

УДК 621.771.23

О РАЗВИТИИ МЕТАЛЛУРГИИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

*Рашев Ц.В.*¹, *д.т.н., профессор, вице-президент* (tsolo_rashev@yahoo.com)

*Жекова Л.Ц.*², *к.т.н., доцент*

*Богев П.В.*³, *вице-президент*

¹ООО «Метко»

(София, Болгария)

²Институт металловедения, сооружений и технологий Болгарской академии наук

(София, Болгария)

³ООО «Павел Венков»

(Перник, Болгария)

Аннотация. Представлен короткий обзор исторического развития производства железа и стали. Отмечается, что новая металлургия – металлургия под (газовым) давлением (МД) появилась в конце XX в. Авторы считают, что и на этом раннем этапе МД доказала ряд существенных преимуществ перед традиционной металлургией (ТМ) и вакуумной металлургией (ВМ). Основные из них: до четырех раз выше предел текучести при уникальном сохранении остальных характеристик – уменьшении расхода или устранении некоторых дорогих легирующих элементов (Ni, Mo, Co, W и др.); возможность легирования нетрадиционными элементами (Ca, Zn, Pb и др.); высокая экология производства; устойчивое развитие. Вот почему можно ожидать, что МД имеет перспективу на прорывное развитие в области качественной и специальной металлургии. Из известных до сих пор способов МД авторы считают метод большой сталеплавильной ванны (БСВ) самым перспективным.

Ключевые слова: металлургия под давлением – МД, высокоазотистые стали – ВАС, азот, нетрадиционные стали, большая сталеплавильная ванна – БСВ, компрессионный электрошлаковый переплав – КЭШП, вакуумная металлургия – ВМ, традиционная металлургия – ТМ, электрошлаковый переплав под давлением – ЭШПД.

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-60-66

Металлургия железа и стали является одним из старейших производств в развитии человечества, фундаментом его военного и технического прогресса. Первые предметы из железа (наконечники стрел и копьев, примитивные инструменты обработки земли) начали производиться примерно пять тысяч лет тому назад [1].

Из термодинамики известно, что качество материалов является функцией трех основных термодинамических параметров: химического состава (С), температуры (Т) и давления (Д), т. е.

$$\text{Качество} = f(\text{С}, \text{Т}, \text{Д}). \quad (1)$$

Первоначальное развитие металлургии начиналось с применения первых двух факторов уравнения (1), далее плавления относительно чистых и богатых по железу руд [1], а затем постепенно улучшался химический состав введением легирующих элементов. Процесс применения только температуры и химического состава длился тысячелетиями с небольшими усовершенствованиями и продолжается и теперь (рис. 1). Его потенциал можно считать почти исчерпанным – прочностные характеристики стали в целом улучшились несущественно.

Примерно 100 лет тому назад зародилась и стала развиваться вакуумная металлургия (ВМ) (рис. 1), что

привело к некоторому улучшению показателей качества стали, но возможности ВМ теоретически ограничивались воздействием лишь 0,1 МПа.

В 70-ые годы прошлого века началось развитие [2 – 45] новой металлургии – металлургии под газовым давлением. Давление имеет солидные и самостоятельные возможности воздействия (уже промышленное рабочее давление атмосферы установки достигло 6,4 МПа [2 – 6, 22, 24]), но, что очень важно, давление влияет существенно и на оба остальных параметра. Исследования велись широким фронтом ученых и организаций Болгарии, СССР, ФРГ, Австрии, Франции и др. В почти всех развитых странах работа велась на государственном уровне по национальным программам (Болгария, СССР, ФРГ, Япония, КНР и др.). Название стран и программ нельзя полностью перечислить, ибо существенная часть исследований не публикуется.

Болгария и СССР работали по межгосударственной программе развития болгарского метода литья противодавлением (МЛП), названного потом МОМГП, а с последних трех десятилетий XX в. – методом большой сталеплавильной ванны (БСВ). В Болгарии исследовались [2 – 21, 29, 31] также и альтернативные методы производства, такие как плазменно-дуговой переплав под давлением (ПДПД), компрессионный электрошлаковый переплав (КЭШП), распыление стали в азот-

ной среде, электрошлаковый переплав под давлением (ЭШПД) и др. С течением времени как процессы с промышленными возможностями утвердились два метода – БСВ и КЭШП (Германия, Австрия), на которых остановимся подробнее.

Как видно на рис. 1 (кривая 3), МД имеет возможность пользоваться практически неограниченным уровнем давления (промышленно достигнутое 6,4 МПа, конечно, не предел). Также видно, что качество стали существенно улучшается, при этом достигаются показатели до четырех раз выше, чем при традиционной металлургии (ТМ) (пределы текучести и прочности). Например, самая распространенная нержавеющая сталь X18H10T имеет $\sigma_{0,2} = 200 - 240$ МПа, а нержавеющая высокоазотистая сталь (ВАС) марки X18AG12 [4, 5], полученная методом БСВ, имеет $\sigma_{0,2} = 880 - 970$ МПа, т. е. в 3 – 4 раза выше (и это тоже не предел). Надо отметить, что остальные показатели сохраняются на хорошем уровне, коррозионная стойкость улучшается и зарегистрированные значения [8] коэффициента магнитной проницаемости μ существенно ниже зарегистрированных для азотистых и обычных сталей.

