

**В. Н. Демидик, Т. П. Колодная**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **Электродуговая плавка стали как необходимая составляющая обновления металлургии Украины**

*Приведен ряд технических и технологических причин, которые способствовали кризису в металлургической отрасли Украины. Выделены эффективные методы усовершенствования электроплавки с целью повышения эколого-экономического ее состояния. Сделаны сравнительные балансовые расчеты электродугового и кислородно-конвертерного процессов с учетом возможных инноваций.*

**Ключевые слова:** электрометаллургия, сталь, производство, экономия

**К**ризисные явления в очередной раз обнажили перед украинской металлургией тот факт, что ключевое значение для стабильного функционирования отрасли имеют ее структура и объемы внутреннего металлопотребления. И ситуация, когда более 40 % стали выплавляется мартеновским способом и около 80 % произведенного металла поставляется на экспорт, несет в себе высокую долю риска. Сегодня потребление металла в Украине на душу населения в 2 раза меньше, чем в промышленно развитых странах, а это показатель технического развития страны. Техничко-технологическое состояние сталеплавильного производства характеризуется, прежде всего, соотношением сталеплавильных технологий (кислородно-конвертерная, электросталеплавильная и мартеновская), а также масштабами внедрения в производство прогрессивных и эффективных процессов. Структура сталеплавильного производства Украины существенно уступает мировому уровню, в основном, по двум составляющим: присутствие в значительном объеме мартеновского производства и относительно низкая доля электросталеплавильного. По данным объединения «Металлургпром» общеукраинский объем электростали в 2008 г. составил 1,6 млн. т (4,2 %), мартеновской стали – 15,3 млн. т (41,2 %) (рис. 1).

Удельный вес выплавки электростали в ведущих металлургических странах варьирует в широких пределах (рис. 2).

В странах Западной и Центральной Европы доля выплавки стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) в последние годы увеличивается при практически стабильном общем объеме выплавки металла. По ориентировочным оценкам, в обозреваемой перспективе, средняя доля электростали в этих странах приблизится к 50 %. Примером такого развития служат США, где преобладание электросталеплавильного производства, основанного, в большей части, на развитии мини-заводов, вызвано конкурентными преимуществами этих предприятий в условиях масштабной реструктуризации металлургического производства [1].

Дуговые сталеплавильные печи благодаря высоким технико-экономическим показателям, техно-

логической гибкости, отличной сопряженности с машинами непрерывного литья и агрегатами внепечной обработки, стали важнейшим производственным элементом как на интегрированных заводах, так и на мини-заводах независимо от используемого сталеплавильного сырья. Уместно отметить, что в период кризиса более выживаемыми оказались мини-заводы. В условиях резкого спада спроса на металлопродукцию большинство мини-заводов сохранили устойчивость за счет быстроты реакции на меняющийся спрос и возможности выполнять мелкие заказы применительно к конкретному заказчику.

В Украине основные металлургические компании сложились как вертикально-интегрированные структуры, которые включают горнорудные, угольные и коксохимические предприятия. Доминирующее положение в сталеплавильном производстве еще долго сохранит конвертерное производство, однако коренных изменений в нем, вероятно, не произойдет. В то же время более чем в 40 странах сталь выплавляют в дуговых печах, в мире идет рост электродуговой выплавки стали [2] (рис. 3).

Рост объема производства электростали в мире связан с увеличением как числа ДСП, так и их вместимости, мощности печных трансформаторов и использованием химической энергии. Речь идет об использовании горелок нового поколения, работающих в режиме как топливных горелок, так и кислородных фурм.

Сегодня в черной металлургии Украины необходимо ускорить прохождение этапа структурных изменений и технологических усовершенствований, так как при продолжающемся вывозе основного полупродукта идет наращивание ввоза готовой продукции с высокой стоимостью.

Производство стали в электропечах эффективно при выплавке высококачественных сталей. На примере России можно убедиться в практической возможности замены мартеновских печей на новые агрегаты электродуговой выплавки стали.

