

**К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
В РЕМОНТНО-ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**  
**To the question of efficiency of use of perspective materials and technological decisions  
in repair casting production**

**С. А. Тютюков**, доктор технических наук, доцент, директор НОЧУ  
«Институт дополнительного профессионального образования работников здравоохранения»  
(Екатеринбург, ул. Онежская, 6а),

**А. В. Андреев**, начальник производственно-технического комплекса ОАО «Уралтрансмаш»  
(Екатеринбург, ул. Фронтовых бригад, 31)<sup>1</sup>

**Аннотация**

Обсуждаются вопросы проектирования новых технологий с использованием перспективных материалов. Также анализируются экономические аспекты применения материалов.

**Ключевые слова:** ремонтное хозяйство, металлошхита, металлизированный продукт, эффективность использования материалов.

**Summary**

The economical and technological aspects of use of perspective materials (iron of direct reduction) are discussed in this article. The expenditure of iron-manganese (88 %) alloy was 1,8 time less. The expenditure of iron-silicon (45 %) alloy was 2,35 time less. The expenditure of electric energy was less on 5 %.

Mechanical properties of steels from experimental smeltings corresponded to requirements of the GOST 22703-2012.

**Keywords:** repair economy, metal furnace charge, metallic scrap, metallized product, efficiency of use of materials, silicon, manganese, steelmaking, iron of direct reduction, foundry.

Известно, что ремонтное хозяйство есть практически на всех предприятиях. Не являются исключением и предприятия агропромышленного комплекса (АПК). Соответственно, проблемы, решаемые заготовительным производством (литейным, сварочным, кузнечным и др.) в машиностроительной отрасли, являются актуальными и в ремонтных цехах предприятий АПК. Так, в ОАО «Уралтрансмаш» в настоящее время сталь марки 20ГЛ производится в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) вместимостью 3 тонны с основной футеровкой (ОФ). Преимущества технологии выплавки стали в ДСП этого типа хорошо известны. Главное из них – обеспечение требуемого содержания фосфора и серы в готовой стали даже при использовании металлолома сравнительно низкого качества. Недостатки технологии: тяжелые условия труда при неоднократном наведении и скачивании печного шлака в первый период плавки (плавление шихты и окисление примесей), сравнительно высокая продолжительность плавки и, соответственно, повышенный расход электроэнергии на выплавку. Указанные недостатки усугубляются тем, что в качестве шлакообразующего материала используется известняк, для разложения которого в ДСП требуются дополнительные затраты энергии.

---

<sup>1</sup> В работе принимали участие И. А. Мительман, А. А. Мамылин, А. В. Лоев, Н. Ю. Новожилов, В. Г. Габтрахманов, М. В. Медведев, С. В. Оленников, Э. М. Плешков, А. М. Паусов, В. В. Шалюгин и др.

Кроме того, присутствует необходимость наращивания объема производства упомянутой марки стали.

С целью обеспечения возможности выплавки стали 20ГЛ в ДСП как с основной, так и с кислой футеровками, а также преодоления указанных выше недостатков технологии разработана, оценена с позиции эффективности и опробована технология выплавки стали марки 20ГЛ в ДСП с кислой футеровкой (КФ) номинальной вместимостью 3 тонны с использованием в шихте металлизированного продукта (МП) следующего химического состава (масс.%): железа общего – не менее 90 %, железа металлического – не менее 83 %, диоксида кремния – не более 4,5 %, углерода – не менее 1 %, серы – не более 0,02 %, фосфора – не более 0,015 %. Плотность МП – не менее 5 000 кг/м<sup>3</sup>.

Для оценки эффективности применения МП данные взяты из официальных документов ОАО «Уралтрансмаш» и изготовителя МП, а также из технико-экономических показателей выплавки стали в ДСП вместимостью 0,5–100 тонн с использованием МП (не менее 60 плавов, по данным работ С. А. Тютюкова). Результаты расчетов сведены в табл. 1 и показано, что вариант В экономически целесообразен, так как может обеспечить: пониженный расход ферромарганца и ферросилиция, а также окислителей и шлакообразующих; меньший ассортимент требуемых для выплавки шихтовых материалов; менее высокую стоимость огнеупоров с повышенной термостойкостью; меньшую продолжительность плавки; меньшие по сравнению с вариантом А трудозатраты на плавку; меньший по сравнению с вариантом А расход электроэнергии на плавку; меньший по сравнению с вариантом А расход электродов на плавку. По сравнению с вариантом Б вариант В с использованием МП позволяет достичь пониженного содержания в металле фосфора и серы. Кроме того, вариант В предпочтительнее других (А и Б) с точки зрения возможности выплавлять сталь с низким содержанием в ней примесей меди, никеля, свинца и других цветных металлов.