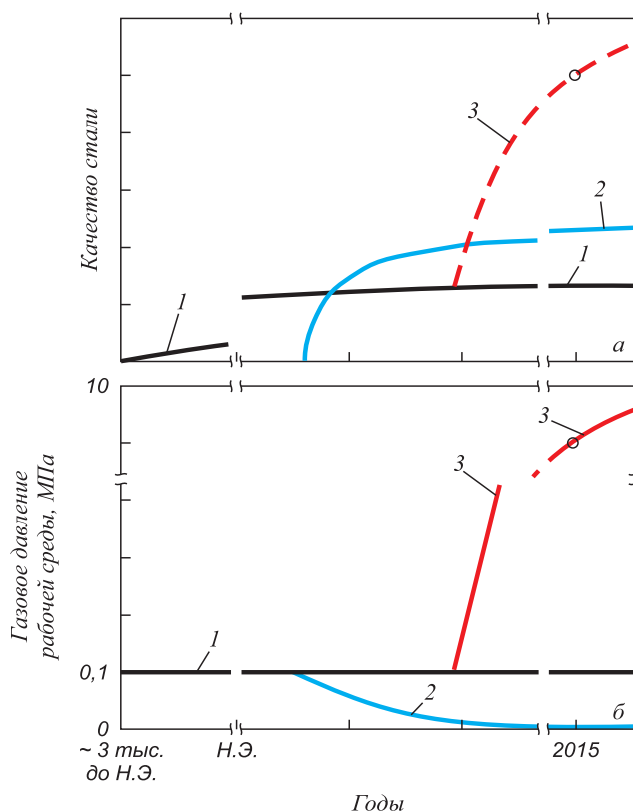


Рис. 1. Примерная схема исторического развития применения газового давления при производстве стали и зависимости качества стали от давления рабочей газовой среды при выплавке:

- 1 – традиционная металлургия; 2 – вакуумная металлургия;
- 3 – металлургия под газовым давлением

Fig. 1. The use of gas pressure in the history of steel production and the relation between quality of steel and gas pressure during the melting:
 1 – conventional metallurgy; 2 – vacuum metallurgy; 3 – metallurgy under gas pressure

В принципе, сталеплавильные установки под давлением имеют уникальные возможности работать как под газовым давлением, так и при атмосферных условиях и под вакуумом. Однако ТМ и ВМ не имеют таких возможностей.

Металлургия под давлением влияет главным образом легированием газами (азотом) и элементами высокого давления паров (Са, Pb, Zn и др.), а так же пневматическим давлением на улучшение поверхности, плотности и структуры сплавов [2 – 10, 30 – 41].

На данном раннем этапе развития обоих методов (БСВ и КЭШП) видна существенная разница в достижимых концентрациях азота в стали, технологиях легирования азотом, показателях ВАС, но вырисовываются специфические ниши для каждого процесса.

Процесс КЭШП [22 – 25] – двухстадийный (сталь плавится два раза), представляющий собой капельный электрошлаковый переплав твердого электрода, полученного в других сталеплавильных печах. Характерной чертой является также небольшая сталеплавильная ванна (около 10 % емкости печи). Азот вводится в процессе самого переплава твердыми донорами азота (порошками), которые сыпятся гравитационно на поверхность шлака, плавают в нем и постепенно усваиваются шлаком, а затем металлом. Легирование азотом в основном идет через шлак при неблагоприятно высокой температуре (~1800 °С). Производительность КЭШП ограничивается капельным процессом и составляет [42] для 20-т установки, в зависимости от диаметра слитка (400 – 1000 мм), соответственно 350 – 900 кг/ч. Таким образом теоретически максимальная производительность (без учета вспомогательных операций и ремонтов) может составить максимум 8000 т/год. Стали КЭШП нашли довольно широкое применение в отраслях, где высокая цена не является определяющей. Разработанная проф. G. Stein и акад. M. Speidel [22 – 26] немагнитная ВАС марки P900 методом КЭШП применяется уже во всех развитых странах для бандажных («капшовых») колец больших генераторов. Особый успех – применение в авиации США [23, 24]: ведущая фирма в военной авиации Lockheed-Martin и ведущая фирма в гражданской авиации Boeing уже 16 и 12 лет соответственно вкладывают ВАС в очень ответственные детали типа подшипников самолетов.

Процесс БСВ [2 – 21] – одностадийный (сталь плавится один раз). Его особенностями являются большая сталеплавильная ванна (ванна составляет 100 % емкости печи) и работа как на твердой, так и на жидкой шихте. Отличием также является легирование азотом под давлением. В основном оно осуществляется принудительным внедрением твердых доноров азота в жидкую сталь в сочетании с высокоинтенсивным индукционным воздействием. Операция длится менее 10 мин (рис. 2, а, б), скорость легирования азотом 60 т/ч, т. е. в 66 раз выше, чем достижение КЭШП [42]. И это не предел.

