

С. П. Еронько, Е. В. Ошовская, Д. А. Яковлев, С. В. Мечик (ДонТУ)

# Исследование энергосиловых параметров системы быстрой замены стаканов-дозаторов промежуточного ковша сортовой МНЛЗ

Постоянство скорости истечения металла из промежуточных ковшей в кристаллизаторы при разливке стали на сортовых МНЛЗ открытой струей обеспечивают с помощью стаканов-дозаторов с калиброванным каналом. Повышения серийности в таком варианте разливки, как показывает опыт, можно добиться только за счет применения разливочных устройств, работающих по принципу действия скользящих затворов и позволяющих в течение долей секунды в случае затягивания или размывания выпускного канала заменить дозирующий элемент, пришедший в негодность, новым [1].

На рынке металлургического оборудования в настоящее время потенциальным потребителям предлагают достаточно широкий выбор механических устройств подобного класса [2], однако при этом в технической литературе отсутствует какая-либо информация, связанная с расчетом и оптимизацией рабочих параметров систем быстрой замены стаканов-дозаторов, в связи с чем показатели эффективности их применения в условиях сталеплавильных цехов зарубежных и отечественных металлургических предприятий существенно разнятся [3].

Несмотря на то, что данные устройства в конструктивном исполнении идентичны двухплитному скользящему затвору, использование для расчета силовых характеристик их приводов зависимостей, полученных для затворов шибберного типа [4], не представляется возможным, так как скоростные режимы работы упомянутых разливочных систем практически несопоставимы. При одинаковом рабочем ходе подвижных частей у обеих систем, составляющем 120-130 мм, продолжительности их перемещения из одного крайнего положения в другое отличаются на порядок, так как плита затвора совершает полный ход за 3-7 с, а стакан-дозатор – за 0,3-0,5 с.

Резкое нарастание скорости движения отработанного и резервного стаканов-дозаторов в начальной стадии процесса их смены, обеспечиваемой гидравлическим приводом, влечет за собой развитие динамических нагрузок, действующих на элементы конструкции разливочного устройства. Установление и учет харак-

Рассмотрена методика и приведены результаты исследований параметров процесса ударного взаимодействия тел, одно из которых является несвободным. Полученные экспериментальные данные являются основой для развития теории расчета быстродействующих механических систем, используемых в сталеплавильном производстве

тера изменения статических и инерционных сил, преодолеваемых приводом, позволит обосновать и оптимизировать значения его энергосиловых параметров, что в конечном счете будет способствовать повышению надежности и экономичности всей двигательной системы, а также развитию теоретических основ ее расчета [5].

Достичь поставленной цели можно лишь, основываясь на известных методах решения задач динамики привода гидромеханических систем, применяемых в металлургии [6, 7], и дополнив их новыми положениями, разработанными с учетом специфики функционирования устройств дозированного перелива стали из промежуточных ковшей МНЛЗ.

Учитывая экстремальные условия эксплуатации сталеразливочного оборудования и связанные с ними трудности использования контрольно-измерительных средств для получения данных о силовом нагружении натурного образца во время выполнения операции по замене вышедшего из строя огнеупорного элемента, требуемую информацию о значении и характере нарастания сил технологического сопротивления установили по результатам поставленных специальных экспериментальных исследований.

Для их проведения спроектировали и изготовили физический аналог (рис. 1) системы быстрой смены

