

December 31, 2003

Влияние на окружающую среду технологии непрерывного литья

Marian Mazur
Marek Bogacki
Robert Oleniacz
Agnieszka Łopata

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

М. МАЗУР, М. БОГАЦКИ, Р. ОЛЕНИЧ, А. ЛОПАТА*

В статье дан анализ влияния технологии непрерывного литья в сталеплавильном производстве на уровень выбросов в окружающую среду на примере польского металлургического завода Huta Katowice в Домброва Гурнича, выявлены источники выбросов, возникающих в производственном процессе, и определен объем загрязнений от них. Применение технологии непрерывного литья приводит к существенным изменениям производственного цикла в сталеплавильном цехе и к повышению эффективности работы и качества продукции. Расчет влияния на окружающую среду технологии непрерывного литья по отношению ко всему сталеплавильному цеху показывает существенное уменьшение общего выброса вредных веществ.

Современный процесс производства стали неразрывно связан с технологией непрерывного литья. Конкуренция на рынке стали и повышенные экологические требования приводят к постоянному вытеснению из металлургического производства традиционного способа разлива стали в изложницы, характеризующегося большим расходом энергии и низкой экологичностью. В настоящее время около 80 % всей стали, произведенной в мире, разливают непрерывным способом (в Польше ~ 85 %). Общепринятое использование этой технологии объясняется безусловными экономическими и экологическими преимуществами, которые она обеспечивает. Снижение расхода топлива и других видов энергии, повышение выхода годной стали, уменьшение затрат труда, улучшение условий труда и, в ряде случаев, улучшение качества готовой продукции являются факторами, которые прямо или косвенно влияют на экологические показатели, сопровождающие внедрение этой современной технологии. Например, экономия в расходе энергии оценивается в 0,5–0,8 ГДж/т выплавленной стали [1].

В 1999 г. было проведено комплексное исследование выбросов загрязнителей на одном из польских металлургических заводов (Huta Katowice S. A. в Домброва Гурнича) с годовым объемом выплавки стали 4,5 млн. т. Основной целью исследования было выявление источников выбросов пыли и газообразных веществ и определение показателей этих выбросов, а также оценка экологического эффекта, связанного с технологией непрерывного литья стали.

*Проф. докт.-инж. М. Мазур, руководитель отдела менеджмента и охраны окружающей среды; докт.-инж. М. Богацки, ассистент профессора; докт.-инж. Р. Оленич, ассистент профессора; докт.-инж. А. Лопата, ассистент профессора, отдел менеджмента и охраны окружающей среды; AGH Научный и технологический университет, Краков, Польша.

Сопоставление технологии непрерывного литья и обычной технологии производства стали

Технология непрерывного литья стали на МНЛЗ является альтернативной традиционному способу ее производства. При традиционном способе сталь из металлургических печей разливают в стационарные формы (изложницы). Затем затвердевшие слитки освобождают от изложниц в стрипперном пролете цеха и доставляют на слитковозных тележках к нагревательным колодцам. После нагрева в колодцах до требуемой температуры слитки передают на обжимные станы (блуминги, слябинги) для предварительной прокатки. Данная технология характеризуется большим расходом энергии и низким выходом годного. Большой расход энергии вызван необходимостью выполнения ряда технических операций (которые исключаются при непрерывном литье) для получения полуфабриката в виде сортовых заготовок или блюмов, которые либо продают непосредственно покупателям, либо направляют на последующую обработку. Выход годного при получении полуфабрикатов по такой технологии составляет около 80 %. Такой низкий выход годного связан с необходимостью зачистки проката. В противоположность традиционному способу разлива стали, при непрерывном литье можно отливать непрерывные слитки, которые, благодаря меньшему размеру их поперечного сечения, можно направлять на прокатку без дополнительных операций обработки. Таким образом, непрерывнолитые слитки уже являются готовым полуфабрикатом. Кроме того, потери металла при производстве непрерывнолитых слитков из-за технологических дефектов материала получаются минимальными [2].

Технология непрерывного литья позволяет уменьшить размеры производственной линии, снизить расход топлива и энергии, а также повысить выход год-

ного. Все вышеперечисленные факторы делают такую технологию более благоприятной для окружающей среды, чем традиционный процесс производства стали. Схема технологии производства сортовых заготовок традиционным способом и с использованием МНЛЗ показана на рис. 1.