Не останавливаемся на возможности МД перед ВД, только приведем один пример. Как известно, флокеночувствительные стали производятся с обработкой вакуумированием готового продукта в специальных верти-

кальных очень дорогих печах при продолжительности в десятки часов. По методу БСВ эти стали производятся в азотной среде успешно без применения вакуума.

Под названием метода БСВ подразумевается [4, 5] несколько промышленно опробованных вариантов. Это методы противогравитационного литья, гравитационного литья, антигравитационно-гравитационного литья, высокотемпературного легирования ферросплавов, ЭШПД. Метод ЭШПД применяется для сталей с особой структурой и основывается на переплаве высокоомогенных высокоазотистых электродов, полученных методом БСВ.

На рис. 3 приведены диаграммы часовой производительности установки КЭШП емкостью 20 т по данным фирмы Inteco, Австрия [42].

На рис. 4 авторами сделано сравнение [21] длительности плавки по методу БСВ (промышленно-экспериментальная установка емкостью 10 т на твердой и жидкой шихте) и КЭШП (промышленная установка емкостью 20 т). Ожидаемая годовая производительность: БСВ на твердой шихте – 12 000 т/год, на жидкой – 45 000 т/год; КЭШП – 8000 т/год. Дополнительно можно отметить, что с увеличением емкости сталеплавильных установок и их электрических мощностей возможности процессов выглядят разными и противоположными:

- при КЭШП часовая производительность относительно уменьшается из-за ограничения капельного процесса (опасность «ручьевого» протекания);
- при БСВ почти пропорционально увеличивается производительность, поскольку процесс легирования

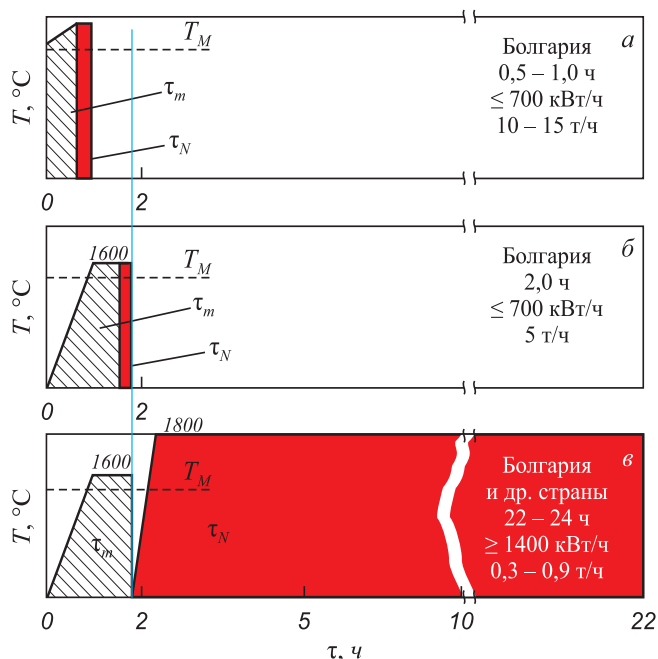


Рис. 2. Длительность плавки на установках для производства ВАС: метод БСВ на жидкой (а) и на твердой (б) шихте, печи емкостью 2 и 10 т; метод КЭШП (в), печь емкостью 20 т

Fig. 2. Duration of the melting process of the installations for HNS production: BSB method with liquid charge (a) and solid charge (b). Furnace capacity: 10 t (b); CESR [42]. Furnace capacity: 20 t

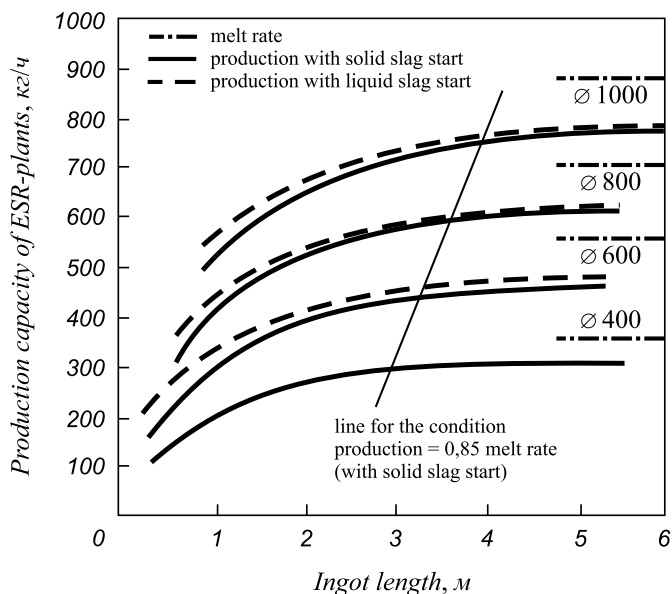


Рис. 3. Часовая производительность установки КЭШП емкостью 20 т по графику компании-производителя установок [42]

Fig. 3 Production capacity per hour of CESR installation with 20 t capacity as published by the producer [42]