Главными критериями при замене старых агрегатов должны быть ценовые тенденции на сырье и энергетические ресурсы. Для Украины наиболее показательными являются цены на газ, электроэнергию и трудовые ресурсы. Украина должна уходить

от процессов, связанных с экспортируемым газом, а электроэнергия и дешевые трудовые ресурсы в стране есть. Поэтому развитие электросталепла-

вильного производства для металлургического комплекса Украины должно быть выгодным [3].

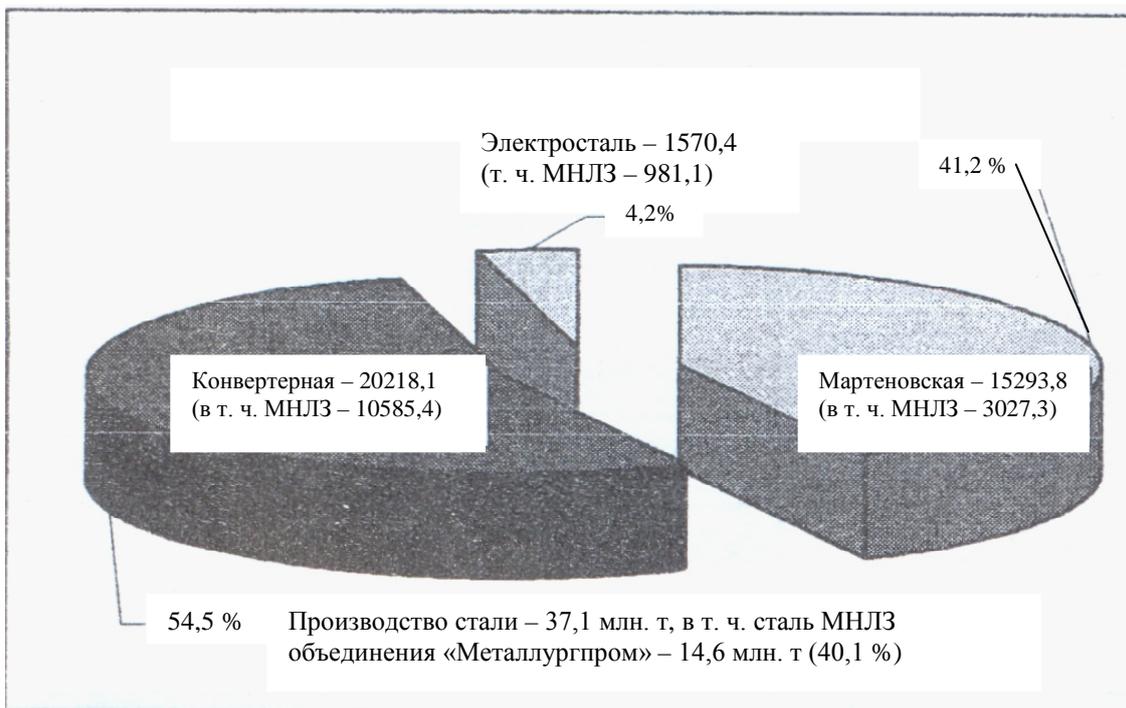


Рис. 1. Производство стали по видам в 2008 г. (тыс. т)

