

МИНАЕВ А.А., СМИРНОВ А.Н. (ДОНГТУ)

## **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНЦЕПЦИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИНИ-ЗАВОДОВ И КОМПЛЕКСОВ**

*Рассмотрены основные тенденции развития технологии и инжиниринга для электродуговых печей, агрегатов печь-ковш и машин для непрерывной разливки стали, применяемых на мини металлургических заводах. Показано, что для условий производства на заводах такого типа представляются важными как использование передовых технологических решений, так и минимизация затрат.*

Наиболее актуальными проблемами, с которыми столкнутся производители стали в ближайшие десятилетия будут рациональное использование энергетических и материальных ресурсов и выполнение все более строгих требований по выбросам в окружающую среду при условии неуклонного повышения требований к качеству металлопродукции. Решение этих проблем потребует стратегической реконструкции многих сталеплавильных цехов и оснащения их новыми высокоэффективными агрегатами. Как известно, задача переоснащения большинства металлургических предприятий является одной из приоритетных для индустриального комплекса Украины.

В последние 15 лет в развитии мировой черной металлургии обозначился ряд новых определяющих тенденций:

— сокращение общих темпов прироста объемов производства металлопродукции в мире и заметные годовые колебания в потребностях мирового рынка на металлопродукцию, что порождает различного рода кризисные явления перепроизводства стали;

— уменьшение объемов производства стали в основных промышленно развитых странах Европы, Северной Америки и Японии, а также достаточно резкое сокращение производства стали в странах Восточной Европы, в т.ч. Украины и России;

— выход Украины и России в ведущие экспортеры металлопродукции на мировом рынке, что обуславливает зависимость экономики этих стран от объемов экспортных продаж;

— технологическая реструктуризация отдельных этапов и циклов металлургического производства и заводов в целом, которая, как правило, осуществляется за счет создания высокоэффективных универсальных модулей.

Общие изменения в условиях развития черной металлургии стимулируют определенные ее структурные изменения, выражающиеся в интенсивном развитии концепции мини металлургических заводов и комплексов во всех регионах мира:

— строительство новых металлургических заводов происходит в основном в развивающихся и молодых промышленных странах и имеет своей целью производство длинномерного проката высокого качества;

— в последние годы в промышленно развитых странах несколько металлургических заводов, работающих по схеме «доменная печь — конвертер», реконструированы по схеме мини металлургического завода с электродуговыми печами;

— в США, Европе и странах Юго-Восточной Азии строят все больше мини заводов для производства плоского проката с высокопроизводительными электродуговыми печами и тонкослябовыми МНЛЗ.

В последние 10–15 лет в структурном, технологическом и агрегатном оснащении мини металлургических заводов произошли кардинальные изменения, что позволило предприятиям такого типа совершенно свободно конкурировать с металлургическими комбинатами на рынке сортового проката. Можно также ожидать, что в ближайшие годы мини металлургические заводы, оснащенные литейно-прокатными модулями, займут значительную долю рынка листового проката.

Современное содержание понятия *мини-завод* включает в себя: минимальные затраты на производство, минимальные выбросы технологических отходов в окружающую среду, минимальные простои оборудования и агрегатов, минимальный производственный цикл при максимальной производительности, продажах и рентабельности. При этом главным отличием этих заводов от металлургических комбинатов с полным циклом является использование в качестве металлической части шихты главным образом металлолома и на некоторых предприятиях металлизированного сырья (окатыши и брикеты). Обычно к этой категории относят заводы с объемом производства в пределах 0,1–1,6 (2,0) млн. т стали в год.

Металлургический мини-завод представляет собой комплекс, состоящий из следующих агрегатов: электродуговая печь, установка доводки стали в ковше, машина непрерывной разливки стали и группа прокатных станов. Известные концептуальные построения современных мини металлургических заводов в зависимости от стратегии их поведения [1–3] можно представить в виде общих структурных схем, приведенных на рис.1 и рис.2. В целом такое оформление мини металлургических заводов обеспечивает им следующие основные преимущества перед металлургическими комбинатами с полным циклом:

- небольшие площади, требуемые для размещения оборудования (18–20 га на 1 млн. т выплавляемой стали в год), величина которых примерно в 8–15 раз ниже, чем для традиционных металлургических комбинатов; это обеспечивается рациональным выбором типоразмеров основного оборудования, а также его рациональной компоновкой;

- сравнительно малыми сроками проектирования и строительства мини-завода и ориентация капитальных вложений на минимальные сроки окупаемости;

- сравнительно низкая стоимость завода (капиталовложения на 1 т готовой продукции в год по разным источникам обычно оцениваются на уровне 150–300 долларов США для мини-заводов и 650–1000 долларов США для завода с полным циклом); возможность оперативной реконструкции цеха и отдельных его агрегатов с целью повышения эффективности производства в целом (затраты на модернизацию существующего завода с полным циклом оцениваются на уровне 100–200 долларов США на 1 т стали годового производства, а мини завода с электродуговыми печами — только 50 долларов);

- возможность согласования работы основных технологических агрегатов «электродуговая печь» — «установка для внепечной обработки» — «машина непрерывной разливки» в достаточно широком диапазоне годовой производительности;

- использование высокопроизводительных механизированных мелкосортных и мелкосортно-проволочных станов с небольшой численностью обслуживающего персонала;

- применение литейно-прокатных модулей для производства плоского проката;

- производство проката небольшими партиями в зависимости от нужд потребителей внутри региона, а также на внешнем рынке;

- исключение нерациональных перевозок сырья и продукции на большие расстояния, что позволяет использовать металлолом и сырье данного экономического района;

- потребление значительной части проката (или заготовки) непосредственно в районе его производства (то есть в индустриально-территориальном комплексе).