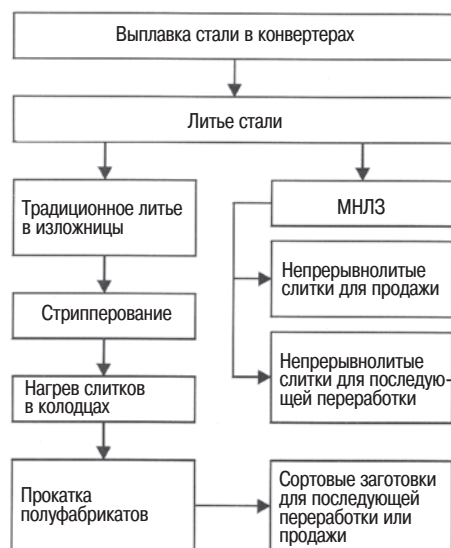


Рис. 1. Схема технологии производства сортовых заготовок традиционным способом и с применением МНЛЗ

Выбросы загрязняющих веществ при процессе непрерывного литья

Процесс непрерывного литья сопровождается выбросами в атмосферу пылевидных и газообразных вредных веществ, среди которых наибольшая доля приходится на следующие: пылевидные загрязнители, содержащие ряд химических элементов, — Fe, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb; газообразные загрязнители, такие, как SO_2 , NO_x и CO.

Выбросы загрязнителей происходят как из контролируемых, так и из неконтролируемых источников.

Контролируемые источники выбросов предусматриваются на следующих производственных участках:

- установка печь-ковш;
- система охлаждения слитков;

подача теплоизолирующих смесей в ковш;
подача ферросплавов в систему вакуумирования стали;

система разборки промежуточных ковшей;
продувка аргоном на стенде глубокой десульфурации стали;

стенд предварительного подогрева и сушки камеры вакуумирования стали.

Неконтролируемые источники выбрасывают в атмосферу главным образом пылевидные вещества. Наибольшие выбросы происходят от печи-ковша и подачи теплоизолирующих смесей (порошков).

Неконтролируемые выбросы в процессе работы МНЛЗ возникают в первую очередь из-за отсутствия газоулавливающих систем на некоторых производственных линиях.

В результате «инвентарного» учета, проведенного в пролете непрерывного литья на металлургическом заводе в Катовице, были выявлены следующие неконтролируемые источники выбросов загрязнителей [3]:

- установка печь-ковш;
- стенды сушки промежуточных ковшей;
- стенды предварительного подогрева промежуточных ковшей;
- установки резки для слитков и отбора проб;
- стенд разборки промежуточных ковшей;
- машина огневой и пескоструйной зачистки слитков;
- участок заполнения бункеров для хранения ферросплавов, извести и теплоизолирующей смеси.

Перечисленные источники выбросов, расположенные в пролете МНЛЗ, выделяют загрязнители, которые ухудшают качество воздуха в цехе и выбрасываются в атмосферу через фонари верхнего света вследствие интенсивного воздухообмена. Наибольшими по объему выбросов источниками пылевидных загрязнителей являются печь-ковш и стенд покрытия жидкого металла теплоизолирующей смесью в главном ковше, газообразные выбросы происходят от сжигания газового топлива на стенде сушки нагревательных колодцев и от футеровки вспомогательных устройств.

Степень выброса загрязнителей от технологии непрерывного литья и их доля в общих выбросах сталеплавильного цеха представлены в табл. 1. Данные, при-

Таблица 1.

Сопоставление выбросов вредных веществ от МНЛЗ с общими объемами выбросов в сталеплавильном цехе

Источник выбросов	Выбросы вредных веществ, т/год				Выбросы загрязнителей, кг/год			
	SO_2	NO_x	CO	пыль	Pb	Cu	Cr	Cd
МНЛЗ (контролируемые источники)	—	—	—	5,8	9,4	4,2	0,7	0,3
МНЛЗ (неконтролируемые источники)	1,1	6,6	142,5	204,3	243,4	104,1	16,8	6,8
МНЛЗ (все источники)	1,1	6,6	142,5	210,1	252,8	108,3	17,5	7,1
Суммарные выбросы на металлургическом заводе	1352	6066	120748	8174	95625	18050	1153	1810
Доля МНЛЗ в общем объеме выбросов, %	0,10	0,11	0,12	2,57 в	0,26	0,60	1,52	0,40

веденные в таблице, показывают, что технология непрерывного литья вносит лишь небольшую долю в общие выбросы пылевидных и газообразных загрязнителей в сталеплавильном цехе (только доля выбросов пыли, содержащей хром, превышает 1,5 % суммарного объема выбросов этих загрязнителей). По объему выбросов технология непрерывного литья считается среди других металлургических процессов одной из наиболее благоприятных для окружающей среды.

