

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"  
ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



*Посвящается  
70-летию Победы  
в Великой Отечественной Войне*

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ

МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ

ДОНЕЦК - 2015

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
"ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ"  
ФИЗИКО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**



**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ**

**МЕТАЛЛУРГИЯ XXI СТОЛЕТИЯ  
ГЛАЗАМИ МОЛОДЫХ**

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

**ДОНЕЦК - 2015**

УДК 669.18:621.7

Металлургия XXI столетия глазами молодых / Материалы Международной научно-практической конференции студентов. - Донецк: ДонНТУ, 2015. - 121 с.

В материалах сборника представлены результаты научных исследований и технических разработок в области современных металлургических и литейных технологий, обработки металлов давлением, материаловедения, металловедения и термической обработки металлов. Рассмотрены вопросы энергосберегающих технологий, технической теплофизики, экологии и охраны окружающей среды.

Материалы представляют интерес для студентов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников металлургического профиля.

***Редколлегия:***

д.т.н., проф. Сафьянц С.М. (председатель); инж. Турко Т.Ю. (отв. редактор); д.т.н., проф. Алимов В.И.; д.т.н., проф. Бирюков А.Б.; к.т.н., доц. Кочура В.В., к.т.н., доц. Пасечник С.Ю., д.т.н., проф. Смирнов Е.Н.; к.т.н., доц. Ухин В.Е.

***Ответственный за выпуск:***

Кочура В.В., к.т.н., зам. декана по научной работе физико-металлургического факультета

Статьи напечатаны с авторских экземпляров

Адрес редакционной коллегии:

83001, г. Донецк, ул. Артема 58, 5-й учеб. корпус, к.5.256

Уважаемые студенты!



В 2015г. в Международной научно-практической конференции студентов «Металлургия XXI столетия глазами молодых» принимают участие студенты 6 высших учебных заведений Украины, России и Германии.

В сборнике представлены результаты Ваших научных исследований и технических разработок в области современных металлургических и литейных технологий, обработки металлов давлением, материаловедения, металловедения и термической обработки металлов. Рассмотрены вопросы энергосберегающих технологий, технической теплофизики, экологии и охраны окружающей среды.

Доклады в сборнике приведены по секциям:

- Металлургия чугуна
- Металлургия стали
- Электрометаллургия и специальная металлургия
- Литейное производство черных и цветных металлов
- Обработка металлов давлением
- Прикладное материаловедение, термическая обработка металлов и металловедение
- Промышленная теплотехника
- Теплоэнергетика
- Экология и охрана окружающей среды в металлургии.

Важнейшими задачами конференции и настоящего издания являются обмен актуальной информацией, активизация исследовательской работы студентов, научная интеграция студенческого сообщества.

Желаю Вам, уважаемые студенты, плодотворной работы, творческих успехов, крепкого здоровья и благополучия.

Декан  
физико-металлургического факультета  
Донецкого национального  
технического университета,  
профессор, д.т.н.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'S.M. Safyan'.

С.М. Сафьянц

# МЕТАЛУРГІЯ ЧУГУНА



# АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ КОКСА ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПЫЛЕВДУВАНИЯ

Власенко И.А., Кузин А.В.

Донецкий национальный технический университет

Значительный прогресс в доменной технологии в последние десятилетия обеспечил рост производительности доменных печей до 2,5-3,5т/(м<sup>3</sup>·сутки) и снижение расхода объемной доли кокса до 35-40 %.

Функции кокса, выполняемые им в доменной печи можно разделить на физические, химические и тепловые. Физические функции кокса, в первую очередь обеспечение газопроницаемости столба шихтовых материалов, в последнее время резко возросло в результате увеличения нагрузок на кокс ввиду его снижения расхода до 300-350 кг/т чугуна, что обусловлено массовым применением дополнительных видов топлив в комплексе с улучшением определяющих технологических факторов. Ввиду это требования к качеству кокса резко ужесточились, как по прочностным, так и по фракционному составу.

Целью работы является анализ качества кокса при использовании технологии пылевдувания.

Из рис. 1 видно, что средний размер кусков кокса изменяется незначительно от уровня засыпи до границы температур около 1100°C (примерно низ шахты доменной печи). При дальнейшем опускании кокса его средний размер на 2/3–3/4 в доменной печи определяется влиянием щелочей и термическим ударом.

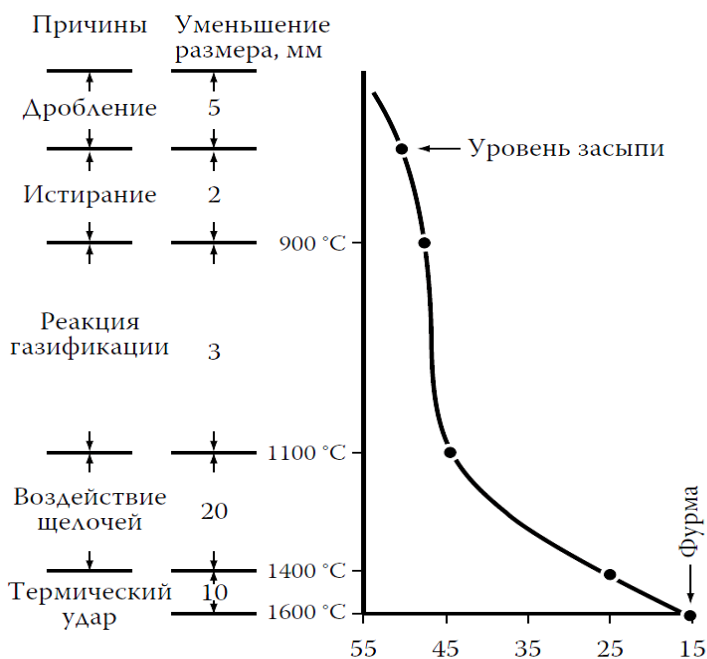


Рисунок 1 – Изменение среднего размера кокса при опускании его от уровня засыпи до фурменной зоны в доменной печи [1]

В конце прошлого столетия в зарубежных странах начали широко использовать метод по оценке горячей прочности кокса (CSR) и его реакционной способности (CRI). В настоящее время эти показатели достаточно широко применяются на металлургических предприятиях. Проведенные обширные исследования показали связь между этими показателями и работой доменной печи. Так, например, повышение показателя CSR на 1 % позволяет снизить расход кокса на 0,2-1 %. Кроме того, между показателями качества

кокса CSR и CRI существует тесная линейная зависимость. Проведенные исследования на доменных печах металлургического завода в Дилингеме (Германия) показали, что при увеличении CSR кокса с 45 до 58 % вдвое снизилась величина изменения среднего размера кусков кокса при опускании его от колошника до горна. Ужесточение требований к качеству кокса за рубежом было вызвано широким внедрением технологии вдувания ПУТ в горн доменных печей (табл. 1) [2].

Таблица 1 – Современные требования к качеству кокса при вдувании ПУТ

Показатель	Требование				
	Европейский Союз	США	Китай	Россия	Украина (КДП1)
Физические свойства, %:					
CSR	>65	>61	≥65	≥50	≥56
CRI	<23	<22	≤25	≤35	≤29
I <sub>40</sub> (M40)	>57	≥(60)	≥(86)	≥(87)	(≥78)
I <sub>10</sub> (M10)	<18	-	≤(6,0)	≤(8,0)	(≤7,2)
Химические свойства, % на сухое состояние:					
зола	<9,0	<8,5	≤12	≤11	≤10,7
S	<0,7	<0,75	≤0,6	≤0,85	≤0,85
щелочи	<0,2	<0,2	≤0,2	≤0,2	-
Фракционный скипового состав, %					
>80 мм*	<10,0	<10,0	≤10	≤10	≤15,0
40-80 мм	75-85	75-80	75-85	65-75	60-70

\* - по факту на зарубежных печах содержание класса >80 мм составляет менее 5-7 %

Как видно из табл. 1, в большинстве стран основных производителей чугуна требования к качеству кокса достаточно жесткие, за исключением России и Украины. Это объясняется тем, что Украина и Россия существенно отстают во внедрении ПУТ-технологии.

Для прогнозирования гранулометрического состава кокса в горне и заплечиках была выведена формула, описывающая крупность частиц кокса в зависимости от его горячей прочности (CSR) на основе статистического распределения Вейбула (уравнения Розина – Раммлера) [3]:

$$F(d) = 1 - \exp\{-[0,000136(CSR)^2 - 0,0184(CSR) + 0,643]d^{0,0168(CSR) + 0,231}\}.$$

Гранулометрический состав кокса в горне и заплечиках в соответствии с уравнением приведен на рис. 2. Увеличение показателя прочности CSR сопровождается снижением содержания в горновом коксе мелких частиц 0-1, 1-3 и 3-5 мм. Содержание фракции 5-10 мм мало меняется при увеличении горячей прочности кокса. В то же время количество относительно крупных кусков 10-25 и 25-40 мм значительно увеличивается по мере повышения прочности после реакции.



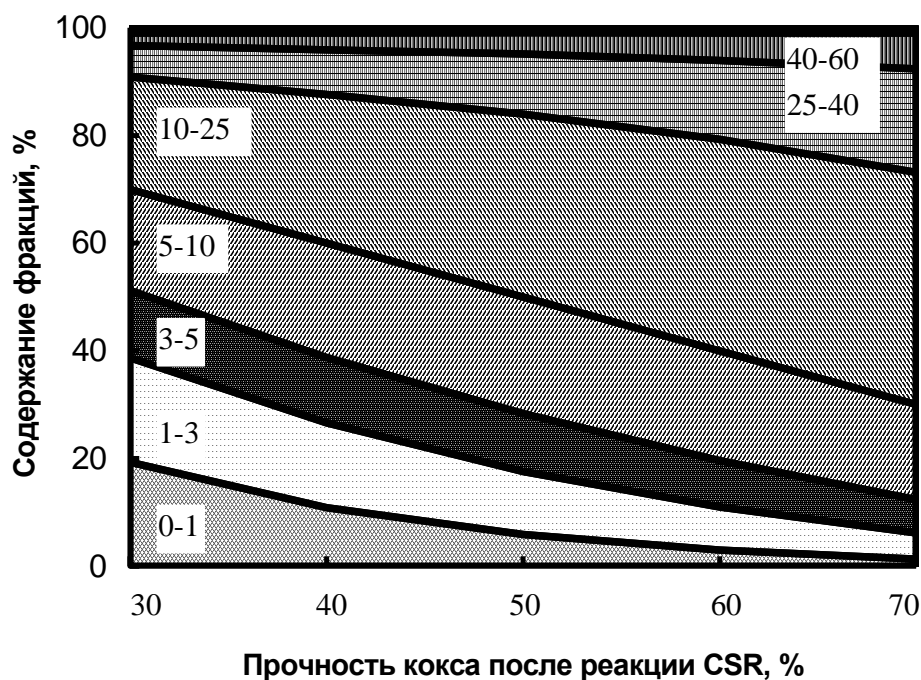


Рисунок 2 - Изменение гранулометрического состава кокса различной горячей прочности CSR в горне и заплечиках: числа на диаграмме – крупность частиц кокса, мм

Таким образом, анализ показывает, что современная подготовка кокса по фракционному составу включает высев из металлургического кокса мелочи менее 32-40 мм, высев и снижение фракции более 80 мм за счет ее дробления до 5 %, высев из отсева коксового орешка фракции от 5-15 до 32-40 мм с последующей его загрузкой в печь с железорудной шихтой. Применение кокса с более горячей прочностью обеспечивает повышение средних размеров кусков кокса в коксовой насадке и как следствие ее порозности. Это позволяет улучшить дренажную способность горна, снизить вероятность массового горения фурменных приборов, повысить расход вдуваемых добавок, в частности ПУТ.

#### Литература:

1. Ухмылова Г.С. Проблемы коксохимического производства / Г.С. Ухмылова // Новости черной металлургии за рубежом. Приложение – М.: ОАО «Черметинформация», 2002. – 35 с.
2. Курунов И.Ф. Качество кокса, его поведение в доменной печи и влияние на ее работу/ Курунов И.Ф.// Новости черной металлургии за рубежом. - Приложение – М.: ОАО «Черметинформация», 2003. – 38 с.
3. Кузин А.В. Оценка гранулометрического состава кокса и порозности в нижней части доменной печи / А.В. Кузин, С.Л. Ярошевский, Р.В. Ковальчик, А.А. Томаш // Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету. – Алчевськ: ДонДТУ, 2008. – С. 125-133.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЛОТКА БЕСКОНУСНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

Джафаров Э.Д., Кочура В.В.

Донецкий национальный технический университет

Одним из важнейшим факторов, определяющих эффективность доменной плавки, является распределение газового потока по сечению печи. Основным инструментом управления является распределение шихтовых материалов по радиусу и окружности печи.

Создание бесконусных загрузочных устройств (БЗУ), привело к существенному изменению техники управления загрузкой доменной печи. Загрузка лотковым распределителем позволяет осуществлять распределение шихты без смещения по откосу профиля засыпи при этом большая часть шихтовых материалов остается в тех кольцевых зонах колошника, куда они загружаются распределителем.

В начале 80-х гг. в ИЧМ были разработаны основы инженерной методики расчета распределения рудных нагрузок. Для расчета рудных нагрузок сначала осуществляется суммирование количества шихтовых материалов каждого вида (кокс и ЖРМ), а после этого вычисляются отношения суммарных масс [1, 2].

Следует отметить, что расчетное распределение шихтовых материалов описывает распределение с лотка по его угловым позициям. Движение шихты по тракту БЗУ в приемную воронку составляет 2 м/с. Шихта падает на наклонную поверхность приемной воронки. Скорость падения не превышает 4,6 м/с. Из приемной воронки шихта выгружается в бункер. Начальная скорость движения шихты в приемный бункер находится в диапазоне 1-1,5 м/с. Далее шихта падает в пространстве бункера до встречи с нижней конической поверхностью бункера. Расчет скорости падения шихты из приемной воронки в бункер объемом 75 м<sup>3</sup> представлен на рис. 1.

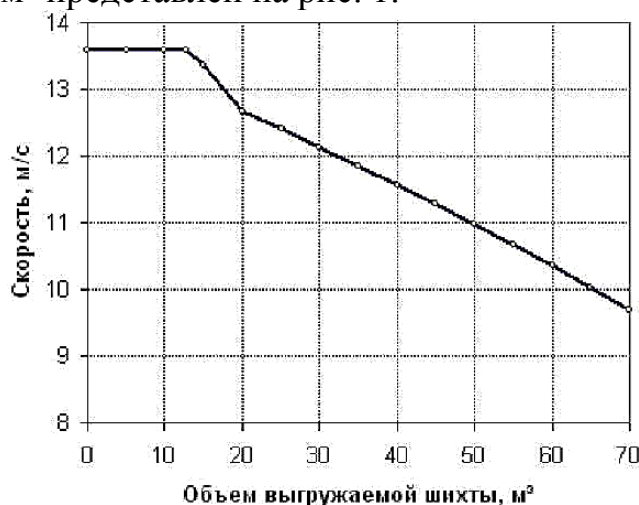


Рисунок 1 - Скорость падения шихтовых материалов в бункер БЗУ в зависимости от объема загруженной шихты

Из рисунка видно, что скорость падения шихтовых материалов в бункер БЗУ для первых 15 м<sup>3</sup> шихты постоянна и составляет 13,6 м/с. После дальнейшего заполнения шихтой конической части бункера скорость падения уменьшается, а затем монотонно убывает при заполнении его цилиндрической части. Из бункера после открывания шихтового затвора по наклонной течке и центральную направляющую трубу шихта падает на распределительный лоток. Скорость вылета кокса из центральной направляющей трубы  $V_v$  составляет 5,5–5,8 м/с.

Для БЗУ с лотковым распределителем шихты длиной лотка 4,5 м и высотой расположения оси наклона лотка 6,5 м с параллельно расположенными бункерами рассчитаны  $V_R$ –радиальная,  $V_\omega$ – тангенциальная и  $V_{zo}$ – вертикальная скорости схода частицы шихты слотка. Рабочая поверхность лотка принята в этих расчетах полностью ребристой. В расчетах использован угол наклона лотка 53°.

Результаты расчета при заданном коэффициенте сопротивления движению шихты по лотку  $f=0,7$  следующие:  $V_R=3,04$ ,  $V_\omega=2,49$  и  $V_{zo}=1,16$  м/с. При уровне засыпи 0,5 м высота свободного падения  $h_{пад}$  шихты составит 3,49 м.

Вертикальная скорость падения шихты на поверхность засыпи определяется по формуле:

$$V_z = \sqrt{2 * g * h_{пад} + V_{zo}^2} = \sqrt{2 * 9,81 * 3,49 + 1,16^2} = 9,62 \text{ м/с}$$

При известных  $V_{zo}$  и  $h_{пад}$  время падения составит 0,734с. Путь, который должна пройти частица в радиальном направлении равен:  $S=R_{10}-R_{л}$ , где  $R_{л}=3,0$  м – радиус окружности, описываемой торцом днища лотка;  $R_{10}=5,26$  м – средний радиус десятой равновеликой по площади зоны колошника. За время падения шихта проходит в радиальном направлении путь 2,26 м и загружается в десятую равновеликую зону.

Модуль скорости падения шихты  $V_{абс}$  на поверхность засыпи рассчитанный по формуле, составит:

$$|V_{абс}| = \sqrt{V_R^2 + V_\omega^2 + V_z^2} = \sqrt{2,49^2 + 3,04^2 + 9,62^2} = 10,39 \text{ м/с}$$

Скорость падения шихты при вертикальном положении лотка составляет 12,8 м/с. Однако, следует отметить, что в практике работы доменных печей стран СНГ вертикальное положение лотка практически не применяется.

Таким образом, выполненные расчеты скоростных параметров движения шихты по тракту БЗУ позволяют оценить скорость, время и место падения шихты на поверхность засыпи.

#### Литература:

1. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей. – М.: Металлургия, 1990. – 256с.
2. Особенности установки лотковых распределителей на доменных печах / В.И. Большаков, Ю.А. Богачев, В.И. Вишняков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. — Дніпропетровськ.: ІСМ НАН України, 2010. — Вип. 22. — С. 33-37.

# EXPERIMENTAL STUDY ON WASTE PLASTICS INJECTION INTO THE BLAST FURNACE

M. Knepper, A. Babich  
RWTH Aachen University, Dept. of Ferrous Metallurgy

In European Union, plastics recycling and energy recovery reached 62 % and zero plastics to landfill is a challenging goal. Use of waste plastics of domestic and industrial origin in the steel industry may contribute to both waste recycling and CO<sub>2</sub> emission mitigation due to additional hydrogen input.

There is industrial experience of plastics injection into blast furnaces (BF) in Germany, Japan and Austria [1-3]. In previous studies, effect of containing in plastics chlorine, zinc and heavy metals on emissions with the BF gas, equipment service life and metal quality has been investigated [2-4]. This study was focused on the conversion behaviour of the waste plastics in the raceway.

Four waste plastics types which underwent different pre-treatment steps were used:

- Agglomerates produced from post-consumer packaging
- Granulates produced from the automotive shredder residue
- Pellets produced from municipal and industrial plastics waste; pellets with lower and higher degree of homogeneity were investigated (Pellets<sup>inh</sup> and Pellets<sup>hom</sup> respectively).

All the samples are characterised by very high volatile matter (VM) content (Table 1).

Table 1. Proximate analysis and calorific values of waste plastics, db %

	Agglomerate	Granulate	Pellets <sup>inh</sup>	Pellets <sup>hom</sup>
VM	88.7	89.0	81.1	84.3
Ash	6.2	6.7	9.7	9.7
HCV, MJ/kg	33.51	38.50	30.6	30.8
LCV, MJ/kg	29.75	35.26	27.7	27.2

Injection trials were conducted using the injection rig which simulates the conversion behaviour of solid injectants in the BF tuyères and oxidising part of the raceway (Figure 1). The high pressure part simulates the conditions in the injection lance; the low pressure part simulates the tuyère and oxidising part of the raceway. Two key elements of the rig are a preheating furnace “V” and an induction furnace “I” which simulates the raceway. More detailed description is given in Ref. [5]. The reaction gas is analysed. The results are computed and the conversion degree is represented vs. the O/C atomic ratio (oxygen in gas atmosphere and in the sample is considered). The conversion degree is defined as the amount of analysed carbon containing product gas (CO and CO<sub>2</sub>) divided by the theoretically possible CO<sub>2</sub> product [5].

Figure 2 shows the conversion degree of the 4 plastics samples crushed to size of 2 – 3 mm. With increasing sample weight the O/C ratio decreases. At low sO/C

ratios, i.e. at higher concentration of injected material and, consequently, at higher injection rate, the conversion degree decreases due to lower amount of the available oxygen. The different types of waste plastics show different conversion behaviour: pellets<sup>inh</sup> show the highest conversion degree followed by pellets<sup>hom</sup>; granulate; agglomerate indicates lower conversion degree. These differences in conversion behaviour of examined plastics are caused not by their chemistry but by physical properties.

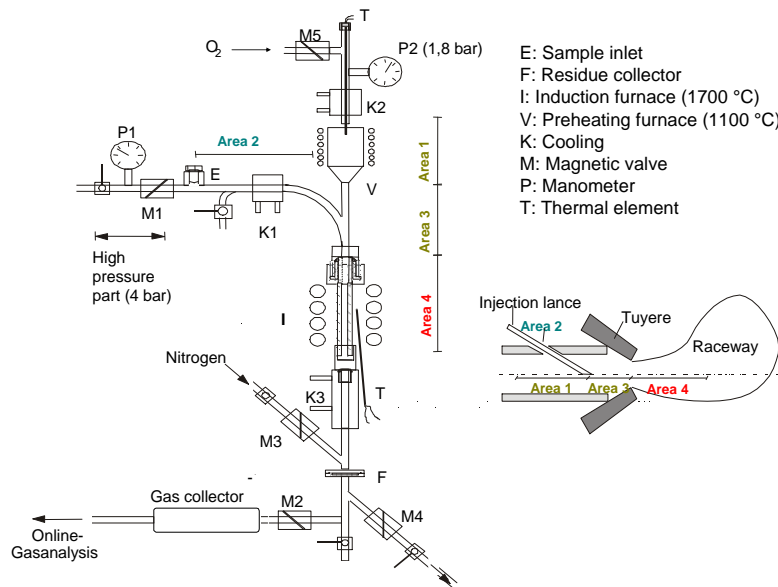


Figure 1 - Scheme of the batch injection rig, after [5]

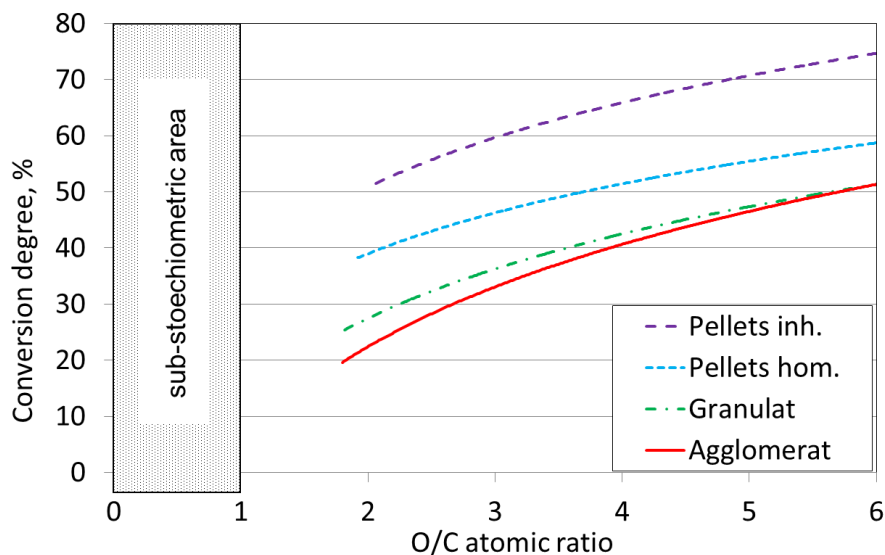


Figure 2 - Conversion degree for different types of waste plastics

The free specific surface area affects strongly the waste plastics conversion degree. The shape of granulate and agglomerate are close to a ball and the shape of pellets are closer to a rectangle plate. The calculated specific surface of the pellets is 10 times higher than the specific surface of granulate and agglomerate, Table 2. Because of the higher free surface, pellets react much faster than granulate and agglomerate. Injection test results are also correlated with porosity and apparent

density measurements.

Table 2. Specific surface of injected waste plastics, m<sup>2</sup>/kg

Type	Specific surface
Agglomerate	0.356
Granulate	0.342
Pellets <sup>inh</sup>	3.135
Pellets <sup>hom</sup>	3.584

Furthermore the injection behaviour of the original single plastics particles (nearly 1 cm with a weight of about 90 mg) was examined (Figure 3). The sample sizes were measured before and after the tests and the changes in dimensions were calculated (Table 2). The conversion degree in the range of 38 – 42% was determined at O/C ratio of 5.4.

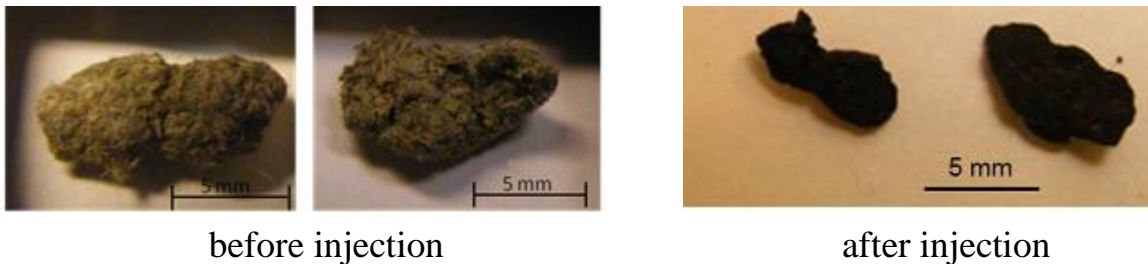


Figure 3 - Samples before and after the tests in the injection rig

Table 2 - Relative change of sample dimensions during injection, %

Change in dimensions		
width	height	depth
- 7 ... 14	- 4 ... 17	- 3 ... 6

It can be concluded that despite of extremely high VM content, waste plastics combustion conditions in the case of short residence time, very high heating rate and significantly bigger particle size compared to pulverised coal result in residues leaving the simulating raceway zone.

#### Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support of a part of this research work by K1-MET and FFG Forschungsförderungsgesellschaft, Austria.

#### References

- 1) T. Ariyama, M. Matsuura, H. Noda et.al. ISIJ Int. 37 (1997), No.10, pp. 977-985.
- 2) J. Janz, W. Weiss. Proc. 3<sup>rd</sup> European Ironmaking Congress, 16.-18. September (1996), Gent, Belgium, pp. 114-119.
- 3) T. Buegler, G. Brunnbauer, G. Pillmair, A. Ferstl. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Steel Conference on New Developments in Metallurgical Process Technology, Düsseldorf, Germany, June 11-15 (2007), pp. 1037-1043.
- 4) M. Knepper, A. Babich, D. Senk et.al. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Congress on the Science and Technology of Ironmaking, Rio de Janeiro, Brazil, 2012, pp. 798-810.
- 5) D. Senk, A. Babich. Eisenmetallurgie. Eisenreduktion und Schachtöfen, Verlag Stahleisen GmbH, (2013), 432 p.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СТРУИ КОКСОВОГО ГАЗА В ВОЗДУШНОЙ ФУРМЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Королев И.С., Кочура В.В.