Основу успешного функционирования мини металлургических заводов составляет высокая экономическая эффективность работы основных технологических агрегатов, входящих в их состав, а также высокая степень их функциональной совместимости между собой в едином технологическом цикле. Можно с уверенностью говорить о том, что в последнее десятилетие сформировалось и развивается целое стратегическое направление совершенствования металлургических агрегатов и технологических процес-



сов применительно к обеспечению развития концепции мини металлургического завода с целью повышения его конкурентоспособности. Главной особенностью этих тенденций развития является стремление конструкторов и технологов обеспечить максимально высокую удельную производительность плавильных агрегатов и МНЛЗ. Соответственно прогрессивные изменения касаются практически всех основных технологических агрегатов, входящих в состав мини металлургических заводов, и носят взаимосвязанный характер. Поэтому представляется целесообразным выполнить дифференцированный анализ определяющих тенденций развития основных агрегатов и технологий, используемых в современных мини металлургических заводах.

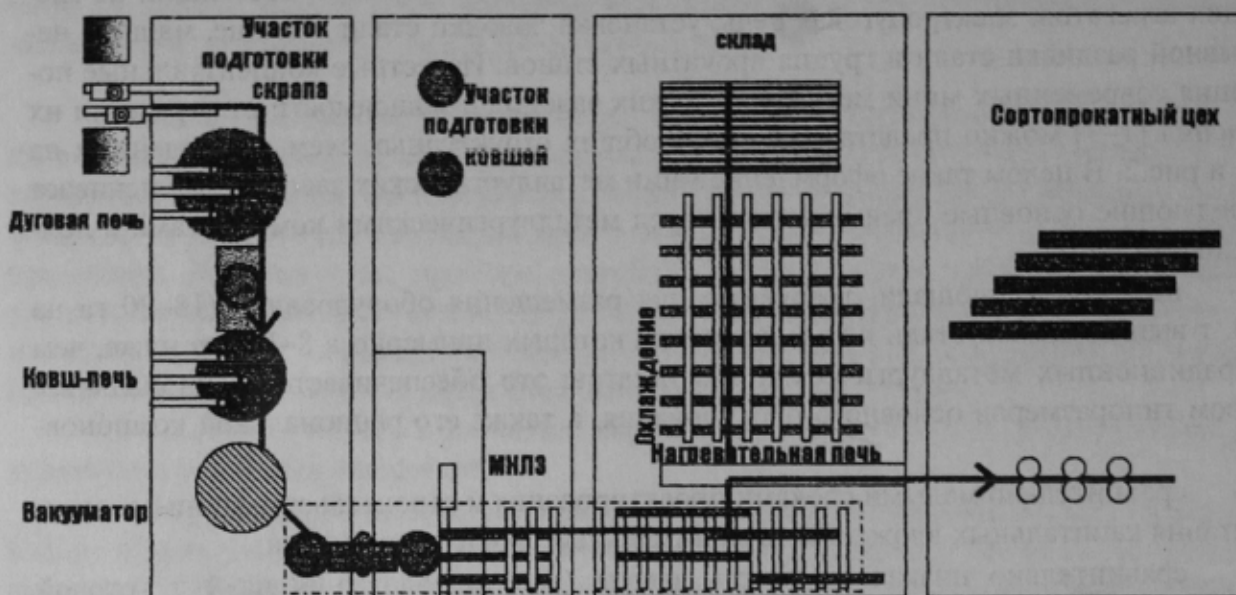


Рис. 1. Схема расположения агрегатов и движения материала на сортовом мини-заводе

*Электродуговые печи (ЭДП)* являются основным элементом любого мини металлургического завода, поскольку именно они обеспечивают выплавку стали и непосредственно влияют на технологические и технико-экономические показатели его работы. Благодаря целому комплексу новшеств, предложенных в последнее десятилетие, выплавка в электродуговых печах в настоящее время считается самым прогрессивным методом производства стали. Среди основных социальных преимуществ современных электродуговых печей необходимо отметить рациональное использование энергоресурсов, способность перерабатывать железосодержащие отходы, значительно более низкие выбросы  $\text{CO}_2$  на 1 т стали в атмосферу (выбросы в атмосферу ЭДП составляют примерно треть от выбросов при кислородно-конвертерном способе производства стали).

За последние 10 лет средняя масса металла, выплавляемого в одной ЭДП, увеличилась с 86 т до 110 т, а продолжительность плавки от выпуска до выпуска сократилась со 105 до 70 минут [4]. При этом на ведущих металлургических предприятиях мира эти показатели имеют, как правило, еще более высокий уровень. Так, самая крупная ЭДП запущенная в эксплуатацию на заводе Northwestern Steel & Wire Corp. (США) имеет объем 415 т при длительности плавки 94 минуты.

Как показывает анализ известных в мировой практике решений, основные усилия при совершенствовании технологического процесса выплавки стали в ЭДП направляются на повышение производительности плавильного агрегата и снижение себестоимости одной тонны жидкой стали. Ведущие компании мира предложили производителям следующие новые технические и технологические решения:

- увеличение расхода кислорода во время плавки до 30–40  $\text{нм}^3/\text{т}$  стали;

- использование более мощных и длинных дуг за счет применения мощных трансформаторов (приблизительно можно говорить о том, что рекомендуемая мощность трансформатора в МВА обычно эквивалентна объему ЭДП в тоннах);
- использование тепла отходящих газов для подогрева металлолома, подаваемого ЭДП;
- применение конструкции сдвоенной электродуговой печи с одним или двумя комплектами электродов;
- конструктивные решения по донному сливу металла, обеспечивающие быстрый бесшлаковый выпуск плавки;
- комбинация применения в сталеплавильном производстве технологии продувки жидкой ванны кислородом и углеродом в ЭДП.