Характеристика экологических преимуществ

Анализ экологических преимуществ, связанных с вводом в эксплуатацию машин непрерывного литья, представлен на примере металлургического завода. Различаются два вида экологических преимуществ: прямые эффекты, связанные с устранением из производственной линии для получения полуфабрикатов тех устройств, которые являются источниками газообразных выбросов; косвенный эффект, связанный с увеличением выхода годного готового продукта.

Прямые эффекты. Результатом применения технологии непрерывного литья является уменьшение производства стали, отливаемой в изложницы. Поскольку уменьшилось число слитков, передаваемых на прокатку, появилась возможность убрать из цеха 20 нагревательных колодцев (10 колодцев с вводом в эксплуатацию одной МНЛЗ), что привело к уменьшению расхода энергии и выбросов, образующихся при сжигании топлива в этих нагревательных печах, т. е. коксового, доменного и природного газа. Дополнительным преимуществом от уменьшения разлива слитков в изложницы было снижение потребления энергии во всем производственном процессе получения заготовок. Для определения экономии энергии, полученной в результате закрытия нагревательных колодцев, рассчитали расход энергии на 1 т выплавленной стали в период 1994–1998 гг. Результаты этих расчетов представлены в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 2, позволяет сделать вывод, что показатель удельного расхода энергии на производство полуфабрикатов посте-

Таблица 2. Расход энергии при производстве заготовок в 1994–1998 гг.					
Источник энергии	Расход энергии, ГДж/т выплавленной стали				
	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Коксовый газ	0,92	0,79	0,69	0,62	0,40
Доменный газ	0,42	0,37	0,35	0,28	0,23
Природный газ	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Электроэнергия	0,28	0,26	0,26	0,24	0,20
Всего	1,62	1,43	1,31	1,15	0,84

пенно снижался. В 1998 г., когда работали две МНЛЗ, этот показатель уменьшился на 50 % по сравнению с 1994 г., когда МНЛЗ еще не были введены в эксплуатацию. Часть энергии, сэкономленной в результате отказа от нагревательных колодцев, использовали для нужд самого процесса непрерывного литья. Количество энергии, израсходованной в 1994–1998 гг. непосредственно на процесс непрерывного литья, приведено в табл. 3.

Таблица 3. Расход энергии на процесс непрерывного литья в 1994–1998 гг.					
Источник энергии	Расход энергии, ГДж/т выплавленной стали				
	1994 г.	1995 г.	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Коксовый газ	0	0,002	0,006	0,007	0,019
Природный газ	0	0,003	0,009	0,007	0,014
Электроэнергия	0	0,011	0,031	0,024	0,043
Всего	0	0,017	0,045	0,038	0,076

Согласно данным табл. 2 и 3, фактическая величина сэкономленной энергии определяется разностью между сэкономленной энергией от закрытия нагревательных колодцев и расходом энергии на процесс непрерывного литья. Результаты этих расчетов представлены в табл. 4.

Таблица 4. Фактическая экономия энергии от закрытия нагревательных колодцев и ввода в эксплуатацию МНЛЗ, ГДж/т выплавленной стали				
Источник энергии	Год			
	1995	1996	1997	1998
Коксовый газ	0,121	0,220	0,292	0,492
Доменный газ	0,044	0,062	0,136	0,189
Природный газ	0,004	–0,003	–0,001	–0,010
Газовое топливо (всего)	0,169	0,278	0,427	0,671
Электроэнергия	0,008	–0,010	0,014	0,034
Всего	0,177	0,268	0,441	0,705

Отрицательные значения в табл. 4 показывают, что потребление конкретного энергоносителя в процессе непрерывного литья превышало его экономию, полученную от закрытия нагревательных колодцев. Однако, принимая в расчет суммарное потребление энергии, можно установить, что по сравнению с уровнем 1994 г. экономия энергии составила 0,705 ГДж на тонну выплавленной стали в слитках.

Расчет прямых экологических преимуществ, связанных со снижением расхода энергии, был выполнен отдельно по экономии газообразных видов топлива и электроэнергии.