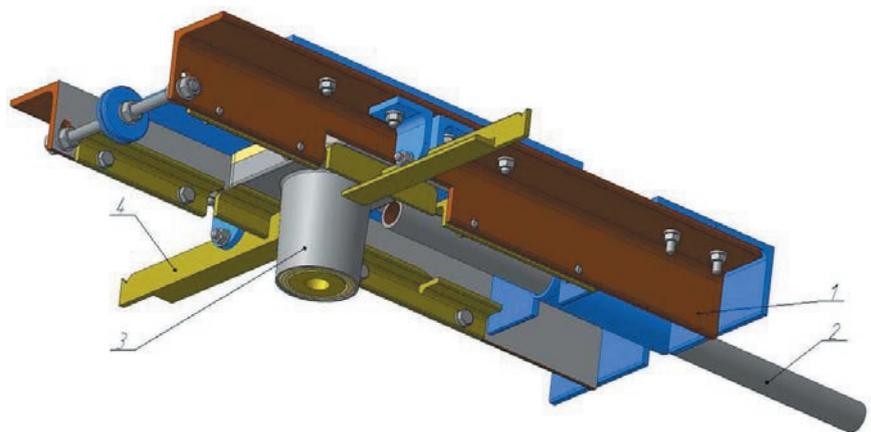
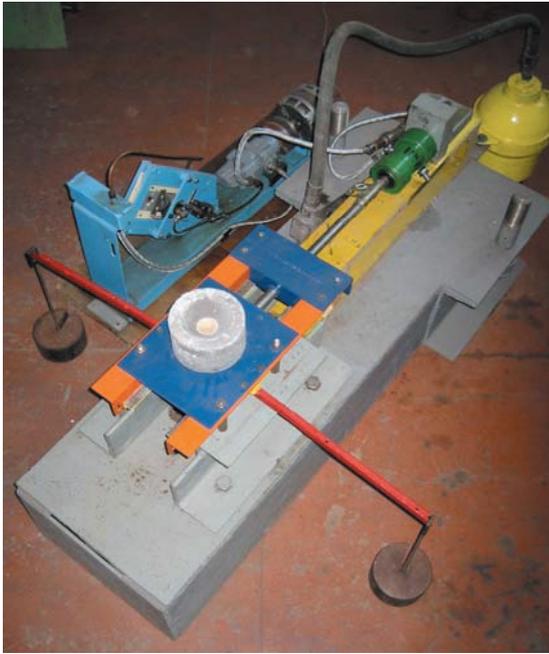


Рис. 1. Физический аналог промышленного устройства для быстрой замены стаканов-дозаторов промежуточного ковша МНЛЗ: 1 – корпус; 2 – полый шток; 3 – стакан-дозатор; 4 – рычаг.



**Рис. 2.** Общий вид испытательного стенда.

стакана-дозатора промежуточного ковша сортовой МНЛЗ, который в конструктивном отношении и по масштабу в точности соответствовал реальному образцу и отличался лишь способом обеспечения силы прижатия сменного огнеупорного элемента. Контролируемую силу воздействия на опорную поверхность его металлической обоймы развивали с помощью набора грузов, навешиваемых на два рычага. За счет изменения массы грузов и длины рычагов достигали строгой фиксации в широком диапазоне значений силы прижатия стакана-дозатора, что позволяло повысить точность проводимых измерений.

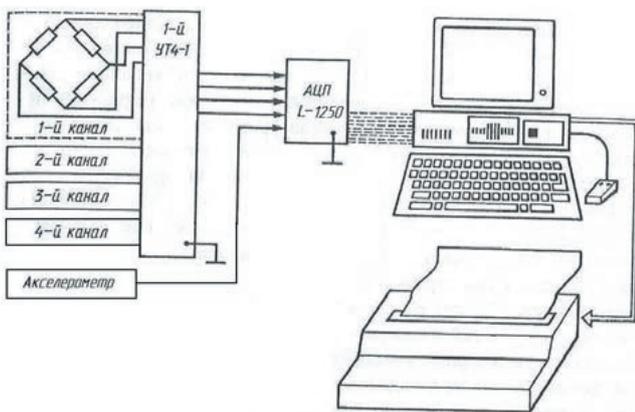
Эксперименты проводили на испытательном стенде, показанном на рис. 2. Он включал сварную раму, на которой жестко крепили аналог разливочного устройства, приводимого в действие гидравлической системой, включавшей силовой цилиндр, насос, предохранительный и обратный клапаны, а также гидроаккумулятор, обеспечивающий требуемое быстродействие системы.

Контроль силовых и скоростных параметров привода разливочного устройства при различных режимах его работы осуществили с использованием измерительного комплекса, в состав которого входили: тензорезисторный

преобразователь, двухкоординатный акселерометр ADXL 210 фирмы ANALOG DEVICES, четырехканальный усилитель переменного тока УТ4-1 (ТУ 25.06.1377-82) и IBM – совместимый компьютер с установленной на его шине платой L-1250 12-разрядного многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) фирмы L-CARD. При этом тензорезисторный преобразователь и акселерометр, позволяющий фиксировать линейные ускорения в пределах от -10g до +10g, размещали на полой штанге, передающей шлювое воздействие штока гидроцилиндра сменному стакану-дозатору. Обработку цифрового представления сигналов, поступающих от тензорезисторного преобразователя и акселерометра, выполняли на ЭВМ в реальном масштабе времени при помощи прикладной программы Power Graph 2.0. Структурная схема измерительного комплекса приведена на рис. 3.