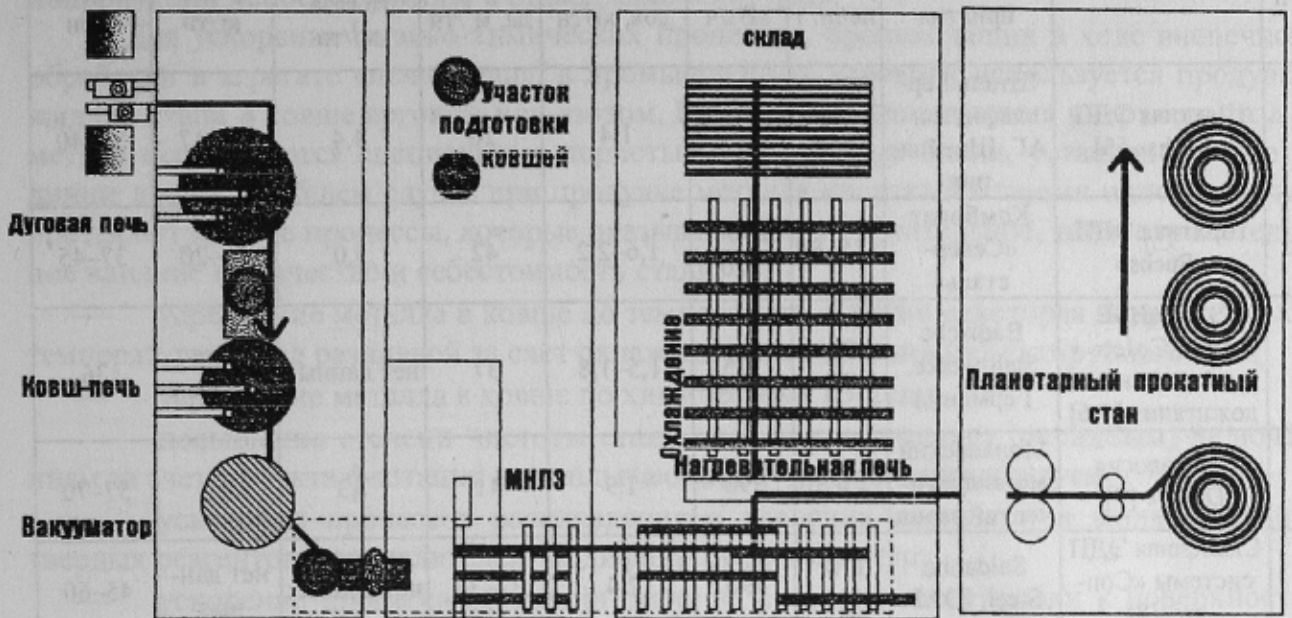


Рис. 2. Схема расположения агрегатов и движения материала на мини-заводе с плоским прокатом

Основными типами ЭДП, в которых успешно применяются вышеперечисленные технические и технологические решения, являются Complet (компания VAI, Австрия); Conarc, Contiarc и EO (компания SMS Demag, Германия); Danarc (компания Danieli, Италия); Consteel (компания Techint S.p.A., Италия); K-ES и шахтная ЭДП «FUCHS» (компания FUCHS Systemtechnik, Германия); BSE Praxair CoJet и BSE CarbJet + TopArc CoJet (компания BSE Badische Stahl Engineering, Германия) и пр. Даже не анализируя технические детали вышеперечисленных решений необходимо отметить, что определяющей тенденцией в области совершенствования конструкции и технологии плавки в электродуговых печах, видимо, является стремление построения режима работы ЭДП по схеме многофункционального модуля, позволяющего максимально эффективно решать вопросы расплавления металла и его выпуска в ковш.

В целом на практике сейчас имеется достаточно широкий спектр оригинальных решений, которые в силу своего конструктивного разнообразия позволяют говорить о возможности рационального технологического построения ЭДП в структуре мини металлургического завода в зависимости от его конкретных условий. Вероятно, для обеспечения оптимального выбора конструкции ЭДП необходимо принимать во внимание реальные возможности реконструируемого цеха (обеспечение грузопотоков, требования экологии и пр.) и его стратегические задачи, а также инфраструктуру региона (наличие запасов металлолома, транспортных средств для его подачи к заводу, предприятий по подготовке металлолома, обеспеченность электроэнергией и пр.), в котором функционирует данный завод.



В табл.1 выполнено сравнение основных технико-экономических показателей работы некоторых ЭДП, достигнутых на практике с применением ранее перечисленных методов модернизации. Судя по приведенным данным, реализованные технические решения конкурентоспособны по основным технико-экономическим показателям и вряд ли можно отдать безоговорочное предпочтение какой-либо фирме, производящей современные ЭДП.