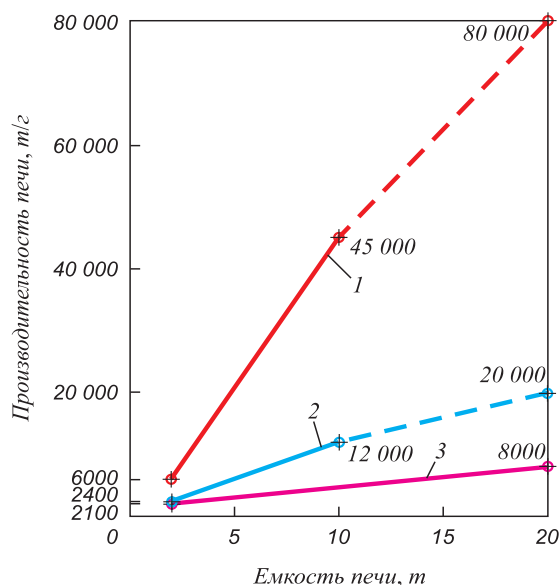


Рис. 4. Производительность установок для производства ВАС: метод БСВ на жидкой (1) и на твердой шихте (2), печь емкостью 10 т; метод КЭШП (3), печь емкостью 20 т

Fig. 4. Production capacity of HNS installations: big steelmaking bath method, liquid charge (1) and solid charge (2). Furnace capacity 10 t; CESR method [42] (3). Furnace capacity 20 t

азотом длится около 10 мин и увеличение мощности печи ведет пропорционально к относительному увеличению производительности. Время легирования азотом будет расти за счет увеличения вводимой электрической мощности и увеличения интенсивности индукционного воздействия.

Кроме того, метод КЭШП имеет ряд проблем – с увеличением диаметра слитка идет увеличение производительности печи, но это действует обратно пропорционально дорогой пластической деформации при получении обычного сорта (массовых размеров). При БСВ размер слитка не влияет на производительность установки.

Статистических данных для строгого сравнения процессов БСВ и КЭШП пока еще нет (особенно, учитывая достигнутый уровень статистики классических процессов производства стали), но есть существенная разница по основным показателям в пользу БСВ (см. таблицу):

- скорость легирования азотом в 66 раз выше (достигнутая скорость легирования азотом – 60 т/ч);
- производительность выше (на твердой шихте – в 3 раза, на жидкой – более чем в 11,2 раза);
- расход электроэнергии в 3,2 раза ниже;
- сортамент – 100 % (против ~10 % для КЭШП);
- более высокие концентрации азота – до 2,1 % N [7, 21];
- возможность применения новых и высокоэффективных легирующих элементов, таких как Ca, Zn, Pb и др.;

– себестоимость примерно на 25 % ниже (в основном за счет отсутствия второго плавления при процессе КЭШП и очень высокой скорости легирования жидкой стали азотом). Это обеспечивает соответственно высокую прибыль.

Сравнение показателей производства методами КЭШП и БСВ в условиях Германии и России показало, что в России расходы на труд, газ, электроэнергию и прочее будут ниже, также избегаются таможенные сборы и зарубежные транспортные расходы.

Болгарский процесс ЭШПД [4, 5] аналогичен процессу КЭШП с той разницей, что переплавляются электроды с более высокой концентрацией азота и гомогенной структурой, вследствие этого слиток более гомогенный. При КЭШП возможности легирования азотом ограничены, существует вероятность некоторой негомогенности по высоте и ширине слитка, а так же наличия включений из-за введения твердых и частично окисленных ферросплавов в жидкую ванну непосредственно в процессе кристаллизации стали.

Конечно, электрошлаковые ВАС будут находить применение, когда имеются особые требования к структуре и нет условий для более массового производства. Один из создателей процесса ЭШП и его идеолог акад. Б.И. Медовар [43, 44] в своей фундаментальной статье «Электрошлаковые технологии в XXI веке» пишет: «Сегодня значение ЭШП в промышленном производст-

Сравнение основных возможностей для производства ВАС одностадийным методом БСВ на установке УПЛ-10 емкостью 10 т и немецко-австрийским двухстадийным методом КЭШП емкостью 20 т в условиях Германии

Comparison of the main indices of high nitrogen steel (HNS) production of one-stage big steelmaking bath (BSB) method with IPC-10 (10 t capacity) and German-Austrian two-stage method of compression electroslag remelting (CESR) with 20 t capacity in Germany

Показатели	Одностадийный метод БСВ [2, 5]	Немецко-австрийский двухстадийный метод КЭШП	$\left(\frac{\text{БСВ}}{\text{КЭШП}}\right) \cdot 100, \%$
Достигнутая скорость легирования жидкой стали азотом, т/ч	60	0,9	66
Производительность, т/ч:			
– жидкая шихта	10	(0,9)*	1100
– твердая шихта	5	0,9	550
Расход электроэнергии, кВт/ч	600	2000	30
Сортамент, условный %, в т. ч.:	100	10	
– листовой слиток	+	–	
– фасонное литье	+	–	1000
– слоистые слитки	+	–	
– сортовые слитки	+	+	
Легирование Ca, Mg, Pb, Zn, Mn и др. элементами с высоким давлением паров	+	–	
Производительность, т/год:			
– установка КЭШП емкостью 20 т	–	8000	
– установка БСВ емкостью 10 т	45 000 (12 000**)	–	
Экология, устойчивое развитие	+	+	

* Метод КЭШП работает только на твердой шихте [22, 25];

** Работа на твердой шихте

ве сильно отличается от того, что было еще 10 – 15 лет тому назад. Все меньшее место занимает ЭШП как рафинирующий переplав, как средство получения, например, особонизкосернистой стали или стали, чистой по неметаллическим включениям... Его развитие сдерживает высокая стоимость процесса, обусловленная дороговизной расходующих электродов, высокая энергоемкость переplавки расходующих электродов...».

