



*In the offered work there have been carried out the wear resistant tests of the cast materials experimental samples in conditions of friction at contact with steel and abrasive riders, conjugated with impingement attacks.*

Н. Ф. НЕВАР, Ю. Н. ФАСЕВИЧ, Белорусский национальный технический университет

УДК 621.141.25

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БОРА, АЛЮМИНИЯ, МАРГАНЦА, КРЕМНИЯ И РЗМ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛИТЫХ МАТЕРИАЛОВ

В предлагаемой работе были проведены исследования экспериментальных образцов литых материалов на износостойкость в условиях трения при контакте с твердосплавными и абразивными контртелами, сопряженного с ударными воздействиями.

Сплавы выплавляли в индукционно-тигельной печи. В качестве шихты использовали техническое железо и борсодержащие компоненты — карбид бора ( $B_4C$ ) и ферробор (ФБ). Износостойкость образцов в условиях сухого трения скольжения о твердосплавный диск из сплава типа ВК исследовали на машине «Шкода-Савина» при нагрузке на контртело 170–200 Н и скорости вращения диска 0,1–7,0 м/с. Износ оценивали посредством взвешиванием образцов на аналитических весах до и после испытаний [1].

Установлено, что повышение содержания в сплаве бора приводит к увеличению износостой-

кости (рис. 1). Данная тенденция особенно заметно проявляется при содержаниях бора от 1,5 до 3,8%. В этом интервале концентраций бора имеют место наиболее значительные изменения в структуре материала, характеризующиеся увеличением количества образующихся боридов и твердости  $\alpha$ -фазы. При содержаниях бора 3–4% формируются образцы, имеющие эвтектическое строение с наиболее высоким уровнем износостойкости. С появлением в структуре материала наряду с эвтектикой первичных выделений боридов (3,8–5,0%) повышение износостойкости не наблюдается, более того, в отдельных случаях в контактных зонах появляются очаги хрупкого выкрашивания. При этом уровень износа увеличивается от 3–4 кг/м<sup>2</sup> при содержании бора 2,2–3,8% до 4,0–4,5 кг/м<sup>2</sup> при содержании бора 3,8–5,0%.

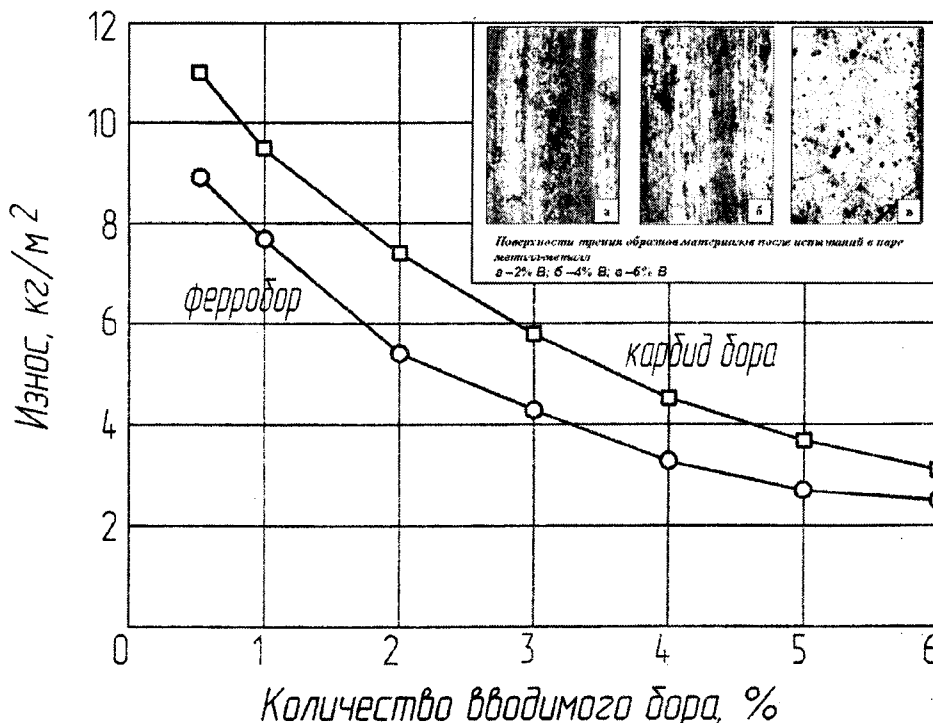


Рис. 1. Влияние борсодержащей добавки на износостойкость материала: испытание в паре металл—металл

Таким образом, как показали проведенные испытания и металлографический анализ поверхностей износа, наличие в структуре материала крупных первичных боридов железа нецелесообразно, так как это отрицательно сказывается на сопротивлении хрупкому разрушению контактной поверхности.