Табл.1 — Основные показатели работы ЭДП на некоторых мини металлургических заводах мира

№, п/п	Тип ЭДП	Наименование предприятия	Емкость печи, т	Расход эл-эн, кВт/ч	Расход электродов, кг/тн	Расход кислорода, м <sup>3</sup> /тн	Расход природного газа, м <sup>3</sup> /тн	Расход угля, кг/тн	Длительность плавки, мин
1	Шахтная ЭДП «Fuchs» [5]	Шталь Герлафинген АГ, Швейцария	110/80*	290–320	1,4	26	4,4	11–17	35–40
2	Шахтная ЭДП «Fuchs»	Комбинат «Северсталь»	115/80	290–320	1,6–2,2	42	5,0	10–20	37–45
3	ЭДП «BSE Praxair CoJet» + система пост-дожигания [4,6]	Badische Stahlwerke, Германия	80/75	325	1,5–1,8	37	нет данных	нет данных	36
4	Технология Danarc [7]	Молдавский металлургический завод	125/90	390	1,9	41	7,3	21	57–70
5	Сдвоенная ЭДП системы «Conarc» [8]	Saldanha Steel, ЮАР	170/115	490	2,4	32–34	нет данных	нет данных	45–60
6	Сдвоенная ЭДП «Danieli» [9]	Esteban Orbegozo, Zumarraga, Испания	120/90	443	1,6–1,8	33	5,4	нет данных	61
7	Комбинированная ЭДП с К-ES-технологией [10]	Lucchini, Sarezzo, Италия	92/80	391	2,5	38	6,9	3,5	53

\*В числителе указана номинальная емкость печи, а в знаменателе — мощность трансформатора

В целом же, обобщая основные тенденции развития конструкции электродуговых печей и технологии выплавки в них стали, необходимо выделить следующие основные моменты:

— стремление повысить удельную производительность ЭДП за счет уменьшения периода (от выпуска до выпуска) выплавки стали в печи (достигнутые показатели уже сегодня позволяют говорить о цикле плавки в 45–50 минут с возможным уменьшением этой величины уже в недалеком будущем);

— стремление вынести из печи в ковш значительную часть технологических операций по доводке стали (такая схема по существу определила обязательное применение агрегата по доводке стали типа «печь-ковш»);

— стремление к дальнейшему уменьшению затрат электроэнергии на производство 1 т жидкой стали, что стимулирует развитие систем вдувания кислорода в жидкую ванну, систем утилизации отходящего тепла и подогрева металлолома и пр.

Не менее важной в условиях мини металлургического завода представляется функциональная и технологическая роль агрегата типа «печь-ковш», являющегося, по

существо, связующим элементом между ЭДП и МНЛЗ, поскольку именно в ковше осуществляется комплекс мероприятий по доводке стали по температуре и химическому составу, ее рафинированию, а также выдержке по времени в соответствии с режимом разливки на МНЛЗ.

Следует особо обратить внимание на тот факт, что именно применение агрегатов, позволяющих выполнять регламентируемый подогрев стали в ковше, обеспечили на практике как расширение функциональных возможностей внепечной обработки и стабилизацию работы МНЛЗ при разливке длинными сериями с выходом годного выше 96–97%, так и достижение значительного энерго- и ресурсосберегающего эффекта. Вместе с тем, обработка металла в агрегате «ковш-печь» сопровождается значительными дополнительными затратами, что может несколько повышать себестоимость металлопродукции непосредственно в сталеплавильном цехе.

Для ускорения физико-химических процессов, происходящих в ходе внепечной обработки в агрегате «печь-ковш», в промышленных условиях используется продувка жидкой стали в ковше аргоном или азотом. На практике для вдувания инертного газа в металл используются специальные пористые или щелевые блоки, устанавливаемые в днище ковша. В общем случае при продувке металла инертными газами одновременно протекают многие процессы, которые оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на качество и себестоимость стали:

- усреднение металла в ковше по температуре, а также некоторая корректировка температуры перед разливкой за счет охлаждающего действия инжектируемого газа;
- усреднение металла в ковше по химическому составу;
- повышение степени чистоты стали по неметаллическим (оксидным) включениям за счет эффекта флотации во всплывающих пузырьках инжектируемого газа;
- ускорение процессов расплавления и усвоения вводимых в жидкую ванну твердых реагентов, раскислителей, модификаторов и лигатур;
- ускорение процесса дегазации стали за счет транспортировки к поверхности порций металла, расположенных в нижней части ковша;
- перемешивание металла и покровного шлака в зоне выхода газа из металла в шлак (интенсивность этого процесса зависит от интенсивности вдувания газа и способа его инжектирования);
- вторичное окисление стали в зоне выхода газа на поверхность в случае чрезмерно интенсивной продувки;
- ускорение износа футеровки сталеразливочного ковша, что во многом предопределяет повышение требований к качеству и химическому составу огнеупоров.

В настоящее время достаточно много машиностроительных фирм занимается разработкой и поставкой агрегатов типа «печь-ковш». Однако в функциональном плане эти агрегаты существенным образом не отличаются друг от друга. Сравнение основных параметров этих агрегатов приведено в табл.2.

Безусловно, отклонения некоторых из приведенных параметров находятся в прямой взаимосвязи с условиями работы конкретного сталеплавильного цеха и теми задачами, которые решаются в конкретном сталеплавильном цехе.

В целом же, учитывая тенденцию дальнейшего наращивания удельной производительности ЭДП при одновременном снижении времени одной плавки, следует ожидать, что требования к технико-экономическим показателям установок «печь-ковш» будут неуклонно возрастать. В первую очередь, это относится к увеличению скорости подогрева металла, повышению уровня автоматизации из-за необходимости уменьшения цикла обработки стали в ковше, рациональному выбору огнеупорных материалов, используемых в ковше с целью снижения удельных затрат на обработку и т.п. Безусловно, такое развитие требований к агрегатам «печь-ковш» потребует значительной реконструкции уже работающих длительное время установок.