Донецкий национальный технический университет

Возможность утилизировать коксовый газ (КГ) в доменной печи (ДП) позволяет не только уменьшить его вредное воздействие на окружающую среду, но и частично заменить кокс в доменной плавке. Однако для вдувания больших расходов газа в ДП необходимо обеспечить его полное сгорание в фурменной зоне. Так как при плохом смешивании КГ с дутьем происходит сегрегация водорода в периферийном газе, снижается восстановительная способность КГ и величина эквивалента замены кокса газом. Поэтому следует учитывать факторы, влияющие на поведение струи газа в полости воздушной фурмы.

Определение траектории струи КГ в полости воздушной фурмы определяли по следующей методике [1]:

Проектируя движение частицы КГ на оси координат, получим два уравнения проекций, определяющих положение частицы в момент времени  $\tau$ :

$$X = \vartheta_0 \tau \cos \alpha_0 + \frac{a_x \tau^2}{2}; \quad (1)$$

$$Y = \vartheta_0 \tau \sin \alpha_0 + \frac{a_y \tau^2}{2}. \quad (2)$$

Располагаем выходное отверстие трубки подвода газа параллельно оси X, тогда частица начинает свое движение вертикально вниз, т.е.  $\alpha_0 = 90$  град. Уравнения (1) и (2) приобретают вид:

$$X = \frac{a_x \tau^2}{2}; \quad (3)$$

$$Y = \vartheta_0 \tau + \frac{a_y \tau^2}{2}. \quad (4)$$

Решая эти уравнения относительно  $\tau$ , получаем уравнение траектории оси струи газа в полости фурмы доменной печи:

$$Y = \vartheta_0 \sqrt{\frac{2X}{a_x}} + \frac{a_y}{a_x} X. \quad (5)$$

Начальная скорость частицы  $\vartheta_0$  равна:

$$\vartheta_0 = \vartheta_{\max} = \vartheta_r (1,64 / \text{Re}_r^{1/38}), \quad (6)$$

где  $\vartheta_r$  – средняя фактическая скорость истечения газа из трубки газа, м/с;  $\text{Re}_r$  – критерий Рейнольдса.

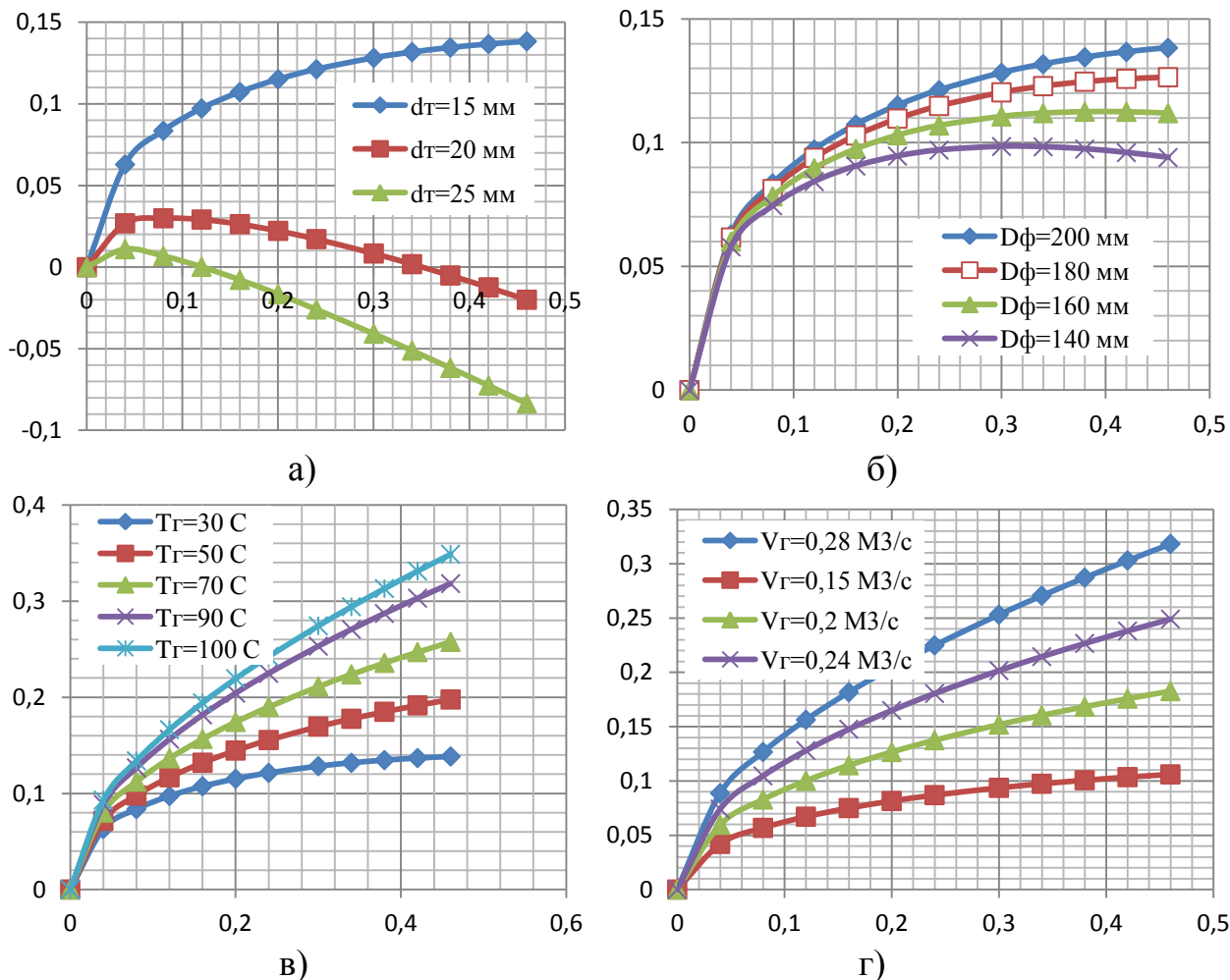
$$a_x = \frac{p_d}{\rho_d l_r} + \frac{\vartheta_r^2}{2 l_r}. \quad (7)$$

где  $l_r$  – расстояние от трубки подвода газа до среза рыльной части воздушной фурмы, м;  $p_d$  – абсолютное давление дутья, Па;  $\rho_d$  – плотность дутья, кг/м<sup>3</sup>;  $\vartheta_r$  – средняя фактическая скорость дутья, м/с.

$$a_y = \frac{p_r}{\rho_r d_\phi} - \frac{p_d}{\rho_d d_\phi} + \frac{\vartheta_r^2}{2 d_\phi}. \quad (8)$$

где  $d_\phi$  – диаметр воздушной фурмы, м;  $p_r$  – абсолютное давление газа, Па;  $\rho_d$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;  $\vartheta_r$  – скорость истечения газа, м/с.

На движение струи газа в первую очередь влияет: диаметр выходного отверстия трубки подвода КГ, диаметр воздушной фурмы, подогрев и расход газа. Данные результатов расчетов представлены на рис. 1, где по оси абсцисс взято расстояние от места подвода коксового газа, а по оси ординат – глубина проникновения струи коксового газа в полость воздушной фурмы.



а – диаметр трубки подвода КГ; б – диаметр фурмы, в – температура газа; г – расход газа

Рисунок 1 - Изменение траектории истечения коксового газа при изменении параметров дутья

Выполненные исследования поведения струи КГ в полости воздушной фурмы позволяют определить оптимальные параметры вдуваемого газа, при которых достигается его наилучшее смешивание с дутьем и интенсификация процесса его сгорания.

#### Литература:

1.Товаровский, И.Г. Эволюция доменной плавки / И.Г. Товаровский, В.П. Лялюк. - Дніпропетровськ: Пороги, 2001. – 424 с.



## КАЧЕСТВО ПОМОЛА ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ВДУВАНИЯ В ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ

Ларькин А.А., Кочура В.В.

Донецкий национальный технический университет

Необходимость достижения высокой степени газификации частиц пылеугольного топлива (ПУТ) в фурменной зоне доменной печи требует их тонкого помола.

Размер частицы угольной пыли существенным образом влияет на время ее сгорания в фурменной зоне доменной печи. На рис. 1 приведены результаты расчета времени сгорания ПУТ для трех марок углей: антрацит, газовый и тощий.

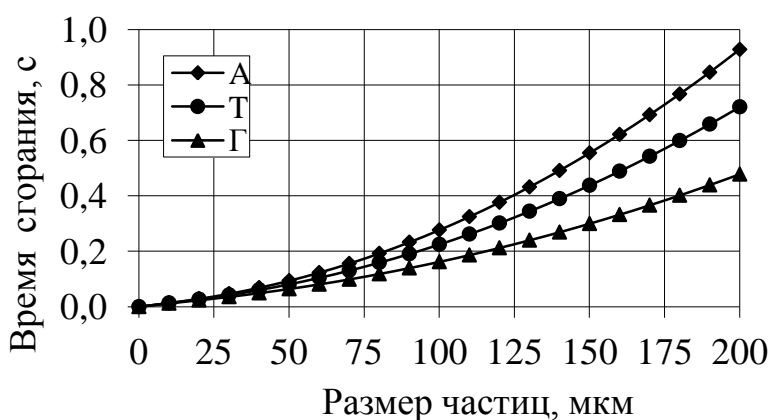


Рисунок 1 – Зависимость времени горения от размера угольных частиц

С увеличением размера частиц время сгорания возрастает по экспоненте: время сгорания возрастает при переходе от марки угля «Г» к «Т» и «А».

Практические данные работы доменных печей с вдуванием ПУТ свидетельствуют о достаточно тонком помоле угля – фракции 0-74 мкм вдувается 70-80%, хотя имеются предложения вдувать крупный – до 2-3 мм уголь (табл.1) [1].

Таблица 1 – Помол ПУТ в мире

Страна	Завод, ДП	Качество помола
Германия	Schwegern, ДП-1, 2 Hamborn, ДП-4, 9 Dortmund ДП № 7	80% фракции 0- 90 мкм
США	Sparrow Point, ДП-L Bethlehem Steel	70% фракции 0- 74 мкм 70-80% фракции 0 - 75 мкм
Фирма Kuttner (установки во всем мире)		80% фракции 0 - 90 мкм
Великобритания	Scunthorpe, ДП- Queen Anne, Queen Mary, ДП- Queen Victoria	гранулированный уголь: 95% фракции 0-2 мм средний размер 0,55-0,7 мм
Украина	Донецк, ДП-1,2	75% фракции 0-80 мкм средний размер 35-40 мкм

Качество помола ПУТ на заводах определяется с помощью современных автоматических микроанализаторов. Так, на ПрАО «Донецксталь»-металлургический завод» для контроля параметров помола используется микроанализатор “Analysette 22 СОМРАСТ“ немецкой фирмы Fritsch, позволяющий определять зерновой состав угольной пыли, ее удельную поверхность и средние размеры. ПУТ характеризуется высокой тониной помола: средний медианный размер частиц ПУТ составляет 35-40 мкм.

Данные компьютерной распечатки помола ПУТ, выполненной на микроанализаторе, приведены на рис.2.

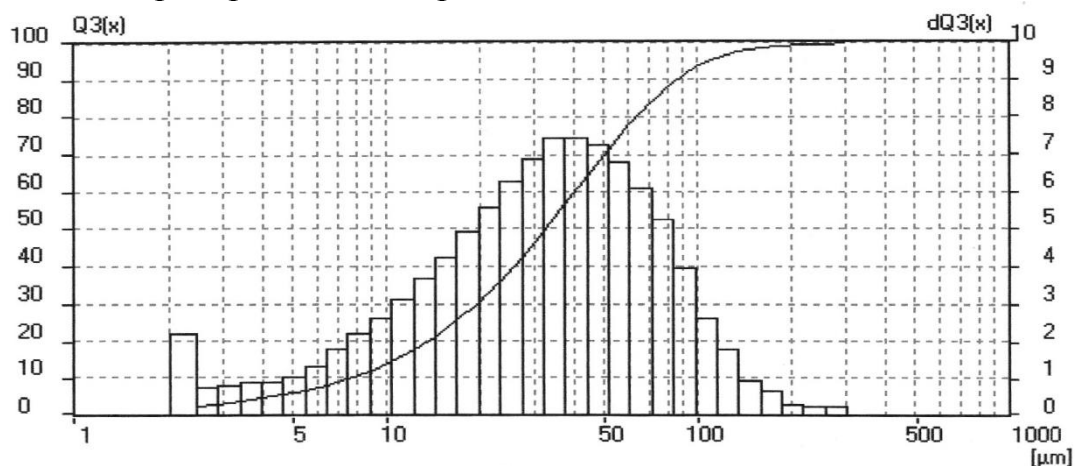


Рисунок 2 – Помол ПУТ на ПрАО «Донецксталь»-металлургический завод»

Теоретические расчеты, выполненные различными авторами, рекомендуют максимальную величину помола угля от 35 до 100 мкм, а минимальную – от 0 до 50 мкм. Однако утончение помола приводит к значительному снижению производительности мельниц, повышению стоимости топлива вследствие роста удельного расхода электроэнергии на помол, ухудшает транспортировку пыли, так как мелкие частицы имеют склонность к слипанию.

С угрублением помола затрудняется сгорание пыли в окислительной зоне доменной печи, что влечет за собой целый комплекс негативных явлений: снижается газопроницаемость столба шихты, увеличивается вязкость шлака, снижается коэффициент замены кокса углем.

Таким образом, для вдувания в доменные печи необходим оптимальный помол угля, учитывающий суммарные затраты на приготовление и сжигание пыли.

#### Литература:

1. Исследование и оптимизация фракционного состава пылеугольного топлива, вдуваемого в горн доменных печей ПрАО «Донецксталь» - металлургический завод» / В.В. Кочура, С.Л. Ярошевский, В.В. Брага // Научные труды Донецкого Национального Технического Университета, 2011, серия металлургия, выпуск 13 (194). – С.44-53.

# ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ДИАМЕТРОВ ТОВАРНЫХ ОКАТЫШЕЙ

Собонев В.В., Брусов А.Л.

Донецкий национальный технический университет

Как известно, металлургические окатыши, в гранулометрическом смысле, это монофракционная шихта, так как отношение максимального диаметра товарных окатышей к их минимальному диаметру меньше или равно двум, что соответствует обычному модулю шкалы грохочения ( $M$ ), то есть отношению размеров отверстий двух последовательных сит, образующих одну фракцию.

Исторически окатыши производили таких фракций: в Швеции – 25-30 мм; в ЧССР – 10-18 мм ( $\geq 90\%$ ); в США, Канаде, ФРГ и СССР – 9-16 мм ( $> 75-80\%$ ). По данным замеров в потоке, до 95% окатышей сейчас попадает в интервалы: на Лебединском ГОКе (5-12) или (8-14) мм; на Костомукшском ГОКе – (10-18) мм. Большинство других замеров укладывается в интервал – (10-20) мм.

По сложности отсева, как известно из теории, фракцию окатышей можно разделить на три группы. Окатыши, диаметр которых ( $d$ ) меньше чем ( $0,75 \cdot a$ ), где  $a$  – размер отверстия в нижнем сите, и которые легко через него проходят, принято называть «легкими». Окатыши, диаметр которых приближается к размеру отверстий ( $0,75 \cdot a < d < a$ ) называют «трудными», так как они с трудом просачиваются через слой надрешётных окатышей к сеющей поверхности. «Затрудняющими» называют окатыши, диаметром больше отверстий сита, но меньше чем 1,5 отверстия ( $a < d < 1,5 \cdot a$ ), так как они концентрируются на поверхности сита и затрудняют проход нижнего класса.

Объединение в отсеваемом материале «трудных» и «затрудняющих» окатышей диаметром ( $0,75 \cdot a < d < 1,5 \cdot a$ ) или, другими словами, отсева окатышей с отношением диаметров меньше двух ( $1,5/0,75=2$ ) в промышленных масштабах крайне затруднителен. Это относится к грохотам с сетчатой или перфорированной поверхностью, чьи возможности для выделения фракции с модулем  $M < 2$  ограничены. Чтобы преодолеть это ограничение в технологии отсева сырых окатышей, созданы и применяются нетрадиционные грохоты. Наиболее перспективным из них является роликовый грохот, принцип работы которого позволяет высеивать более узкие фракции.

В последние годы создана бесконтактная гранулометрическая система контроля «Индикатор крупности», позволяющая определять диаметр каждого окатыша в потоке, а значит оперативно регулировать размеры сырых окатышей, которые производит тарельчатый окомкователь. Оба эти нововведения позволяют уменьшить диапазон фракции окатышей так, чтобы он соответствовал модулю шкалы классификации ( $M=\sqrt{2}=1,41$ ), который обычно используют для более точного «ручного» отсева. Подчеркнём, что дальнейшее сокращение диапазона фракции будет давать всё менее заметный эффект, но требовать всё больших затрат, даже если это технически возможно.

*Цель работы:* определить рациональный диапазон фракции окатышей с учётом полезных и бесполезных последствий его уменьшения при неизменном среднем диаметре. Рассмотрим три случая отношения максимального диаметра окатышей к минимальному диаметру, обозначив его, по аналогии с модулем шкалы классификации ( $M$ ):  $M_1 = 1$ ;  $M_2 = 1,41$ ;  $M_3 = 2$ . Примем, что средний диаметр окатышей равен 12 мм, тогда диапазоны фракций будут: (12-12); (10-14) и (8-16), соответственно.

Выполним анализ влияния разницы в диаметре окатышей на их свойства.

1. Время нагрева шара, а значит время сушки и обжига окатыша, растёт с увеличением его объёму и уменьшается с ростом площади поверхности, то есть увеличивается с ростом диаметра окатыша. Значит, на эти операции, при прочих равных условиях, для второго ( $M_2$ ) и третьего ( $M_3$ ) случая нужно увеличить время нагрева самых крупных окатышей, а значит и общий расход топлива на  $(14-12)/12=17\%$  и на  $(16-12)/12=33\%$ .

2. Сопротивление слоя окатышей, при равном среднем диаметре, зависит от его порозности. Учитывая положения газодинамики слоя шаров, получим порозность для трёх случаев: 0,40; 0,394 и 0,385. Порозность уменьшилась незначительно: на 1,5% для  $M_2$  и 3,8% для  $M_3$ . Потери напора при этом возрастут на 6% и 15%. А если, принятую в расчёте «теоретическую» порозность для калиброванных стеклянных шаров (0,4), заменить на результат для слоя реальных одинаковых окатышей (0,39), то разница будет ещё меньше.

3. Анализ влияния диаметра обожжённых окатышей на их прочность по литературным данным показал, что наибольшей прочностью (2 кН/окатыш и более) обладают окатыши из фракции (10-14) мм. При уменьшении диаметра окатыша до 8 мм он выдерживает в двое меньшую нагрузку, а при увеличении диаметра до 18 мм максимальная нагрузка падает на 1/3. Особенно резко при увеличении диаметра окатышей больше 18 мм падает их восстановимость, что объясняют уменьшением поверхности пор в результате их оплавления.

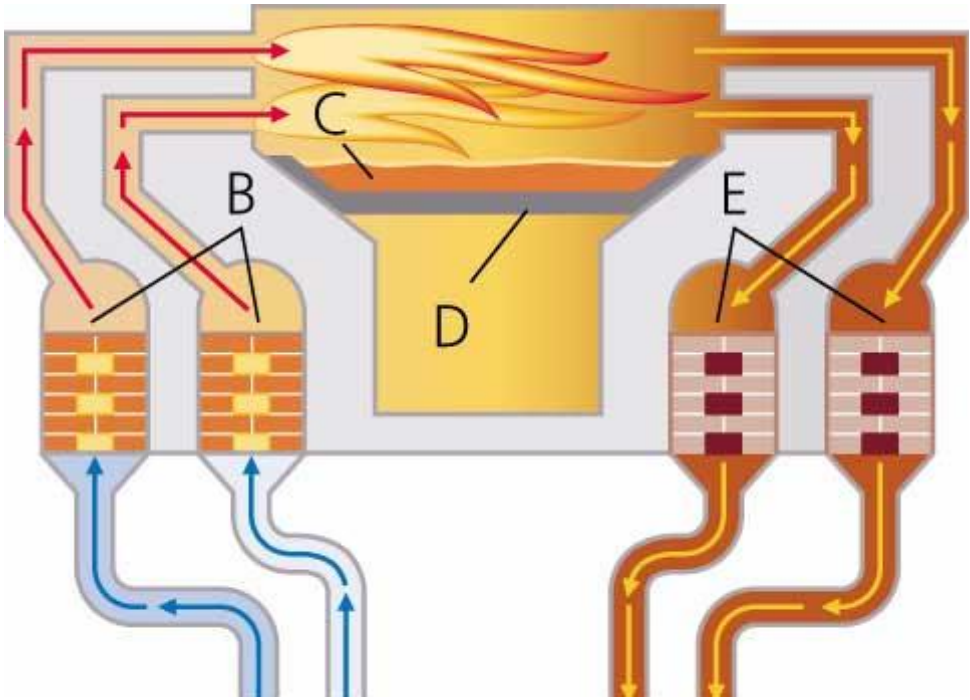
Выводы.

1. Оба эти результата (п. 3), на наш взгляд, можно объяснить не столько изменением собственно диаметра окатыша, сколько неоптимальным режимом нагрева для более крупных и более мелких окатышей, так как сам режим был оптимизирован для большинства окатышей, чей диаметр близок к среднему.

2. Уменьшение фракции окатышей меньше  $M=2$  практически не увеличивает порозность слоя и мало влияет на его газопроницаемость.

3. Главный показатель, на который влияет уменьшение фракции, это уменьшение разницы в скорости нагрева крупных и мелких окатышей. Так уменьшение интервала до  $M=1,41$  позволяет уменьшить эту разницу в 2 раза. Обоснованный выбор такого интервала подтверждает как уменьшение прочности окатышей, чей диаметр выходит за пределы (10-14) мм, так и то, что окатыши внутри этого диапазона мало отличаются по своим свойствам. Режим их обжига можно оптимизировать для всего выбранного диапазона крупности.

# МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ



# ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ

Алёшин Р. Г., Лебедев Е. Н.

Донецкий национальный технический университет

Решение вопроса минимизация потерь на МНЛЗ может быть достигнута за счет целенаправленного изменения условий затвердевания последних порций металла в кристаллизаторе. Это может быть достигнуто путем введения в металл будущей усадочной раковины металлических охладителей. На них возлагается минимум две задачи: - первая уменьшение объема усадочной раковины и вторая обеспечить герметичность (отсутствие контакта с окружающей средой).

Для определения оптимального времени, когда стоит добавлять охладители, и какую форму они должны иметь была проведена серия опытов на лабораторной установке МНЛЗ. Моделирование вели с применением парафина его выдерживали при температуре 53°C. После чего разливку вели в круглый кристаллизатор диаметром 30 мм. В последнюю порцию металла в кристаллизаторе, последовательно вводим два охладителя. Охладитель применяли сферической формы из-за простоты эксплуатации. Размер охладителя был определен анализом усадочной раковины в первом слитке и составляет 18 мм. Отношение диаметра слитка к диаметру охладителя  $30/18 = 1,66$ . Слитки представлены в порядке проведения опытов с лева направо соответственно. Время введения охладителей и скорость кристаллизации приведены в табл. 1.

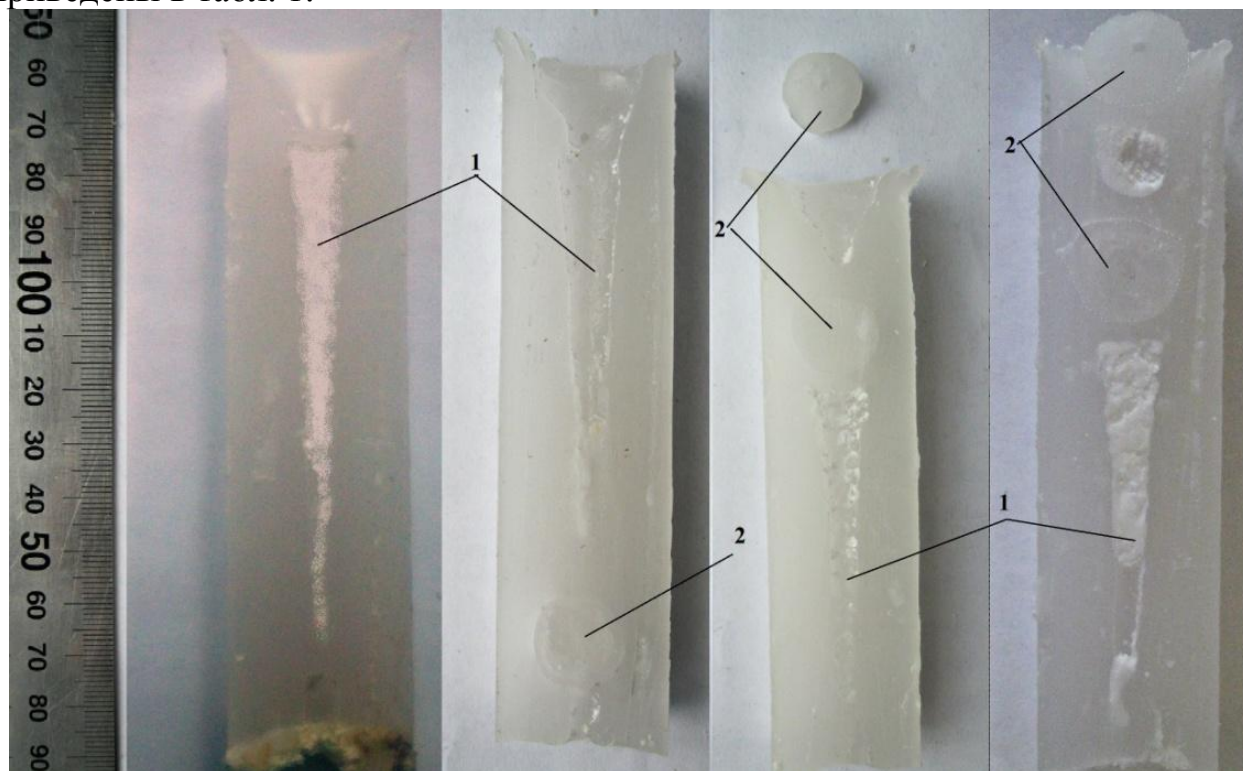


Рисунок 1 –Усадочная раковина в слитках

Во время экспериментов изменяли время ввода охладителя 2 в нижний объем металла, а затем второго в место образования усадочной раковины для придания ей выпуклой формы. Исследуя разрезы опытных слитков, проверили герметичность усадочной раковины. Результаты исследований разрезов опытных слитков представлены на рисунке 1.

Из рисунка видно, что характер и объем усадочной раковины 1 изменялся во время проведения опытов. Опытным путем был установлен момент введения первого и второго охладителя 2 в объем слитка.

Таблица 1 - Зависимость кристаллизации слитка от времени ввода охладителя

Опыт №	Температура парафина (°С)	Время введения охладителя №1 (мин)	Время введения охладителя №2 (мин)	Продолжительность кристаллизации слитка (мин)
1	53	-	-	30
2	53	4	6,3	27
3	53	4,3	6	35
4	53	4,3	5,45	40

Обобщив экспериментальные данные можно сделать вывод, что введение охладителя замедляет скорость затвердевания и изменяет форму головной части слитка. Дополнительное управление процессом затвердевания последних порций металла в кристаллизаторе обеспечивает увеличение выхода годного.