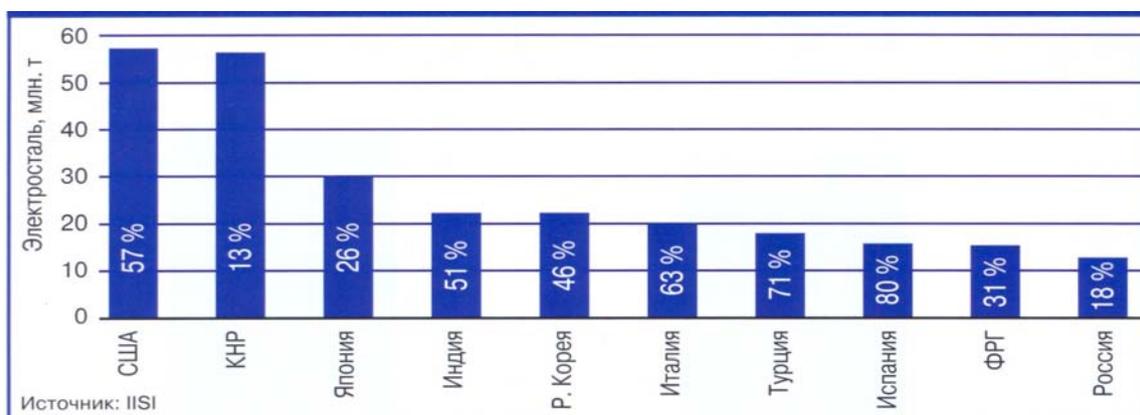


Рис. 2. Страны – крупнейшие производители электростали и доля выплавки стали в ДСП

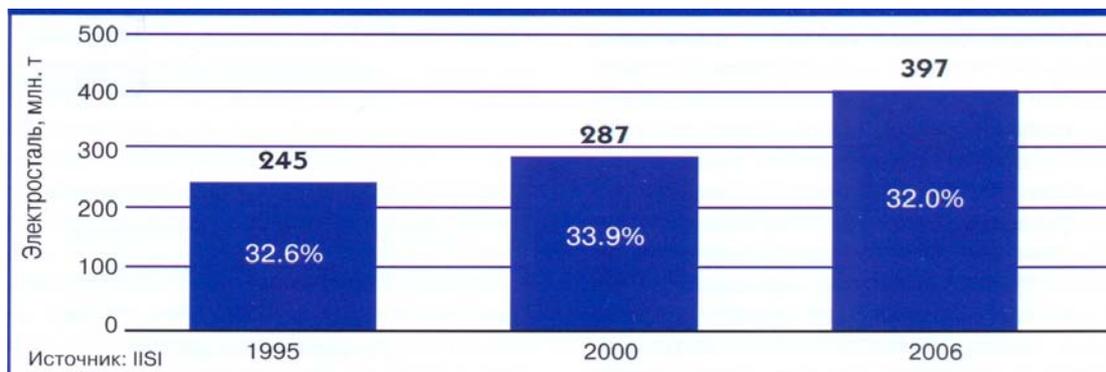


Рис. 3. Динамика выплавки электростали и ее доля (в %) в общем мировом производстве стали

В табл. 1 представлены сравнительные результаты расхода энергоносителей и основных материалов (I вариант – процентное соотношение способов производства стали в Украине, II вариант – среднее процентное соотношение способов производства стали в мире).

на 50-80 кВт · ч /т, электродов – до 1,15 кг/т; уменьшить содержание азота и серы в металле; обеспечить гибкость процесса производства стали [6].

Несмотря на повышенное внимание к использованию жидкого чугуна в ДСП нет единого мнения по поводу оптимальной доли жидкого чугуна в завалке.

Таблица 1

**Годовой расход энергоносителей и основных материалов при различных способах производства стали**

Показатели	I вариант				II вариант			Результат экономии (-) и перерасхода (+)
	сталь, %			всего	сталь, %		всего	
	марте-новская	конвер-терная	электри-ческая		конвер-терная	электри-ческая		
	41,2	54,2	4,3		70	30		
Природный газ, млн. м <sup>3</sup>	1274,5	222,2	10,7	1507,4	286,0	74,6	360,6	-1146,8
Мазут, тыс. т	272,3	–	–	272,3	–	–	–	-272,3
Кислород, млн. м <sup>3</sup>	1049,6	1517	69,3	2635,9	1952,6	480,6	2433,2	-202,7
Электро-энергия, млн. кВт · ч	361,1	808	548,8	1717,9	1040,0	3807,3	4847,3	+3129,4
Жидкий чугун, млн. т	10,04	17,23	–	27,27	22,18	–	22,18	-5,09
Металло-лом, млн. т	7,05	5,19	1,83	14,07	6,68	12,72	19,40	+5,33

Ликвидация мартеновского производства в стране позволяет высвободить до 10 млн. т жидкого чугуна и до 7 млн. т металлолома в год. В мировой практике жидкий чугун в дуговых печах применяют с 90-х годов. Замена части лома жидким чугуном снижает содержание нежелательных и трудноудаляемых примесей меди, олова, никеля, молибдена, свинца и других, происходит разбавление загрязненного металла «чистой шихтой» [4].