На основе изложенного для производства ВАС создается тенденция преимущественной ориентации к одностадийному процессу.

На данном этапе развития МД достигла уровня этапа «слиток». Авторы считают, что со временем создадутся условия и для полунепрерывного и непрерывного производства слэбов и блюмов ВАС, хотя это сейчас кажется невероятным (как 50 лет тому назад казалась и МД).

Развитию МД и ВАС объективно будут способствовать несколько важных факторов.

- Непрерывно возрастающие потребности в сталях и сплавах, которые нельзя удовлетворить производством методами ТМ и ВМ.

- Необходимость уменьшения расходов легирующих элементов при производстве сталей и сплавов. Легирование азотом, кальцием, свинцом, цинком и другими элементами уменьшает или устраняет полностью некоторые очень дорогие легирующие элементы, такие как Ni, Mo, Co, W и др. Например, 1 кг азота эквивалентен 6 – 20 кг никеля и производится разделением воздуха, т. е. и как отход в черной металлургии.

- Возможность создания качественно новых, порою уникальных сталей, таких как немагнитные, кавитационностойкие, радиационностойкие и др.

- Становящиеся уже почти обязательными требования экологии относительно пыли и вредных газов, которые устанавливаются все более строгими и всеобхватными. Уже все промышленно развитые страны производят сталеплавильные печи закрытыми (с небольшим избыточным давлением, что есть шаг в сторону МД). Металлургия под давлением не ставит непреодолимых проблем.

Развитию МД мешают ряд временных проблем: пока нет массового производства ВАС; недостаточно приемлемые цены ВАС при КЭШП; недостаточная информированность потребителей, ибо ВАС пока идут в основном в оборонную промышленность, ядерную энергетику и т. п., где цена стали не является определяющей; практически нет публикаций об экономике, кроме работ авторов [4, 5, 10, 31]; недостаточная изученность азота как легирующего элемента; незначительное число марок ВАС; большая новизна (новые печи, новые технологии, новые марки ВАС, новые стандарты) и др.

Выводы. Металлургия под давлением является перспективным направлением развития качественных и высококачественных сталей и сплавов.

Из известных способов производства высокоазотистых сталей методами металлургии под давлением метод БСВ является самым перспективным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мезенин Н.А. Повесть о мастерах железного дела. – М.: Знание, 1973. – 224 с.
2. Rashev Ts. Dobivane na legirani stomani. – Sofia: BAN, 1978. – 246 с.
3. Рашев Ц.В. Производство легированной стали. – М.: Металлургия, 1981. – 246 с.
4. Рашев Ц.В. Высокоазотистые стали. Металлургия под давлением. – София: Изд-во «Проф. Марин Дринов», 1995. – 272 с.
5. Rashev Ts. High nitrogen steels. Metallurgy under pressure. – Sofia: Bulgarian Academy of Science, 1995. – 268 p.
6. Rashev Ts. Basic problems in steelmaking and development of high nitrogen steels (HNS). Thermec 2000. Dec. 04.08. 2000. Las Vegas. P. 15 – 20.
7. Andreev Ch., Rashev Ts. Chromium-manganese stainless steels with nitrogen content up to 2.10 % // Material Science Forum. 1999. Vol. 318 – 320. P. 255 – 260.
8. Dimov I., Rashev Ts., Ivanov R., Andreev Ch. Nickel-free chromium-manganese stainless steels. Simpozium litye protivodavleniem, doklady, 19 – 22.04.1973. – Varna, Bulgaria, P. 90 – 102.
9. Rashev Ts. On the perspectives of the steel-making processes in the XXI-st century // Journal of the Bulgarian Academy of Science. 1995. P. 18 – 26.
10. Rashev Ts. High nitrogen steels and metallurgy under pressure // Indian. Inst. Met. Part A. 2002. Vol. 55. No. 4. August. P. 201– 211.
11. Rashev Ts. Development of laboratory and industrial installation for one stage production of HNS // Materials and Manufacturing Processes. 2003. Vol. 19. No. 1. P. 31 – 40.
12. Rashev Ts. Metallurgy under pressure - prospects. Proceeding of annual meeting CMS 2001. China, P. 541– 549.
13. Rashev Ts. Bulgarian high nitrogen steels and their application for mold casting. ARABCHST'97. Egypt, 1997. Nov. P. 37 – 46.
14. Rashev Ts. Anlagen zur Erzeugung von hochstickstoffhaltigen. Stahlguss unter Gasdruck, Neue Hutte, Leipzig, 1991. Nov – dec. P. 401– 406.
15. Rashev Ts. Production d'aciensa haute tener en azote souspression gazeuse. La Revue de Metallurgie – CIT // Science et Genie de Materiaux. 1993. Fev. P. 227 – 234.
16. Rashev Ts., Andreev Ch., Jekova L. Problems of high nitrogen steel development. The 10-th International Conference on High Nitrogen steels, HNS 2009. July 6 – 8 2009. – Moscow, Russia, P. 221– 232.
17. Rashev Ts., Semerdjiev S. Maschinen fur die industrielle Herstellung inter gosdruck von Formgussteilen aus hochstickstoffhaltigen stahlen. Ergebnisse der Werkstoff Foischang, Band 4, Stickstofflegierte Stahle, M.I. Speidel, P.V. Uggwitzer Hrsg., 1991. Zurich, P. 229 – 250.
18. Rashev Ts., Penchev H. Biologically stimulating economically alloyed high nitrogen stainless steels in medicine and stomatology. International congress High Nitrogen Steels '95. – Kyoto, Japan, P. 251 – 257.
19. Andreev Ch., Rashev Ts. Structure and properties of austenitic steels with over 2.15 % nitrogen. 4-th international conference HNS'95. 27 – 29 sept. 1995. – Kioto, Japan, P. 69.
20. Jekova L., Rashev Ts. Nickel free manganese stainless high nitrogen steels. International conference HNS '04. 19 – 22.09.2004. – Ostend, Belgium, P. 144 – 149.
21. Mudali K., Baldev R., Rashev Ts., Speidel M., Foct J. High nitrogen steels, Manufacturing, properties and applications: monograph. Narosa: – New Delhi, India, 2006.
22. Stein G., Menzel J. Industrial manufacture of massively nitrogen-alloyed steels, HNS '88. The Institute of Metals. – London, 1989. P. 32 – 38.
23. Berns H., Trojahn W., Zoch H.W. On the benefits of nitrogen in bearing steels, Proc. 3rd Ascometal Bearing Steels Symposium, Juni 2000, Arles, Frankreich. P. 119 – 123.