#### Литература:

1. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка сортовой заготовки. Монография/ А.Н.Смирнов, С.В.Куберский, А.Л.Подкорытов, В.Е.Ухин, А.В.Кравченко, А.Ю.Оробцев. – Донецк: Цифровая типография, 2012. -417с.
2. Дюдкин Д.А., Крупман Л.И., Максименко Д.М. Усадочные раковины в стальных слитках и заготовках. – Москва: Металлургия, 1983. -136 с.
3. Смирнов А.Н. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях/ А.Н Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В.Момот, В.Н. Амитан. – Донецк:И-во «ВИК», 2002. -169 с.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАРАСТАНИЯ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ СЛЯБОВЫХ МНЛЗ

Кириченко В.С., Ухин В.Е.

Донецкий национальный технический университет

Наиболее ответственным устройством огнеупорного канала МНЛЗ является узел стакан-дозатор – погружной стакан. Основными причинами выхода погружных стаканов из эксплуатации является зарастание внутренней полости различного рода отложениями. Отложения на стенках канала сталеразливочного тракта (стакан-дозатор и погружной стакан, включая сталевыпускные отверстия) вынуждают уменьшать скорость непрерывной разливки вплоть до ее полного прекращения. Формирование отложений во внутренней полости погружного стакана уменьшает площадь проходного сечения, что приводит к падению скорости разливки и в дальнейшем к замене погружного стакана или остановке МНЛЗ. Это снижает производительность МНЛЗ и увеличивает удельные расходы вследствие более частой замены дорогостоящих погружных стаканов [1].

Из практики различных металлургических заводов известно, что, как правило, зарастание внутренней полости погружного стакана происходит преимущественно вследствие накопления неметаллических включений (частиц) в ходе технологических переливов на участке от сталеразливочного ковша до кристаллизатора МНЛЗ[4-6]. Между тем, существуют различные источники и причины попадания неметаллических частиц в канал погружного стакана, развитие которых обуславливает явление зарастания в большей или меньшей степени.

Для оценки химического состава отложений были проведены исследования 6-и образцов, с внутренней поверхности погружных стаканов, режимы эксплуатации которых в целом не имели серьезных отклонений и нарушений технологического регламента разливки. Для проведения исследований образцы измельчались, а затем металлическая часть отделялась с помощью магнита. Данные о количестве вкраплений стали в отобранных образцах отложений приведены в табл.1

Таблица 1 – Содержание различных оксидов в отложениях, отобранных из внутренней полости погружных стаканов, в процентах от немагнитной части

Проба	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	S	Fe, % от общей массы отложений
1	73,0	10,3	4,6	10,6	-	0,6	0,7	1,0	89,8
2	35,4	0,2	0,2	13,0	35,4	0,6	0,2	0,19	69,9
3	62,0	0,2	1,2	24,6	4,6	0,6	0,2	0,08	64,5
4	75,2	2,6	4,4	5,5	6,9	-	2,2	0,19	86,7
5	73,3	3,9	3,3	5,6	7,9	-	4,4	0,10	77,7
6	70,4	10,8	3,1	4,0	2,1	-	2,6	0,05	70,2

Обобщая результаты исследований, следует отметить, что в общей массе отложений доля металлической (отделенной с помощью магнита) части составляет 64,5-89,8% (в разных образцах). Следовательно, даже принимая во внимание высокую удельную плотность капель стали ( $7,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), можно

предположить, что они занимают более трети общего объема отложений и соответственно оказывают весьма существенное влияние на динамику зарастания погружного стакана.

Рассматривая основные возможные механизмы осаждения капель стали на поверхности неметаллической части отложений, можно предложить следующий механизм:

- в начальный период разливки (после установки погружного стакана) на его внутренней поверхности начинают осаждаться частицы глинозема, которые создают шероховатую поверхность;

- шероховатая поверхность погружного стакана создает наиболее благоприятные условия для «запутывания» капель стали между отложениями глинозема, частицы которого будут продолжать свой рост, огибая твердые капли стали.

Дальнейшие исследования структуры и химического состава отложений были выполнены на растровом электронном микроскопе РЭМ106U, предназначенном для получения изображения поверхности объекта с высоким (несколько нанометров) пространственным разрешением, а также информации о составе, строении и некоторых других свойствах приповерхностных слоёв исследуемого материала.

Характерной особенностью неметаллической части отложений является высокая пористость материала, которую следует объяснять механизмом постепенного налипания неметаллических частиц в процессе разливки. Представляется достаточно очевидным, что движение неметаллических включений в погружном стакане происходит стохастически в условиях турбулентного движения струи стали в погружном стакане. Структура отложений имеет мелкую ячеистую структуру (преимущественно конгломераты частиц глинозема размером 1-30 мкм) с вкраплением металлических частиц. Исследование фрагмента отложений вокруг металлического вкрапления неправильной геометрической формы позволяет предположить, что происхождение этой части отложений не является результатом налипания продуктов раскисления.

Таким образом, в ходе исследований установлено, что отложения, которые наблюдаются внутри погружных стаканов МНЛЗ, представляют сложную механическую смесь частиц и капель стали, а также конгломератов неметаллических частиц (преимущественно оксидов).

Из этого следует, что для уменьшения скорости зарастания стаканов необходимо обеспечить как минимальное снижение температуры стали, так и существенное подавление вторичного окисления и сокращение удельной поверхности контакта металла со стаканом. Это позволит вести стабильную непрерывную разливку стали.

Литература:

1. B. Harcsik, P. Tardy, G. Karoly Examination of nozzle clogging in continuous casting. *Revue de Métallurgie*. 2012. P. 177–186.

# ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КОНВЕРТЕРНОГО МЕТАЛЛА ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ

Тиминский С. А., Лебедев Е. Н.  
Донецкий национальный технический университет

Для получения высококачественной стали, для изготовления ответственных изделий в металлургии с успехом пользуются методы выпечной обработки стали. Сталь в ковше продувают аргоном или другими инертными газами. Обработку выполняют для снижения концентрации растворенных газов (водорода и азота) и уменьшения содержания кислорода и неметаллических включений.

Современным направлением является обработка чугуна в заливочных ковшах нейтральным газом через погружную фурму [1]. Диапазон расхода нейтрального газа в пределах 0,1-0,14 м<sup>3</sup>/т. В потоке газа через фурму для десульфурации добавляют специально подготовленную известь.

Наиболее простым способом выпечной обработки стали с целью улучшения ее качества является продувка жидкого металла в ковше инертным газом. Пузырьки газа, всплывающие при продувке через весь слой металла, способствуют его рафинированию. При увеличении интенсивности массопереноса в ковше происходит выравнивание состава и температуры в объеме металла. Интенсивное перемешивание ускоряет доставку неметаллических включений к поверхности металл - шлак и удаление их из стали.

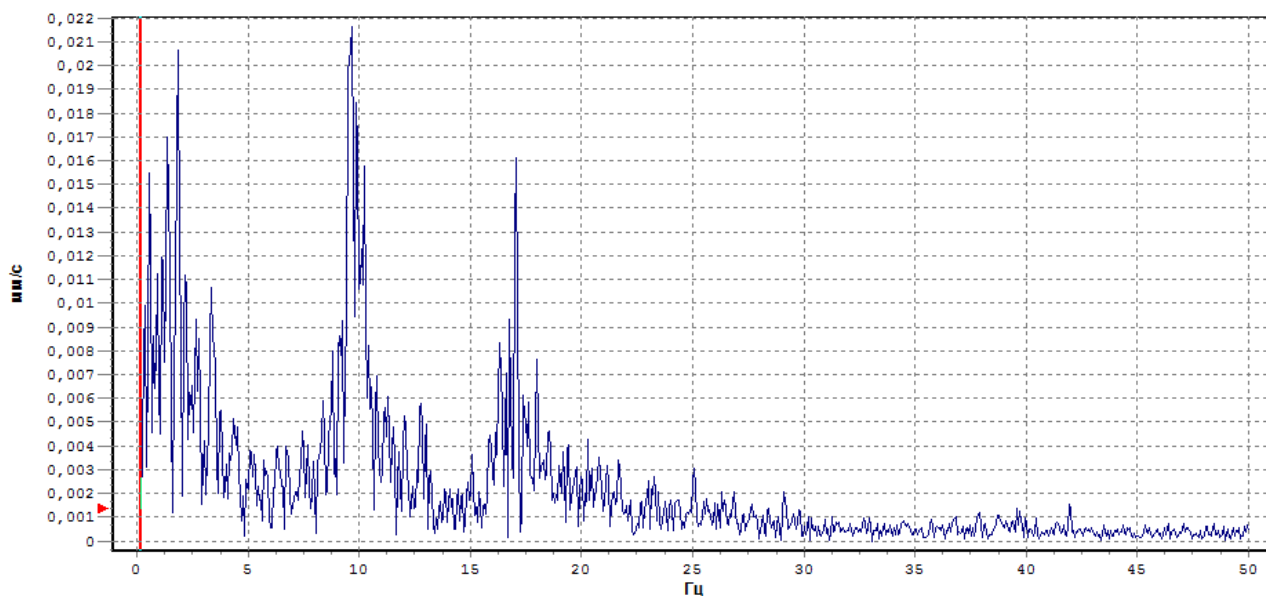


Рисунок 1 - Анализ акустической спектральной характеристики вибрации.

Обозначение на рисунке: по вертикальной оси скорость движения пузырьков (мм/с); по горизонтальной оси частота вибраций пузырьков (Гц); экстремумы на графике характерные частоты вибрации пузырьков.

Перемешивание металла в ковше инертным газом является одной из главных составляющих функций внепечной обработки стали на УКП и обеспечивает решение следующих задач: перенос тепла и выравнивание температуры металла по объему ковша; усреднение по химическому составу; ускорение протекания металлургических реакций; удаление неметаллических включений [3]. Перемешивание осуществляется путем вдувания в расплав аргона либо азота через одну или две пористые пробки, установленные в днище сталеразливочного ковша. В момент отрыва пузырьков газа от продувочной пробки происходит их расширение за счет нагрева (изобарическое расширение), в процессе подъема пузырей происходит дальнейшее увеличение объема за счет уменьшения давления столба металла в ковше (изотермическое расширение).

Анализ акустической спектральной характеристики вибрации, создаваемой пузырьками газа при продувке снизу лабораторной установки заполненной водой (моделью жидкого металла) представлены на рисунке 1 [2]. Анализ полученной зависимости показывает, что в исследуемом спектре отмечено три характерных составляющих частоты вибрации, для первой характерна частота 2 – 2,5 Гц, для второй – 10 Гц, для третьей 17 – 17,5 Гц.

Это позволяет сделать вывод что кроме составляющей движения пузырьков вверх отмечаются вибрации пузырьков. Дополнительное движение пузырьков во время вибрации увеличивает расстояние которое они проходят поднимаясь вверх.

В заключении следует отметить, что установленная закономерность движения пузырьков в жидкости позволяет наметить пути выбора рационального режима рафинирования металла инертным газом, управляя размером пузырьков и интенсивностью их образования при продувке можно задать рациональную траекторию движения.

#### Литература:

1. Смирнов А.Н., Зборщик А.М. Внепечное рафинирование чугуна и стали: Учебное пособие. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 186 с.
2. Тиминский С.А. Прибор для исследования акустических свойств газовых струй: Металлургия XXI столетия глазами молодых / Материалы Всеукраинской научно-практической конференции студентов. - Донецк: ДонНТУ, 2014. - 180 с.
3. Бойченко Б.М., Охотский В.Б., Харлашин П.С. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология: Учебник. - Днепропетровск: РВА «ДНЕПРО-ВАЛ», 2006. - 454 с.

# ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ



# О МЕСТЕ ГОРЕНИЯ ДУГИ ПРИ КАМЕРНОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ ПОД АКТИВНЫМИ ШЛАКАМИ

Нестеренко Б.В., Ратиев С.Н.

Донецкий национальный технический университет

Как показывают исследования, проведенные в нашем университете, Рябцевым А.Д., использование металлического кальция, для рафинирования металла при камерном электрошлаковом переплаве (КЭШП), дает положительные результаты. Также установлено, что добавки металлического кальция в шлак, состоящий из фтористого кальция, могут приводить к возникновению дуговых разрядов. Это не характерно для нормального хода процесса ЭШП. Исследуя причины, приводящие к возникновению дуговых разрядов, в своей диссертационной работе Рябцев А.Д. показывает, что это связано с существенным снижением электрического сопротивления шлаковой ванны, после добавления в неё металлического кальция. Что касается места горения дуги, то в работе делается предположение, что она может гореть, как в объеме шлака, из-за вскипания металлического кальция и образования в нем газовых полостей, так и на поверхности шлаковой ванны, в период отрыва капли от торца электрода. Дальнейшие исследования в этой области позволили уточнить данные предположения.

Провели переплав электрода из стали 50, длиной 600 мм и диаметром 45 мм в камерной печи на базе установки А-550, в атмосфере аргона, в кристаллизатор диаметром 110 мм. В качестве флюса использовали порошок фтористого кальция массой 1,3 кг. Первую порцию металлического кальция добавили в шлак, а две другие добавляли по ходу переплава. Интерес представляет момент ввода третьей порции металлического кальция (рис. 1).

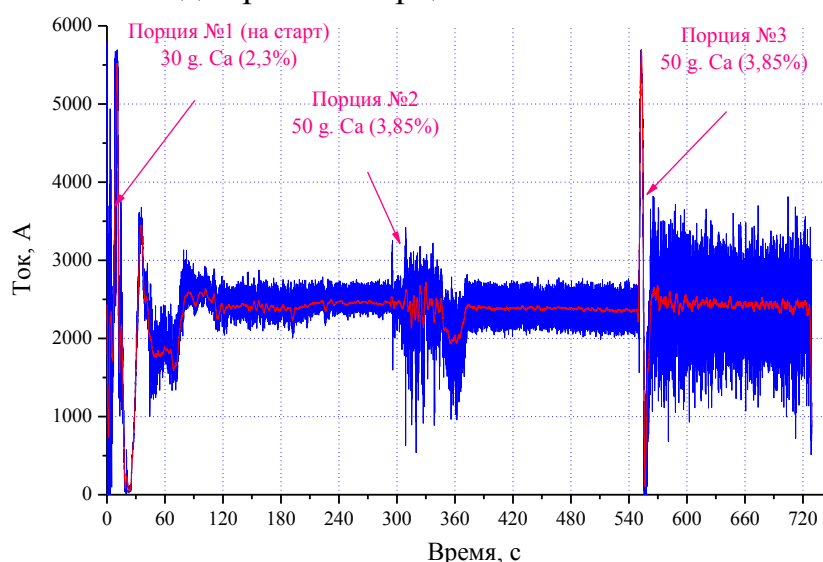


Рисунок 1 – Ток переплава расходуемого электрода, с указанием моментов ввода порций металлического кальция в шлак.

Видно (рис. 1, 2), что добавка третьей порции металлического кальция приводит к возрастанию тока переплава. Это происходит по причине

инерционности системы поддержания заданного тока, которая реагирует на его увеличение с некоторой задержкой и заглублиение электрода остается практически одинаковым как до ввода кальция. При этом удельное сопротивление шлака значительно снижается, что и приводит к увеличению тока переплава более чем в два раза с 2,5 кА до 5,6 кА. Как видно из осциллограммы (рис. 2, а), ток при этом остается синусоидальным. Следовательно, несмотря на снижение удельного сопротивления шлака, электрического пробоя между торцом электрода и металлической ванной не происходит.

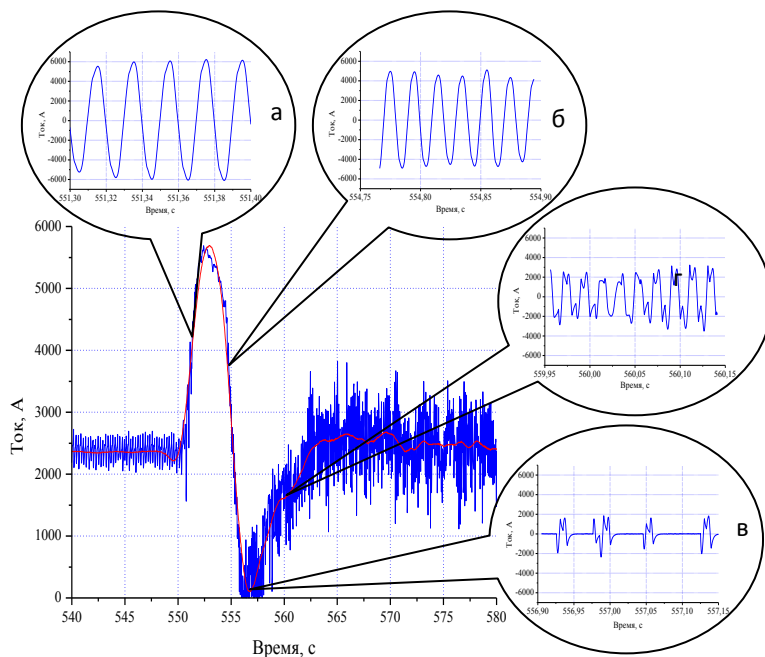


Рисунок 2 – Действующее значение тока переплава в момент ввода третьей порции металлического кальция и осциллограммы тока в некоторые моменты времени после ввода третьей порции.

После некоторой паузы АСУ начинает увеличивать межэлектродное расстояние, что приводит к плавному снижению тока переплава. Амплитуда тока снижается, но он по-прежнему остается синусоидальным (рис. 2, б), что свидетельствует об отсутствии дуговых разрядов. Так как превышение текущего значения тока над установленным – значительное, то и скорость вывода электрода может быть значительной. При этом, опять же, из-за инерционности АСУ, может произойти полное вытягивание электрода из шлаковой ванны, о чем свидетельствуют кратковременные обрывы тока, фиксируемые на осциллограмме (рис. 2, в). Это подтверждает, что электрод находится именно у поверхности шлаковой ванны, а не заглублен в неё. Дальнейшее увеличение тока происходит из-за увеличения подачи электрода в шлак. При этом на осциллограмме тока (рис. 2, г), появляются искажения формы синусоиды, что позволяет говорить о возникновении дугового разряда именно между поверхностью шлака и расходуемым электродом.

Таким образом, основным местом горения дуги при КЭШП под активными шлаками, является дуговой разряд между торцом расходуемого электрода и поверхностью шлаковой ванны.



# ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ



## ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ МАРГАНЦОВИСТОЙ БРОНЗЫ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ КОКИЛЬНЫМ ЛИТЬЕМ

Бандурка Т.С., Пасечник А.Ю.

Донецкий национальный технический университет

Марганцовистая бронза – медный сплав, основным легирующим элементом которой является марганец. Отличается высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью, жаропрочностью и высокой пластичностью. Марганец при повышенной температуре неограниченно растворяется в меди как в жидком, так и в твердом состоянии. Температура рекристаллизации меди при наличии марганца повышается на 150—200°

Табл 1. Химический состав в % материала БрМц5

Fe	Si	Mn	P	Cu	Pb	Zn	Sn	Примесей
до 0.35	до 0.1	4.5 - 5.5	до 0.01	93.6 - 95.5	до 0.03	до 0.4	до 0.1	всего 0.9

Марганцовые бронзы выпускают в виде прутков, полос и лент. Сплав применяют в морском судостроении для отливки деталей арматуры, эксплуатируемой при температуре до 250° С, и для отливки крупных деталей простой конфигурации, втулок, подшипников, деталей электрооборудования. Также марганцовистые бронзы обладают ещё одним ценным свойством – демпфированием, то есть способностью поглощать энергию колебаний

В настоящее время процесс получения марганцовистой бронзы состоит из нескольких этапов:

1. Расплавление меди при температуре около 1100 °С под слоем флюса или угля.
2. Рафинирование – удаление вредных неметаллических примесей висмута, серы и сурьмы, а также иногда алюминия, железа, кремния и растворенных газов.
3. Ввод фосфористой меди (около 10 %) для раскисления.
4. Добавление легирующих компонентов – металлического марганца
5. Прогревание полученного сплава до температуры 1200 °С.
6. Модифицирование для повышения механических свойств сплава.
7. Разлив по формам при температуре до 1300 °С.

Главной проблемой при получении отливок из марганцовистой бронзы является повышенное трещинообразование. Для предупреждения этих дефектов необходимо хорошее раскисление и рафинирование сплавов от шлаковых включений, увеличивающих склонность сплавов к образованию трещин. Высокая стоимость марганцевых лигатур

В ДонНТУ на кафедре «Цветная металлургия и конструкционные материалы» были проведены опыты по выплавке марганцовистой бронзы методом электрошлакового кокильного литья.

Технологический процесс ЭШКЛ - это накопление жидкого металла в тигле и заливание его в кокиль с жидким шлаком. В технологическом процессе ЭШКЛ происходит интенсивное электромагнитное перемешивание, вследствие этого возможно осуществлять процесс легирования и модифицирования металла. Расплав защищен от взаимодействия с воздухом, т.к. применяется флюс. В большинстве случаев отливки, полученные способом ЭШКЛ, по своим механическим характеристикам не уступают прокату.

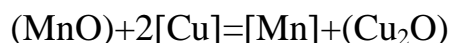
В качестве шлака использовался сварочный флюс АН-348А.

Табл.2 Химический состав флюса АН-348А(%)

SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P	CaF <sub>2</sub>
40,0-44,0	31,0-38,0	<12,0	<7,0	<13,0	0,5-2,2	<0,11	<0,12	3,0-6,0

В качестве шихты использовались отходы медного кабеля.

Легирование марганцем происходит путем восстановления марганца из его окисла, находящегося в шлаковой фазе по реакции



Данный способ легирования позволяет отказаться от дорогостоящего металлического марганца.

Результаты химического анализа исходного медного сырья и полученной бронзы представлены ниже.

Табл.3 Химический состав материалов и слитка

Шихта	Содержание элементов																Примечание
	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	O <sub>2</sub>	As	Sb	Bi	Ag	S	Cu	
Медь марки М00	0.001	0.0005	0.001	0.0015	---	0.001	0.001	---	---	0.001	0.001	0.001	0.0005	0.002	0.001	99.99	Pb – 0.001
Слиток	0.0029	0.0030	0.0033	0.2451	2.225	2.14	0.0651	0.0479	0.0013	< 0.01	0.0028	< 0.0010	0.0005	0.0015	< 0.001	95.2	Cr – 0.0106

Таким образом, используя технологию электрошлакового кокильного литья можно значительно снизить расходы на дорогостоящие шихтовые материалы и получать отливки с высокими механическими свойствами за счет рафинирования металла шлаком.

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО СПЛАВАМ

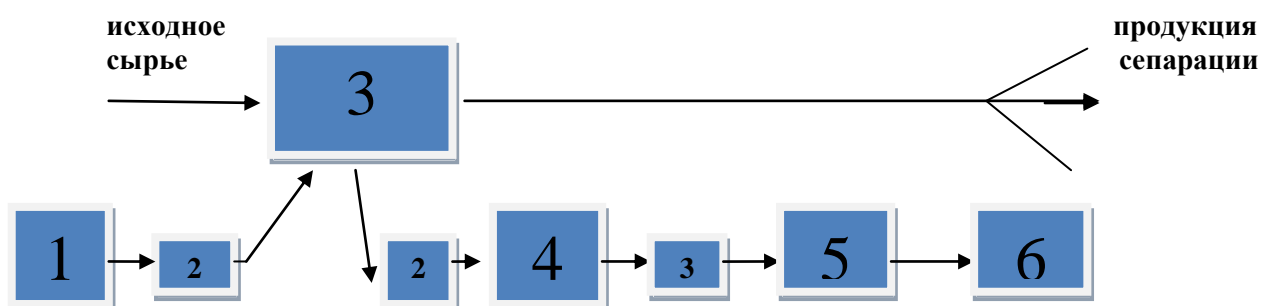
Чиж Ю.В., Бредихин В.Н.

Донецкий национальный технический университет

Низкокачественные многокомпонентные кусковые отходы поступающие на предприятия Вторцветмета, сортируются на механизированных технологических линиях, включающих операции фрагментирование, дробление и различные методы. Существенный недостаток указанных технологических линий – невозможность разделения получаемых концентратов цветных металлов по наименованиям металлов, группам и маркам сплавов, что при дальнейшем металлургическом переделе приводит к значительному расходу первичных металлов для получения заданных марок сплавов, увеличению расхода энергии и топлива.

Перспективным направлением при сортировке вторичных цветных металлов по наименованиям металлов является применение метода радиометрической сепарации. Радиометрическая сепарация – принципиально новый подход к процессам переработки отходов цветных металлов, что позволяет резко сократить количество сортировщиков, снизить расходы первичных металлов и топливно-энергетические затраты на переплав шихты, исключить такие металлургические операции как рафинирование.

Радиометрическая сепарация лома и отходов цветных металлов основана на эффектах взаимодействия излучений с частицами исходного сырья. Если на кусок или порцию исходного сортируемого материала направить поток излучения, то вещество будет изменять интенсивность или состав излучения. Регистрируя параметры этого получения с помощью детектора, получают информацию о элементном составе анализируемого сырья. Принципиальная схема процесса нейтронно-активационной сортировки представлена на рис. 1.



1 источник радиометрического воздействия; 2 фильтрующие элементы;  
3 кусок лома цветных металлов; 4 детектор; 5 узел обработки информации; 6 узел вывода порции лома на потоке

Рисунок 1 - Принципиальная схема нейтронно-активационной сортировки отходов цветных металлов

При нейтронно-активационной сортировке используют различия в наведенной (искусственной) радиоактивности, возникающей при облучении вторичных цветных металлов потоком нейтронов. Достоинством данного метода является его глубинность, которая определяется высокой проникающей способностью потока нейтронов, и то, что при этом методе обеспечивается возможность многоэлементного анализа как легких, так и тяжелых элементов, входящих в состав лома.

К основным конструктивным узлам сепараторов относятся: механизм, подающий куски цветного металла или порции исходного сырья в зону анализа; детекторная система с источником первичного излучения; блок-анализатор и исполнительные механизмы. Узел облучения или вся зона обмера снабжаются защитными экранами, обеспечивающими безопасность обслуживающего персонала.

В качестве источников первичного излучения в радиометрических сепараторах применяются ампульные радиоизотопные источники или рентгеновские трубки. В рентгенорадиометрических сепараторах для сортировки лома цветных металлов применяются в основном ампульные радиоизотопные источники.

Выбор конкретного радиоизотопного источника определяется спецификой метода, свойствами исходного сырья, а также необходимостью определения тех или иных элементов, входящих в состав сортируемого лома и отходов цветных металлов. Радиоизотопные источники помещаются в коллимирующие устройства, с помощью которых создаются направленный пучок излучения и обеспечивается частичная или полная биологическая защита. Коллимирующее устройство обычно имеет защитный экран, перекрывающий пучок излучения в нерабочем положении сепаратора. Все это устройство изготавливается из материалов с высоким коэффициентом поглощения рентгеновского или гамма-излучений, обычно из свинца или стали.

К достоинствам ампульных радиоизотопных источников следует отнести отсутствие энергопотребления и необходимости принудительного охлаждения, к недостаткам - невысокая интенсивность излучения, необходимость применения дополнительных мер защиты от излучения в нерабочем положении.

#### Литература

1. А.И.Шевелев, В.Н.Бредихин, Л.П.Старчик. Радиометрическая сепарация лома и отходов цветных металлов/Обзорная информация.- Москва:1990 год.