Учитывая то обстоятельство, что отечественные огнеупорные заводы еще не производят керамические изделия, используемые в системах дозированного перелива стали из промежуточных ковшей в кристаллизаторы МНЛЗ, для проведения лабораторных экспериментов потребовалось изготовление сменного комплекта стаканов-дозаторов, форма и размеры которых (рис. 4) соответствовали конструктивному исполнению нового разливочного устройства [8, 9]. Опытные элементы представляли огнеупорный блок, включающий плиту с размерами 85x116x25 мм и стакан, заключенные в металлическую обойму и имеющие сквозной канал с требуемым проходным сечением (диаметр 17 мм). Поверхность скольжения плит изготовленных стаканов-дозаторов после их термической обработки подвергали шлифованию алмазным кругом.

В ходе проводившихся лабораторных экспериментов изучали характер изменения усилия, требуемого для перемещения стакана-дозатора, а также оценивали соотношение статических и динамических нагрузок, действующих на привод в различных условиях контакта элементов разливочной системы. Статическое сопротивление проталкиванию резервного стакана-дозатора с исходной позиции в рабочую обусловлено силами трения, возникающими при относительном перемещении двух пар контактирующих поверхностей, прижатых одна к другой для предотвращения прохода между огнеупорами жидкой стали под воздействием ферростатического давления. При этом одна пара трения образована плоскими поверхностями огнеупорных изделий, а вторая – поверхностью металлической обоймы стакана дозатора и прижимающими ее элементами опор-



**Рис. 3.** Структурная схема контрольно-измерительной системы, применявшейся при эксперименте.



**Рис. 4.** Сменный комплект опытных стаканов-дозаторов.

ного узла разливочной системы. Естественно, статическая сила сопротивления, действующая на привод, зависит от состояния трущихся поверхностей и усилия их прижатия, а точность ее определения – от принимаемых коэффициентов трения скольжения, реальные значения которых могут не совпадать по ряду причин со справочными данными.

Практика непрерывной разливки стали длинными сериями с использованием стаканов-дозаторов свидетельствует о том, что в 50-60 % случаев необходимость их замены обусловлена снижением обеспечиваемого расхода истекающего металла из-за образования корки на стенке выпускного канала. При этом в процессе замены огнеупорного элемента на привод устройства действует дополнительная нагрузка, связанная с разрушением в начале перемещения стакана-дозатора образовавшегося слоя отложений. Следует отметить, что появление такой нагрузки по времени совпадает с возникновением инерционной силы, обусловленной линейным ускоре-

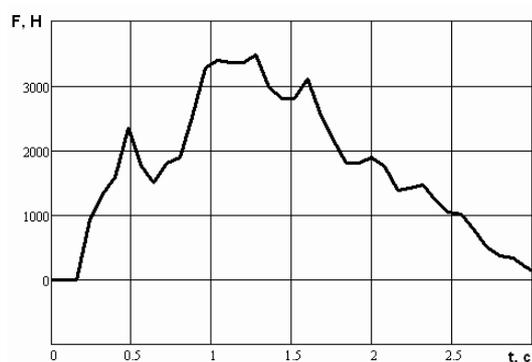
нием стаканов-дозаторов в начале страгивания их с места. В связи с этим возникают значительные трудности отдельного определения на промышленном оборудовании составляющих сил, вызывающих совокупную технологическую нагрузку.

Определение динамических нагрузок на привод, вызываемых ударным воздействием на стакан-дозатор штока силового гидроцилиндра в момент трогания с места всех подвижных частей разливочной системы, предполагает наличие информации о развиваемых при этом линейных ускорениях, поскольку массы всех элементов, участвующих в ускоренном движении, заранее известны.