В расчетах снижения выбросов загрязнителей, полученного в результате экономии кокса, доменного и природного газов, были использованы показатели выбросов для нагревательных колодцев, а в расчетах снижения выбросов, обусловленных снижением расхода энергии, были использованы показатели выбросов тепловой электростанции металлургического завода. Сэкономленная электроэнергия позволит уменьшить выработку энергии для населения и в конечном счете приведет к уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Уменьшение выбросов загрязняющих веществ в связи с экономией расхода энергии на стадии производства полуфабрикатов (сортовых заготовок), приведено в **табл. 5**. Данные, имеющиеся в этой таблице, позволяют сделать предположение, что наименьшее количество выбросов наблюдалось после ввода в эксплуатацию МНЛЗ № 2 (выбросы SO_2 , NO_2 , CO и пыли).

Таблица 5. Уменьшение выбросов в результате снижения расхода энергии в процессе производства сортовых заготовок (по сравнению с уровнем 1994 г.)			
Загрязняющее вещество	Уменьшение выбросов, г/т выплавленной стали		
	1995 г.	1997 г.	1998 г.
Общая пыль	2,808	5,028	12,683
Pb	0,008	0,014	0,035
Cu	0,004	0,007	0,018
Cr	0,0008	0,0015	0,0034
Cd	0,00005	0,0008	0,00021
SO_2	11,94	21,46	53,87
NO_2	8,48	16,38	37,40
CO	3,44	7,19	14,76
HF	0,056	0,100	0,253
Бензо(а)пирен	0,00001	0,0001	0,00003

Косвенные эффекты. Сооружение двух машин непрерывного литья в рассматриваемом цехе позволило повысить выход годного при производстве металлопродукции. Согласно данным, приведенным в **табл. 6**, количество стали, разливаемой традиционным способом, вследствие внедрения МНЛЗ сократилось в два раза.

После 1995 г. увеличение доли стали, разливаемой на МНЛЗ, способствовало увеличению выхода годного благодаря уменьшению отходов в обреш. Выход годного был рассчитан по отношению к общей производственной мощности сталеплавильного цеха. Под суммарным производством в данном случае подразумевается сумма всей продукции, которой не требуется дальнейшая переработка на территории металлургического завода и которая готова к продаже.

Таблица 6.

Доля традиционной технологии и технологии непрерывного литья при производстве сортовой заготовки в анализируемом сталеплавильном цехе в 1994–1998 гг. (1 т заготовки на 1 т стали)

Технология	Год				
	1994	1995	1996	1997	1998
Традиционная	0,97	0,93	0,71	0,70	0,49
Непрерывное литье	0	0,07	0,28	0,29	0,51

Были проанализированы следующие этапы производства:

процесс производства слитков традиционным способом, которые продаются заказчику;

производственный процесс литья;

часть производственного процесса сортовых заготовок и блюмов, которые представляют собой готовый продукт;

производство высокотехнологичной прокатной продукции;

часть производственного процесса на МНЛЗ, где выдается готовый продукт.

Основываясь на выполненном производственном балансе в некоторых производственных участках металлургического завода, рассчитали выход годного за период 1994–1998 гг. (**рис. 2**).

Согласно данным рисунка, внедрение двух МНЛЗ позволило увеличить выход годного с 82 % в 1994 г. до 98 % в 1998 г. Так, если в 1994 г. для получения 100 т готового проката требовалось выплавить 122 т стали, то в 1998 г. для получения того же результата потребовалось только 108 т стали.

Уменьшение потерь в производственном процессе готовой продукции прямо ведет к экономии сырьевых материалов и энергии в производстве стали, чушкового чугуна и агломерата. Принимая, что выброс загрязняющих веществ пропорционален производственной мощности, можно сказать, что ввод в эксплуатацию двух МНЛЗ позволит уменьшить на 11 % выброс загрязнителей с участка сырьевых материалов (шихтового двора) металлургического завода. Более того,

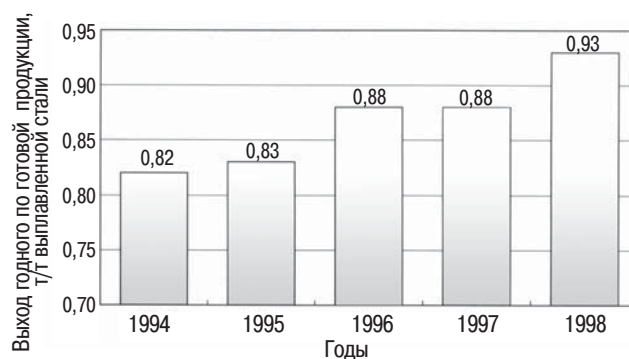


Рис. 2. Выход годного по готовой продукции в 1994–1998 гг.