Табл.2 — Сравнение параметров агрегатов «печь-ковш» различных фирм-производителей

Параметр	ASEA-SKF (Швеция)	Fukhs (Германия)	Krupp (Германия)	Daniely (Италия) (ММЗ-ИСТИЛ)	BSW (Англия)	НКМЗ (Украина) (ОАО ЕМЗ)	АКОС-125 (Россия)	ММЗ (Молдавия)
Емкость ковша, т	90–130	110	120	120	86	145	100–125	100
Мощность трансформатора, МВА	12–15	15	18/21	18	12	25	16	18
Сила тока, А	36	30	38	40	25	40	40	35
Диаметр электрода, мм	400	400	450	400	350	450	400	400
Диаметр распада электродов, мм	825	700	750	700	580	850	650	700
Скорость нагрева, °С/мин	4-6	4	4,3	4,6	3	4,5	3–5	4
Расход электродов, кг/т	0,85	0,34	0,3	0,45	0,2	–	0,3	0,3
Расход электроэнергии, кВт час/т	80	33	30	55	20	30–40	25–40	–
Продолжительность обработки, мин	60–180 (общая)	35–45 (общая)	40–50 (нагрев)	60–120 (общая) 20–30 (нагрев)	20–25 (нагрев)	40–60 (общая)	25–50 (общая)	45–50 (общая)
Стойкость футеровки, плавок	20–40	50–70	40–50	40–60	97	–	30–60	50–70

Практически вся сталь, получаемая на мини металлургических заводах, разливается на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). При этом большая часть МНЛЗ предназначена для получения блюмов и сортовых заготовок. Вероятно, для значительного числа существующих блюмовых и сортовых МНЛЗ, которые были построены за последние 15–20 лет и ранее, основной проблемой является гармонизация работы с ЭДП, производительность которых в последние годы неуклонно повышается. По существу это означает необходимость решения задачи повышения удельной производительности МНЛЗ путем реконструкции оборудования и совершенствования технологии разлива.

По данным [11] на начало 1998 г. в мире насчитывалось свыше 1020 ручьев блюмовых и 3720 ручьев сортовых МНЛЗ. При этом средняя производительность одного ручья для блюмовой и сортовой МНЛЗ составляет соответственно 118 и 42 тыс. т стали в год. Как видно из данных, приведенных в табл.3, в последние десятилетия все большее предпочтение отдается в строительстве многоручьевых (6–8 ручьев) МНЛЗ в электросталеплавильных цехах. Это можно рассматривать, как стремление производителей стали повысить удельную производительность МНЛЗ и обеспечить ее сопряжение с высокопроизводительными сталеплавильными агрегатами. Вместе с тем, следует также отметить, что при строительстве основную долю МНЛЗ на мини металлургических заводах составляют сортовые МНЛЗ. Так, для 660 мини металлургических заводов, принятых авторами в анализе, число ручьев блюмовых и сортовых МНЛЗ составило соответственно 10–12% и 88–90%.

Между тем, показатели производительности 1 ручья на лучших МНЛЗ мира уже сегодня значительно выше. Например, на японских металлургических заводах «Суми-

томо Метал» (размер блюма 300×400 мм) и «Даидо Стил» (размер блюма 370×480 мм) она составляет примерно 300 тыс. т стали в год, а на австралийском заводе «БХР Стил» (размер блюма 400×630 мм) — 400 тыс. т стали в год. Для сортовых МНЛЗ этот показатель достиг сегодня величины 225–235 тыс. т стали в год (завод «Рурорт» в Германии или «Хута Катовице» в Польше) и есть основания предполагать, что он будет еще увеличен.

**Табл.3** — Количество многоручьевых сортовых МНЛЗ малого сечения в мире (по данным на конец 1998 г.)

Данные о машинах непрерывной разливки стали	Количество МНЛЗ с числом ручьев, шт.					
	4	5	6	7	8	Всего
Построенные до 1980 г., шт./%	72 (29,3)	12 (14,8)	29 (19,3)	2 (66,6)	4 (21,8)	117
Построенные или реконструированных до 1990 г., шт./%	95 (38,6)	18 (22,2)	49 (32,7)	—	4 (21,8)	166
Построенные или реконструированные после 1990 г., шт./%	79 (32,1)	51 (58,0)	72 (48,0)	1 (33,4)	14 (63,6)	217
<b>Всего, шт.</b>	<b>246</b>	<b>81</b>	<b>150</b>	<b>3</b>	<b>22</b>	<b>502</b>
Доля в общем количестве, шт.	49,0	16,1	29,9	0,6	4,4	—
<b>Всего ручьев, шт.</b>	<b>984</b>	<b>405</b>	<b>900</b>	<b>21</b>	<b>176</b>	<b>2486</b>
Доля в общем числе ручьев, %	39,6	16,3	36,2	0,8	7,1	—
Доля МНЛЗ, расположенных в ЭСПЦ, %	70–75	97	70–75	90–92	30–33	—

Следовательно, для большинства блюмовых и сортовых МНЛЗ средний показатель их производительности представляется достаточно низким. Учитывая этот факт, можно с уверенностью утверждать, что одной из главных задач развития технологии разливки и конструкций блюмовых и сортовых МНЛЗ (наряду с повышением качества заготовки) является существенное повышение их производительности. По оценкам различных экспертов, средняя годовая производительность 1 ручья для блюмовых и сортовых МНЛЗ уже в ближайшее время должна составлять соответственно 200–250 и 120–160 тыс. т в год.