При более мягких условиях испытания ( $P=1,2$  МПа,  $v=0,42$  м/с) в отсутствии динамических нагрузок износостойкость заэвтектических борсодержащих материалов повышается по сравнению с доэвтектическими. В этом случае образующиеся бориды выступают в роли частиц, армирующих сплав, препятствуя уносу материала с поверхности трения.

Таким образом, стабильное повышение износостойкости имеет место при содержаниях бора до

3,8% в составе сплава, полученного как из шихты с ферробором, так и карбидом бора. Условия получения материалов при этом были одинаковыми. Более высокие показатели значений износостойкости отмечались у образцов, полученных с использованием карбида бора. Объясняется это инокулирующим воздействием нерастворенных частичек данного компонента.

Наряду с проведенными испытаниями в паре металл-металл представляют интерес данные по износостойкости экспериментальных образцов материалов, полученные в условиях испытаний, аналогичных предыдущим в паре металл-абразив (рис. 2). В качестве контртела в данном случае использовали абразивный диск из вулканита. Установлено, что износ образцов сплава в случае их контакта с абразивом возрастает.

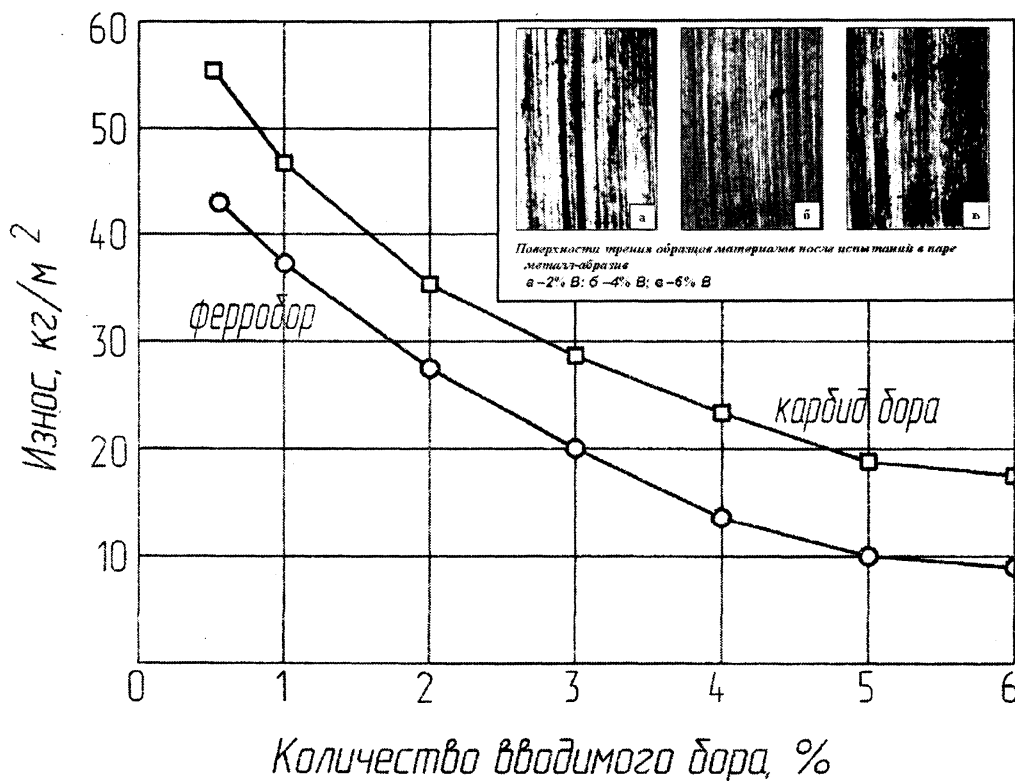


Рис. 2. Влияние добавок бора на износостойкость материала: испытание в паре металл-абразив

Следует отметить, что износостойкость исследуемых материалов в зависимости от состава шихты практически изменяется так же, как и в случае испытаний в контакте с металлическим контртелом.

На основании анализа проведенных испытаний был оптимизирован состав борсодержащего сплава. Дальнейшие исследования влияния легирования и модифицирования проводили, согласно методике [2], на сплавах с содержанием бора 1,8–2,7%.