ождается получить 11 % экономии электроэнергии, которая потреблялась на упомянутом участке. Данная экономия позволит сократить мощности местной теплоэлектрической станции (ТЭЦ) и соответственно уменьшить ее выбросы в атмосферу. В результате сделанных расчетов были получены показатели, характеризующие степень снижения выбросов загрязняющих веществ благодаря реализации технологии непрерывного литья (табл. 7).

Таблица 7. Уменьшение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в результате внедрения технологии непрерывного литья стали (косвенный эффект)			
Загрязняющее вещество	Уменьшение выбросов, г/т выплавленной стали		
	Производство стали	Выработка энергии	Общий косвенный эффект
Общая пыль	142,382	45,708	188,090
Pb	2,505	0,029	2,534
Cu	0,399	0,064	0,463
Cr	0,012	0,013	0,025
Cd	0,044	0,007	0,045
SO ₂	119,827	192,649	312,476
NO ₂	47,180	111,593	158,773
CO	3150,395	33,107	3183,502
HF	0,968	0,9113	1,881
H ₂ S	0,288	–	0,288
HCN	0,002	–	0,002
Бензо(а)пирен	–	0,00013	0,00013

Суммарный эффект. Для оценки степени уменьшения суммарных выбросов с металлургического завода в результате ввода в эксплуатацию двух МНЛЗ прямой и косвенный эффекты суммировали, а затем из суммы вычли выброс пыли, вызванный инженерными источниками, работающими в составе МНЛЗ. Результат рассчитанного суммарного эффекта и степень уменьшения выбросов конкретных загрязнителей по отношению к суммарному выбросу с металлургического завода в 1998 г. приведены в табл. 8.

Выбросы пылевидных и газообразных загрязняющих веществ от МНЛЗ составляют лишь долю процента общего объема выбросов металлургического завода в Катовице. Исключением является пыль и выброс хрома, доля которых в общем выбросе металлургического завода составляет соответственно 2,57 и 1,52 %. Меньшее загрязнение атмосферного воздуха технологией МНЛЗ по сравнению с обычной технологией литья в изложницы объясняется в первую очередь устра-

Таблица 8.

Снижение выбросов от металлургического завода вследствие внедрения технологии непрерывного литья

Загрязняющее вещество	Прямой и непрямой эффект	Выброс пыли с МНЛЗ, г/т выплавленной стали	Суммарный эффект	Уменьшение выбросов, %
Общая пыль	200,773	52,184	148,589	7,3
Pb	2,569	0,063	2,606	10,6
Cu	0,482	0,027	0,455	10,2
Cr	0,029	0,0044	0,025	8,6
Cd	0,045	0,0018	0,043	9,6
SO ₂	366,348	–	366,48	13,0
NO ₂	196,177	–	196,177	13,0
CO	3198,259	–	3198,259	10,7
HF	2,135	–	2,135	12,6
H ₂ S	0,288	–	0,288	11,0
HCN	0,002	–	0,002	0,2
Бензо(а)пирен	0,00016	–	0,00016	14,3

нением из производства заготовок некоторых технологических этапов, таких, как литье в изложницы, стрипперование слитков и их нагрев в нагревательных колодцах (прямой эффект), а также повышение выхода годного (косвенный эффект). Очевидно, что больший вклад в снижение степени выбросов вносит косвенный эффект. В случае пылевидных выбросов этот вклад составляет 94 % суммарных выбросов, а в случае газообразных выбросов — 81 %. Такой большой вклад косвенного эффекта объясняется значительной экономией сырьевых материалов и топлива, что является следствием улучшения выхода годного. Учитывая, что и сама технология непрерывного литья является источником выброса загрязняющих веществ, суммарное снижение степени выбросов, получившееся в результате внедрения этой технологии, будет несколько меньше. В масштабах металлургического завода в Катовице суммарный эффект снижения выбросов загрязняющих веществ колеблется приблизительно от 0,2 % HCN и до 13 % SO₂ и NO₂.

Библиографический список

- [1] Philipp, J.: Steel Times Intern. 23 (1999) No. 1, p. 23/25.
- [2] Mazur, M.; Bogacki, M.; Oleniacz, R.; Lopata, A.; Niedojadlo, A.: Technology of continuous casting of steel and its impact on the decrease of the air pollutant emissions from metallurgical processes, Proc. POLEMIS 2000, June 2000, Szklarska Poreba, Poland, PZITS, No. 778, p. 59/68.
- [3] Mazur, M.; Bogacki, M.; Oleniacz, R.; Lopata, A.: Inzynieria Srodowiska (Environmental Engineering, Poland) 6 (2001) No. 1, p. 111/30.