Задача повышения производительности МНЛЗ является сложной многокомпонентной проблемой, требующей комплексного подхода в рамках целого сталеплавильного цеха или даже завода. При этом одним из существенных факторов повышения производительности МНЛЗ является увеличение количества плавов, разливаемых без остановки машины. Наличие больших резервов в этом направлении подтверждается известными «рекордными» показателями:

**Блюм:**

- завод «Сумитомо Метал» (Япония) — 1129 плавов;
- завод «Тиссен Штал Рурорт» (Германия) — 632 плавки;
- завод «Ниппон Стил Кимицу» (Япония) — 508 плавов;
- завод «Фуст-Алпине Донавиц» (Австрия) — 365 плавов.

**Сортовая заготовка:**

- завод «Нукор Стил Плимут» (США) — 349 плавов;
- завод «Сикарца Лас Тручас» (Мексика) — 319 плавов;
- завод «Джорджтаун Стил» (США) — 310 плавов.

По сути, лучшие показатели длительности работы блюмовых МНЛЗ соответствуют циклу месячной работы без остановки. Несколько меньшая продолжительность работы сортовых МНЛЗ, видимо, объясняется меньшей надежностью разливки из-за больших скоростей вытяжки заготовки.

Для разливки стали на МНЛЗ длинными сериями необходимым условием, прежде всего, является стабильная подача ковшей со сталью на МНЛЗ. Это означает, что перед окончанием разливки сталеразливочного ковша на стенде должен находиться но-



вый ковш со сталью, кондиции которой в полной мере соответствуют требованиям, предъявляемым при разливке данной марки. Следовательно, при разливке стали длинными сериями в цехе должна быть согласована работа сталеплавильных агрегатов и МНЛЗ. Такое согласование в максимальной степени удастся достигнуть при использовании установок внепечной обработки стали типа «печь-ковш».

Крайне важным аспектом повышения производительности блюмовых и сортовых МНЛЗ является также повышение скорости вытягивания заготовки из кристаллизатора. При этом для обеспечения стабильности процесса разливки в максимальной степени используется комплексная система автоматики, обеспечивающая регулирование расхода стали из промковша (в зависимости от температуры стали и положения мениска в кристаллизаторе) и контролирующая температуру поверхности заготовки в зоне вторичного охлаждения. Статистическая зависимость максимальной скорости вытягивания от сечения заготовки приведена на рис.3.

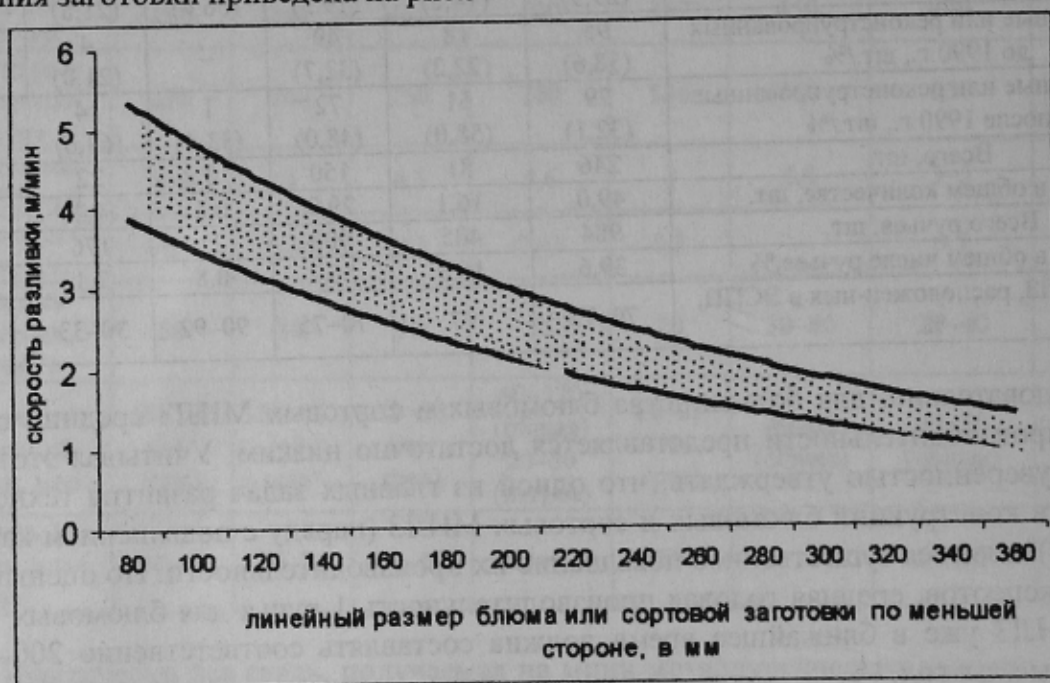


Рис.3. Зависимость между скоростью вытяжки непрерывнолитой заготовки и ее сечением

В последнее десятилетие в мире полностью оформилась концепция безопасной (по качеству поверхности заготовки) разливки стали, включающая автоматическую подачу шлакообразующей смеси в кристаллизатор, использование глуходонного погружного стакана с четырьмя боковыми отверстиями, применение системы автоматического контроля уровня металла в кристаллизаторе и индикации температуры рабочей поверхности кристаллизатора на всем пути движения заготовки. Вероятно, дальнейшим развитием системы безопасной разливки будет использование гидравлического привода качания кристаллизатора МНЛЗ, что обеспечит существенное повышение уровня синхронизации между скоростью разливки и режимами качания [12].

Все большее промышленное распространение получает также концепция применения так называемых «параболических» кристаллизаторов [13, 14]. Существенной предпосылкой создания такого типа кристаллизаторов является стремление обеспечить формирование прочной корочки непрерывного слитка на выходе из кристаллизатора, что должно быть достигнуто увеличением интенсивности охлаждения. Следовательно, геометрия внутренней поверхности кристаллизатора в виде параболического профиля необходима для того, чтобы сделать поправку на естественную усадку непрерывнолитой заготовки. Как показывает практика, такие кристаллизаторы обеспечивают скорость разливки сортовой заготовки на уровне 4,5–5,5 м/мин.