Результаты испытаний на износостойкость оптимизированного состава сплава, дополнительно легированного алюминием, марганцем и кремнием [3], представлены на рис. 3, 4. Легирование сплавов осуществлялось в пределах 0,2–1,2%. Износ экспериментальных образцов материалов,

легированных описанными выше компонентами, понижается при увеличении содержания данных лигатур. Так, увеличение содержания кремния от 0,2 до 1,2% понижает износ сплава с 8,0 до 2,5 кг/м². Влияние на износ образцов марганца и алюминия менее существенно. Повышенное сопротивление истиранию образцов, легированных кремнием, можно связать с дополнительным упрочнением  $\alpha$ -твердого раствора.

Износостойкость экспериментальных образцов сплавов, испытанных в условиях трения в контакте с абразивным диском, показана на рис. 4. Следует отметить, что в результате настоящих испытаний износостойкость образцов материалов снижается в 1,5–2,0 раза по сравнению с испытаниями в паре металл-металл.

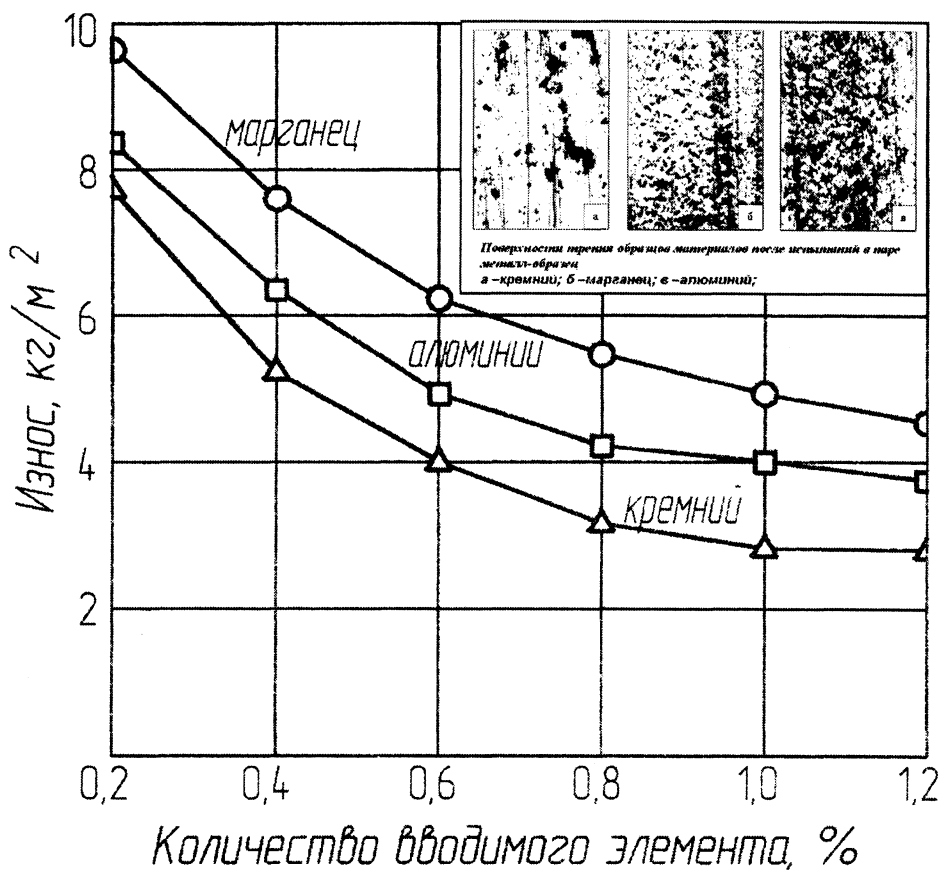


Рис. 3. Изменение износостойкости исследуемого сплава в зависимости от вводимого элемента: испытание в паре контрольно-сталь 25ХГТ