Предложенный вариант В был апробирован при проведении 25 опытных плавов с использованием МП. Количество МП в шихте увеличивали с 13,4–20 % МП до 28,5–37,5 %. Результаты опытных плавов сравнивались с серийными (проводимыми без применения МП).

Так как МП – компактный и однородный материал, проблем при шихтовке плавов не возникает. Использовался также металлолом, имевшийся в наличии в цехе в текущий момент времени. В процессе выплавки и разлива отбирались пробы металла и шлака. Во всех пробах металла по ходу плавки определяли путем экспресс-анализа содержание требуемых технологической инструкцией элементов. Химические составы шлаков соответствовали описанным в работах А. Д. Крамарова. Также было проанализировано содержание растворенных в металле кислорода и азота по ходу плавов. Оно оказалось примерно одинаковым и составило соответственно: для варианта А – 84,03 ppm кислорода и 94,7 ppm азота; для варианта Б – 94,2 ppm кислорода и 84,3 ppm азота. По нашему мнению, нет оснований ожидать повышенной газонасыщенности металлических расплавов, выплавленных с применением МП по варианту В, поскольку это противоречило бы известным данным. Продолжительность опытных плавов была на уровне серийных (без использования МП), трудоемкость и продолжительность выплавки стали 20ГЛ в ДСП с кислой футеровкой меньше, чем в ДСП с основной футеровкой. После выпуска плавки повышенного «разъедания» футеровки при использовании МП не замечено. При разливе стали фиксировали время заливки металлом каждой формы, состояние форм, время, прошедшее от окончания формовки до начала заливки формы, осуществлялся контроль процессов выбивки, охлаждения и термической обработки отливок.

Таблица 1

## Сопоставление различных вариантов выплавки стали 20ГЛ, усл. ед. / кг отл.

Статьи баланса, наименование материала	Вариант А: ДСП с основной футеров- кой (ОФ), рядовая шихта	Вариант Б: ДСП с кислой футеровкой (КФ), отборная шихта без МП	Вариант В: ДСП с кислой футеров- кой (КФ), шихта с МП
I. Баланс металла (выход годного, возвратные потери, угар и безвозвратные потери) <sup>2</sup>	–	–	–
II. Шихтовые материалы, ферросплавы, раскислители <sup>3</sup>			
1. Стальной лом	678,7	699,7	440,3
1а. Металлизированный продукт	–	–	1981,5
2. Чугун передельный	295,1	295,3	297,0
3. Возврат	–	–	–
4. Ферромарганец	1650	913	920
5. Ферросилиций	351,9	150,1	151,1
6. Мишметалл	1157,3	1157,3	1174
<b>Итого по II статье</b>	<b>4133</b>	<b>3215,4</b>	<b>4964,9</b>
III. Неметаллические материалы			
1. Руда железная	158,1	24,5	24,6
2. Известняк	7,97	2,9	2,3
3. Жидкое стекло	37	37,9	38,1
4. Плавиковый шпат	9,13	–	–
5. Коксик	46,7	–	–
6. Порошок периклазовый	57,6	–	–
7. Шлакообразующий материал	67,8	–	–
8. Шамотный бой	35,9	–	–
9. Песок формовочный	–	4,2	4,18
<b>Итого по III статье</b>	<b>720,2</b>	<b>69,4</b>	<b>69,2</b>
IV. Раскислители			
1. Алюминий вторичный	9,17	9,17	9,2
2. Силикокальций	72,7	72,7	72,7
3. Ферросилиций	103,3	–	–
<b>Итого по IV статье</b>	<b>185,17</b>	<b>81,9</b>	<b>81,9</b>
V. Вспомогательные материалы			
1. Магнезитовые огнеупоры	222,3	–	–
2. Динасовые огнеупоры	91,2 (свод)	127,2	127,2
3. Электроды	959	752,3	752,3
<b>Итого по V статье</b>	<b>1272,2</b>	<b>879,5</b>	<b>879,5</b>
VI. Электроэнергия <sup>4</sup>	1550	1240	1266,6
<b>Итого по VI статье</b>	<b>1550</b>	<b>1240</b>	<b>1266,6</b>
<b>Итого по разделам I–VI</b>	<b>7860,87</b>	<b>5486,16</b>	<b>7262,16</b>

<sup>2</sup> Данные по вариантам А, Б, В практически одинаковы, это внутренние расходы ОАО «Уралтрансмаш».

<sup>3</sup> Сохранена структура отчетных данных ОАО «Уралтрансмаш».