2. Кротков М.И., Леман Е.П. и др. Применение рентгенорадиометрической сепарации для сортировки вторичного алюминия/Цветная металлургия,1989 - 42-44с

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕДНОЙ КАТАНКИ ИЗ ШЛАКОВ

Селезнев К.М., Пасечник С.Ю.

ГВУЗ Донецкий национальный технический университет

Медная катанка кроме применения в качестве токопроводящих жил проводов и кабелей широко используется для производства профилей прямоугольного и трапецеидального сечения для электротехнических изделий – трансформаторов, шкафов управления, двигателей, генераторов и т.д., а также для троллейных проводов городского транспорта, железной дороги, шахт и рудников.

На постсоветской территории основными ее производителями из первичного сырья (медных руд) являлись: Россия, Казахстан и Узбекистан. Технология ее получения до 1990 г. включала в себя следующие технологические операции: получение черновой меди конвертированием медных штейнов; огневое, а затем электролитическое рафинирование; разливка в вайербарсы и далее прокатка. В период с 1990 по 2010 гг. советские и ведущие импортные производители объединили две последние стадии в один технологический процесс, используя совмещенные процессы. Т.е. разливка в полуфабрикат близкий к окончательной форме непосредственно из жидкой фазы с последующим пластическим деформированием в окончательную форму необходимого сечения, например, используя технологию непрерывного литья и прокатки (НЛП). На линиях НЛП используют литейно-прокатные агрегаты (ЛПА) роторного или ленточного типа, производства таких фирм как: ВНИИМЕТМАШ (Россия), «Саутвайер» (США), «СМС-Майер» (Германия), «Проперци» (Италия), «Оутокумпу» (Финляндия), «Раутомед» (Англия) и ряда фирм КНР.

Для производства медной катанки используются медные катоды марок МООК, МОК ГОСТ 546–2001 или электротехническая медь по ГОСТ 859–2001 марок МОО, МО, МООб, МОб. Катанка изготавливается следующих марок: КМ, КМб, КМор, а также классов А, В и С.

Качество медной катанки НЛП напрямую зависит от качества медных катодов. При получении медной катанки на линиях НЛП с шахтной печью допускается использование качественных отходов медного лома в количестве до 25–30 % вместе с медными катодами. Испанская фирма «Ла Фарга Лакамбра» разработала совместно с фирмой «Проперци» технологию получения катанки из 100 % медных отходов с использованием в линии НЛП вместо шахтной печи отражательной поворотной печи, в которой применяют рафинирование медного расплава свинцовосодержащими флюсами.

Другим методом получения катанки из отходов является технология «Сразу – в проволоку» (DTW) фирмы «Мерц» Германия – оптимизированное производство меди с высокой электропроводностью, полученной методом огневого рафинирования.

Метод рафинирования выбирается в зависимости от качества медных отходов. Если отходы хорошего качества, то могут перерабатываться в процессе одной стадии рафинирования с использованием только кремнезема, известняка или железа для получения правильного шлака. При применении отходов низкого качества может потребоваться многоступенчатое рафинирование с использованием в дальнейшем специальных добавок, таких как борная кислота и др. для удаления нежелательных примесей.

Мы в данной работе предлагаем использовать для производства катанки низкокачественное медное сырье, основой которого служат отходы медеплавильного производства – шлаки (таблица 1).

Таблица 1. Состав шлаков медеплавильного производства

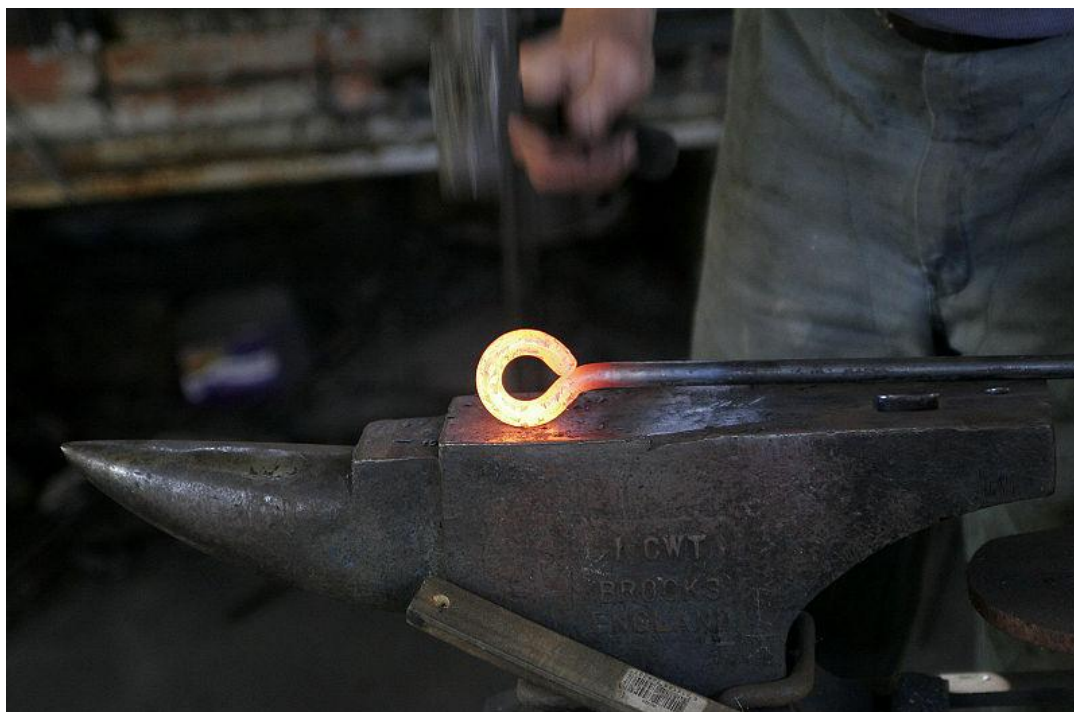
Наименование шлаков	Химический состав по компонентам, %				
	Cu	Fe	SiO <sub>2</sub>	S	CaO
Конвертерный шлак	1,5-6,0	38,0-45,0	22,0-24,02	1,5-3,2	1,0-2,0
в среднем	3,5	41,0	23,0	2,1	1,1
Шлак отражательной плавки	0,45-0,65	34,0-36,0	32-36	1,0-1,5	2,5-3,5
в среднем	0,6	33,5	34,2	1,2	2,8
Шлак кислородно-факельной плавки	0,7-1,0	32,0-35,0	33-39	0,4-0,6	2,5-3,5
в среднем	0,8	34,5	36,5	0,5	2,7

Как видно из таблицы, среднее содержание меди составляет около 1%, остальные же составляющие вполне подходят для ведения электрошлакового процесса (ЭШП).

Предлагаемая технология включает: на первой стадии электрошлаковое извлечение медной составляющей, разливка в слитки (для отделения шлака), затем расплавление слитков в индукционной тигельной печи, далее огневое рафинирование в отражательной барабанной печи, затем электролитическое рафинирование, и на последней стадии - переплав катодов в специальной канальной индукционной печи оборудованной открытой камерой для размещения в ней нескольких (от 3-х до 6-ти) линейных кристаллизаторов, для вытяжки проволоки непосредственно из расплава вверх. Месячная производительность такой технологии – 20 тонн.



# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ



# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМОВКИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 450 - 700 ММ НА ТРЕХВАЛКОВОЙ ЛИСТОГИБОЧНОЙ МАШИНЕ «HAEUSLER» ОАО ХТЗ, ОБОРУДОВАННОЙ ОПОРНЫМИ МОСТКАМИ

Кривой Д.А., Яковченко А.В.

Донецкий национальный технический университет

Работа направлена на усовершенствование режимов формовки трубных заготовок для сварных труб диаметром 450-700 мм на трехвалковой листогибочной машине «Haeusler» ОАО ХТЗ, оборудованной опорными мостками. Решение задачи выполнялось путем определения рациональных параметров формовки листов на базе специализированной компьютерной программы, созданной для условий трубопрокатного производства.

Трубная заготовка изготавливается из одного листа на трехвалковой листогибочной машине. Затем она направляется в доформовочный калибр, где осуществляется подгибка кромок. Операция выполняется за один проход трубной заготовки.

Формовка листа осуществляется между верхним нажимным валом, имеющим диаметр 200 мм (при производстве труб диаметром 450-700мм), и двумя нижними опорными валами. Для устранения изгиба верхнего вала используют вспомогательные опорные мостки [1].

Используемый в работе программный комплекс «Bending Set v7 Haeusler AG» обеспечивает моделирование процесса формовки трубной заготовки на трехвалковой листогибочной машине. Основное окно компьютерной программы представлено на рисунке 1.

Верхняя часть окна предназначена для задания исходной информации по: наружному диаметру трубы, толщине стенки, пределу текучести стали листа, параметрам, характеризующим марку стали, а также длине и ширине листа. Также здесь задаются параметры верхнего и нижних формующих валов и выбирается вариант гибки.

Предел текучести определяется в зависимости от марки стали. *Расстояние между нижними опорными валами выбирается* в зависимости от толщины листа.

В нижней части окна программы предусмотрены результаты расчетов, которые включают: величины перемещений верхнего вала в каждом проходе, которые определяют режим формовки; давление в цилиндре натяжения; давление в опорном цилиндре и напряжение изгиба на верхнем ролике, которые не должны превышать допустимые значения.

В процессе расчетов наружный радиус трубы  $R_{вн}$  определялся в зависимости от ширины листа

$$R_{вн} = \frac{L}{2\pi},$$

где L - ширина листа, мм;

Расстояние между нижними опорными валами  $X_{uw}$  можно определить по паспортным данным машины, а в случае их отсутствия – рассчитать по формуле

$$X_{uw} = 2D_{uw},$$

где  $D_{uw}$  - диаметр нижнего вала, мм;

Относительное расстояние между нижними опорным валами может быть определено как отношение

$$\bar{X}_{uw} = \frac{X_{uw}}{D_n/2},$$

где  $D_n$  - наружный диаметр трубы, мм;

#### Расчет установок для гибки

##### Характеристики трубы

01	Наружный диаметр	$D_n$	20,00	дюймов
02	Длина листа	$B$	12000,00	мм
03	Толщина листа	$s$	16,00	мм
04	Предел текучести	$Re$	621,00	N/mm <sup>2</sup>
05	Модуль Юнга (E)	$E$	210000	N/mm <sup>2</sup>
06	Модуль Н	$H$	1000	N/mm <sup>2</sup>
07	Развертка листа	$L_{\text{листа}}$	1546	мм

##### Характеристики нижнего ролика

08	Расстояние между нижними роликами	$X_{uw}$	750	мм
09	Диаметр нижнего ролика	$D_{uw}$	500	мм

##### Характеристики верхнего ролика

10	Диаметр верхнего ролика	$D_{ow}$	200	мм
----	-------------------------	----------	-----	----

##### Варианты гибки

11	Количество проходов для гибки	$i$	4				
12	Проходы ролика	$n_i$	40,0	30,0	20,0	10,0	%
13	Поправочный коэффициент для величины натяжения	$k_v$	1,0	1,0	1,0	1,0	[ ]

##### Параметры

14a	Величина перемещения без полного упругого восстановления	$Z_{i\text{ abs}}$	66,9	117,1	150,5	167,3	мм
14	Величина перемещения с полным упругим восстановлением	$Z_i^+$	90,4	136,1	168,0	184,4	мм
15	Наружный диаметр без давления на верхний валок	$D_n(i)$	1669	818	585	508	мм
16	Давление в цилиндре натяжения	$P_{0,4}$	0	0	0	0	bar
17	Давление в опорном цилиндре	$P_{1,2}$	23	29	35	38	bar
18	Напряжение изгиба на верхнем ролике	$\sigma_b(\text{ов})$	0	0	0	0	N/mm <sup>2</sup>

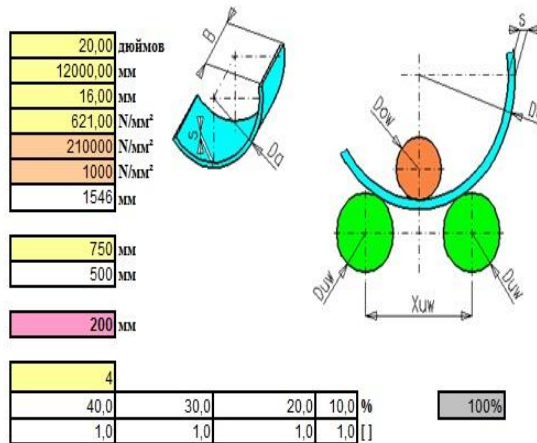


Рисунок 1. Окно компьютерной программы расчета режима формовки трубной заготовки для трубы диаметром 508×16мм из стали 10Г2ФБ

На рисунке представлены результаты расчетов для трубы диаметром 508×16мм из стали 10Г2ФБ мм. Получены следующие рациональные параметры формовки:

- величины перемещений верхнего вала в каждом проходе с учетом полного упругого восстановления полосы: по первому проходу – 90,4 мм, по второму – 136,1 мм, по третьему – 168,0 мм, по четвертому – 184,4 мм;

- диаметр заготовки после первого прохода составляет 1669 мм, после второго - 818 мм, после третьего - 585 мм; после заключительного четвертого прохода получаем диаметр готовой трубы - 508 мм.

#### Литература:

1. Дряян В.М., Гуляев Ю.Г., Чукмасов С.А. Теория и технология трубного производства Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2001. — 544 с

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ УМЕНЬШЕНИЯ ШИРИНЫ СЛЯБОВ ПРИ ИХ РЕДУЦИРОВАНИИ С МНОГОКРАТНЫМ ОБЖАТИЕМ В КАЛИБРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКАХ

Мазный Е.В., Руденко Е.А.

Донецкий национальный технический университет

На сегодняшний день широко внедряется технология редуцирования непрерывно-литых слябов по ширине в мощных черновых реверсивных универсальных клетях широкополосных станов. Редуцирование позволяет сократить число типоразмеров непрерывно-литых слябов по ширине и получить полосу шириной на 200-250 мм меньше ширины исходного сляба.

Процесс редуцирования может быть реализован путем одного или двух-, трех последовательных обжатий в вертикальных валках (ВВ) с последующим проглаживанием широкой грани раската в горизонтальных валках (ГВ) на исходную толщину. До настоящего времени технология редуцирования слябов на широкополосных станах Украины не освоена. Общей задачей данной работы является изучение эффективности уменьшения ширины слябов в условиях многократного обжатия в калиброванных вертикальных валках реверсивной универсальной черновой (редуцирующей) клетки широкополосного стана.

В технической литературе достаточно широко представлены результаты исследования эффективности уменьшения ширины при разовых и многократных обжатиях слябов при прокатке в гладких вертикальных валках. Однако в литературе нет данных по влиянию многократных обжатий на эффективность уменьшения ширины при прокатке в калиброванных вертикальных валках.

Целью работы является исследование влияния многократной деформации в вертикальных валках с ящичными калибрами различных размеров на эффективность уменьшения ширины слябов при их редуцировании.

Исследование выполнили методом физического моделирования условий редуцирования слябов за один, два и три прохода на лабораторном стане. Масштаб моделирования 1:30, материал - свинец. Моделировали процесс редуцирования слябов шириной  $B = 1350, 1800$  и  $2250$  мм, толщиной  $H = 240$  мм в вертикальных валках диаметром 1500 мм с ящичным калибром и процесс проглаживания в горизонтальных валках диаметром 1500 мм. Размеры ручьев калибров: ширина дна ручья 240 мм; ширина ручья у разъема 340 мм; глубина ручья 150 мм.

При исследовании многократного обжатия в вертикальных валках на эффективность уменьшения ширины образцы толщиной 8 мм каждой партии шириной (45, 60, 75 мм) обжимали в каждом калибре вертикальных валков по различным режимам: за один, два и три последовательных прохода с обжатиями  $\Delta B = 2-2,5$  мм. Часть образцов обжимали за один проход на 2, 4 и 6 мм.

Измеряли ширину и глубину заполнения ручья калибра  $H_3$ .

Затем обжатые образцы проглаживали в горизонтальных валках на начальную толщину и измеряли ширину и определяли уменьшение ширины  $\delta B_2$  относительно начальной ширины образцов.

В качестве исследуемых параметров процесса редуцирования сляба приняли: эффективность уменьшения ширины  $\eta = \delta B_2 / \Delta B$  и относительное заполнение ручья калибра металлом  $K_3 = H_3 / H_p$ . В качестве независимых переменных процесса редуцирования и последующего проглаживания сляба приняли: отношение ширины к толщине образцов  $B/H$  - показатель поперечного сечения сляба;  $n$  - количество проходов при равномерном обжатии. Графики изменения  $\eta$  и  $K_3$  показаны на рисунке.

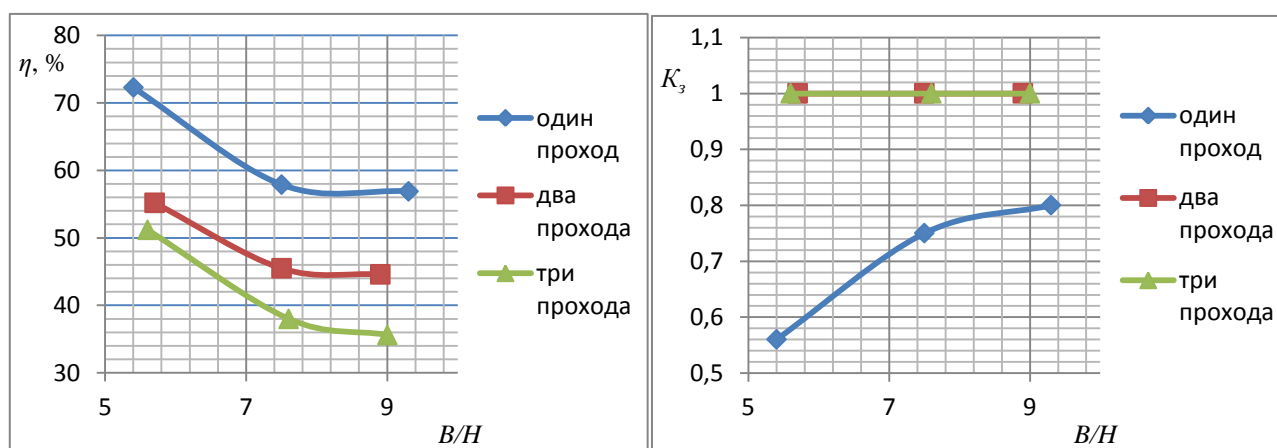


Рисунок – Влияние отношения ширины к толщине  $B/H$ , числа проходов  $n$  на эффективность уменьшения ширины  $\eta$  и степени заполнения ручья калибров  $K_3$  при редуцировании сляба.

Как видно на рисунке эффективность редуцирования уменьшается с увеличением ширины слябов (отношения  $B/H$ ), ростом числа последовательных обжатий. Самая низкая эффективность отмечена при редуцировании слябов максимальной ширины при трехкратном последовательном обжатии. Степень заполнения ручья калибра металлом при одинаковом суммарном обжатии с ростом отношения  $B/H$ . При двух-трехкратном обжатии ручей калибра заполнялся полностью  $K_3=1$  и переполнялся.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бровман М.Я. Усовершенствование технологии прокатки толстых листов / М.Я. Бровман, Б.Ю. Зеличенко, А.И. Герцев. – М.: Металлургия. - 1969. – С.256.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ УГЛА НЕСОВПАДЕНИЯ МЕЖДУ ПРОДОЛЬНЫМИ ОСЯМИ РАСКАТА И ВНУТРЕННЕГО ОСЕВОГО ДЕФЕКТА МАКРОСТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА НА СТЕПЕНЬ ИХ "ВЫКАТКИ"

Шмыгля Р.А., Смирнов Е.Н.

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время к сортовому прокату предъявляются все более высокие требования. Особенно актуальна проблема получения проката для машиностроения из мелкой сортовой непрерывнолитой заготовки с гарантированными параметрами макроструктуры при наличии в исходной заготовке осевых дефектов типа пора, усадочная раковина.

Качество готового проката во многом определяется качеством исходной заготовки. В статье рассмотрены внутренние дефекты непрерывнолитых заготовок, факторы, влияющие на образование и развитие дефектов, а также их трансформацию в процессе прокатки.

Под дефектом понимают нарушение сплошности металла. Дефекты формируются в процессе затвердевания и могут развиваться как внутри литой заготовки, так и на внешней поверхности. В большинстве случаев дефекты оказывают негативное влияние на производство, вызывая отбраковку или увеличение себестоимости производства в результате необходимости приведения заготовок в соответствие с требуемыми техническими условиями перед их прокаткой.

На рисунке 1 показано схематическое представление основных дефектов, встречающихся в непрерывнолитых слитках.

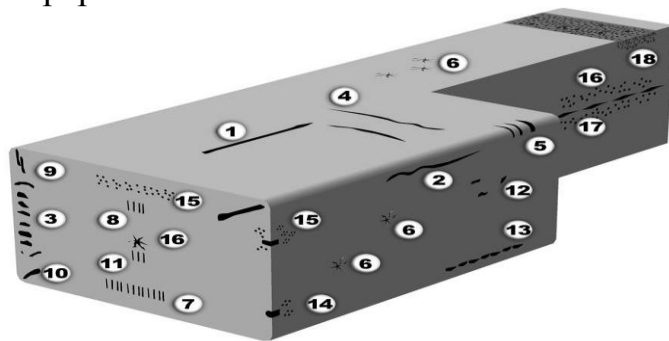


Рисунок 1 - Схематическое представление основных дефектов, встречающихся в непрерывнолитых слитках: 1, 2 - глубокие продольные трещины на поверхности и в зоне кромок; 3 - подкорковые пузыри; 4, 5 - поперечные трещины по грани и в кромках; 6 - паукообразные (звездообразные) трещины; 7,8 - внутренние трещины в продольном направлении; 9,10 - короткие диагонально ориентированные трещины вблизи кромок; 11 - трещины в осевой зоне; 12 - беспорядочно расположенные поры и шлаковые включения; 13 - поры и шлаковые включения в виде гнезд в продольных дорожках; 14 - поверхностные поры; 15 - неметаллические включения; 16, 17 - осевая ликвация и пористость; 18 - пояса и завороты корки.



Для исследования поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитой заготовки на физических моделях было предложено использовать специальные матрицы, которые бы позволяли наносить на поверхность  $i$ -го слоя дефекты. На одну из граней пластины наносились три дефекта – имитатора, каждый из которых имел свои размеры. Объединяя пластины в жесткий пакет и меняя их местами, возможно получать не только различную плотность дефектов, но и различную комбинацию их соседства, что необходимо для оценки возможного взаимного влияния на процесс результирующего формоизменения [1].

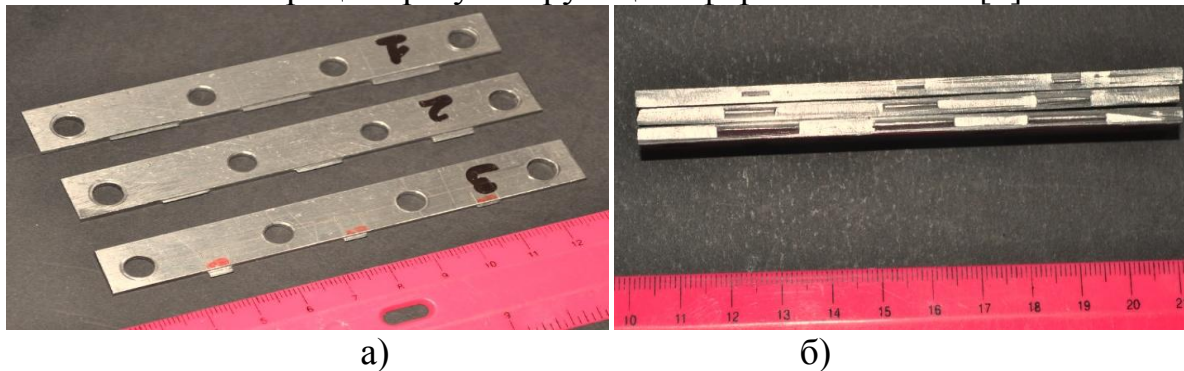


Рисунок 2 - Вид стальных вставок для нанесения дефектов (а) и матрицы в сборе (б)

Получение отпечатков дефектов - имитаторов на свинцовых пластинах осуществляли с использованием лабораторного пресса.

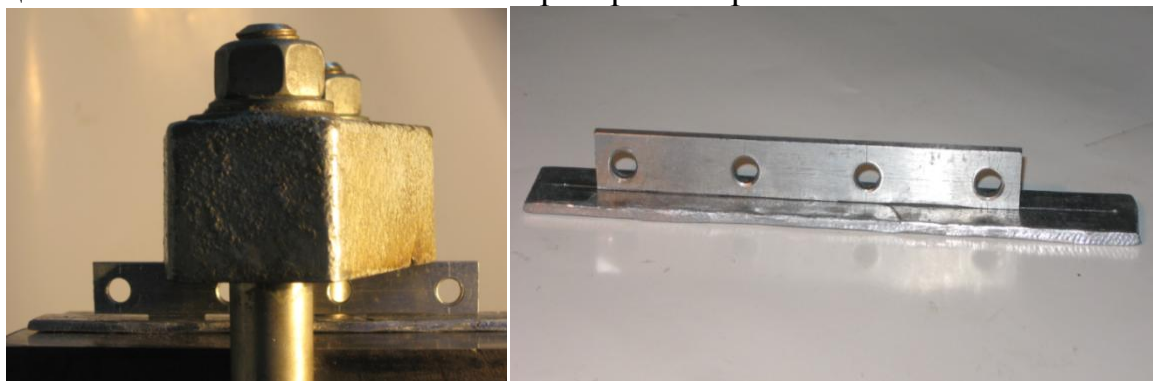


Рисунок 3 - Нанесение дефектов-имитаторов с помощью пресса  
После чего пластины собирались в пакеты со штифтовым соединением.

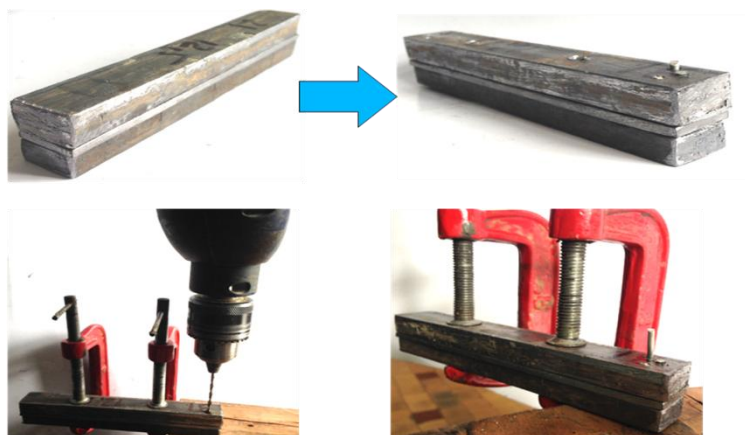


Рисунок 4 - Вид и стадии изготовления слоистых физических моделей со штифтовым соединением

Затем пакеты прокатывали на лабораторном стане 100 и обрабатывали данные об изменении размеров дефектов-имитаторов.