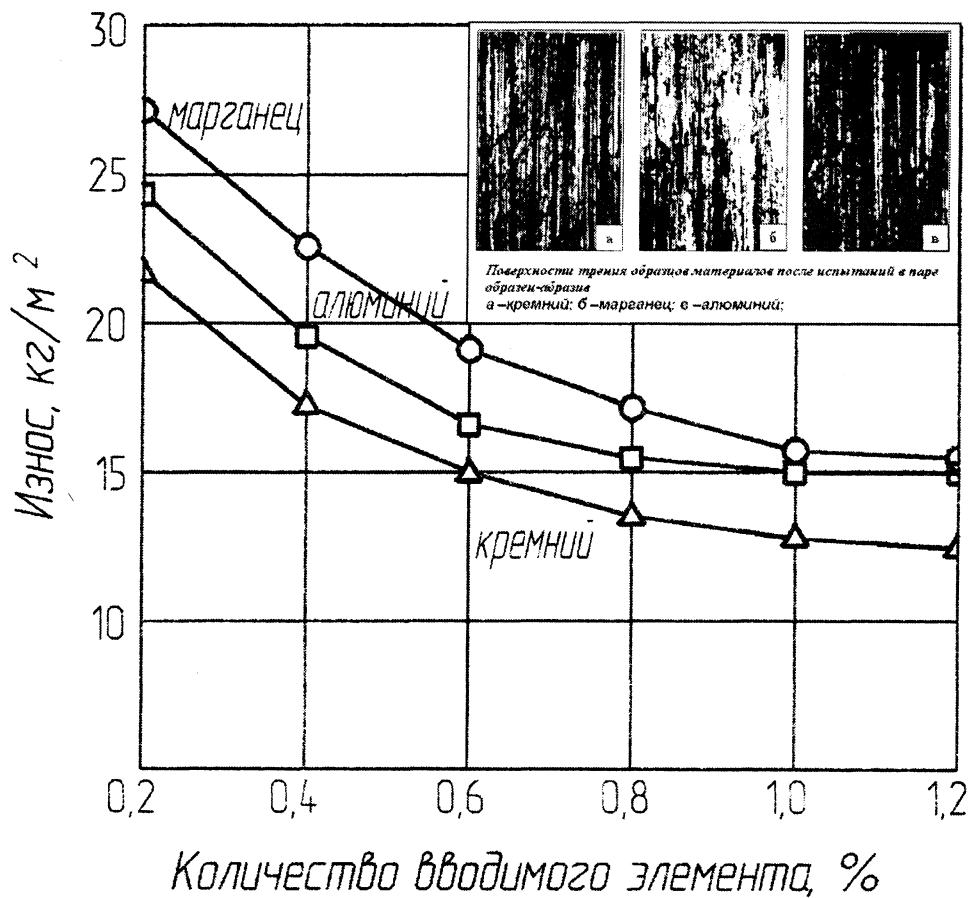


Рис. 4. Изменение износостойкости исследуемого сплава в зависимости от вводимого элемента: испытание в паре контрольно-вулканит

Металлографический анализ поверхностей трения сплавов, легированных алюминием, кремнием и марганцем, показывает, что в случае трения в паре металл–металл (см. рис. 3) преобладает окислительный износ. Наиболее характерен данный вид износа для образцов из сплавов, легированных кремнием. При испытании образцов материалов в паре металл–абразив (рис. 4) установлено, что в случае легирования кремнием (более 0,6%) преобладающим видом является абразивный износ. Данная разновидность износа связана со свойствами кремния как легирующего элемента.

В настоящей работе также проводили испытания экспериментальных образцов сплавов, модифицированных редкоземельными элементами. В качестве модифицирующих компонентов были

использованы иттрий и церий [4]. Модифицирование проводили из расчета 0,1–0,5% от массы шихты. Редкоземельные элементы вводили в расплав в конце плавки после тщательного предварительного раскисления алюминием. Раскисление проводили непосредственно перед вводом РЗМ для предотвращения взаимодействия последних с кислородом и их угара.

В результате этих испытаний установлено, что с увеличением количества вводимого модификатора от 0,1 до 0,5% износостойкость материала достигает значений 1,8–6,4 кг/м<sup>2</sup> при трении в контакте со стальными контртелами (рис. 5) и 11–52 кг/м<sup>2</sup> – с абразивными контртелами (рис. 6). Данный рост обусловлен уменьшением доли хрупкого разрушения в контактных зонах.