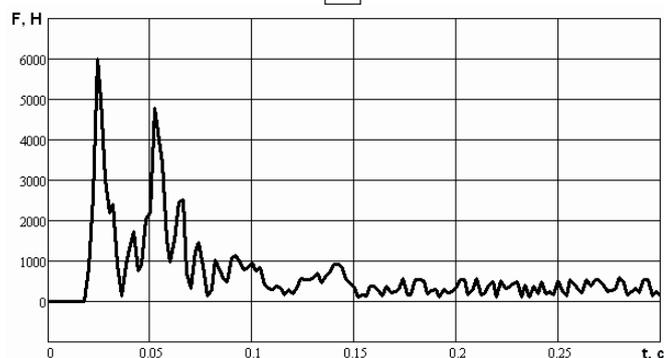
Поэтому одной из задач, решаемых при проведении лабораторных экспериментов, было качественное и количественное сопоставления значений суммарной силы, препятствующей перемещению заменяемого стакана-дозатора, для двух вариантов изучаемого процесса функционирования разливочного устройства, условия которых отличаются лишь наличием или отсутствием настыва в сталевыпускном канале. С этой целью провели серию опытов, в ходе которых выполнили измерения силы сопротивления перемещению стакана-дозатора для случаев размывания и затыгивания его канала. Настыв в канале опытного огнеупорного изделия имитировали втулкой, формируемой методом литья. В качестве материала имитатора настыва использовали свинец, имеющий в твердом состоянии прочностные характеристики, значения которых близки к соответствующим параметрам корки стали при температуре начала ее затвердевания на поверхности менее нагретой стенки канала [10], а также слоя, образующегося в случае его зарастания из оксидов алюминия.

Толщину стенки свинцовой втулки назначали исходя из того, что замену огнеупора в промышленных условиях осуществляют, когда пропускная способность его канала снижается на 15-20 % от значения, заданного технологической инструкцией. Для стаканов-дозаторов, используемых на сортовых МНЛЗ, это соответствует уменьшению диаметра поперечного сечения канала на 4,0-4,8 мм, т. е. образованию корки толщиной от 2,0 до 2,4 мм.

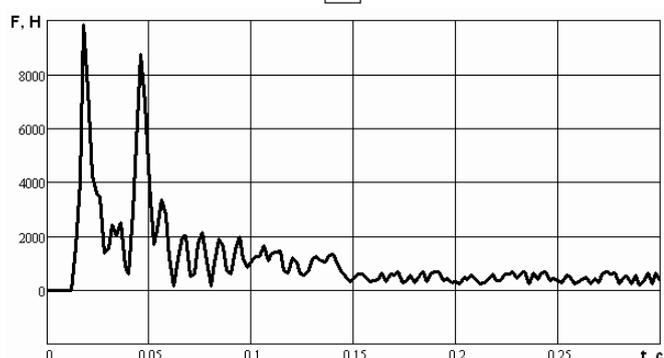
Параметры исследуемого процесса замены стакана-дозатора измеряли в следующей последовательности. Предварительно осуществляли настройку системы прижатия сменного элемента физического аналога разливочного устройства, для чего на рычаги с одинаковыми плечами навешивали требуемое количество грузов с одинаковой суммарной массой. На приемные планки устройства устанавливали резервный стакан-дозатор. Непосредственно перед включением привода устройства запускали программу Power Graph 2.0. Убедившись в нормальном функционировании измерительной системы, осуществляли пуск привода и выполняли запись сигналов, поступающих с тензорезисторного преобразователя и акселерометра в течение цикла замены стакана-дозатора. Снимаемые с датчиков электрические сигналы после усиления и преобразования в 12-разрядный числовой код обрабатывали на ЭВМ в реальном масштабе времени с использованием прикладной программы фирмы L-CARD, поставляемой в комплекте с АЦП. Графическое представление



а



б



в

**Рис. 5.** Нагрузка на привод устройства при различных условиях процесса замены стакана-дозатора: а – средняя скорость перемещения стакана-дозатора 0,03 м/с; б – средняя скорость перемещения стакана-дозатора 0,3 м/с при отсутствии свинцовой втулки; в – средняя скорость перемещения стакана-дозатора 0,3 м/с при наличии свинцовой втулки.

зафиксированных сигналов для визуального контроля и последующего анализа выводили на экран монитора и распечатывали на принтере. Для каждого фиксированного значения силы прижатия сменного огнеупорного элемента провели по три контрольных замера. Во время первого измерения подачу рабочей жидкости в полость силового гидроцилиндра осуществляли насосом с отключением гидроаккумулятора. При этом длительность процесса замены стакана-дозатора составляла от 2,8 до 3,2 с, а развиваемые линейные ускорения были незначительными (0,06-0,08 м/с<sup>2</sup>), в связи с чем нагрузка на привод определялась лишь силами трения, действующими на контактных поверхностях трущихся пар.