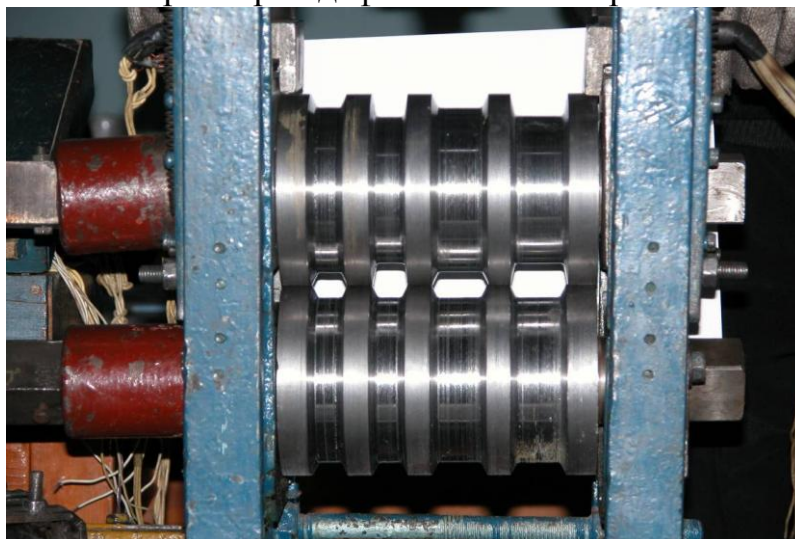


Рисунок 5 - Внешний вид клетки лабораторного стана: моделируемое сечение непрерывнолитой заготовки – 125x125 мм, масштаб моделирования 1:5

Таблица 1 - Анализ полученных результатов

Обозначение слоя	Размеры дефекта - имитатора, мм			
	До прокатки		После прокатки	
	$l_0$	$h_0$	$l_1$	$h_1$
<b>Номер модели 2.1 (прокатка за 1-н проход - <math>\lambda_1 = 1,144</math>)</b>				
Верхняя пластина (1)	153	12,5	175	10,5
Вставка с дефектами-имитаторами (2)		3,2		2,75
Нижняя пластина (3)		9,5		8,05
<b>Номер модели 3.1 (прокатка за 1-н проход - <math>\lambda_1 = 1,144</math>)</b>				
Верхняя пластина	153	12,5	175	10,5
Вставка с дефектами-имитаторами		3,1		2,90
Нижняя пластина		9,5		8,1
<b>Номер модели 2.2 (прокатка за 2-а прохода - <math>\lambda_{1,2} = 1,340</math>)</b>				
Верхняя пластина	153	12,4	205	8,5
Вставка с дефектами-имитаторами		3,0		2,0
Нижняя пластина		9,7		6,2
<b>Номер модели 3.2 (прокатка за 2-а прохода - <math>\lambda_{1,2} = 1,340</math>)</b>				
Верхняя пластина	153	12,5	205	9,3
Вставка с дефектами-имитаторами		3,1		2,4
Нижняя пластина		9,5		7,3
<b>Номер модели 2.3 (прокатка за 3-и прохода - <math>\lambda_{1,3} = 1,562</math>)</b>				
Верхняя пластина	153	9,3	233	6,27
Вставка с дефектами-имитаторами		3,2		2,13
Нижняя пластина		12,5		7,79
<b>Номер модели 3.3 (прокатка за 3-и прохода - <math>\lambda_{1,3} = 1,562</math>)</b>				
Верхняя пластина	153	9,5	239	8,15
Вставка с дефектами-имитаторами		3,2		2
Нижняя пластина		12,6		7,62

#### Литература:

1. Смирнов, Е. Н. Исследование поведения дефектов макроструктуры непрерывнолитой заготовки на физических моделях / Е.Н. Смирнов, И. Н. Галухина, В. А. Скляр, В. А. Белевитин, А.П. Митьев.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПО РАЗНЫМ СХЕМАМ РАСПОЛОЖЕНИЯ УЧАСТА «МЯГКОГО» МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЖАТИЯ

Соболь А. Г., Ручко В.Н.

Донецкий национальный технический университет

На данный момент в современной металлургии для производства сортовой заготовки наибольшее (более 60%) распространение получил метод непрерывной разливки на МНЛЗ. Не смотря на стремительное развитие данной технологии и непрерывное совершенствование оборудования, она является относительно молодой в связи с чем в ее рамках все еще ряд нерешенных или частично решенных проблем. В частности к таким проблемам относится качество сортовой заготовки. Существует несколько классов дефектов: внешние (поверхностные трещины), внутренние (ликвации, пористость) и геометрические (ромбичность).

На сегодняшний день для решения ряда проблем, связанных с дефектами непрерывнолитой сортовой заготовки, используется метод «мягкого» механического обжатия. Суть метода заключается в обжатии непрерывнолитой сортовой заготовки в потоке на небольшую величину (степень деформации менее 1%) на участках правки в двухфазном состоянии (с незакристаллизованной сердцевиной). Для реализации данного метода могут использоваться как тянуще-правильные агрегаты, так и специализированные агрегаты осуществляющие процесс «мягкого» механического обжатия.

Лидерами в сфере производства оборудования для машин непрерывного литья заготовок и сопутствующего оборудования можно выделить такие станы как: Германия («SIMENS-VAI», «SMS-DEMAG»); Италия («DANIELI»); Япония («SUMITOMO»); СНГ (ЗАО «Машиностроительная корпорация «УРАЛМАШ»», ОАО «НКМЗ»). Данные производители являются законодателями мод и определяют направление развития оборудования и технологий, связанных с непрерывной разливкой сортовых заготовок.

Целью данного исследования является моделирование нескольких распространенных схем расположения оборудования, обеспечивающих процесс «мягкого» механического обжатия и определение особенностей деформации на тех или иных участках правки при различных режимах обжатия. Определение целесообразности применения метода «мягкого» механического обжатия исключительно на ТПА. Особенности деформации на агрегатах «мягкого» обжатия при разных режимах деформации (плавном, ступенчатом и др.).

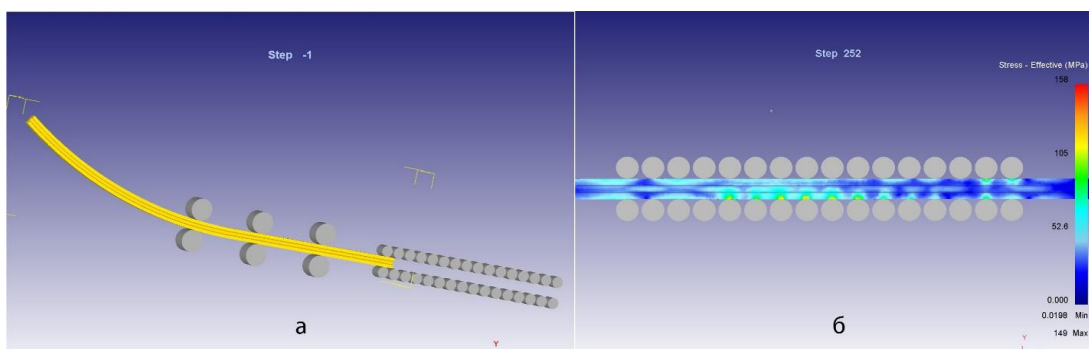
В силу сложившихся тенденций в сфере проектирования и моделирования металлургических процессов, активно применяется компьютерное моделирование, что существенно ускоряет и удешевляет процесс. Для осуществления такого рода моделирования существует ряд прикладных компьютерных программ, использующих метод конечных элементов. К таким

можно отнести: универсальные – ANSYS, ABAQUS; специализированные для ОМД – DEFORM 3D, Q-FORM. Для данного исследования был выбран программный комплекс DEFORM 3D.

В рамках исследования был реализован один из вариантов расположения оборудования правки и изгиба фирмы «SMS Siemag AG» при отсутствии обжатия на ТПА и плавном (равном в каждой паре роликов коэффициентом обжатия) – на участке «мягкого» обжатия.

Геометрия модели была построена при помощи САПР «Компас 3D». В данной прошенной модели присутствуют 6 роликов ТПА диаметром 320 мм и 4 секции по 8 роликов машины реализующей «мягкое» обжатие диаметром 160 мм. Геометрия выбрана в соответствии со схемой агрегатов «SMS Siemag AG».

Заготовка, выбранная для данного моделирования, имеет следующие геометрические параметры: длина, необходимая для объективного расчета – 6000 мм; радиус изгиба заготовки на МНЛЗ перед входом в ТПА – 6000 мм; сечение квадратное с размерами 150×150 мм. Согласно ГОСТу для данного сечение отклонение размеров не должно превышать 2,5 мм. Моделирование проходит при температуре 1150<sup>0</sup>С на поверхности и 1450<sup>0</sup>С в сердцевине.



а – вид модели до расчета; б – напряжение на участке «мягкого» обжатия

Рисунок 1 – Вид модели в начальном этапе и пример расчетных результатов.

В дальнейшем в рамках исследования планируется улучшить детализацию данной модели с целью получения более точных результатов. Также для данного агрегата будет проведено еще ряд расчетов с различными вариантами обжатия (ступенчатое, единичное) и будет проведен аналитическое сравнение этих вариантов для установления наиболее приемлемого в эксплуатации и применении. Затем аналогичное моделирование, расчет и анализ будет проведен еще с некоторым количеством наиболее распространенных вариантов расположения агрегатов на участке изгиба и правки. Для каждого из агрегатов будет отдельно смоделированы случаи обжатия сортовых заготовок других сечений. В конечном итоге будет проведен сравнительный анализ всех агрегатов, соответствующих им вариантов обжатия и всех сечений с целью установления статистических закономерностей процесса разгиба, правки и «мягкого» обжатия для дальнейшего усовершенствования технологии.

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА ДЕФОРМАЦИИ ПРЕССА 50МН НА ИСПРАВЛЕНИЕ АСИММЕТРИИ КОЛЕСНОЙ ЗАГОТОВКИ

Загоруйко Р.Э., Снитко С.А.

Донецкий национальный технический университет

Основой настоящей работы явилась перспективная схема деформации заготовок, предложенная в работе [1]. Данная схема включает совмещенную операцию осадки-разгонки на прессе силой 50МН и последующую формовку на прессе 100МН, при которой имеет место процесс самоцентрировки асимметричной заготовки в верхнем формовочном кольце при его опускании, а также минимизация неравномерности распределения металла колесной заготовки относительно оси штампов.

В данной работе проведен анализ влияния параметров инструмента деформации пресса 50МН на исправление асимметрии колесной заготовки в процессе её формовки в прессе 100МН. Исследование деформационных и силовых параметров заготовок было проведено путем конечно-элементного моделирования процессов штамповки заготовок черновых колес  $\varnothing 957$  мм с плоскоконическим диском на прессах 50 МН и 100 МН в системе DEFORM-3D.

План расчетного эксперимента (Табл. 1), включал изменение двух углов инструмента деформации пресса силой 50МН ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , Рис. 1), оказывающих наиболее существенное влияние на образование асимметрии заготовки после ее осадки-разгонки. На стадии формовки для всех опытов выполняли смещение оси заготовки относительно оси штампов на 5 мм вправо в плоскости рисунка. Таким образом моделировали технологически возможную ошибку работы центрователя на прессе силой 100 МН.

Таблица 1 – План-матрица эксперимента и полученные результаты

№ оп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_1, ^\circ$	17	19	15	17	19	15	17	19	15
$\alpha_2, ^\circ$	23	23	23	25	25	25	21	21	21
$\Delta m_1, кг$	9,69	9,53	9,29	9,59	9,68	9,18	9,77	9,92	9,39
$\Delta m_2, кг$	0,32	1,98	0,54	0,15	1,78	-0,17	1,10	1,89	-0,54

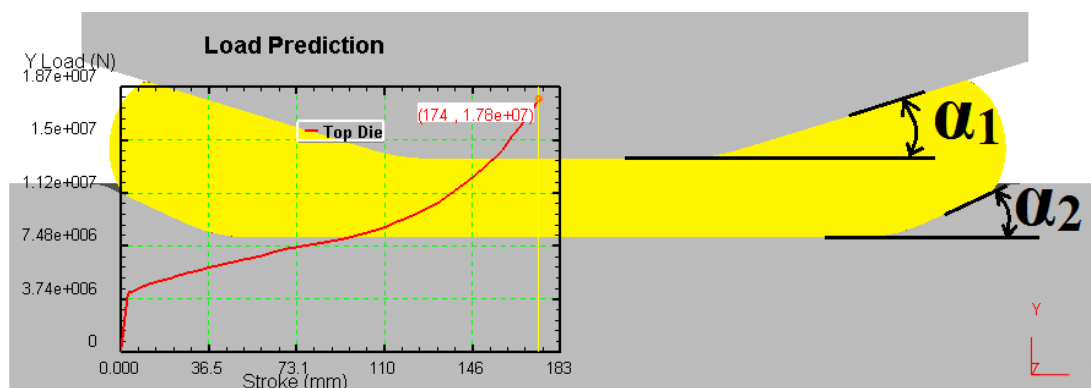


Рис 1 – Конечная стадия осадки-разгонки на прессе 50МН (опыт № 4).

На графиках Рис.1 и Рис.2 показана зависимость силы, приложенной к верхнему инструменту по отношению к его перемещению в процессе формовки при постоянной скорости траверсы 55мм/с.

Величины  $\Delta m_1$  и  $\Delta m_2$  из таблицы 1 показывают посчитанную разницу масс правой и левой частей заготовки относительно центральной оси инструмента на первом и последнем шаге моделирования процесса формовки соответственно.

Полученные результаты позволяют утверждать, что наибольшая асимметрия образовывается в опытах №2, №5 и №8, где толщина периферийной части заготовки после ее осадки-разгонки максимальна при наименьшем ее диаметре. Это обусловлено тем, что пластическая деформация в области диска начинается задолго до образования контакта боковой части заготовки с формовочным кольцом, что уменьшает величину самоцентрировки заготовки в этом кольце.

Наилучшие показатели  $\Delta m_2$  можно наблюдать в опытах №4 и №6. Стоит отметить, что в опыте №6 диаметр заготовки максимальный. Не смотря на то, что это приводит к одному из лучших показателей  $\Delta m_2$ , здесь боковая поверхность заготовки входит в контакт с формовочным кольцом раньше, чем начинается обжатие в зоне будущего диска колесной заготовки, что на практике приведет к образованию плен на боковой поверхности заготовки.

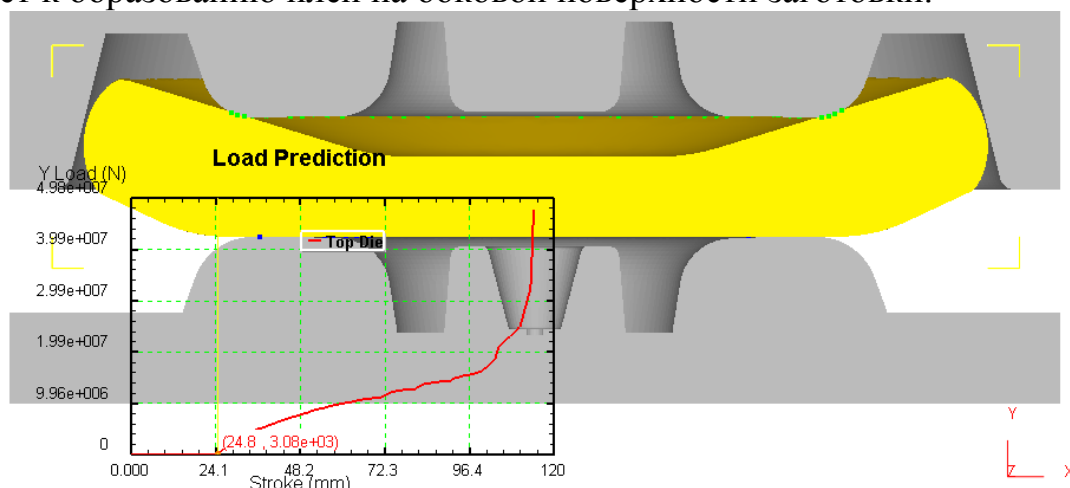


Рис 2 – Стадия контакта заготовки со штампами прессы 100МН в зоне будущего диска колесной заготовки на (опыт № 4).

Таким образом, в ходе исследования были установлены оптимальные параметры инструмента деформации прессы 50МН ( $\alpha_1=17^\circ$  и  $\alpha_2=25^\circ$ ) при которых обжатие металла формовочными штампами в зоне будущего диска колесной заготовки и контакт боковой поверхности заготовки с формовочным кольцом достигаются практически одновременно. Это обеспечивает максимальную величину исправления асимметрии ( $\Delta m_2=0,15\text{кг}$ ) колесной заготовки для прокатки черновых колес  $\phi 957$  мм с плоскоконическим диском.

#### Литература:

1. Снитко С.А. Технологические схемы и механизмы, обеспечивающие повышение точности и стабильности размеров штампованных колесных заготовок / С.А. Снитко // Сталь. – 2013. – №10. – С.72-78.

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМОВКИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 1220-1420 ММ НА ТРЕХВАЛКОВОЙ ЛИСТОГИБОЧНОЙ МАШИНЕ «HAEUSLER» ОАО ХТЗ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВКИ

Коряченко Н.И., Яковченко А.В.  
Донецкий национальный технический университет

Совершенствование технологии формовки трубных заготовок для нефте и газопроводных труб большого диаметра является актуальной научно-технической задачей [1].

Формовка трубной заготовки на листогибочной машине «HAEUSLER» выполняется верхним нажимным и двумя нижними опорными валами. Требуемый диаметр трубной заготовки обычно достигается за 3 - 4 прохода. Края трубы свариваются при помощи электродуговой сварки [2].

Целью работы является усовершенствование технологии получения трубных заготовок за счёт определения рациональных параметров формовки. Расчёты выполнялись на базе специализированной компьютерной программы, созданной для условий современного трубопрокатного производства. Основное окно программы представлено на рисунке 1.

В процессе расчетов использовались следующие формулы. Наружный радиус трубы  $R_{вн}$  определяли в зависимости от ширины листа  $R_{вн} = \frac{L}{2\pi}$ , где  $L$  – ширина листа. Расстояние между нижними опорными валами  $X_{uw}$  рассчитали по формуле  $X_{uw} = 2D_{uw}$ , где  $D_{uw}$  - диаметр опорного вала. Относительное расстояние между нижними опорными валами определяли как отношение  $\overline{X_{uw}} = \frac{X_{uw}}{Da/2}$ , где  $Da$  - наружный диаметр трубы.

Верхняя часть окна программы включает исходную информацию: диаметр трубы; толщину стенки трубы; параметры, характеризующие марку стали; длину и ширину листа.

Диаметр, длину и толщину листа определили в зависимости от параметров готовой трубы. Предел текучести определили в зависимости от марки стали. Ширину листа рассчитали в зависимости от наружного диаметра и толщины трубы. Расстояние между нижними роликами определили в зависимости от диаметра нижних опорных валов; диаметр верхнего вала - в зависимости от толщины стенки трубы.

Нижняя часть окна программы включает результаты расчета. Во первых это величины перемещений верхнего вала в каждом проходе. Причем дается информация как с учетом полного упругого восстановления листа, так и без него. Кроме того здесь показывается ряд давлений и напряжений: давление в цилиндре натяжения, давление в опорном цилиндре и напряжение изгиба на верхнем ролике, которые не должны превышать допустимые значения. В

случае их программного выделения красным цветом требуется в соответствии с используемой методикой расчетов выполнить корректирующие воздействия.

**Calculation for the bending settings**

**Pipe characteristics:**

01	Наружный диаметр	56,00	inch
02	Длина листа	12000,00	mm
03	Толщина листа	26,00	mm
04	Предел текучести	565,00	N/mm <sup>2</sup>
05	E-модуль	210000	N/mm <sup>2</sup>
06	H-модуль	1000	N/mm <sup>2</sup>
07	Ширина листа	4387	mm

**Bottom roller characteristics:**

08	Расстояние между опорными роликами	900	mm
09	Диаметр опорных роликов	500	mm

**Top roller characteristic:**

10	Диаметр вала	780	mm
----	--------------	-----	----

**Bending options:**

11	Количество проходов	3			
12	Распределение деформации между проходами	50,0	35,0	15,0	100%
13	Корректирующий показатель	1,0	1,0	1,0	

**Parameter:**

14a	Величина обжатия без полного упругого восстановления	55,9	95,1	111,8
14	Величина обжатия с полным упругим восстановлением	79,2	115,7	131,7
15	Наружный диаметр без давления на верхний валок	3177	1725	1422
16	Давление в цилиндре натяжения	95	108	114
17	Давление в опорном цилиндре	101	114	120
18	Напряжение изгиба на верхнем ролике	199	226	239

Theoretischer Startwert:  $X_{1,2}$  917,6

Theoretische Zustellung ohne Rückfederung:  $X_{1,2}$  973,5 1012,7 1029,4

Theoretische Zustellung mit Rückfederung:  $X_{1,2}$  996,8 1033,3 1049,3

Рисунок 1. Общий вид рабочего окна программы расчета режимов формовки трубной заготовки для трубы диаметром 1420×25 мм из стали класса прочности Х60

Для трубы диаметром 1420x25мм из стали класса прочности Х60 рациональные параметры формовки (величины перемещений верхнего нажимного вала в каждом проходе) получены следующее: для первого прохода - 79,2 мм; для второго - 115,7 мм; для заключительного третьего прохода - 131,7 мм.

Диаметр заготовки после первого прохода составляет 3177 мм, после второго - 1725 мм, после третьего заключительного прохода получаем диаметр готовой трубы - 1422 мм.

#### Литература:

1. Друян В.М., Гуляев Ю.Г., Чукмасов С.А. Теория и технология трубного производства Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2001. — 544 с
2. Данченко В.Н. и др. Технология трубного производства М.:Интерметинжиниринг, 2002 год, 640 с



**ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ,  
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА  
МЕТАЛЛОВ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**



# ОСОБЕННОСТИ ДИФФУЗИОННОГО РАСПАДА ДЕФОРМИРОВАННОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ В СЫПУЧЕМ ГРАФИТЕ

Ермаченко Д. И., Алимов В.И.

Донецкий национальный технический университет

Стальная проволока является незаменимым материалом в большинстве сфер человеческой деятельности.

Известно, что при охлаждении стали с температуры аустенитизации в сыпучем графите возможны структурно-фазовые превращения, которые позволяют получить необходимую структуру и свойства без применения взрывоопасных и неэкологичных расплавов солей.

Целью данной работы является изучение кинетики распада аустенита деформированной высокоуглеродистой стали при охлаждении от температуры выше  $t_{Ac1}$  в среде порошкообразного графита как экологически чистой и менее дорогостоящей среде по сравнению с расплавами солей.

Материалом для данной работы послужила проволочная заготовка из холоднодеформированной высокоуглеродистой стали с различными степенями обжата вплоть до 75%.

Образцы  $\varnothing$  2,0 мм и длиной 30 мм укладывали в жаропрочные керамические тигли, засыпали древесным углём, который служил в качестве защитной среды от обезуглероживания и окисления поверхности, и загружали в нагревательную электрическую печь МП-2УМ, предварительно нагретую до температуры  $1000 \pm 10^\circ\text{C}$ ; общее время нагрева и выдержки при этой температуре составляло 10 мин для полного завершения перлитно-аустенитного превращения и формирования однофазного аустенитного состояния.

После окончания выдержки образцы по одному во избежание потерь тепла быстро переносили в тигель с серебристым порошкообразным графитом дисперсностью 6-7 мкм; длительность выдержки в нем 0 – 12 с; после этого образцы резко охлаждали в воде.

Шлифы изготавливали по стандартной методике с последующим их травлением в 4%-ом спиртовом растворе азотной кислоты. Микроструктуру образцов изучали на микроскопе МИМ – 7 с последующим фотографированием; измерение микротвёрдости проводили на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 1 Н.

По микроструктурам исследуемых образцов оценивали долю превращённого аустенита по методу секущих (ГОСТ 5639) и строили кинетические кривые превращения переохлаждённого аустенита в продукты распада. Кинетические кривые представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что в проволоке с недеформированным состоянием распад аустенита начался на 4с, а завершился на 11 с. В проволоке с ПХПД 27% распад начался на 7 с и закончился на 12 с. А в проволоке с ПХПД 75% распад аустенита начался на 6 с, а завершился на 12с. Получается, что распад



переохлажденного аустенита проволоки с ПХПД 0% длился 7 с, 27% длился 5 с, а проволоки с ПХПД 75% 6 с.

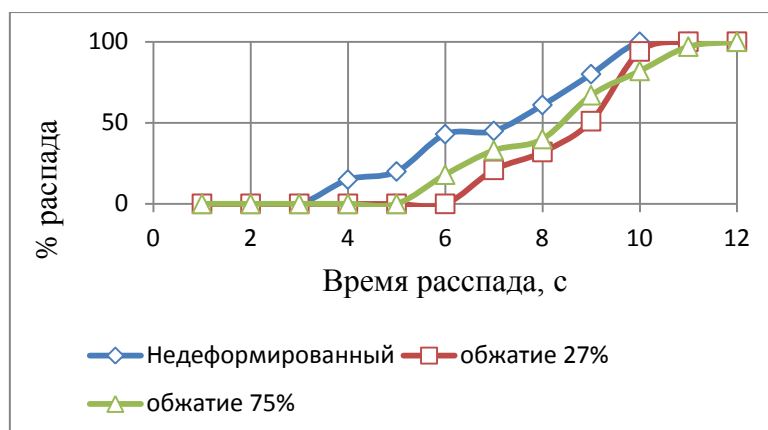


Рисунок 1 - Кинетические кривые распада аустенита при охлаждении образцов проволоочной заготовки со степенями ПХПД: недеформированное состояние, 27, 75 % в порошкообразном графите

Для диагностики микроструктуры стали были проведены замеры микротвердости и построены графики зависимости микротвердости от времени распада (рисунок 2).

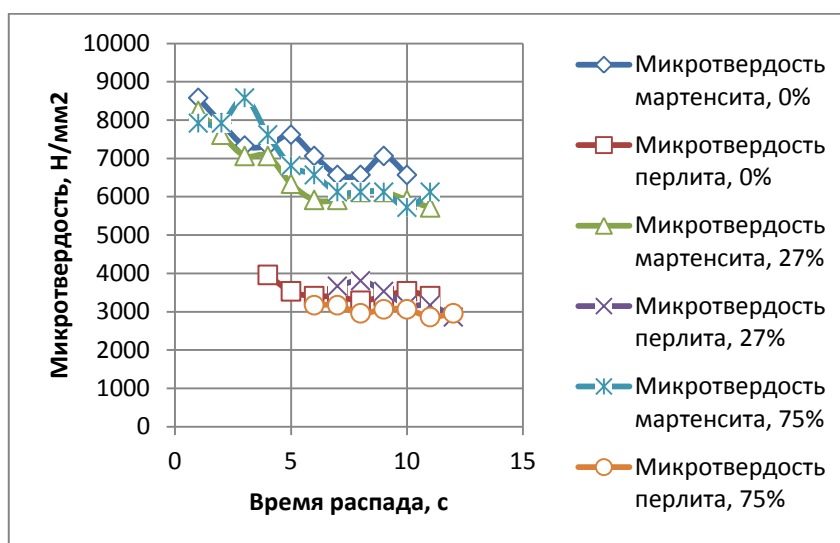


Рисунок 2 – Зависимость микротвердости структурных составляющих от времени выдержки в графите в связи со степенью ПХПД при температуре 1000°C

Таким образом, повышение степени ПХПД приводит к ускорению времени начала распада переохлажденного аустенита в среде порошкообразного графита, но при этом увеличивает длительность этого распада. Ускорение начала распада вероятно связано с холодной деформацией и введенными дефектами кристаллического строения.