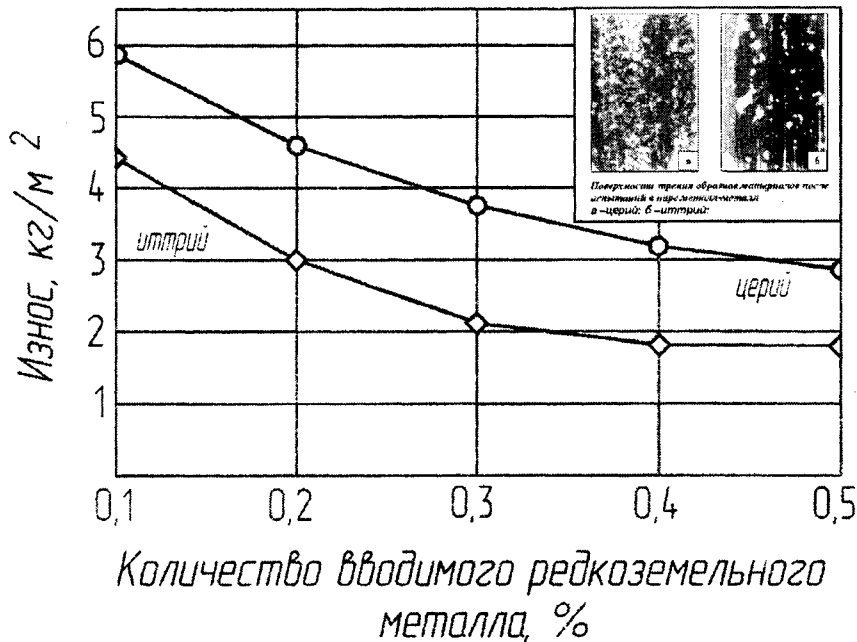


Рис. 5. Изменение износостойкости исследуемого сплава в зависимости от вида модификатора: испытание в паре контртело–сталь 25 ХГТ

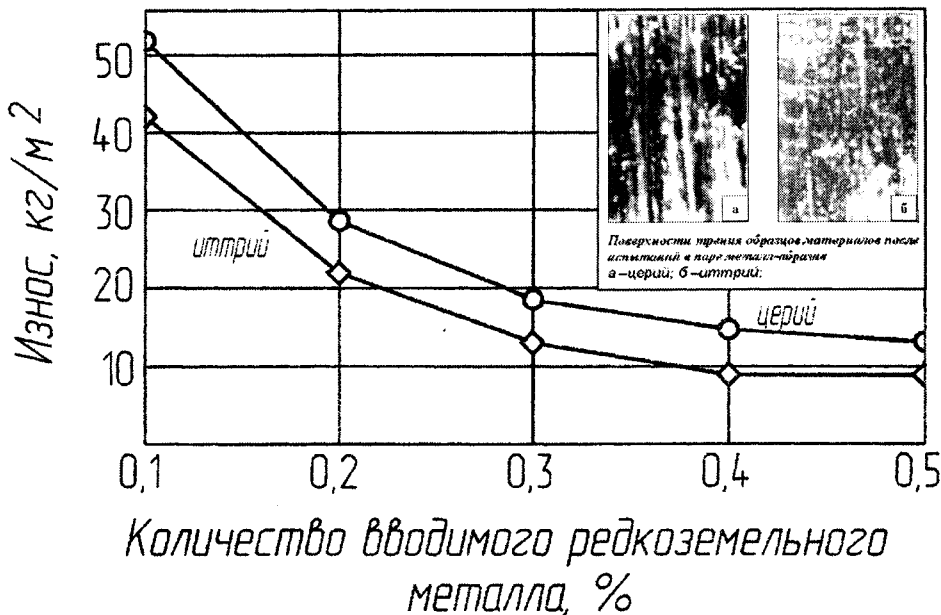


Рис. 6. Изменение износостойкости исследуемого сплава в зависимости от вида модификатора: испытание в паре контртело–вулканит

## Выводы

Выполненные исследования позволяют отметить, что наиболее высокая износостойкость отмечается у образцов сплавов, легированных кремнием и модифицированных иттрием.

Введение редкоземельных металлов способствует измельчению составляющих сплава, что и обеспечивает повышение свойств.

## Литература

1. Виноградов В. Н., Сорокин Г. М. Износостойкость сталей и сплавов. М.: Нефть и газ, 1994.
2. Золоторевский В. С. Механические свойства металлов. М.: Metallurgia, 1983.
3. Гольдштейн Я. Е., Мизин В. Г. Модифицирование и микролегирование чугуна и стали. М.: Metallurgia, 1986.
4. Невар Н. Ф., Фасевич Ю. Н. Влияние добавок редкоземельных металлов на свойства литого борсодержащего материала // Литье и металлургия. 2002. № 3. С. 39–40.



## Плавка чугуна

**03.02–14Г.49. Плавка базового серого чугуна для производства чугуна с шаровидным графитом.** Pripremanje temeljne taline za proizvodnju nodularnog željeza. Gavranovic N. Ljevarstvo. 2000. 42, № 4, с. 97–102, 1 ил., табл. 5. Хорват.: рез. англ.