24. Stein G., Diehl V. High nitrogen alloyed steels on the move-fields of application, HNS 2004. P. 421 – 426.
25. Gavriljuk V. G., Berns H. High nitrogen steels. – Berlin, Springer, 1999.
26. Magdowski R., Speidel M. High strength austenitic material, fully resistant to stress corrosion cracking in nuclear environments, paper no. 445. CORROSION '99, NACE International, Huston, TX, USA.
27. Wohlfromm H., Ugowitz P. J., Speidel M. O. Panacea provides the answer to Ni allergy, PM Special feature // Metal Powder Reports. 1998. Vol. 53. No. 9. P. 48 – 52.
28. Hochovter G., Ugowitz P., Magdowski R., Speidel M. P. Mechanical and corrosion properties of a new superduplex grade with increased nitrogen content, Com Proceeding Euromaterial, '99. 27 – 29.09.99, Munich.
29. HNS '93, Proceeding of the 3-rd International Conference, ed. by V. G. Gavriljuk. Part I, II. – Kiev, Ukraine, 14 – 16 sept., 1993.
30. HNS'88, Proceeding of the 1-th International Conference. Foct J., Henry H. etc. The Institute of the Metall, 1988.
31. HNS'89, Proceeding of the Conference, Rashev Ts. and Andreev Ch. etc. 1–3 oct., 1989, – Varna, Bulgaria. Vol. I, II.
32. HNS'93, Proceeding, Gavriljuk V. G. – Kiev, 1993.
33. Special Issue on High Nitrogen Steels, HNS'95. ISIJ International Iron and Steel Institute of Japan. 1996. Vol. 36. No. 7.
34. HNS'98, Proceeding of the 5-th International Conference of HNS, Hanninen H. etc. Trans Tech. Publication LTD, Finland, 1998.
35. HNS'2002, Madras, India. Indian Institute Met. Part A, B. 2002. Vol. 55. No. 4.
36. HNS'2003, Speidel M. O. etc. Institute of Metallurgy, Switzerland, ETH, Zurich, 2003.
37. HNS'2004, Proceeding of the 7-th International Conference. Akdut N., Foct J. etc. GRIPS media, Ostend, Belgium.
38. HNS'2006, Proceeding of High Nitrogen Steels 2006. Dong H., Speidel M. O. etc. Beijing, Metallurgical Industries Press, 2006.
39. HNS'2009, Proceeding of the 8-th International Conference. Swiazyn A.G. etc. – Moscow, 2009.
40. HNS'2012, Proceeding of International Conference. Mudali K., Baldev R. etc. – Madras, India, 2012.
41. HNS'2014, International Conference, Germany, 2014.
42. www.inteco.at (broshura for P-ESR ana ESR).
43. Пагон Б.Е., Медовар Б.И. Электрошлаковые печи. – Киев: Наукова думка, 1976. – 415 с.
44. Медовар В. И., Медовар Л. В., Sachko V. I. Electroslag technology in XXI st. // Advance in Special Elektrometallurgy. 2001. No.1 (62). P. 12 – 17.
45. Foct J. Future development and application of nitrogen-bearing steels and stainless steels. Mudali K. etc. High Nitrogen Steels and Stainless Steels, Narosa, 2006. P. 256 – 264.