Второй опыт проводили при включенном гидроаккумуляторе, что позволило резко ускорить перемещение комплекта огнеупорных элементов и сократить длительность процесса замены стакана-дозатора до 0,28-0,33 с. В этом случае в момент контакта элементов системы наряду со статической действовала ударно-динамическая нагрузка.

В третьем опыте моделировали быструю замену стакана-дозатора, осуществляемую из-за зарастания его канала, т. е. при наличии в нем свинцовой втулки.

Характерный вид регистрировавшихся сигналов показан на рис. 5, а результаты обработки полученных данных приведены в таблице. Причем силу, необходимую для разрушения металлической корки (свинцовой втулки), определяли как разность между пиковыми значениями

общей нагрузки, зафиксированными в третьем и втором опытах, а ударно-динамическую силу – как результат, полученный вычитанием из совокупного значения нагрузки суммы значений статических сил, препятствующих перемещению стаканов-дозаторов в процессе их смены.

На основании информации, приведенной в таблице, можно утверждать о преобладающем влиянии силы прижатия стакана-дозатора на все виды нагрузок, преодолеваемых гидравлическим приводом разливочного устройства.

Результаты визуального контроля состояния контактных поверхностей стаканов-дозаторов и образующихся срезов свинцовых втулок свидетельствуют о том, что наличие металлической корки в канале огнеупорного элемента вызывает расклинивающие усилия, которые могут превысить обеспечиваемую силу его прижатия, что приведет к образованию зазора между контактными поверхностями керамических изделий. Так, при значениях силы прижатия 1000 и 2000 Н на срезах свинцовых втулок образовались заусенцы, проникшие между контактными поверхностями огнеупорных элементов, что свидетельствовало о наличии зазора, появившегося в момент разрушения имитатора настывки.

С другой стороны, необоснованное увеличение силы прижатия огнеупорного элемента может привести к возникновению значительных контактных напряжений в теле стакана-дозатора, вызванных совместным действием статических и ударных нагрузок. Например, при силе

**Таблица**  
**Значение энергосиловых параметров имитируемого процесса замены стакана-дозатора**

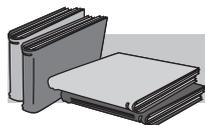
Условия моделирования процесса замены стакана-дозатора				Силы, преодолеваемые гидроприводом, Н			
сила прижатия стакана-дозатора, Н	длительность процесса замены стакана-дозатора, С	толщина имитируемого слоя отложений внутри канала, мм	ускорение стакана-дозатора при трогании с места, м/с <sup>2</sup>	пиковое значение общей нагрузки, преодолеваемой приводом	сила, необходимая для разрушения металлической корки на стенках канала	суммарная сила трения	ударно-динамическая нагрузка при трогании с места стаканов-дозаторов
1000	2,8	-	0,08	650	-	550	100
	0,29	-	4,8	1220	-	580	640
	0,3	2	2,5	5030	3710	650	670
2000	2,9	-	0,075	1210	-	1100	110
	0,28	-	4,7	2730	-	1080	1650
	0,29	2,1	2,4	6650	3820	1150	1680
3000	2,8	-	0,08	1680	-	1600	80
	0,29	-	4,65	4050	-	1630	2420
	0,3	2,1	2,3	7950	3900	1650	2400
4000	2,9	-	0,075	2180	-	2100	80
	0,28	-	4,7	4600	-	2200	2300
	0,29	2,1	2,3	8500	3900	2280	2320
5000	3	-	0,07	2700	-	2600	100
	0,3	-	4,6	5550	-	2700	2850
	0,31	2,2	2,2	9480	3930	2780	2740
6000	3	-	0,07	3090	-	2980	110
	0,31	-	4,5	6000	-	3350	2650
	0,32	2,1	2	9840	3840	3370	2630
7000	3,1	-	0,067	3510	-	3400	110
	0,3	-	4,3	7200	-	3520	3680
	0,31	2	1,8	11000	3800	3550	3650
8000	3,2	-	0,06	4370	-	4250	120
	0,31	-	4,2	8440	-	4320	4120
	0,32	2,2	1,6	12330	3890	4350	4090

прижатия, превышающей 4000 Н, пиковое значение силы, действующей на сменный стакан-дозатор со стороны штока приводного гидроцилиндра, достигает 9400-12330 Н. В этом случае в зоне контакта головки штока гидроцилиндра с корпусом металлической обоймы огнеупорного стакана-дозатора, как показывают расчеты, возникает напряжения в пределах 52-68 МПа, что превышает допустимое значение для огнеупорного материала, из которого изготовлен элемент [11]. Поэтому силу прижатия при сборке системы быстрой замены стакана-дозатора следует назначать исходя из условия отсутствия зазора между контактными поверхностями огнеупорных элементов в момент срезания металлической корки, образовавшейся на стенке канала, и результатов последующей проверки на отсутствие предельно опасных напряжений в огнеупорном изделии при силовом воздействии на него штока гидроцилиндра.