Приводится описание опыта завода MIV в Хорватии по плавке серого чугуна в вагранке. Заданный химический состав чугуна равен – 4,1% С; 1,9% Si; 0,8–1,2% Cu; до 0,3% Mn. Чугун перегревается в ИТП средней частоты, подвергается в специальном ковше обессериванию кальцинированной содой и переливается в канальную ИП выдержки-раздачи.

**03.02–14Г.50. Глобуляризирующая обработка чугуна.** Iskustva s naknadnim cijepljenjem željeza cetiriju suvremenih ljevaonica. Bielek M., Gassere P., Gledhill S., Stsral R. Ljevarstvo. 2000. 42, № 2, с. 37–41, 2 ил., табл. 2. Хорват.; рез. англ.

Приводится описание способов глобуляризирующей обработки чугуна и процесса разливки ЧШГ на трех линейных предприятиях США.

**03.02–14Г.51. Плавка базового серого чугуна для производства чугуна с шаровидным графитом.** Prilagodna proizvodnje sivog i nodularnog lijeva u istoj lievaonici. McMahon K., Fimman M. (Jr), Kippola D. Ljevarstvo. 2001. 43, № 4, с. 87–90, 2 ил., табл. 1. Хорват.; рез. англ.

Приводится описание шихтовки и плавки серого чугуна, подготовляемого к глобуляризирующей обработке. На примере двух заводов в США, где чугун выплавляется в вагранках, показана эффективность внепечной десульфурации чугуна. На третьем заводе – плавка производится в индукционных печах.

**03.02–14Г.52. В каких печах лучше выплавлять чугун с шаровидным графитом? Письмо в редакцию.** Красавин Б. С. Литейн. пр-во. 2002, № 7, с. 31. Библ. 4. Рус.

Сообщается, что в цехах конвейерного литейного производства агрегатом для выплавки ЧШГ должен быть основной дуговой миксер постоянного тока, который надо ставить вторым в дуплекс-процессе. Это упрощает конструкцию печи (не требуются механизмы для загрузки твердой завадки), снижает время и стоимость монтажа оборудования, упрощает организацию плавильных участков.

## Плавка стали

**03.02–14Г.57. Состояние и перспективы сталеплавильного производства Украины.** Бойченко Б. М., Поляков В. Ф., Лесовой В. В. Международная конференция-диспут "Металлургия и металлурги XXI века", посвященная 90-летию со дня рождения В.И. Явойского, Москва, 27–30 нояб., 2000: Сборник трудов. М.: Изд-во МИСиС. 2001, с. 254–273, Табл. 3. Библ. 17. Рус.

В 1990 г. производство стали в Украине составляло примерно 50 млн. т, в том числе мартеновской – 54%, кислородно-конвертерной – 43% и электропечной – 3%. Коэффициент использования производственных мощностей был очень высок. Так, для кислородных конвертеров он составлял около 98% против 68, 64 и 89 соответственно в США, Японии и ФРГ. При серьезном отставании по объему разливки стали непрерывным способом (8,3% против 67,2% в США, 93,7% в Японии и 91,4% в ФРГ) в целом технический уровень и основные показатели сталеплавильного производства Украины были близки, за отдельными исключениями, к аналогичным показателям ведущих мировых стран, а объем и уровень научных и инженерных разработок в ряде случаев даже опережали зарубежные, правда, при существенно более низких темпах реализации их в производство. Однако в условиях перехода Украины к рыночной экономике, особенно начиная с 1994 г., ситуация в металлургической отрасли и сталеплавильном производстве существенно ухудшилась, что особенно проявилось в снижении объемов производства, ухудшении условий обеспечения сырьем, топливом и энергоресурсами, снижении внимания к ремонту и содержанию агрегатов и оборудования, ухудшении технологической дисциплины, сокращении объема научно-технических разработок и снижении их масштабности и объемов использования. При этом следует отметить, что металлургия, несмотря на глубокий кризис, сумела сохранить основные производственные мощности по выплавке стали на уровне 40 млн. т. В 1999 г. произведено 27 млн. т стали, при этом соотношение мартеновской и кислородно-конвертерной стали составляет 50:50. Объем разливки стали на МНЛЗ составляет 5,0 млн. т. В эксплуатации осталось 19 конвертеров. Из 59 находящихся на балансе мартеновских и двухванных печей в рабочем состоянии осталось 42, из них работало в разные периоды от 28 до 34 агрегатов. Коэффициент использования мощности в мартеновском и конвертерном производстве составляет 68,0 и 69,5% соответственно.