Поступила 14 октября 2016 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2017. VOL. 60. NO. 1, pp. 60–66.

DEVELOPMENT OF METALLURGY UNDER PRESSURE

Ts. V. Rashev¹, L. Ts. Zhekova², P. V. Bogev³

¹ LLC “Metko”, Sofia, Bulgaria

² Institute of Metal Science, Equipment and Technologies, Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

³ LLC “Pavel Venkov”, Pernik, Bulgaria

Abstract. The article offers a short review of iron and steel production history. The new metallurgy – metallurgy under [gas] pressure (MP) comes into existence at the end of 20th century and in authors' opinion even at this early stage of its development MP is already showing many advantages to both conventional metallurgy (CM) and vacuum metallurgy (VM) such as: increase of the yield strength in four times with the rest of the uniquely retained steel properties; decrease or complete elimination of some expensive alloying elements (Ni, Mo, Co, W, etc.); possibility of using unconventional alloying elements (Ca, Zn, Pb, etc.); being highly ecological; its stable development, etc. Because of that it is to be expected that the development of MP will lead to a breakthrough in the areas of quality and special metallurgy. Out of all known to date MP methods, big steelmaking bath (BSB) process is considered to be the most promising of all.

Keywords: metallurgy under pressure (MP), high nitrogen steels (HNS), nitrogen, nonconventional steels, big steelmaking bath process (BSB), compressional electroslag remelting, vacuum metallurgy (VM), conventional metallurgy (CM), electroslag remelting under pressure (ESRP).

DOI: 10.17073/0368-0797-2017-1-60-66

REFERENCES

1. Mezenin N.A. *Povest' o masterakh zheleznoogo dela* [Story about the masters of iron affairs]. Moscow: Znanie, 1973, 224 p. (In Russ.).
2. Rashev Tsolo V. *Dobivane na legirani stomani: monografiya* [Production of alloyed steel: monograph]. Sofia: BAN, 1978, 246 p. (in Bulg.).
3. Rashev Ts. V. *Proizvodstvo legirovannoi stali* [Production of alloyed steel]. Moscow: Metallurgiya, 1981, 246 p. (In Russ.).
4. Rashev Ts. V. *Vysokoazotistye stali. Metallurgiya pod davleniem* [High-carbon steels. Metallurgy under pressure]. Sofia: Izd-vo “Prof. Marin Drinov”, 1995, 272 p. (In Russ.).
5. Rashev Ts. *High nitrogen steels. Metallurgy under pressure: monograph*. Sofia: Bulgarian Academy of Science, 1995, 268 p.
6. Rashev Ts. Basic problems in steelmaking and development of high nitrogen steels (HNS). *Thermec 2000, dec 04.08. 2000, Las Vegas*, pp. 15–20.
7. Andreev Ch., Rashev Ts. Chromium-manganese stainless steels with nitrogen content up to 2.10 %. *Material Science Forum*. 1999, vols. 318–320, pp. 255–260.
8. Dimov I., Rashev Ts., Ivanov R., Andreev Ch. Nickel-free chromium-manganese stainless steels. *Simposium litye protivodavleniem, doklady, 19-22.04.1973, Varna, Bulgaria*, pp. 90–102. (In Bulg.).
9. Rashev Ts. On the perspectives of the steel-making processes in the XXI-st century. *Journal of the Bulgarian Academy of Science*. 1995, pp. 18–26
10. Rashev Ts. High nitrogen steels and metallurgy under pressure, HNS 2002. *Trans. Indian. Inst. Met., part A*, vol. 55, no. 4, august 2002, pp. 201–211.
11. Rashev Ts. Development of laboratory and industrial installation for one stage production of HNS. *Materials and Manufacturing Processes, HNS 2003*, vol. 19, no. 1, pp. 31–40.
12. Rashev Ts. Metallurgy under pressure – prospects. *Proceeding of annual meeting CMS 2001, China*, pp. 541–549.
13. Rashev Ts. Bulgarian high nitrogen steels and their application for mold casting, *ARABCHST'97, Egypt, nov. 1997*, pp. 37–46.
14. Rashev Ts. Anlagen zur Erzeugung von hochstickstoffhaltigen, *Stahlguß unter Gasdruck, Neue Hutte, Leipzig, nov - dec 1991*, pp. 401–406.
15. Rashev Ts. Production d'aciers a haute teneur en azote souspression gazeuse, *La Revue de Metallurgie – CIT / Science et Genie de Materiaux, fev. 1993*, pp. 227–234.
16. Rashev Ts., Andreev Ch., Jekova L. Problems of high nitrogen steel development, *The 10-th International Conference on High Nitrogen steels, HNS 2009, July 6-8 2009, Moscow, Russia*, pp. 221–232.