Полученные экспериментальные данные о механических нагрузках, действующих в процессе функционирования разливочного устройства, использовали при конструировании его опытно-промышленного образца, предназначенного для применения в типовом проекте сортовой МНЛЗ ЗАО «Новокраматорский машиностроительный завод» [12].

### Вывод

Проведенные исследования энергосиловых параметров системы быстрой замены стаканов-дозаторов позволили установить особенности взаимодействия ее элементов и количественное соотношение статических и динамических нагрузок, возникающих в ней при различных условиях реализации изучаемого процесса. Полученная информация будет способствовать развитию теоретических основ расчета разливочных устройств промежуточных ковшей сортовых МНЛЗ.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Процессы непрерывной разливки / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилюшенко, А. А. Минаев и др. - Донецк: ДонНТУ, 2002. - 536 с.
2. Еронько С. П., Быковских С. В. Разливка стали: Оборудование. Технология. - К.: Техіка, 2003. - 216 с.
3. Еронько С. П., Быковских С. В., Ошовская Е. В. Расчет и конструирование оборудования для внепечной обработки и разливки стали. - К.: Техіка, 2007. - 344 с.
4. Еронько С. П. Расчет энергосиловых параметров ковшовых затворов // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2007. - № 3. - С. 104-108.
5. Большаков В. И. Исследование динамических нагрузок металлургических машин // Захист металургійних машин від поломок. Межвузівський тематичний збірник наукових праць. - Маріуполь: ПДТУ, 1999. - С. 6-14.
6. Кожевников С. Н., Пешат В. Ф. Гидравлический и пневматический приводы металлургических машин. - М.: Машиностроение, 1977. - 310 с.
7. Праздников А. В. Гидропривод в металлургии. - М.: Металлургия, 1973. - 336 с.
8. Совершенствование конструкции устройства для быстрой смены стаканов-дозаторов промковша МНЛЗ / С. П. Еронько, А. Н. Смирнов, Д. А. Яковлев и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2006. - № 8. - С. 107-109.
9. Патент 74507 Украина, В 22 В 41/56. Устройство для смены стаканов-дозаторов промежуточного ковша машины непрерывного литья заготовок. Оpubл. 15.12.2005. Бюл. № 12.
10. Выдрин В. Н., Агеев Л. М. О реологических свойствах стали и свинца // Изв. Академии наук СССР. Металлургия. - 1967. - № 2. - С. 104-106.
11. Огнеупорное производство: Справочник / Под ред. Д. И. Гавриша. - М.: Металлургия, 1965. - Т. 2. - 584 с.
12. Устройство для быстрой замены стаканов-дозаторов промежуточного ковша сортовой МНЛЗ / С. П. Еронько, А. Н. Смирнов, Д. А. Яковлев и др. // ОАО «Черметинформация». Бюлл. «Чер. металлургия». - 2007. - № 2. - С. 70-73.

УДК 673.11

Ю. Д. Савенков, Д. В. Спиридонов (ОАО «Артемковский завод по обработке цветных металлов»)

## Рафинирование меди – инновационный путь повышения уровня производства в условиях ОАО «АЗОЦМ»

**В** настоящее время основными товарными группами на ОАО «Артемковский завод по обработке цветных металлов» являются:

- круглый прокат (трубы, прутки, профили, проволока, контактный прокат);

- плоский прокат (листы, полосы, ленты), например, кровельная медь производства АЗОЦМ использовалась при реконструкции Киевского железнодорожного вокзала;

Разработана технология, позволяющая получить прокат европейского качества за счет рафинирования лома меди в отражательной печи FR-120. С целью снижения затрат на процесс рафинирования дополнительно разработана технология рафинирования меди первой группы в ковше

- медная катанка и проволока;
- прутки и трубы латунные и бронзовые литые;
- центробежное литье (втулки, различные заготовки);
- санитарно-техническая арматура (смесители, полотенцесушители);