Жидкий чугун содержит физическое тепло и скрытую теплоту химических реакций. В результате экономится энергия, снижается расход природного газа, топлива, электродов, затраты на подготовку и разделку металлолома, уменьшается расход огнеупоров в связи со снижением тепловых нагрузок и механических разрушений футеровки при загрузке тяжеловесной металлошихты, уменьшается расход шлакообразующих.

В последние годы для мини-заводов были предложены доменные печи малого объема с целью получения жидкого чугуна для электродуговой плавки. Технология получения чугуна в вагранках также рассматривается как конкурентоспособная. Современные вагранки с горячим дутьем работают с производительностью до 100 т/ч (то есть до 2500 т чугуна в сутки) [5].

Благодаря использованию жидкого чугуна при выплавке стали в дуговых печах ЭСПЦ удалось сократить продолжительность работы печи под током и всего цикла плавки, расход электроэнергии

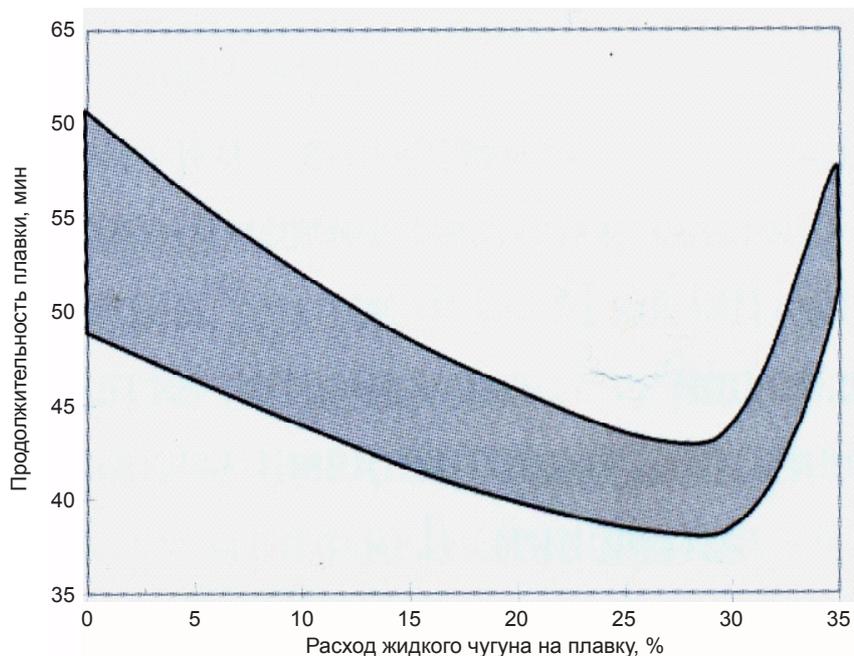
Есть сведения об использовании чугуна в количестве от 20 до 50 %. Так, компания POSKO (Корея) установила использование 40 % чугуна от массы завалки [7].

На ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (Россия) организовали работу ЭСПУ по гибкой технологии – варьировать состав шихты от 100 % металлического лома до 60 % – лома и плюс 40 % – жидкого чугуна, создавая условия для стабильной работы доменного цеха. Максимальная производительность ДСП достигается при массе чугуна 25-28 %; при его расходе свыше 30 % отмечается удлинение цикла плавки (рис. 4). Это, как указывалось ранее, связано с необходимостью увеличения продолжительности окислительного периода электроплавки (периода обезуглероживания) – продувки расплава кислородом с высокой интенсивностью.

Альтернативой металлолому в электропечах, кроме чугуна, могут быть продукты прямого восстановления. Баланс шихты в значительной степени будет регулироваться ценами на эти виды сырья, но в любом случае положительная динамика потребления этих продуктов сохранится.

По прогнозу компании «Midrex Technologies Inc.», темпы роста использования продуктов прямого восстановления железа превысят темпы потребления лома и чугуна и составят за 2005-2015 гг. 219, 138 и 200 % соответственно (табл. 2).