17. Rashev Ts., Semerdjiev S. Maschinen für die industrielle Herstellung unter hohem Druck von Formstücken aus hochstickstoffhaltigen Stählen. *Ergebnisse der Werkstoff-Fortschritte, Band 4, Stickstofflegierte Stähle*, M.I. Speidel, P.V. Uggowitzer Hrsg., 1991, Zurich, pp. 229–250.
18. Rashev Ts., Penchev H. Biologically stimulating economically alloyed high nitrogen stainless steels in medicine and stomatology, *International congress High Nitrogen Steels '95, Kyoto, Japan*, pp. 251–257.
19. Andreev Ch., Rashev Ts. Structure and properties of austenitic steels with over 2.15 % nitrogen, *4-th international conference HNS'95, sept 27-29 1995, Kyoto, Japan*, p. 69.
20. Jekova L., Rashev Ts. Nickel free manganese stainless high nitrogen steels, *International conference HNS '04, 19-22.09.2004, Ostend, Belgium*, pp. 144–149.
21. Mudali K., Baldev R., Rashev Ts., Speidel M., Foct J. High nitrogen steels, *Manufacturing, properties and applications: monograph*. Narosa: New Delhi, India, 2006.
22. Stein G., Menzel J. Industrial manufacture of massively nitrogen-alloyed steels, *HNS '88, The Institute of Metals, London*, 1989, pp. 32–38.
23. Berns H., Trojahn W., Zoch H.W. On the benefits of nitrogen in bearing steels, *Proc. 3rd Ascometal Bearing Steels Symposium, Juni 2000, Arles, Frankreich*, pp. 119–123.
24. Stein G., Diehl V. High nitrogen alloyed steels on the move-fields of application, *HNS 2004*, pp. 421–426.
25. Gavrilyuk V. G., Berns H. *High nitrogen steels: monograph*. Berlin, Springer, 1999.
26. Magdowski R., Speidel M. High strength austenitic material, fully resistant to stress corrosion cracking in nuclear environments, paper no. 445, *CORROSION '99, NACE International, Huston, TX, USA*.
27. Wohlfromm H., Uggowitzer P.J., Speidel M.O. Panacea provides the answer to Ni allergy, PM Special feature. *Metal Powder Reports*. 1998, vol. 53, no. 9, pp. 48–52.
28. Hochovter G., Uggowitzer P., Magdowski R., Speidel M. P. Mechanical and corrosion properties of a new superduplex grade with increased nitrogen content, *Com Proceeding Euromaterial, '99, 27-29.09.99, Munich*.
29. *HNS '93, Proceeding of the 3-rd International Conference*, ed. by V.G. Gavrilyuk, part I, II, Kiev, Ukraine, sept 14–16, 1993.
30. *HNS'88, Proceeding of the 1-th International Conference*, J. Foct and H. Henry eds., The Institute of the Metall, 1988.
31. *HNS'89, Proceeding of the Conference*, Rashev Ts. and Andreev Ch. eds., 1-3 oct, 1989, Varna, Bulgaria, vol. I, II.
32. *HNS'93, Proceeding*, Gavrilyuk V. G., Kiev, 1993.
33. Special Issue on High Nitrogen Steels, *HNS'95*, ISIJ International Iron and Steel Institute of Japan, vol. 36, no. 7, 1996.
34. *HNS'98, Proceeding of the 5-th International Conference of HNS*, Hanninen H. ed., Trans Tech. Publication LTD, Finland, 1998.
35. *HNS'2002, Madras, India, Trans. Indian Institute Met.*, part A, B, vol. 55, no. 4, 2002.
36. *HNS'2003*, eds Speidel M.O., Institute of Metallurgy, Switzerland, ETH, Zurich, 2003.
37. *HNS'2004, Proceeding of the 7-th International Conference*, Akdut N., Foct J. eds. GRIPS media, Ostend, Belgium.
38. *HNS'2006, Proceeding of High Nitrogen Steels 2006*, Dong H., Speidel M. O., eds., Beijing, Metallurgical Industries Press, 2006.
39. *HNS'2009, Proceeding of the 8-th International Conference*, Swiazyn A. G. ed, Moscow, 2009.
40. *HNS'2012, Proceeding of International Conference*, Mudali K. and Baldev R., eds., Madras, India, 2012.
41. *HNS'2014, International Conference*, Germany, 2014.
42. www.inteco.at (broshura for P-ESR ana ESR).
43. Paton B.E., Medovar B.I. *Elektroshlakovyie pechi* [Electroslag furnaces]. Kiev: Naukova dumka, 1976, 415 p. (In Russ.).
44. Medovar B. I., Medovar L. B., Sachko V. I. Electroslag technology in XXI st, *Advance in Special Elektrometallurgy*. 2001, no.1 (62), pp. 12–17.
45. Foct J. Future development and application of nitrogen-bearing steels and stainless steels. Mudali K. ed. *High Nitrogen Steels and Stainless Steels*, Narosa, 2006, pp. 256–264.

Information about the authors:

Ts.V. Rashev, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice-President
(tsolo_rashev@yahoo.com)
L.Ts. Zhekova, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor
P.V. Bogeve, Vice-President

Received October 14, 2016