<sup>4</sup> Стоимость электроэнергии пропорциональна снижению времени плавки в ДСП с КФ в 1,25 раза (по сравнению с продолжительностью плавки в ДСП с ОФ).

Сталь опытных плавов содержит меньше фосфора, серы, примесей цветных металлов (меди, никеля, хрома), и ее механические свойства достаточно хороши (табл. 2 и 3). При использовании МП ряд показателей механических свойств стали заметно превышает требуемые ГОСТ 22703-2012 и не уступает металлу серийных плавов. Так, свойства стали, выплавленной по варианту А, полностью соответствовали ГОСТу по показателям  $\sigma_t$ ,  $\sigma_b$ ,  $H_b$ , а величины  $\Psi$ , KCV и KCU в 3-4 раза превышали требуемые. Относительное удлинение  $\delta$  было больше требуемого ГОСТом примерно в 1,5 раза. Примерно та же картина наблюдалась с механическими свойствами стали, выплавленной по вариантам Б и В, с той лишь разницей, что величины  $\delta$ , KCV и KCU были в варианте Б в среднем на 15–20 % ниже, чем в варианте А, а в варианте В – на 5–10 % ниже, чем в варианте А.

Таблица 2

**Средние химические составы опытных плавов стали 20ГЛ, выплавленных с использованием МП и без его использования в один и тот же период времени**

Количество плавов	Доля МП в металлошихте, %	Содержание элементов, масс. %								
		Углерод	Марганец	Кремний	Фосфор	Сера	Медь	Никель	Хром	Алюминий
13 плавов по варианту А	–	0,203	1,31	0,40	0,0259	0,0173	0,216	0,315	0,242	0,049
17 плавов по варианту Б <sup>5</sup> , 2012 г.	–	0,213	1,25	0,38	0,0295	0,0254	0,172	0,307	0,357	0,044
13 плавов по варианту Б <sup>5</sup> , 2013 г.	–	0,20	1,24	0,34	0,028	0,0195	0,17	0,28	0,25	0,027
13 плавов с МП по варианту В, 2012 г.	25,6	0,209	1,15	0,328	0,024	0,024	0,147	0,198	0,206	0,031
12 плавов с МП по варианту В, 2013 г.	21,5	0,206	1,208	0,375	0,0256	0,0204	0,17	0,264	0,216	0,0447

Таблица 3

**Механические свойства стали 20ГЛ**

Источник	Свойства						
	Предел текучести, $\sigma_t$ , МПа	Временное сопротивление, $\sigma_b$ , МПа	Твердость по Бринеллю, $H_b$ , ед	Относит. удлинение, $\delta$ , %	Относит. сужение, $\Psi$ , %	Ударная вязкость, KCV, МДж/м <sup>2</sup> , при –60 °С	Ударная вязкость, KCU, МДж/м <sup>2</sup> , при –60 °С
ГОСТ 22703-2012	450–500	560	От 192 до 262	15	30	0,15	0,25
	$\geq 500$	600		12	25	0,15	0,25

<sup>5</sup> Металлошихта подбиралась по возможности качественная, иначе не обеспечивалось требуемое содержание фосфора и серы в готовой стали (следует отметить, что для выплавки стали марки 20ГЛ в ДСП с КФ с суммарным содержанием фосфора и серы менее 0,06 % подходящий по химическому составу металлолом поступает в ОАО «Уралтрансмаш» не всегда).

Также с целью исследования качества стали при уменьшении в ней вредных примесей фосфора и серы и снижения количества забракованных отливок проведены сравнительные плавки стали 32Х06ФЛ в дуговых электропечах с основной и кислой футеровками. Всего проанализированы результаты 18 плавов в ДСП с ОФ. Для сравнения проконтролированы также результаты 19 плавов этой же марки стали на ДСП с КФ за тот же период времени. Основные результаты плавов представлены в табл. 3 и на рис. 1.