У такого прогноза немало оснований. Это – дефицит металлолома в отдельных регионах мира, в том числе высококачественного, и непредсказуемая



**Рис. 4.** Продолжительность электроплавки в зависимости от расхода жидкого чугуна

динамика цен на лом, а также – неравномерное размещение ресурсов железной руды и/или нерентабельность доменного производства (по разным причинам). Нельзя не учитывать дефицит особо ценных марок коксующихся углей. Не менее значимый фактор – разработка и внедрение новых технологий прямого восстановления железа. И, конечно, определяющий фактор – прогноз роста выплавки стали в электродуговых печах, согласно которому мировое производство электростали увеличится за период 2007-2016 гг. почти в 1,4 раза (до 530 млн. т) [8].

В последние годы стала возможной загрузка в ДСП металлургического сырья с высокой степенью металлизации непосредственно в горячем состоянии (ГЖПВ), благодаря чему снижаются эксплуатационные расходы предприятия в результате достижения максимальной производительности, сокращения длительности плавки, уменьшения потребления электроэнергии и сокращения простоев.

Таблица 2

**Мировой баланс металлургического сырья для электродуговых печей, млн. т**

Показатели	Годы				
	2000	2005	2010	2015	2015 к 2005, %
Потребность в металлургическом сырье:					
Выплавка стали	847,7	1129,3	1310,0	1450,0	128,4
Выплавка стали в ЭДП	287,4	358,2	445,5	533,0	148,8
Доля электростали, %	33,9	31,7	34,0	36,8	116,1
Потребность в металлургическом сырье ЭДП	316,1	394,0	490,1	586,3	–
Источники металлургического сырья:					
Лом черных металлов	253,8	308,3	368,5	424,8	137,8
Привязанное к ЭДП производство DRI	33,6	42,2	61,5	90,0	213,3
Товарные DRI/HBI	7,6	11,0	18,1	26,5	240,9
Всего DRI	41,2	53,2	79,6	116,5	218,9
Доля загрузки ЭДП, %	13,0	13,5	16,2	19,9	147,7
Внутреннее производство чугуна	4,2	9,9	15,0	15,0	151,5
Товарный чугун	14,6	17,6	20,0	20,0	113,6
Жидкий чугун	4,0	5,0	7,0	10,0	200,0

\* Источники: IISI, Midrex Technologies, Steel Times International

## Затраты энергии на выплавку 1 т углеродистой стали по сравниваемым технологиям

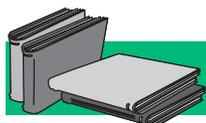
Статьи затрат	Единицы измерения	Энергия, МДж/ед	Конвертерная сталь: 76 % жидкого чугуна; 24 % металлолома		Электропечь: 100 % металлолома		Электропечь: 30 % жидкого чугуна, 70 % металлолома		Электропечь: 88 % ГЖПВ, 12 % металлолома	
			удельный расход, ед/т	расход энергии, МДж/т	удельный расход, ед/т	расход энергии, МДж/т	удельный расход, ед/т	расход энергии, МДж/т	удельный расход, ед/т	расход энергии, МДж/т
Природный газ	м <sup>3</sup>	37,6	11,0	413,6	6,72	252,7	6,71	252,3	2,04	76,7
Кислород	м <sup>3</sup>	6,8	75,1	510,7	43,3	294,4	43,2	293,8	30,6	208,1
Электроэнергия	кВт·ч	11,25	40,0	450,0	343,0	3858,7	293,0	3296,2	510,0	5737,5
Итого:	–	–	–	1374,3	–	4405,8	–	3842,3	–	6022,3
Чугун	кг	23,0	853,0	19619,0	0,4	9,2	342,6	7879,8	–	–
Металлолом	кг	0,2	257,0	51,4	1146,1	229,2	799,4	159,9	155,3	31,0
Горячее железо прямого восстановления (ГЖПВ)	кг	14,0	–	–	–	–	–	–	1133,3	15866,2
Ферросплавы	кг	62,7	14,0	877,8	18,6	1166,2	18,7	1172,5	12,0	752,4
Огнеупоры	кг	16,5	11,5	189,7	16,5	272,3	16,5	272,3	9,28	153,1
Известь	кг	5,4	41,9	226,3	35,6	192,2	35,7	192,8	50,6	273,2
Электроды	кг	186,0	–	–	2,0	372,0	1,8	334,8	1,43	266,0
Итого:	–	–	–	20964,2	–	2241,1	–	10012,1	–	17341,9
Всего:	–	–	–	22338,5	–	6646,9	–	13854,4	–	23364,2