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ ХРОМОНИКЕЛЬМАРГАНЦЕВОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Генкузина В.О., Крымов В.Н.

Донецкий национальный технический университет

Аустенитные нержавеющие стали являются высококачественным конструкционным материалом. Они обладают высокими технологическими свойствами - хорошей пластичностью и вязкостью, холодной деформируемостью, свариваемостью, и высокой коррозионной стойкостью.

В данной работе изучалось качество проволоки из стали AISI 201. Химический анализ стали показал, что состав не соответствует марке 201 и характеризуется пониженным содержанием стабилизирующих аустенит элементов (% масс.: 0.12C, 13.7 Cr, 0.45 Ni, 6.7 Mn, 2.1 Cu, 0.165 P). Снижение концентрации никеля привело к тому, что аустенит стал метастабильным и при холодной пластической деформации в стали стало возможным развитие деформационного мартенситного превращения. Кроме этого, при проведении химического анализа в стали было обнаружено повышенное содержание фосфора – 0,165%. В американских стандартах присутствуют нержавеющие стали с высоким содержанием фосфора, но они относятся к аустенитному классу. Фосфор, как известно, заметно повышает прочность, как феррита, так и аустенита [1]. Однако фосфор является причиной охрупчивания стали.

Вероятно, именно из-за повышенного содержания фосфора встречались разные виды разрушения при разных видах холодной деформации. При перетягивании проволоки диаметром 10 мм часто возникала продольная трещина, что приводило к излому проволоки (рис. 1а). При холодной деформации на размер 5,5x5 мм подкат зачастую разрушался при сматывании в мотки (рис. 1б).



Рисунок 1 – Макроструктура изломов проволоки диам. 8,5 мм и поката 5,5x5 мм

Макро- и микроструктурный анализ (рис. 2) показал, что уже при перетягивании с 10 до 8,5 мм в проволоке возникает осевая трещина, которая может выходить на поверхность.

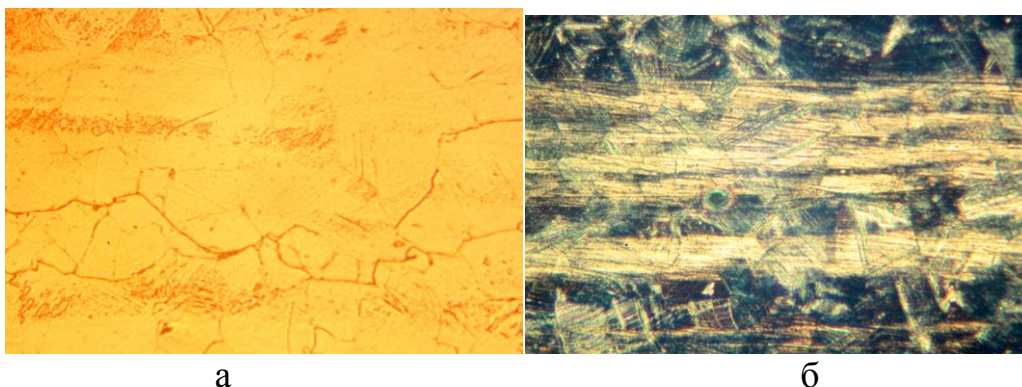


Рисунок 2 – Микроструктура подката после травления растворами пикриновой кислоты (а) и хлорного железа (б), х400

Причем распространение трещины происходит по границам зерен (рис. 2 а). Травление в реактиве (на основе хлорида железа), предназначенном для выявления ликвации фосфора, показало, что осевая зона подката характеризуется его повышенным содержанием. В структуре наблюдается развитая полосчатость, которая отражает неоднородность распределения фосфора. Микротвердость светлых полос составляет  $5092 \text{ Н/мм}^2$ , при микротвердости матрицы  $4230 \text{ Н/мм}^2$ .

Подкат сечением  $5,5 \times 5$  мм имеет довольно высокую прочность, но при этом имеет низкие значения пластичности. Высокая прочность подката является следствием наклепа марганцовистого аустенита и частичного превращения его в мартенсит деформации. Для повышения технологической пластичности стали были выполнены различные виды термической обработки. После проведения закалки в воде с  $1050^\circ\text{C}$  и отжига при  $950^\circ\text{C}$  с охлаждением с печью заметно снижается прочность и повышается пластичность стали (табл. 1). Однако важно отметить, что и после закалки и после отжига сталь переходит в парамагнитное состояние. Особое внимание обращает большая разница в пластичности после закалки и отжига, оцененная в виде относительного удлинения и относительного сужения. По всей вероятности, это связано с неполным превращением  $\alpha$ -фазы при нагреве, а также с выделениями избыточных фаз при охлаждении.

Таблица 1 – Механические свойства стали AISI 201 в различном состоянии

Вид обработки	$\sigma_{\text{в}}, \text{ Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2}, \text{ Н/мм}^2$	$\delta, \%$	$\psi, \%$	HRC
Без обработки (прокат)	1260	1110	0,5	6	40
Отжиг $950^\circ\text{C}$	756	379	58	10	22
Закалка $1050^\circ\text{C}$	698	344	52	24	15

#### Литература:

1. Y. Mandiang; D. Azilion; M. Adj; G. Cizeron. Effect of phosphorus on stability of cold worked structure in 316Ti austenitic stainless steel /Volume 16, Issue 4 (01 April 2000), pp. 399-407/

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТЬЮ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ТИПА X12.

Мороз В.В., Алимов В.И.

Донецкий национальный технический университет

Теплостойкость — способность материалов сохранять жёсткость и другие эксплуатационные свойства при повышенных температурах. Потеря жёсткости вызывается плавлением кристаллических структур, или переход аморфных тел в высокоэластичное состояние.

Целью данной работы является анализ возможности регулировки термической обработки, что бы достичь необходимого уровня свойств и теплостойкости. Установить оптимальные температуры нагрева исследуемой стали.

Эксперименты проводились на стали X12M. Сталь X12M является высокохромистой, легированной, штамповой сталью, полутеплостойкой (400–500°C) с умеренным сопротивлением пластической деформации и с повышенной износостойкостью в основном применяется для изготовления пуансонов для штампов холодной деформации, дыропробивных пуансонов которые должны обладать высокой твердостью, малой способностью к деформации и в то же время хорошей теплостойкостью [1].

Основной легирующий элемент этих сталей – хром ~ 12%. Хром с углеродом в железной матрице образует три карбида:  $Me_3C$ ,  $Me_7C_3$  и  $Me_{23}C_6$ . Твердость карбида растет с увеличением в нем относительного содержания углерода.



Рисунок 1- Структура стали X12M после закалки 950°C.

Таблица 1 – Значение твердости при температуре закалки от 950°C

Номер испытания	Твердость, HRC	Средняя твердость
1	61	60,8
2	60	
3	61,5	

Таблица 2 – Значение твердости при температуре закалки от 950°С и отпуска 300°С.

Номер испытания	Твердость, HRC	Средняя твердость
1	51	52,3
2	53	
3	53	

Если сталь закалить от температур ~ 1000-1065°С, то полученная твердость будет больше, ввиду маленького содержания остаточного аустенита (< 20 %).



а)

б)

Рисунок 3 - Структура стали X12M после закалок: а)1000°С и б)1050°С.

Средняя твердость стали X12M после закалки 1000°С составляет 62,6 HRC, а средняя твердость после закалки от 1050°С составляет 63,3 HRC.

Последующий отпуск при температуре 400°С приводит к понижению твердости до 42,9 – 37,8 HRC соответственно, в результате распада остаточного аустенита.

При закалке стали от температур ~ 1100°С и выше, твердость будет понижается, ввиду большого содержания остаточного аустенита (> 30 %).

Средняя твердость после закалки 1100°С - 47,5 HRC, а после закалки 1100°С и отпуска 400°С твердость понижается еще и составляет - 33,5 HRC.

С повышением температуры закалки с 950 до 1100°С количество избыточных карбидов уменьшается с 9 до 1 %, а концентрация углерода и хрома в растворе возрастает от 0,2 до 9%.

Дальнейшее повышение температуры нагрева приводит к снижению твердости до 47,5 HRC из-за указанного уже увеличения количества остаточного аустенита. Прочность с повышением температуры нагрева более 1000 – 1030°С также снижается вследствие роста зерна.

По результатам исследования установлено, что после закалки от 1050°С получена наибольшая твердость – 63,3 HRC, а наилучшую теплостойкость, обеспечивает – закалка от 1000°С и отпуска 400°С.

Литература:

1 – Геллер Ю. А. инструментальные стали / Ю.А. Геллер. - М.: Металлургия, 1983. – 568 с.

2 – Арзамасов Б. Н. конструкционные материалы / Б.Н. Арзамасов. – М.: Металлургия, 1990. - 687 с.

# РАЗМЕРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

Псёл А. В., Георгиаду М. В.  
Донецкий национальный технический университет

В современных условиях производства большинство изделий повышенной точности выходит из строя в результате износа рабочей поверхности, часто износ имеет незначительную степень, изделие при этом теряет необходимые размеры и его вынуждены снимать с производства. Поэтому исследования, о которых идет речь в статье, актуальны для сегодняшнего дня.

Достичь восстановления изношенных точных металлоизделий можно производя термическое восстановление при температурах ниже температур фазовой перекристаллизации, химико-термическим воздействием при температурах, которые не меняют необходимого уровня свойств восстанавливаемых изделий повышенной точности, и при достаточно большой степени износа, наращиванием необходимого слоя на их поверхности (пат. Украины № 28801) с последующей обработкой предложенными способами или без них [1]. Состав сред для химико-термического восстановления изделий повышенной точности приведен в табл. 1.

Таблица 1 - Состав смесей для размерного восстановления изделий повышенной точности

№ смеси	Компоненты смеси, %							Температура, °С / длительность выдержки, ч	Толщина слоя, мм
	Сернистое железо (FeS)	Графит	Желтая кровяная соль [K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ]	Карбюризатор	Серный колчедан (FeS <sub>2</sub> )	Сажа	Шамот		
1	94	3	3	-	-	-	-	560 – 570 / 6	0,02 - 0,05
2	60	30	10	-	-	-	-	560 – 570 / 6	0,02 - 0,05
3	40	-	24	36	-	-	-	560 – 570 / 6	0,02 - 0,05
4	90	-	10	-	-	-	-	560 – 570 / 6	0,02 - 0,05
5	-	-	40	-	20	30	10	550 – 600 / 4	0,15
6	-	-	55	-	25	-	20	550 – 600 / 3	0,4

Авторами работы (пат. Украины № 61491) получены результаты термического восстановления, позволяющие увеличить срок эксплуатации изделий повышенной точности примерно в 2 раза. Дальнейшее увеличение способности к восстановлению достигали внедрением в поверхностный слой изношенных металлических изделий, фаз с большим удельным объемом (пат.



Украины № 55083), такое восстановление проводили, используя азотирование (табл. 1). Насыщение проводили при низких температурах с предварительным окислением поверхности образцов. При этом использовали накопленные при эксплуатации структурные и деформационные факторы, предварительное окисление способствовало образованию в поверхностных слоях оксида FeO, который играл роль переносчика насыщающих элементов, повышению активности насыщающей смеси, увеличению скорости диффузии между поверхностью и средой [2]. Увеличение рабочих размеров точных металлоизделий возникало вследствие поверхностных явлений при микродеформации кристаллической решетки при химико-термическом восстановлении и при переходе растягивающих деформаций в упругое последствие; во всем объеме изделия, то есть возникало перераспределение напряжений и изменение их знака.

Проведен анализ возможности химико-термического восстановления изделий повышенной точности внедрением в напряженные при эксплуатации поверхностные слои одновременно нитридов, карбидов и сульфидов при проведении сульфоцианирования (табл. 1) [3]. Сера, при внедрении в поверхностные слои образует сернистой железо, которое при температуре термического восстановления может переходит в окислы или взаимодействовать с железом, при этом выделяется сера, имеющая достаточную для проникновения в межкристаллические трещины активность. Авторы [3] отмечают значительное увеличение износостойкости и твердости поверхностных слоев, что приведет к уменьшению степени износа при работе восстановленных деталей повышенной точности.

Таким образом, проведен анализ возможных путей восстановления изношенных изделий путем разных видов химико-термической обработки: азотирования, нитроцементации, сульфоцианирования. Установлено, что температуры нагрева под восстановительную обработку не должны превышать температуры фазовых превращений; при внедрении фаз с большим удельным объемом ожидается большее увеличение размеров.

#### Литература:

1. Alimov V. I. To a question of the restoration of crucial tool and details after the exploitation / V. I. Alimov, M. V. Georgiadou, L. O. Zheltobruh // Сб. Материалов VI Международной конференции "Стратегия качества в промышленности и образовании". Варна, Болгария, 2010. – С. 63 – 66.

2. Алімов В. І. Концептуальна оцінка факторів розмірного термічного відновлення радіальних розмірів стрижневих вісьосиметричних виробів / Алімов В. І., Георгіаду М. В., Белевцов О. Б. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. - № 4 (102). – С. 135 – 144.

3. Валуев А. П. Исследование износостойкости восстановленных и упроченных сульфоцианированием деталей тракторов и сельскохозяйственных машин: Автореферат дис. канд. техн. наук / А. П. Валуев. – Москва, 1964. – 16 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ДЕФЕКТОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ

Семивол М.А., Горбатенко В.П.

Донецкий национальный технический университет

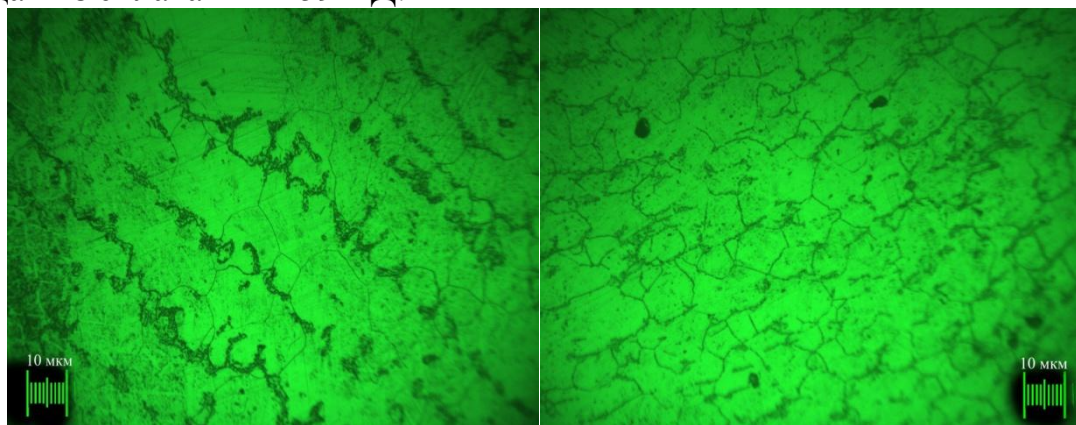
Данные сплавы применяются в авиапромышленности, ядерной промышленности, двигателестроении и т.д., где существуют высокие температуры работы изделий, коррозионно-активные среды и высокие нагрузки. В настоящее время продолжается разработка новых жаропрочных сплавов.

Однако не менее важной проблемой таких сплавов является сложность технологии их производства и обработки. На реальном производстве часто возникает брак готовой продукции и полуфабрикатов. Это может быть связано с несоблюдением технологии, сторонних причин. Выявление различных дефектов в бракованных образцах, их природы может дать полезные рекомендации для технологического процесса производства и обработки жаропрочных никелевых сплавов.

Собственно и была поставлена задача исследовать образцы, вырезанных из забракованных полуфабрикатов, склонных к образованию трещин при горячей пластической деформации, на наличие дефектов структуры.

Для исследования Кулебакский металлургический завод ОАО "РУСПОЛИМЕТ" предоставил образцы из сплавов ВЖ 159 ВД и ЭП 708 ВД.

В начале были созданы микрошлифы на каждом образце по стандартной технологии. Травление всех образцов в 25-% водном растворе йода при  $T = 40-60^{\circ}\text{C}$  в течении 20 минут позволило выявить микроструктуру только на двух образцах из сплава ВЖ 159 ВД.



а)

б)

Рисунок 1 - Микроструктуры образца №1 (а) и образца №2 (б) из сплава ВЖ 159 ВД, x200

На двух фотографиях микроструктур (рисунок 1 а, б) наблюдаются вторичные фазы и интерметаллиды, расположенные «рядами» или полосами.



Однако данные структурные элементы расположены не только по границам зерен, что является положительным фактором.

Далее проводился микроанализ образца (электронные фотографии и локальный микрорентгеноспектральный анализ) из сплава ЭП 708 ВД в условиях Донецкого физико-технического института НАН Украины. Общий вид структуры нетравленного образца из сплава ЭП 708 ВД представлен на рисунке 2.

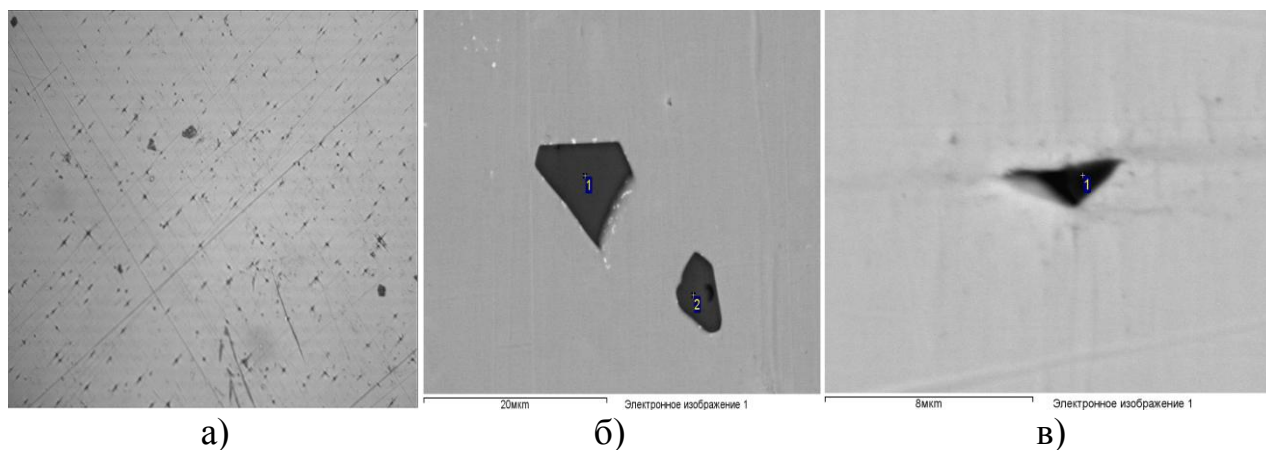


Рисунок 2 - Микроструктура образца из сплава ЭП 708 ВД: а) общий вид структуры,  $\times 100$ ; б) и в) электронные фотографии образца.

На нетравленном образце (рисунок 2, а) в структуре присутствуют дисперсные включения в значительных количествах.

На рисунке 2, б видно наличие крупных частиц нитрида титана (исходя из локального микрорентгеноспектрального анализа) размером от 5 до 20 мкм. Формирование таких частиц является неблагоприятным процессом, так как крупные частицы не являются эффективными барьерами для предотвращения роста зерна и могут служить источниками зарождения трещин.

На рисунке 2, в показано предположительно неметаллическое включение, исходя из локального микрорентгеноспектрального анализа.

В результате проведения работы были исследованы образцы из жаропрочных никелевых сплавов. Было установлено, что в полученных образцах из сплавов ВЖ 159 ВД, ЭП 708 ВД существует наличие различных дефектов микроструктуры. Не смотря на то, что обнаружены разные дефекты в разных исследуемых образцах, их наличие связано с явлением дендритной ликвации. Из-за химической неоднородности могут возникать выделение дисперсных частиц, формирование неоднородного твердого раствора и т.п.

Следовательно, для устранения дефектов необходимо устранение причин возникновения этих дефектов. Для снижения и устранения химической неоднородности необходимо применение некоторых технологических мер на производстве.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Шаповалова И.С., Штыхно А.П.  
Донецкий национальный технический университет

В ряде случаев изготовление изделий целиком из износостойкой легированной стали нерационально в связи с трудностью обработки и высокой стоимостью стали. Поэтому для повышения эксплуатационных показателей и увеличения срока службы изделий из конструкционных сталей используют различные способы поверхностного упрочнения и восстановления исходных размеров, в частности наплавку, нашедшую широкое применение в производстве разнообразных изделий.

Наплавку применяют для восстановления изношенных деталей, а также при изготовлении новых деталей с целью получения поверхностных слоев, обладающих повышенной твердостью, износостойкостью, жаропрочностью, кислотостойкостью, способностью сопротивляться термической усталости и сохранять длительную стойкость в условиях агрессивной среды.

Наплавка позволяет значительно увеличить срок службы изделий и сократить расход дефицитных и дорогостоящих материалов при их изготовлении.

Вследствие наплавки в изделиях возникают остаточные напряжения и деформации, появляются различные дефекты, которые, как правило, проявляются в пористости наплавленного слоя в результате выделения газа из жидкого металла при кристаллизации ванны. Также важной проблемой наплавки является неоднородность структуры поверхностных слоев. Поэтому целесообразность изучения влияния наплавленного металла на структуру и свойства поверхностных слоев изделий из конструкционных сталей является достаточно актуальной.

Исследования проводились на образцах из конструкционных сталей 40X и 30X13, на которые была произведена наплавка (4 слоя). Первый слой осуществлен переходными электродами ЭА 395/9 Ø 4мм, затем наплавка электродами ЦН-6Л (3 слоя).

Шлифы изготавливали по стандартной методике с последующим их травлением в 4%-ом растворе азотной кислоты в этиловом спирте и в смеси концентрированных кислот – соляной HCl и азотной HNO<sub>3</sub>.

Микроструктуру образцов изучали на универсальном оптическом микроскопе NU-2 с последующим фотографированием, измерение твердости проводили на твердомере Роквелла ТК-2М по шкале А при нагрузке 60 кгс. По результатам измерения твердости построили графики распределения твердости.

Микроструктуры наплавленного металла на сталь 40X и 30X13 представлены на рисунке 1.

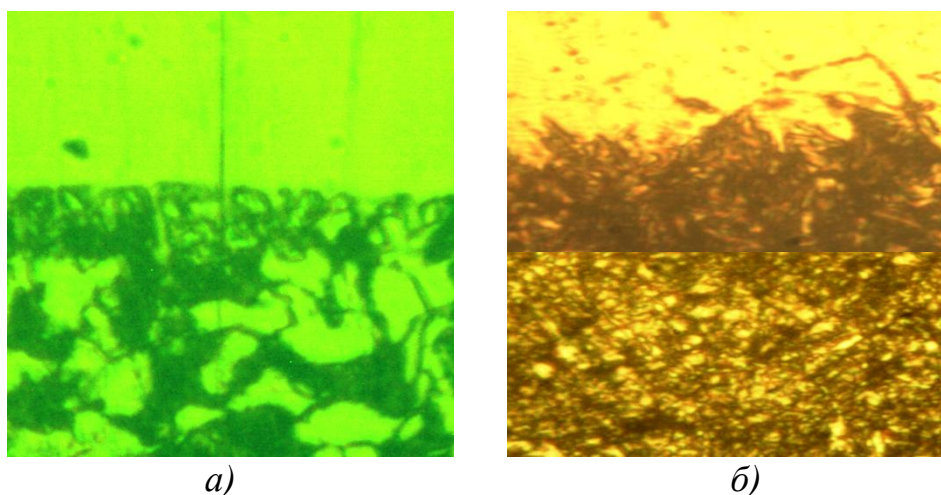


Рисунок 1 - Микроструктуры наплавленного металла на сталь 40X и 30X13, х1000: а) сталь 40X; б) сталь 30X13

Из рисунка 1 (а) видно, что микроструктура стали 40X состоит перлита (~85%) и феррита (~15%), на микроструктуре наблюдается переходная зона.

Из рисунка 1 (б) видно, что сталь 30X13 состоит из карбидов хрома, на микроструктуре также наблюдается переходная зона.

Графики распределения твердости сталей 40X и 30X13 после осуществления наплавки представлены на рисунке 2.

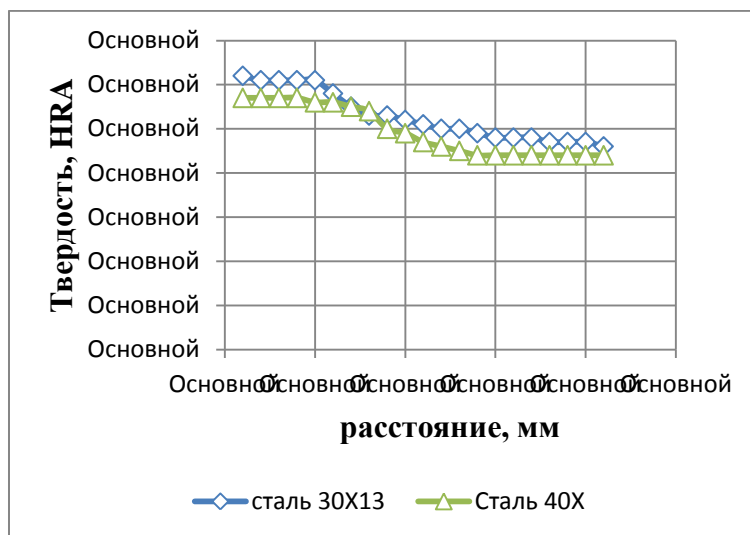


Рисунок 2 – Графики распределения твердости сталей 40X и 30X13

Из рисунка 2 видно, что наплавленный слой характеризуется максимальными значениями твердости для всех сталей. В переходной зоне наблюдается снижение твердости, а сталь на которую производилась наплавка имеет минимальные значения твердости в зависимости от ее химического состава.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Штыхно Т.А., Егоров Н.Т.

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время металлопластиковые конструкции становятся очень актуальными в быту и промышленности. Благодаря своим свойствам, а именно низкой себестоимости, коррозионной стойкости, простоте монтажа, металлопластиковые трубы имеют наибольший спрос и используются во многих системах водоснабжения, отопления, обогрева, полива.

Актуальность работы заключается в поиске мер по повышению срока эксплуатации металлопластиковых труб для систем тепло- водоснабжения с использованием различных моющих средств.

Целью работы является изучение влияния агрессивных сред, а именно моющих средств различного состава, используемых в быту, на коррозионную стойкость металлопластиковых труб и повышения их работоспособности благодаря использованию менее агрессивных сред.

Во время выполнения работы были поставлены следующие задачи:

- 1) Экспериментально выяснить возможность коррозионного разрушения металлопластиковых труб моющими средствами различного состава;
- 2) Определить наиболее агрессивное моющее средство;
- 3) Представить сравнительную характеристику взаимодействия металлопластиковых и полиэтиленовых труб с моющими средствами.

Исследования проводились на образцах металлопластиковых труб марки stabi ПН-20 для тепло- водоснабжения. При выполнении работы были использованы такие моющие средства:

«Cillit», который состоит из соляной кислоты, неионных поверхностно-активных веществ, красителей и ароматизаторов.

«Pursue», в состав которого входят такие вещества как Органическая кислота, до 5% неионогенных поверхностно-активных веществ, поликарбонат-боксилат, ароматизатор.

«Крот», основой которого является гидроксид натрия (NaOH), вода.

«Мистер Мускул», который состоит из 5% амфотерных поверхностно-активных веществ, мыла и реагента, отбеливателя на основе хлора.