Увеличение скорости разливки блюмов и сортовых заготовок в значительной степени изменяет условия их затвердевания в сравнении с традиционными представле-

ниями. Поэтому для высокоскоростных МНЛЗ требуется соответствующая коррекция режимов охлаждения во вторичной зоне. При этом главной задачей остается обеспечение качества непрерывнолитой заготовки в осевой зоне (пористость и ликвация).

Проблема формирования осевой пористости и ликвации представляется особенно серьезной для высокоуглеродистых сталей. Вместе с тем, традиционные методы повышения качества заготовки: изменение условий охлаждения и использование электромагнитного перемешивания металла в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения, по мнению многих исследователей, не обеспечивают желаемого эффекта. Вероятно, следует считать, что управление процессами подавления осевой ликвации и пористости в значительной степени может быть достигнуто только при использовании так называемого метода «мягкого обжатия» (soft reduction) [15, 16].

В настоящее время этот метод только получает промышленное развитие на отдельных современных МНЛЗ. Сущность этого технологического приема заключается в том, что на одной или двух гранях непрерывнолитой заготовки формируются дополнительные в виде трапеций приливы металла, которые с помощью специальных обжимных клетей эти приливы металла определенным образом вдавливаются в тело заготовки, которая принимает форму квадрата или прямоугольника. Наибольший эффект, как правило, достигается при вдавливании приливов в 3–4 этапа с регламентированным расположением точек приложения нагрузки по длине заготовки. Это обеспечивает уменьшение внутреннего объема заготовки и соответственно улучшает условия питания жидким металлом твердого каркаса и предотвращает формирование раковин усачной пористости.

В конце 80-х и начале 90-х годов в мире сформировалось новое направление непрерывной разливки на слябы — литье тонких слябов и сооружение МНЛЗ, совмещенных с прокатным станом [17–19]. Очевидно, что такая производственная линия предназначена для конкретного диапазона размеров заготовки и марок стали; она должна быть специально сконструирована для производства продукции узкого целенаправленного назначения. В настоящее время в мире насчитывается около 35–40 МНЛЗ для отливки тонких слябов и средней толщины, совмещенных с прокатным модулем. При этом большая часть из них сооружена в США (14 установок) и развивающихся странах (14 установок), то есть в странах, где наблюдается наибольший рост производства плоского проката.

В целом в развитии МНЛЗ для литья тонких слябов в большей степени заинтересованы мини-заводы, которые пытаются попасть на рынок листовой продукции, и металлургические заводы с полным циклом, которые нуждаются в реорганизации своего производства и в замене существующих агрегатов. Как всякий новый процесс, литье тонких слябов имеет ряд многообещающих особенностей, но также характеризуется некоторыми узкими местами.

Как показывают последние данные промышленного использования метода литья тонких слябов, конструктивная реализация таких МНЛЗ требует применения принципиально новых решений в следующих вопросах: конструкция кристаллизатора, оптимизация подвода жидкой стали из промковша в кристаллизатор, использование метода «мягкого» обжатия, использования специальной системы по предотвращению прорывов, разработка специальной системы удаления окалины, оптимизация отрицательного времени раздевания заготовки и пр.

Между тем, уже сегодня можно говорить о том, что технология непрерывного литья тонких слябов с обжатием при наличии жидкой фазы и последующей прокаткой позволяет достигнуть уменьшения капитальных затрат и снижения затрат по переделу при улучшении свойств материала готовой продукции при равномерном качестве поверхности.

В настоящее время двумя наиболее перспективными вариантами производства листа на мини заводах получение и дальнейшая прокатка слябов толщиной около 50 мм



и 100–150 мм. Преобладающее большинство МНЛЗ, используемых на мини заводах для получения листа являются тонкослябовыми. Вместе с тем, при использовании непрерывной разливки на слябы толщиной 100–150 мм удастся повысить качество продукции и производительность комплекса разливки и прокатки металла.

В целом основные тенденции развития процессов непрерывной разливки стали в условиях мини металлургических заводов можно сформулировать следующим образом:

- повышение производительности блюмовых и сортовых МНЛЗ за счет реконструкции уже существующих машин и создания новых высокоэффективных комплексов (годовая производительность 1 ручья для блюмовых и сортовых МНЛЗ должна составлять соответственно не менее 200–250 и 120–160 тыс. т в год);

- развитие системы комплексной подготовки стали к непрерывной разливке и согласование работы сталеплавильных агрегатов МНЛЗ путем использования современных агрегатов типа «печь-ковш»;

- создание оптимальных условий для работы кристаллизатора путем подвода стали под уровень с помощью погружных глуходонных стаканов с боковыми отверстиями, автоматического контроля и поддержания уровня металла в кристаллизаторе, контроля поверхности стенок кристаллизатора по ходу движения заготовки и пр.

- использование для сортовых заготовок кристаллизаторов с так называемой «параболической» геометрической формой внутренней поверхности, обеспечивающей существенное повышение скорости вытяжки заготовки и производительности МНЛЗ;

- использование метода «мягкого» обжатия заготовки с жидкой сердцевиной с целью подавления осевой пористости и ликвации;

- развитие концепции непрерывного литья тонких слябов с их обжатием и последующей прокаткой в горячем состоянии и соответствующим повышением конкурентоспособности мини-заводов на мировом рынке листовой продукции;

- повышение степени автоматизации работы МНЛЗ с включением в единую систему всех параметров жидкой стали, условий охлаждения стали в кристаллизаторе и зоне вторичного охлаждения при наличии обратной связи.