Использование в шихте электроплавки жидкого чугуна и железа прямого восстановления изменяет структуру ее энергозатрат, приближая их к структуре энергозатрат кислородно-конвертерной плавки (табл. 3).

При использовании в шихте электроплавки ГЖПВ доля прямых энергозатрат составляет (в %) 25,8 (6,02 ГДж/т), но существенно возрастают скрытые энергозатраты. Их доля (в %) 74,2 (17,34 ГДж/т) в общих энергозатратах, из них 67,9 (15,87 ГДж/т) – затраты на производство горячего железа прямого восстановления, что и увеличивает энергоемкость электроплавки до 23,36 % ГДж/т. Но это оправдано при производстве высококачественных сталей.

## Выводы

Положительная динамика роста объемов электродуговой выплавки стали в мире показывает эффективность процесса как в условиях интегрированных предприятий, так и на мини-заводах. Электродуговой процесс выплавки стали обладает большими возможностями технологического варьирования в достижении получения необходимой продукции. Украинская металлургия имеет все необходимые составляющие для роста объемов производства электродуговой выплавки стали, что дало бы возможность увеличить внутреннее потребление металлоизделий и избавиться от растущего с каждым годом импорта металла, необходимого для жизнедеятельности страны.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Еланский Д. Дуговой передел // Металлы Евразии. – 2008. – № 3. – С. 30-33.
2. Лякишев Н. П. Электрометаллургия – динамично развивающаяся отрасль сталеплавильного производства // Чер. металлургия. – 2006. – № 12. – С. 12-17.
3. Луиджи Иперти. Лидерство и новаторство // Металлы Евразии. – 2008. – № 6. – С. 68-71.
4. Семин А. Е., Шевцов Н. А. Использование жидкого чугуна при производстве стали // Электрометаллургия. – 2009. – № 1. – С. 2-7.
5. Юсфин Ю. С., Черноусов П. И., Голубев О. В. Печи малого объема – будущее доменного производства // Чер. металлургия. – 2005. – № 10. – С. 20-25.
6. Лядова М. Очередной успех в горячем брикетировании // Металлы Евразии. – 2008. – № 5. – С. 35.
7. Особенности работы дуговых сталеплавильных печей с применением жидкого чугуна / Ю. А. Ивин, А. Б. Великий, Н. В. Саранчук и др. // Сталь. – 2008. – № 7. – С. 49-50.
8. Kwang Keun Zee, Jong Ming Park. 7 European Electric Steelmaking Conference. Venice. 26-29 Mar. 2002 Proceedings. V. 2. Milano.

### Анотація

Демидик В. М., Колодна Т. П.

Електродугова плавка сталі як необхідна складова оновлення металургії України

Наведено ряд технічних та технологічних причин, які сприяли кризі у металургійній галузі України. Виділено ефективні методи удосконалення електроплавки з метою підвищення еколого-економічного стану. Зроблено порівняльні балансові розрахунки електродугового та киснево-конвертерного процесів з урахуванням можливих інновацій.

### Ключові слова

електрометалургія, сталь, виробництво, економія

### Summary

Demidik V., Kolodnaya N.

Steel arc melting as necessary component of Ukraine metallurgy renewal

Several technical and technological reasons which causes crisis in metallurgical industry of Ukraine are presented. The effective methods of improvement of steel arc melting are allocated for the purpose of increase of its ecologo-economic condition. Comparative balance calculations of arc and oxygen-konverternogo processes are made taking into account possible innovations.

### Keywords

electric-metallurgy, steel, manufacture, economy

Поступила 23.02.10