Оборудование, которым мы пользовались во время работы является штангенциркуль, микрометр, лабораторные электронные весы. Для оценки коррозионных потерь использовали отрицательный показатель изменения массы ( $K_m$ ). Исследования проводились в условиях лаборатории коррозионных исследований Донецкого национального технического университета.

Все образцы перед испытанием зачищали, измеряли и обезжиривали в метиловом спирте, далее выдерживали в выше приведенных моющих средствах в течение 48 часов. После выдержки провели повторное взвешивания и оценили

изменение массы. Исходя из полученных результатов, рассчитали показатель изменения массы. При эксплуатации металлопластиковых труб слой алюминия в трубах обычно не контактирует с агрессивными средами, поэтому для защиты алюминиевого слоя от контакта с моющими средствами решили покрыть поверхность части образцов по сечению клеем «Момент».

Для обработки полученных результатов использовали программы Table Curve и Microsoft Excel.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица - Показатель изменения массы образцов труб марки stabі ПН-20 после выдержки в различных моющих средствах

Условный № образца	Виды моющих средств	$K_m^-$ , г/м <sup>2</sup> час, ( $K_m^+$ )	
		без защиты слоя алюминия	с защитой слоя алюминия
1	«Крот»	2,7183	0,1602
2	«Cillit»	1,10114	0,1992
3	«Мистер Мускул»	0,366	0,1541
4	«Pursue»	0,0064	(0,0073)

После испытания изменился внешний вид образцов - невооруженным глазом было видно, что слой алюминия в некоторых местах разрушается. В случае взаимодействия образца металлопластиковой трубы с моющим средством «Крот» слой алюминия в некоторых местах был разрушен насквозь. При изолировании алюминиевого слоя самая коррозия проходила в моющем средстве «Cillit». Наименьший показатель изменения массы при взаимодействии алюминиевого слоя металлопластиковых труб с моющим средством «Pursue», потому что это средство изготовлено на основе органической кислоты.

Таким образом было установлено, что:

- металлопластиковые трубы по-разному ведут себя в агрессивных средах, а именно - могут подвергаться коррозионному разрушению;
- при повреждении поверхностного слоя пластика при эксплуатации, возможна потеря прочности труб за счет контакта алюминия с агрессивными средами, возможно его значительное разрушение, а именно – расслоение и коробление;
- использование металлопластиковых труб позволит при минимальных энергозатрат и затратах природных ресурсов продлить срок эксплуатации коммуникаций за счет использования менее агрессивных моющих средств в хозяйстве.

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛАТУНИ МАРКИ ЛС59-1

Супрун Е.В., Горбатенко В.П.

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время роль сплавов на основе цветных металлов возрастает с каждым годом. Кроме металлургии, машиностроения, судостроения и других давно сложившихся областей техники металлические материалы этой группы применяют в приборостроении, электронной, ядерной, криогенной технике, радиотехнике, авиации, космонавтике, медицине.

Латуни являются наиболее дешевыми из всех сплавов на медной основе. Достоинства латуни способствуют стабильному планомерному росту потребления ее во всех отраслях промышленности. Этот металл востребован практически везде – от производства дверных ручек и часовых шестерёнок до изготовления самых сложных теплообменников в энергетике.

Самыми распространенными являются свинцовые латуни. Их главное свойство – отличная обрабатываемость резанием. Также практически все латуни являются хорошим конструкционным материалом при низких температурах.

Вследствие термической обработки повышается предел прочности, предел текучести и твердости латуни более, чем на 30%, в связи с чем изучение возможности упрочнения двойных латуней представляет практический интерес.

В данной работе было исследовано влияние температуры нагрева на прочностные свойства латуни. Для проведения исследования были взяты образцы, вырезанные из горячекатаного шестигранного прутка (ЛС59-1).

Образцы, размерами 10x10мм, укладывались на поддоны и загружались в нагревательную камерную печь СНОЛ 1,6.2,5.1/11, предварительно нагретую до температуры 500 – 520 °С, 650 – 670 °С, 800 – 820 °С. Выдержка при этих температурах составляла 20 минут. Охлаждение проводили с печью, на воздухе, а также в воде с целью ускорения охлаждения и лучшего отделения окалины.

На отобранных образцах проводили микроструктурный анализ, измеряли твердость.

Подготовку поверхности микрошлифов осуществляли традиционными методами. Образцы были отшлифованы при помощи наждачной бумаги и отполированы на полировальной круге. Для выявления структуры отшлифованные и отполированные образцы подвергались травлению раствором азотной кислоты  $\text{HNO}_3$  в воде в соотношении компонентов 1:1 в течении 1 мин 40 сек. Микроструктуру исследовали при помощи светового горизонтального металлографического микроскопа «Neophot – 21» при увеличениях x200, 500, 1000.

На рисунке 1 представлены микроструктуры образцов в исходном состоянии, а также после нагрева до 500,650 и 800 °С (охлаждение на воздухе, x1000).

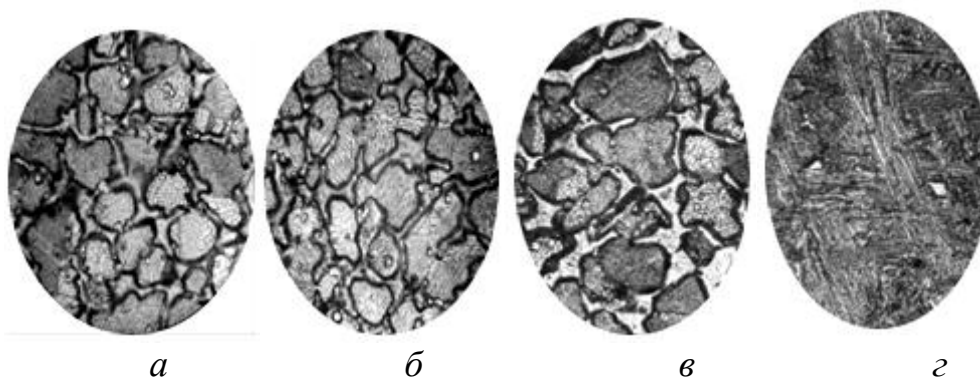


Рисунок 1- Микроструктура латуни ЛС 59-1: а – в исходном состоянии при увеличении x1000; б - после нагрева до 500 °С с охлаждением на воздухе при увеличении x1000 , в - после нагрева до 650 °С с охлаждением на воздухе при увеличении x1000 , г - - после нагрева до 800 °С с охлаждением на воздухе при увеличении x1000

Твердость определяли по методу Роквелла (твердомер ТК-2М) в соответствии с ГОСТ 9013 по шкале В (HRB) вдавливанием стандартного стального шарика. В таблице 1 представлены значения твердости в зависимости от среды охлаждения и температуры нагрева.

Таблица 1 – Твердость образцов (HRB) в зависимости от среды охлаждения и температуры нагрева

Температура нагрева, °С	Среда охлаждения		
	вода	воздух	печь
500-520	61	55	58
650-670	59	54	-
800-820	50	43	33,5

Примечание: твердость исходного образца 62 HRB.

Из таблицы видно, что чем больше охлаждающая способность среды, тем большей твердостью обладают образцы. Это связано с тем, что при быстром охлаждении возрастает количество  $\beta'$ -фазы, что повышает твердость латуни и в некоторых случаях улучшает обработку резанием. При медленном же охлаждении в структуре проявляется больше пластичной  $\alpha$ -фазы. С повышением температуры обработки твердость латуни снижается .

Практическое использование латунных изделий редко осуществляется в режиме высоких температур, так как этот сплав при продолжительном термическом воздействии, особенно при наличии горячего пара, теряет свою прочность и вязкость, начиная деформироваться, что затрудняет дальнейшую эксплуатацию.

# ВЛИЯНИЕ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО ОТЖИГА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ИГОЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

Зозуля А.П., Алимов В.И.

Донецкий национальный технический университет

Широкое распространение в повседневной жизни и на производстве получили иглы различного назначения. Материалом, который служит для производства игольной проволоки, является высокоуглеродистая сталь – типа У7А-У10А. Ассортимент игольной продукции может насчитывать несколько тысяч различных наименований игл различной толщины, формы, острия и покрытия поверхности. Наибольший интерес для производителей представляют машинные иглы, которые являются важной частью швейных машин. Машинная игла имеет более сложную конструкцию по сравнению с обычной бытовой иглой. На лезвии такой иглы профрезерованы длинная и короткая канавки (желобки) и имеется ушко, в которое заправляется нитка во время работы.

В скоростных машинах во время прокалывания ткани иглой за счет сил трения игла нагревается до 350 – 400 °С с выделением большого количества тепла. В процессе скоростного шитья игла нагревается выше температуры плавления химических волокон, поэтому при соприкосновении с нагретой иглой эти волокна расплавляются и забивают ушко и длинный желобок иглы. Для снижения температуры нагрева иглы применяют: редуцирование лезвия, изменение геометрии поперечного сечения иглы, охлаждение воздухом или воздушно-водяной смесью [1]; выполняют покрытия игл из нитрида титана, фосфор + тефлон, фосфатные смолы, хромовое, сочетание титанового или керамического с карбоновым [2].

Целью данной работы являлось изучение графитизации игольной проволоки с использованием образующегося графита в качестве смазочного материала.

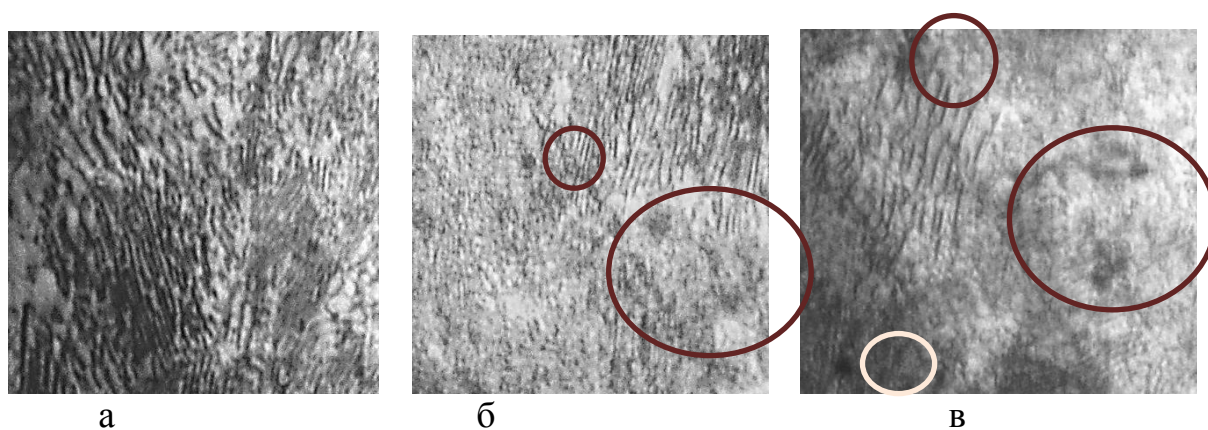
Для исследования отбирали образцы проволоки из эвтектоидной стали с содержанием углерода 0,83 %. Исследуемые образцы, недеформированные и деформированные на степень деформации 27 и 75 %, подвергали графитизирующему отжигу.

Первая стадия граф. отжига была проведена при  $T_I=750-760^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_I=5\text{ч}$ ; вторая стадия состояла из замедленного охлаждения ( $V_{\text{охл}}=1^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ) до температуры 690 – 700 °С; параметры третьей стадии –  $T_{III}=690 - 700^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{III}=2\text{ч}$ . Образцы после термообработки монтировали в шлифы по стандартной технологии. Шлифы травили в 6%-ом растворе йода в спирте.

Микроструктуру образцов изучали на микроскопе МИМ-7. Как видно из фотографий микроструктур на образцах подвергшихся предварительной деформации произошел процесс образования графитных включений. Графитные включения имеют шаровидную форму (рис. 1).

На образце без предварительной холодной деформации графит не обнаружен.





а

б

в

Рисунок 1 – Микроструктура образцов (включения графита обведены) со степенями обжата, х1350:

а) не деформированный; б) 27%; в) 75%

Для изучения влияния графитных включений на коэффициент истирания проводили испытания на износ на образцах без термической обработки и графитизирующего отжига. Полученные данные по испытанию на износ показывают, что при степени деформации образцов 27% имеем улучшение коэффициента истирания на образцах после графитизирующего отжига. Образцы со степенью деформации 75% после графитизирующего отжига имеют показатели хуже, чем данные полученные на образцах со степенью деформации 27%.

Таким образом, проведенные исследования в области улучшения качества готовой продукции из игольной проволоки показывают, что использование объемного графитизирующего отжига для понижения адгезии иглы со сшиваемым материалом, дает неоднозначные результаты и требует дальнейшего, более глубоко, изучения в этой сфере.

#### Литература

1. Оборудование швейного производства : справочник / Н.М Вальщиков, А.И. Шарапин, И.А Идиатулин, Ю.Н. Вальщиков. – М.: Легкая индустрия, 1977. – 520 с.
2. Triumph. Иглы с керамическим покрытием [Электронный ресурс] / Веллтекс-Украина. Все для швейного производства. – Режим доступа : <http://welltex.ua/page/igly-s-keramicheskim-pokrytiem/> - Загл. с экрана.

# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПРОВОЛОК

Магомедова М.А., Прошкин В.Н.

Пензенский государственный технологический университет

В магнитоотрицательных преобразователях параметров движений (МППД) определяющим конструктивным элементом является цилиндрический акустический волновод (АВ), который будучи основным преобразующим элементом, обуславливает общую надежность и точность магнитоотрицательных приборов [1]. Для изготовления АВ используют прецизионные ферромагнитные сплавы со специальными физико-механическими свойствами. При изготовлении холоднотянутых ферромагнитных проволок (ФМП) методом волочения создают по всей ее длине остаточные внутренние линейные и крутильные механические напряжения. Применение такой проволоки в МППД приведет к искажению информационных сигналов и формированию «паразитных» зон.

Существует множество способов уменьшения остаточных внутренних напряжений в ФМП, например, путем ее термообработки и растягивающей нагрузки [2] или применения растягивающих и скручивающих устройств на ФМП с последующей ее механической фиксацией в измерительном преобразователе [3]. Первая технология устраняет только линейную составляющую остаточных напряжений, а вторая частично компенсирует линейные и радиальные остаточные напряжения.

Для получения высоких и стабильных магнитоупругих характеристик по всей длине ФМП нами разработана технология изготовления АВ (рисунок 1), а на рисунке 2 показаны временные диаграммы ее работы. Физическая сущность представленной технологии заключается в разделении процесса нагрева и контроля на определенные временные промежутки, при этом, практически не меняя ее тепловых режимов.

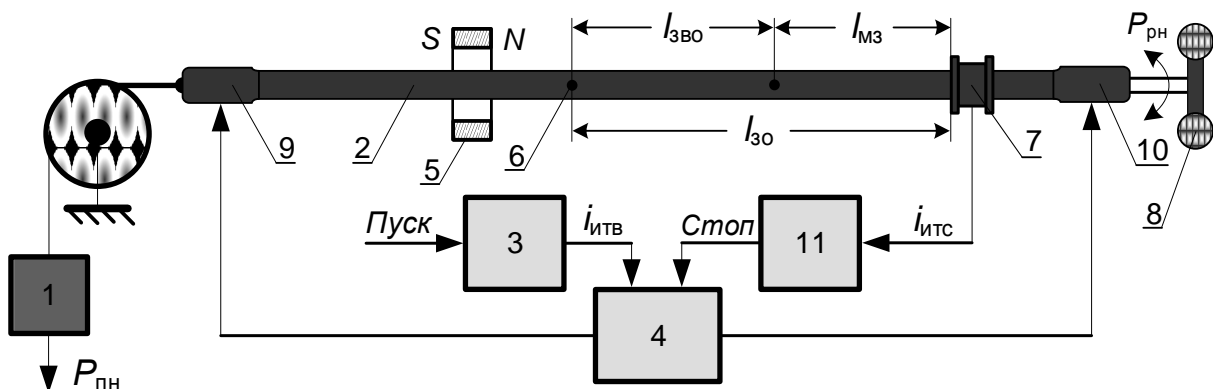


Рисунок 1 – Установка для термомеханической обработке ФМП

Перед началом работы адаптером 1 устанавливают необходимое растягивающее усилие  $P_{пн}$  на проволоку 2. По команде «Пуск» с формирователя

3 импульсов тока возбуждения магнитоакустических волн (МАВ) и через генератор 4 тока проводят предварительную акустическую диагностику ФМП.

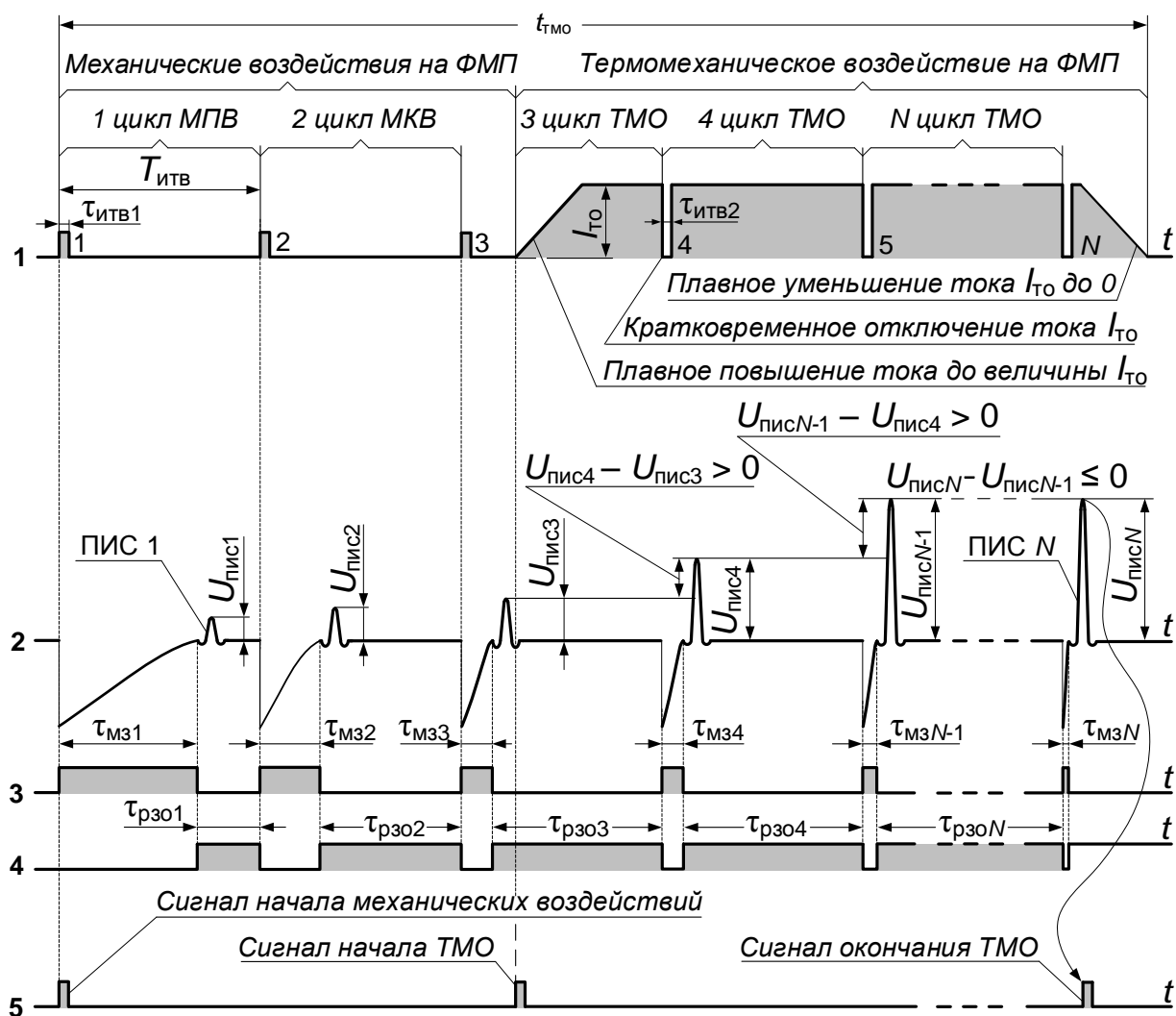


Рисунок 2 – Временные диаграммы термомеханической обработки ФМП:  $t_{\text{ТМО}}$  – общее время термомеханической обработки;  $T_{\text{ИТВ}}$  – цикл импульсов тока возбуждения;  $\tau_{\text{ИТВ1}}$  – длительность импульсов тока возбуждения в холодной проволоке;  $\tau_{\text{ИТВ2}}$  – длительность импульсов тока возбуждения в нагретой проволоке;  $\tau_{\text{МЗ1}} \dots \tau_{\text{МЗN}}$  – длительности «мертвых» зон;  $\tau_{\text{рзо1}} \dots \tau_{\text{рзоN}}$  – длительности рабочих зон обзора;  $I_{\text{ТО}}$  – ток термообработки;  $U_{\text{ПИС1}} \dots U_{\text{ПИСN}}$  – амплитуда полезных измерительных сигналов

Постоянный магнит 5 помещают в начальную точку 6 зоны возможного обнаружения  $l_{\text{збо}}$  полезного измерительного сигнала (ПИС) с акустоэлектрического преобразователя (ПАЭ) 7. Адаптером 8 создают радиальное механическое напряжение на проволоку 2 величиной  $P_{\text{рн}}$ , при этом, одновременно смещают магнит 5 в сторону ПАЭ 7 до значения, при котором зона возможного обнаружения  $l_{\text{збо}}$  ПИС имеет наименьшую длину. Подключают генератор 4 тока к ФМП 2 и проводят ее температурную обработку. Величина тока выбирается исходя из габаритных размеров образца, его химического состава и априорных знаний о физических процессах, протекающих при нагреве.

За короткие промежутки времени, периодически отключают генератор 4 тока от проволоки 2. В результате, в области воздействия на проволоку 2 поля постоянного магнита 5 возникают акустические волны, которые достигают преобразователя 7 и наводят в нем импульсы тока считывания и далее поглощаются демпферами 9 и 10.

На первом цикле обработки, блоком 11 управления и контроля, после кратковременного выключения тока  $i_{то}$  проводят измерение и фиксацию начальных параметров ПИС. На втором и последующих циклах, с интервалами времени  $T_{итв}$ , ведется сравнение принимаемых ПИС с предшествующими сигналами. Такой контроль продолжается до тех пор, пока амплитуда ПИС не достигнет предельного конечного значения, после чего блок 11 формирует команду «Стоп» на прекращение термомеханической обработки ФМП.

Термомеханическая обработка проводилась нами для холоднотянутых проволок диаметром 1.0 мм из сплавов 42НХТЮ, 44НХТЮ, 44НХМТ, 44Н5ХМТ, 49К2Ф и 52К13Ф. Представленная технология термомеханической обработки ФМП позволяет получить стабильные во времени и по всей ее длине магнитоупругие свойства, а также добиться по сравнению с известными технологиями значительно меньших остаточных внутренних механических напряжений и, как следствие, снижения «паразитных» зон в измерительном преобразователе с 40 мм до 26 мм, увеличения рабочей зоны обзора в измерительном преобразователе на 14 мм. Длительность зон «естественного» затухания для обработанных проволок увеличился приблизительно на 30 % и составил: 49К2Ф – 2300 мм; 42НХТЮ, 44НХТЮ, 44Н5ХМТ, 44НХМТ – 20000 мм; 52К13Ф – 62000 мм.

#### Литература

1. Артемьев Э. А., Прошкин В. Н. Материалы для чувствительных элементов магнестрикционных преобразователей параметров движения // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – Т. 2 – С. 258–258.

2. А.с. 930438 СССР. МКИ: Н01L41/22. Способ определения оптимального режима термообработки звукопроводов магнитоакустических устройств /В.Б. Есиков и др.// Опубл. 23.05.82. – Бюл. №19.

3. Прошкин В.Н., Прошкина Л.А. Способ термомеханической обработки ферромагнитных проволок для акустических волноводов //Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. – Т. 2 – С. 180-181.

# КЛАСТЕРНО-КОАГУЛЯЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СПЛАВОВ И ПУТИ ИХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Марченкова Ю.А., Соболь О.В.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

В данной работе предлагается для обсуждения кластерно-коагуляционный механизм кристаллизации сплавов в бинарной системе  $A-B$  эвтектического типа. Рассмотрим термограммы компонента  $B$  на линии охлаждения с кристаллизацией равновесного типа  $KPK$  (кривая I) и неравновесно-взрывного типа  $HPBK$  на начальном этапе затвердевания (кривая II).

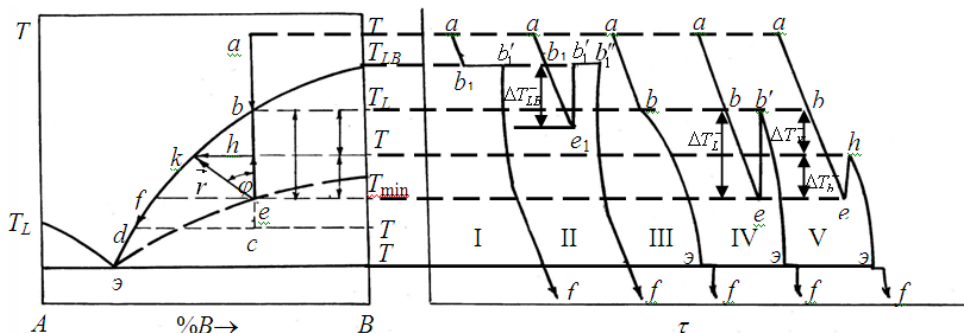


Рисунок 1 - Справа – термограммы охлаждения простых веществ (I-II) и сплавов (III-IV) с различными видами кристаллизации: равновесной ( $PK$ ) – кривые I, III и неравновесно-взрывной ( $HPBK$ ) – II, IV, V. Слева – диаграмма состояния.