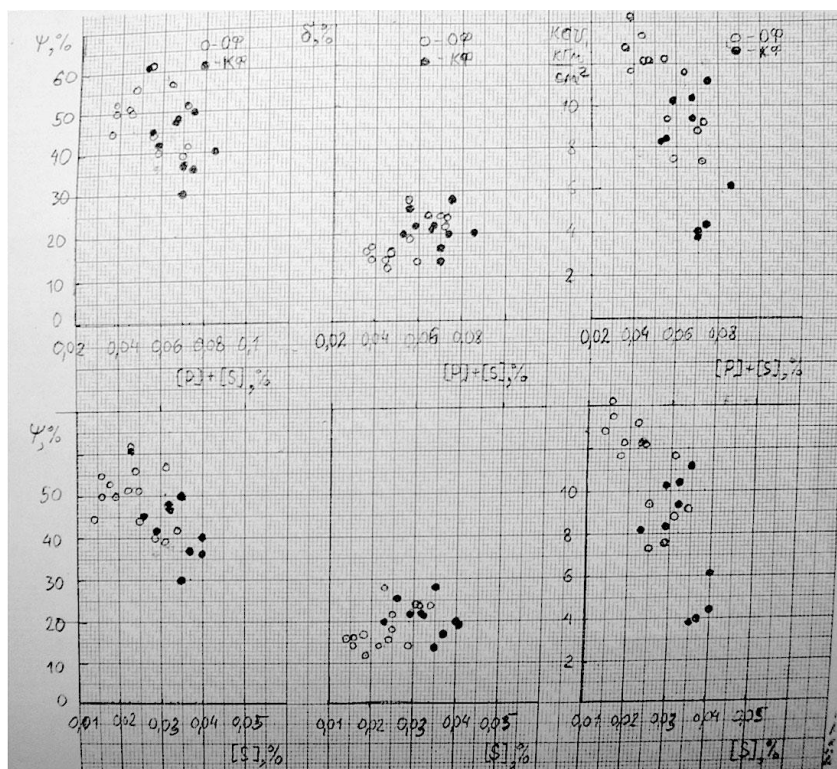


Рис. 1. Зависимость уровня механических свойств стали 32Х06ФЛ от содержания в ней фосфора и серы

Таблица 4

**Химические составы стали 32Х06ФЛ, выплавленной в ДСП с ОФ и с КФ**

№ плавки	Содержание элементов, масс.%									
	Углерод	Марганец	Кремний	Фосфор	Сера	Медь	Никель	Хром	Ванадий	Алюминий
Средние значения и интервал изменения (плавки в ДСП с ОФ)	<u>0,291</u> 0,25–0,35	<u>0,80</u> 0,60–1,07	<u>0,36</u> 0,29–0,48	<u>0,0286</u> 0,022–0,046	<u>0,022</u> 0,014–0,034	<u>0,319</u> 0,18–0,93	<u>0,286</u> 0,22–0,50	<u>0,794</u> 0,55–0,99	<u>0,082</u> 0,070–0,15	<u>0,0456</u> 0,010–0,10
Средние значения и интервал изменения (плавки в ДСП с КФ)	<u>0,296</u> 0,25–0,35	<u>0,726</u> 0,58–0,94	<u>0,34</u> 0,23–0,50	<u>0,035</u> 0,029–0,045	<u>0,0317</u> 0,023–0,040	<u>0,256</u> 0,16–0,43	<u>0,305</u> 0,13–0,60	<u>0,70</u> 0,62–0,85	<u>0,065</u> 0,05–0,07	<u>0,0654</u> 0,011–0,185

На рис. 1 представлена зависимость относительного сужения  $\psi$ , относительного удлинения  $\delta$  и ударной вязкости  $a_n$  от содержания серы и фосфора в готовой стали. В соответствии с известными данными [1], наблюдается закономерное снижение уровня относительного сужения и ударной вязкости стали при увеличении в ней массовой доли вредных примесей. Следует отметить, что изменение уровня значений относительного удлинения при испытании образцов определялось также и содержанием остаточного алюминия в стали. Так, при содержании алюминия менее 0,05 масс.% величина  $\delta$  понижалась с ростом  $[S]$ . Если же  $[Al]_{ост}$  превышал 0,05 масс.%, то вредное воздействие серы на показатель  $\delta$  в значительной степени нивелировалось. Примечательно, что подобное влияние содержания остаточного алюминия наблюдалось и на зависимости « $\delta - [S]$ », построенной по результатам плавок стали 20ГЛ в ДСП с ОФ и с КФ. Возможно, это обусловлено изменением времени выделения и типа неметаллических включений при снижении содержания растворенного кислорода в стали при увеличении в ней  $[Al]_{ост}$  [1].

### **Выводы**

Выплавка стали в кислой печи позволяет достичь существенной экономии энергетических и материальных ресурсов. При реализации предложенного технологического решения по использованию в составе металлошихты МП расход ферромарганца снижается в 1,8 раз, а ферросилиция – в 2,35 раза. Суммарная стоимость материалов и электроэнергии на выплавку одной тонны жидкой стали снижается на 4–6 %.

Требуется проработать вопрос о влиянии вредных примесей на качество сталей применительно к условиям конкретного производства. Предложенная технология внедрена в производство.

### **Библиографический список**

1. Шульте Ю. А. Неметаллические включения в электростали. М. : Metallurgia, 1964. 203 с.