества соединения компонентов.

Возможно получение биметаллических заготовок прямоугольного и круглого профиля.

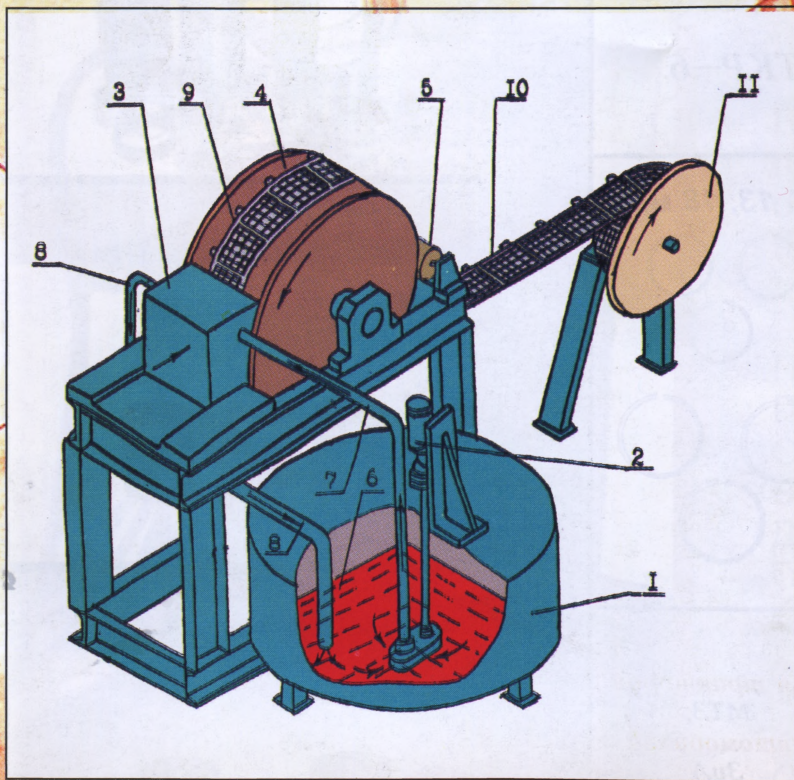
## ГРАДИЕНТНЫЙ КРИСТАЛЛИЗАТОР



Состав материала градиентного кристаллизатора меняется в объеме по определенному закону, необходимому для отвода тепла при кристаллизации слитка. Такое изменение состава может быть по длине, ширине, высоте или одновременно по этим направлениям. Так, например, градиент теплопроводности — основной характеристики в металлографитовом кристаллизаторе может меняться в 2–4 раза.

Технологический процесс изготовления кристаллизатора основан на прессовании порошков при давлении 100–2000 кг/см<sup>2</sup> и низкотемпературном (до 1000°C) каталитическом синтезе искусственного графита из органических соединений (смолы, металлоорганика, спирты и др.) с использованием в качестве наполнителя отходов различных материалов (графит, металлы, их оксиды, нитриды и карбиды).

# НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ РЕШЕТКИ



Производительность установки — до 15000 решеток/ч  
Толщина свинцовой аккумуляторной решетки — 1,0–1,8 мм

1 — печь плавильная; 2 — насос центробежный; 3 — башмак-питатель; 4 — формообразующий барабан; 5 — смазывающе-очистное устройство; 6 — расплав; 7 — питающий трубопровод; 8 — сливной трубопровод; 9 — рельеф решетки; 10 — решетчатая лента; 11 — сматывающее устройство