Таким образом, основу успешного развития мировой металлургии в последнее десятилетие составляют следующие направления:

- ориентация на производство стали в электродуговых печах, технико-экономические показатели которых существенно выросли в последние 30 лет и по ряду параметров улучшились в несколько раз; при этом наряду с ростом удельной производительности и оптимизации уровня энергозатрат в ЭДП удалось существенно повысить качество стали, уровень экологического безопасности, автоматизации и пр.;

- развитие концепции технологии непрерывной разливки стали, где четко просматривается тенденция применения МНЛЗ, обеспечивающих максимально возможную гибкость по размерному и марочному сортаменту продукции, а также низкие эксплуатационные и материальные расходы, а также затраты на капиталовложения;

- ориентация на создание высокоэффективных модулей, обеспечивающих сопряженную работу основных технологических агрегатов в сталеплавильном цехе на базе агрегатов типа «печь-ковш и существенное снижение трудозатрат;

- развитие прогрессивных технологий и оборудования для совмещенных литейно-прокатных модулей, появление одноклетьевых листовых станов горячей прокатки, комплексных мини заводов и пр.;

- ориентация на создание возможности и экономической целесообразности (в силу малого объема плавильных агрегатов) получения сравнительно малых объемов металлопродукции, что обеспечивает прямые связи с непосредственным потребителем и устраняет затраты на услуги посредников.

Изучение мирового опыта развития и реконструкции черной металлургии как отрасли для Украины является очень важной задачей. Ориентировка на общемировые тенденции реконструкции и развития металлургической отрасли поднимет эффективность и экономичность работы отечественных металлургических предприятий. Концепция современного мини металлургического завода является весьма привлекательной для ряда металлургических предприятий Украины. Это потребует минимального объема инвестиций и при этом обеспечит высокий уровень концентрации и гибкости производства при сохранении годовых объемов готовой стали, соответствующих настоящему моменту.

### Список литературы

1. **Dunholter D.** Mini mill: design and start-up // *Steel Technology international*, 1999. — P. 97–100.
2. **Целиков Н.А.** Перспективы развития металлургических мини-заводов в России // *Сталь*, 1999. — № 6. — С. 58–60.
3. **Майерлинг П.** Повышение производительности в электросталеплавильном производстве // *Металлургический завод и технология*, 1995. — С. 30–37.
4. **Зайцев О.** Настоящее и будущее электродуговых печей / *Металлы мира. Международное обозрение*, 2000. — № 5. — С. 13–19.
5. **Фукс Г., Гелер К., Пельц Б.** Концепция фирмы «Фукс Систематехник» по современному ста-леплавильному производству // *Сталь*, 2000. — № 3. — С. 30–34.
6. **Oxygen technology for highly efficient electric arc steelmaking** // *MPT International*, 2000. — No 4. — P. 84–92.
7. **Кутаков А.В.** Развитие электросталеплавильного производства в условиях Молдавского ме-таллургического завода // *Сталь*, 2000. — № 1. — С. 21–27.
8. **Saldanha Steel** — мини-завод по производству тонкого плоского проката высокого качества / Б.Крюгер, П.Майерлинг, Х.Каппес и др. — *Черные металлы*. — № 4. — С. 49–59.
9. **Campanella A.** Quick and Effective revamping of Esteban Orbegozo Electric Steelmaking Plant // *Danieli Group Quarterly Journal*, 1995. — May. — № 113. — P. 24–35.
10. **Improvement of Productivity and Economic Efficiency in EAF Steelmaking through the Applica-tion of K-ES Technology** / E.Fritz, H.Berger, I.Steins et al // *International Steelmaking Conference*. May, 1998. Linz, Austria. Innovation Session. Paper No .6. — P. 1–9.
11. **World Survey: Continuous Casting Machines for Steel**. — Zurich: Concast Standard, 1998. — 191 p.
12. **Development in mould oscillation/** T.Yamashita, J.Radot, I.McNeil, M.Wolf // *Proc. 4th Int. Conf. Cont. Casting*. — Brussell: CRM/VDEh, 1988. — P. 329–340.
13. **Horbach U., Kockentiedt J., Jung W.** High speed billet casting with parabolical mould taper // *Stahl und Eisen*, 1997. — No. 12. — P. 95–101.
14. **Stilli A.** Hot processing of billets // *Concast Standard News*, 1997. — No 1(36). — P. 3–4.
15. **Improvement of segregation of continuously cast billet by soft reduction** / K.Isobe, Y.Kusano, S.Noguchi et al // *Proc. Near-Net-Shape Casting in the Minimills*. — Vancouver: CIM, 1995. — P. 179–192.
16. **Модернизация** установки непрерывного литья блюмов на заводе фирмы Тиссен Шталь в Дуйсбурге / Э.Зовка, Б.Андре, Р.Бертрам и др. // *Черные металлы*, 1995. — № 10. — С. 33–38.
17. **Hogan W.** Thin slab casting — progress and potential // *Steel technology international*, 1990/91. — P. 195–197.
18. **Коассин Дж., Мерони У.** Гибкая машина для непрерывного литья тонких слябов // *MPT*, 1995. — С. 40–53.
19. **Плешиутшницг Ф.** Первый мини-завод с технологией производства полосы в линию (I.S.P.) в сопоставлениях с другими схемами производства горячекатанной полосы // *MPT*, 1993. — С. 64–83.

© Минаев А.А., Смирнов А.Н., 2001