При  $KPK$  компонента  $B$  кривая охлаждения жидкой фазы из точки  $a$  до точки  $f$  идет по пути  $a \rightarrow b_1 \rightarrow b_1' \rightarrow f$ , а кристаллизация происходит за время  $\tau'$  при температуре  $T_{LB}$ , а при  $HPBK$  – по пути  $ab_1e_1b_1''f$ . Вид кривой I при  $KPK$  наблюдается при незначительном предварительном прогреве расплава, когда в нем сохраняются кристаллоподобные фрагменты. В результате охлаждения уже при температуре  $T_{LB}$  (в точке  $b_1$ ) начинается равновесная кристаллизация как бы на собственных затравках и заканчивается в точке  $b_1'$  при той же температуре. При значительных прогревах расплав полностью утрачивает наследственную структуру. Поэтому при охлаждении, например, из точки  $a$  (кривая II) термограмма охлаждения проходит через точки  $a \rightarrow e_1 \rightarrow b_1' \rightarrow b_1'' \rightarrow f$ . Это означает, что на начальном этапе за инкубационный период  $\tau_1$  идет процесс накопления в переохлажденном расплаве кластеров или зародышей. Если в некотором объеме расплава  $V_i$  массой  $m_i$  образуется критическая концентрация  $\xi_s$  подобных структурных единиц, то происходит их быстрая коагуляция в этом объеме за время  $\tau_2$ . В результате выделения теплоты коагуляции  $Q_1 = \Delta H_L \cdot m$  все вещество массой  $m$  прогревается от  $T_{min}$  до температуры плавления  $T_L$ , т.е. на величину переохлаждения

$\Delta T_L = T_L - T_{\min} : Q_2 = c_L m \Delta T_L^-$ . Из теплового баланса  $Q_1 \approx Q_2$  можно найти критическую концентрацию зародышей на момент их коагуляции при температуре  $T_{\min}$   $\xi_S = m_i/m = c_L \Delta T_L^- / \Delta H_L$ . По времени  $\tau_1$  и времени  $\tau$  полного затвердевания всего объёма можно вычислить относительную максимальную концентрацию зародышей при температуре  $T_{\min}$  во всем теле  $\xi_S^{\max} = \tau_1/\tau$ . Выделение теплоты  $Q_1$  коагуляции  $V_i$  может привести при прогревании всего объёма расплава, в том числе и объёма  $V_i$ , не только к его разогреву, но и к частичному плавлению уже «схватившейся» твёрдой части образца, если температура поднимется точно до  $T_L$ . Остатки кристаллоподобных кластеров будут способствовать на линии  $b'b''$  дальнейшей равновесной кристаллизации за время  $\tau_3$  подобно собственным затравкам. Эксперименты показывают, что общее время  $\tau'$  при  $PK$  всегда меньше времени общего процесса затвердевания  $\tau'' = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$  и достаточно близко ко времени  $\tau_3$  ( $\tau' \leq \tau_3$ ). Рассмотрим пути кристаллизации для бинарных сплавов  $A-B$  в заэвтектической области (рис. 1 слева). Кривая охлаждения III от точки  $a$  до точки  $f$  при  $PK$  идет по линии  $ab\epsilon f$ . В точке  $b$  при температуре  $T_L$  начинают выпадать кристаллы вещества  $B$ , а в точке  $\epsilon$  при температуре солидуса  $T_3$  заканчивается процесс затвердевания. На рис. 1 (слева) путь равновесной кристаллизации при охлаждении расплава из точки  $a$  до точки, например  $c$ , имеет схему  $a \rightarrow b \rightarrow d$ . В литературе практически не рассмотрены пути кристаллизации в случае затвердевания из метастабильной области с переохлаждением  $\Delta T_L^-$  относительно температуры ликвидуса  $T_L$  ( $\Delta T_L^- = T_L - T_{\min}$ ). Кривые охлаждения IV и V на рис. 1 характеризуют неравновесный тип кристаллизации на начальном этапе затвердевания. В идеальном случае  $HPBK$  для сплава, охлаждаемого из точки  $a$  до точки  $f$ , при начале кристаллизации в точке  $e$ , температура скачком поднимается от  $T_{\min}$  до температуры ликвидуса  $T_L$  в точке  $b'$ , затем начинается массовое затвердевание, заканчивающееся при температуре  $T_3$ . Путь кристаллизации в случае IV на диаграмме при охлаждении расплава из точки  $a$  до, например точки  $c$ , имеет вид  $aebd$ . Концентрация вещества  $A$  в точке  $e$  в метастабильной области пересыщена. При взрывной кристаллизации температура поднимается от  $T_{\min}$  до  $T_L$ , т.е. из точки  $e$  до  $b$ . Пересыщение на участке  $ef$  при этом снимается, а путь взрывной кристаллизации на этом этапе идет по линии  $f \rightarrow b$  вверх. Выделившаяся теплота коагуляции может частично расплавить зародыши, и в точке  $b$  расплав может перейти в равновесное состояние, откуда начинается массовое затвердевание. Общий путь кристаллизации для примера IV при охлаждении расплава из точки  $a$  до точки  $c$  будет иметь вид  $a \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow b \rightarrow d$ , либо  $a \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow d$ .

# ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

Павлов В.А., Александров В.Д.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Диаграммы состояния строят либо по экспериментальным точкам на линиях ликвидуса и солидуса, либо методами геометрической термодинамики путем анализа концентрационной и температурной зависимости энергии Гиббса  $G = f(X, T)$  для каждой из фаз. Эта зависимость для непрерывного ряда твёрдых растворов замещения (ТРЗ) в двойной системе  $A-B$  имеет вид [1]

$$G = G_0 + Nk_B T [X \ln X + (1 - X) \ln(1 - X)], \quad (1)$$

где  $X$  – доля молекул второго компонента, т.е. молекул  $B$  (далее по тексту верхний индекс для упрощения опущен и используется только обозначение доли  $X$ );  $N$  – общее число молекул;  $k_B$  – постоянная Больцмана.

Величина  $G_0$  зависит от типа взаимодействия молекул  $A$  и  $B$  ( $A-A$ ,  $A-B$ ,  $B-B$ ) и является функцией температуры, не влияющей на общий характер зависимости  $G(X, T)$ . При  $X = 0$   $G_0 = G_0^A$ , а при  $X = 1$   $G_0 = G_0^B$  – это величины энергии Гиббса чистых компонентов  $A$  и  $B$ . Основной характер функции  $G(X, T)$  как для жидкого, так и для твёрдого растворов определяется вторым слагаемым в уравнении (3.6.1). Для жидкой области  $G(X, T) = G_L(X, T)$ ,  $G_0 = G_{0L}$ , а для твёрдой фазы  $G(X, T) = G_S(X, T)$ ,  $G_0 = G_{0S}$ .

Зависимости  $G_L(X, T)$  для жидкой и  $G_S(X, T)$  для твёрдой фаз в соответствии с уравнением (1) имеют вид, представленный на рис. 1.

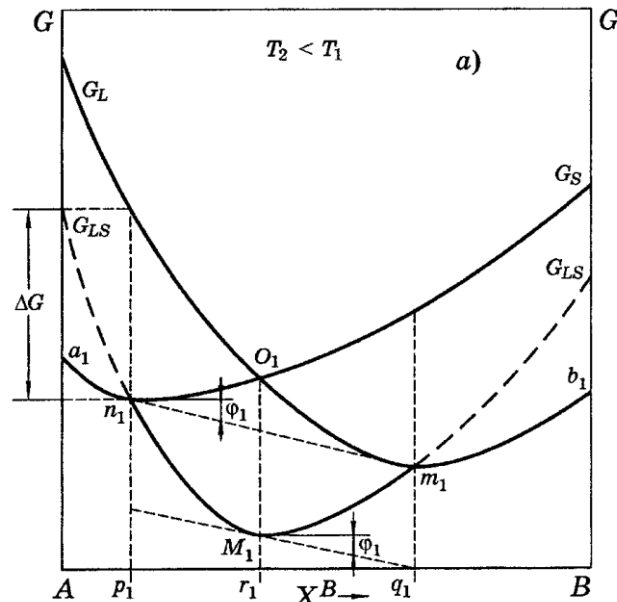


Рисунок 1 - Кривые свободной энергии для жидких и твёрдых растворов в системе с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твёрдом состояниях при температуре  $T_2 < T_1$ .



При температуре  $T_1$ , когда все сплавы системы  $A-B$  находятся в жидком состоянии, при любом составе свободная энергия  $G_L < G_S$ . Понижение температуры приводит к пересечению кривых свободной энергии. Результат такого пересечения в точке  $O_1$  при температуре  $T_2 < T_1$  показан на рис. 3.6.2, а. Из этого следует, что любой сплав с составом между точками  $p_1$  и  $q_1$  будет иметь самые низкие из возможных значения свободной энергии, если он существует как смесь твёрдого раствора состава  $p_1$  и жидкого раствора состава  $q_1$ . Таким образом, при температуре  $T_2$  твёрдая фаза состава  $p_1$  находится в равновесии с жидкой фазой состава  $q_1$ . Пока температура остается неизменной, составы равновесных твёрдой и жидкой фаз не изменяются.

Составы твёрдой и жидкой фаз, находящихся в равновесии одна с другой, определяются проекциями  $p_1q_1$  точек касания общей касательной  $n_1m_1$  к обеим кривым, а условие равновесия можно записать в виде

$$(\partial G_S / \partial X)_{X_S} = (\partial G_L / \partial X)_{X_L}, \quad (2)$$

$$(\partial G_S / \partial X) = (G_S - G_L) / (X_S - X_L). \quad (3)$$

Недостатком подобного геометрического способа представления концентрационно-температурной зависимости энергий Гиббса только для жидкой  $G_L(X, T)$  и только для твёрдой  $G_S(X, T)$  фаз является то, что по ним, а точнее по общей касательной  $n_1m_1$  к их минимальным значениям, при заданной температуре в двухфазной области невозможно установить условия наиболее устойчивого состояния сплава соответствующей концентрации.

Для устранения данного недостатка нами вводится условная кривая зависимости Гиббса  $G_{LS}(X)$  для бинарной системы, находящейся в двухфазном состоянии при фиксированной температуре. Кривые  $G_L(X)$  и  $G_{LS}(X)$  пересекаются в точке  $n_1$  на линии ликвидуса, а кривые  $G_S(X)$  и  $G_{LS}(X)$  – в точке  $m_1$  на линии солидуса. Путем параллельного переноса прямой  $p_1q_1$  до касания с кривой  $G_{LS}(X)$  получаем касательную к ней в точке  $M_1$  с углом наклона  $\varphi_1$  к горизонтали. Это является условием термодинамического равновесия двухфазной системы при температуре  $T_2$ , т.к.  $\partial(G_{LS})/\partial X = 0$ . Очевидно, что в этой точке при данной температуре  $T_2$  самым устойчивым состоянием двухфазной зоны является сплав состава  $r_1$  с соответствующим содержанием жидкой и твёрдой фаз. Сопоставляя между собой кривые  $G_L(X)$ ,  $G_S(X)$  и  $G_{LS}(X)$ , можно заключить, что они удовлетворяют условиям устойчивости фаз: на участке  $Ap_1$  устойчив твёрдый раствор, на участке  $p_1q_1$  (или  $n_1m_1$ ) – раствор, находящийся в жидко-твёрдом состоянии, а на участке  $q_1B$  – жидкий раствор.

Кроме того видно, что при температуре  $T_2$  минимальное значение энергии Гиббса для двухфазного состояния соответствует точке  $M_1$ , характеризующей состав  $r_1$  сплава, а по правилу рычага – состав жидкой и твёрдой фаз на конноде  $p_1q_1$ .

#### Литература:

1. Коттрелл А. Строение металлов и сплавов. – М.: Гос. научн.-техн. изд. лит-ры по черной и цв. металлургии, 1961. – 288 с.

## ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА GA+8,5 МОЛ.% SN

Понякин В.В., Фролова С.А.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Легкоплавкие сплавы на основе галлия (в т.ч. и сплавы галлия с оловом) широко используются при производстве полупроводниковых изделий, солнечных элементов источников светотока, в лазерной, сверхпроводниковой, в электровакуумной и атомной технике, для получения низкотемпературных припоев и клеев, при устранении литейных дефектов в стекольной и керамической промышленности, при изготовлении смазочных материалов, в стоматологии и др. Эвтектический сплав в системе галлий-олово используется для изготовления металлических пломб без ртути. Согласно диаграмме состояния Ga-Sn [1] состав эвтектики – Ga+8,5мол.%Sn, эвтектическая температура  $T_{\text{э}} = 293,5 \text{ K}$ .

Методом циклического термического анализа (ЦТА) [2] исследовано влияние величины перегрева  $\Delta T^+$  расплава эвтектического состава 91,5 мол.% Ga + 8,5 мол.% Sn ( $\Delta T^+ = T_{\text{э}} - T_L, T > T_{\text{э}}$ ) относительно эвтектической температуры  $T_{\text{э}}$  на степень переохлаждения  $\Delta T_{\text{э}}^-$  ( $\Delta T_{\text{э}}^- = T_{\text{э}} - T_{\text{min}}$ , где  $T_{\text{min}}$  – минимальная температура в области переохлаждения, при которой начинается кристаллизация).

На рис. 1 приведены некоторые схематические кривые нагревания-охлаждения эвтектического сплава в координатах температура  $T$  – время  $\tau$ .

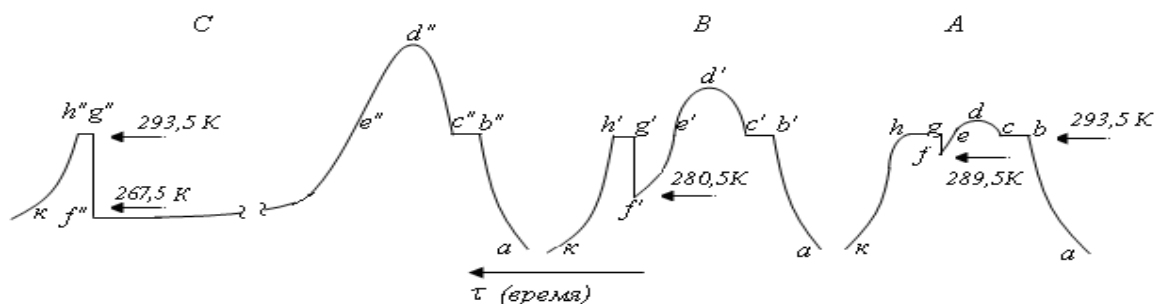


Рисунок 1 - Схематические кривые нагревания и охлаждения эвтектики, свидетельствующие об увеличении переохлаждений по мере роста предварительного перегрева расплава. Масштаб:  $cb = c'b' = c''b'' = 2,4 \text{ мин}$ . Запись читать справа налево.

Анализ термограмм позволил установить наличие предкристаллизационных переохлаждений  $\Delta T_{\text{э}}^-$ . Переохлаждение отсутствовало только после предварительных слабых прогревах расплава до  $\sim 0,5 \text{ K}$ . При перегревах  $\Delta T^+$  расплава эвтектики относительно  $T_{\text{э}}$  и дальнейшего охлаждения наблюдалось увеличение величины переохлаждения

$\Delta T_{\text{Э}}^-$  до 26 К. Например, перегревам  $\Delta T^+ = 9; 15; 34$  К соответствовали переохлаждения  $\Delta T_{\text{Э}}^- = 4; 13; 26$  К (рис. 1). Дальнейший перегрев жидкой эвтектики Э выше температуры  $T_{\text{Э}}$  от 34 К до 100 К практически не влиял на средние переохлаждения  $\langle \Delta T_{\text{Э}}^- \rangle \approx 26$  К.

Согласно кластерно-коагуляционной модели кристаллизации общее время  $\tau$  кристаллизации всего вещества можно представить в виде суммы  $\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$  [3]  $\tau_1$  – это время формирования в переохлажденном расплаве зародышей кристаллов и кристаллоподобных кластеров,  $\tau_2$  – время коагуляции этих структурных элементов, в результате чего формируется первоначальная доля твердой фазы  $\eta = m_x / m$  массой  $m_x$ , где  $m$  – масса всего образца (на термограммах – это время быстрого подъема температуры от  $T_{\text{min}}$  до  $T_{\text{Э}}$ ;  $\tau_3$  – время затвердевания оставшейся части  $1 - \eta$  образца. Судя по термограммам А, В, С на рис. 1 можно считать, что за время  $\tau_2$  при затвердевании части образца массой  $m_x$  за время  $\tau_2$  выделяется скрытая теплота  $Q_1 = \Delta H_{\text{ЛС}} m_x$ , которая приводит к прогреву всего образца от температуры  $T_{\text{min}}$  до  $T_{\text{Л}}$ , на что затрачивается теплота  $Q_2 = c_p m \Delta T_{\text{Э}}^-$ . Поскольку  $\tau_2 \ll \tau_1, \tau_3$ , то теплотерями за время  $\tau_2$  можно пренебречь. Тогда из уравнения теплового баланса  $Q_1 \approx Q_2$  можно рассчитать долю  $\eta$  первоначально закристаллизованной части эвтектики Э за время  $\tau_2$ :

$$\eta = m_x / m = c_{p\text{Э}} \Delta T_{\text{Э}}^- / \Delta H_{\text{Э}}, \quad (1)$$

где  $c_{p\text{Э}}$  – аддитивная удельная теплоемкость эвтектики (398,64 Дж/кг·К),  $\Delta H_{\text{Э}}$  – энтальпия кристаллизации эвтектики (72,77 кДж/кг).

Расчеты по формуле (1), например, при  $\Delta T_{\text{Э}}^- = 4; 13; 26$  К (по рис. 1) дали следующие значения  $\eta = 0,025; 0,07; 0,14$ . Если принять за величину  $\eta$  концентрацию кристаллоподобных кластеров и зародышей, образующихся в переохлажденной области в промежутке времени  $0 < t < \tau_1$ , то можно воспользоваться уравнением Авраамии-Колмогорова  $\eta = 1 - \exp(-Zt^n)$  для нахождения константы зародышеобразования  $Z$  и параметра Авраамии  $n$ . Путем двойного логарифмирования, построения графика зависимости  $y = \ln \ln(1/(1 - \eta))$  от  $x = \ln t$  и по тангенсу угла наклона  $\text{tg} \varphi = y(x)$  был найден параметр Авраамии  $n \approx 1,25$ . Константа зародышеобразования в этих условиях оказалась равной  $Z \sim 7,4 \cdot 10^{-2}$ .

#### Литература:

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем ред. Лякишева Н. П. Машиностроение, 1996 - 2000 г.
2. Александров В.Д., Постніков В.А., Фролова С.О., Прокоф'єв С.В. Спосіб сумісного циклічного та диференційного термічного аналізу // Патент на винахід. – 2008. – № 83721. – Бюл. № 15 від 11.08.2008р.
3. Perepetchko J.Y. // Mater Sci. and Eng. –1984. –V. 65, № 1. –P. 125-135.

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СОРТОПРОКАТНОГО СТАНА 600 ПАО «АМК» С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Тертычный Д.В., Горецкий Ю.В.  
Донбасский государственный технический университет

Такие виды фасонного металлопроката, как стальные горячекатаные двутавры, швеллеры и угловые профили являются прокатом ответственного и общего назначения и широко применяются в строительстве для конструкций производственных зданий и сооружений, в вагостроении, угольной, автомобильной промышленности, машиностроении и так далее.

При производстве профилей на крупносортом стане 600 ПАТ «АМК» существует ряд проблем, которые нуждаются в решении для оптимизации работы и для улучшения качества готовой продукции: повышение точности проката, правильное выполнение элементов профиля, отсутствие внутренних и поверхностных дефектов, однородный химический состав по сечению профиля, флокеночувствительность, металлоемкость, комплекс физико-механических свойств, стойкость калибров и др.

Для решения отмеченных проблем необходимо применять разные стратегии прокатки. Одно из главных требований – получение конструкционных профилей сниженной металлоемкости с сохранением высоких механических и эксплуатационных свойств. Высокий уровень механических свойств и эксплуатационных характеристик сталей может быть достигнут повышенным содержанием углерода, путем формирования оптимальной мелкозернистой структуры в результате рационального микролегирования и направленного изменения параметров деформационно-термических обработок, выполняемых или непосредственно в линии прокатного стана, или в виде отдельных технологических операций.

Используя сочетание эффекта упрочнения от пластической деформации металла при прокатке с эффектом упрочнения от закалки, полученным в результате интенсивного охлаждения проката от заданной температуры (при прерванном охлаждении), появляется возможность получить сталь с весьма высокой прочностью и одновременно с очень высокой пластичностью и достаточной вязкостью.

Ускоренное охлаждение металла непосредственно после прокатки в потоке стана улучшает его структуру (механические свойства) и уменьшает окалинообразование и обезуглероживание. Структурные и технологические особенности деформационно-термического упрочнения (ДТУ) массовых видов проката из малоуглеродных и низколегированных сталей, подтверждено высокой технико-экономической эффективностью технологий. Предел текучести проката из сталей Ст3сп и 09Г2С после ДТУ растет до 430-460 и 530-550 Н/мм<sup>2</sup> соответственно, что на 20-30 % превышает уровень свойств

серийного горячекатаного проката, а пластичность и вязкость улучшаются особенно при минусовых температурах [1]. Термическое упрочнение резко снижает хладноломкость низкоуглеродистой стали.

Анализ разных технологических схем термического упрочнения низколегированного проката показывает, что регулирование уровня свойств изменением температуры конца прерванного охлаждения (путем изменения скорости или длительности ускоренного охлаждения), особенно в потоке стана, является наиболее экономичным, технологичным и поддается автоматизации. Сложность организации прерванного ускоренного охлаждения сложного фасонного проката связана со сложностью управления процессом искривления и получения однородной структуры и свойств по периметру сечения профилей.

Микроструктура стали упрочненных профилей проката представляет собой продукты мартенситного превращения с участками структур промежуточного и диффузионного превращения аустенита. Ускоренное охлаждение позволит повысить предел текучести низколегированной стали и малоуглеродистой стали обыкновенного качества при сохранении высоких значений пластических характеристик и ударной вязкости. После отпуска ускоренно охлажденной стали при температурах 500 – 650°C образуется однородная по сечению проката структура сорбитного типа с мелким ферритным зерном. Степень равномерности свойств по периметру сечения фасонного проката (даже при значительной неравномерности в закаленном состоянии) существенно повысится [2].

На стане 600 ПАТ «АМК» предлагается установить за чистовой клетью 17Г (17У) установку дифференцированного охлаждения фасонного проката (балок, швеллеров, угловой стали, СВП) с температуры прокатного нагрева. Для определения скорости охлаждения разных элементов профилей, полученные данные для расчета коэффициента теплопередачи и оценки времени активного охлаждения (длительность охлаждения от температуры закалки до 100°C) установка должна быть обеспечена системой автоматического управления. Для расчета необходимого для охлаждения объема воды, давления, времени охлаждения с помощью быстродействующих пирометров фиксируется и обрабатывается температурное состояние раската (по его элементам сечения и длине).

Таким образом, использование термически упрочненных фасонных профилей в сварных металлических конструкциях позволяет повысить их несущую способность в 1,6-1,7 раза и позволит сэкономить до 25 % металла.

#### Литература:

1. Несмачный А. Н. Термическое упрочнение крупных фасонных профилей проката / А. Н. Несмачный, С. Н. Поляков, Е. Н. Бухиник, В. Т. Черненко, Н. М. Хорошилов, В. А. Горецкий // *Металловедение и термическая обработка*. – 1977. – № 14. – С. 46.

2. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов* / Ю.М. Лахтин. – М.: *Металлургия*, 1983. – 360 с.

## ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОРОШКОВЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Войнова Е.В., Рябичева Л. А.  
Луганский университет имени Владимира Даля

Процессы диффузии в порошковых материалах происходят на стадиях спекания и ответственны за образование связей между частицами порошка. Для характеристики процессов диффузии при спекании применены законы Фика, связывающие величины направленного потока атомов с вынуждающим его градиентом концентрации. Пластическая деформация при различных температурно-скоростных условиях способствует ускорению диффузионного взаимодействия и влияет на процесс гомогенизации порошковых материалов.

Целью работы является анализ процесса диффузии при уплотнении порошкового пористого тела при различных температурно-скоростных условиях деформации.

Решение второго уравнения Фика для одномерной диффузии выполнено методом функций Грина. Получены определяющие уравнения изменения концентрации диффундирующего вещества по координате и времени, описывающее процесс диффузии при соответствующих начальных и граничных условиях. Правомерность математической модели для порошковых систем проверяли путем сравнения расчетных и экспериментальных данных распределения концентрации диффундирующего компонента в диффузионной зоне.

Экспериментальные исследования выполнены на образцах, изготовленных из механической смеси порошков меди ПМС-1 и титана ВТ1-0 двусторонним прессованием и спеканием по ступенчатому режиму в среде синтез-газа в течение 3 ч. Деформирование выполняли по схеме одноосного сжатия при различных температурно-скоростных условиях. Изучали химический состав и распределение концентрации компонентов в диффузионной зоне, формирующийся при спекании и в процессе деформации.

В порошковых образцах наличие фазы пор оказывает влияние на формирование микроструктуры. Рост исходной пористости от 5 до 10 % не приводит к изменению зависимости среднестатистического диаметра зерна меди от степени деформации и температуры: с увеличением степени деформации размер зерна уменьшается и тем интенсивнее, чем выше температура деформации. Однако, увеличение исходной пористости образцов приводит к количественным изменениям. При пористости 10% формируется более мелкое зерно меди. Увеличение числа пор сообщает избыточную свободную энергию образцу за счет развитых свободных поверхностей в виде границ пор. При деформации местами зарождения центров динамической рекристаллизации являются области с наибольшим скоплением дефектов кристаллического строения, к числу которых относятся границы пор. Поэтому

уже при малых степенях деформации порядка 0,03 - 0,04 и температуре 600 °С в образцах пористостью 10 % среднестатистический диаметр зерна меди меньше, чем в образцах при пористости 5 %. Кроме того, границы пор препятствуют миграции большеугловых границ и задерживают рост рекристаллизованных зерен, что приводит к формированию на заключительной стадии деформирования мелкозернистой структуры с диаметром 3,77 - 4,38 мкм при 600 °С.

При спекании медно-титановых образцов при 900 - 920°С в течение 3 ч в результате поверхностной и объемной диффузии наблюдается образование диффузионной зоны, концентрация компонентов в которой различна и определяется содержанием легирующего элемента и пористостью образцов.

При пористости 5 и 10 % на границе частицы титана наблюдается максимальная концентрация меди, равная 52 - 58% и 49,7 - 53,98 %, которая уменьшается по мере удаления к центру частицы второго компонента и составляет 21 – 29 %. При большей исходной пористости количество диффундированной меди меньше. Очевидно, наличие фазы пор препятствует переносу диффундирующих атомов, т.к. перенос вещества через фазу пор меньше потока диффузии через тоже сечение твердой фазы. Так, в образце с 0,5 % Ti и пористостью 5 и 10 % на расстоянии 5 мкм от границы частицы титана количество диффундированной меди составляет 36 и 34,26 % соответственно. Процессы, происходящие при деформировании пористого тела при повышенных температурах, активируют перенос атомов за счет диспергирования структуры при деформации и образования дефектов кристаллического строения. Вследствие интенсификации диффузионного взаимодействия под действием температурно-скоростных условий деформации концентрация компонентов в диффузионной зоне увеличивается.

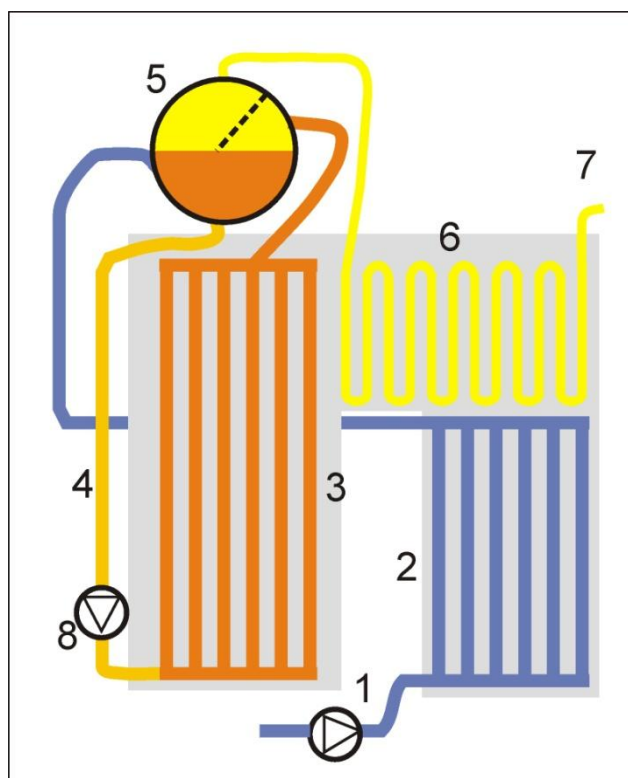
Коэффициент диффузии меди на порядок больше, чем титана, что свидетельствует о преимущественной диффузии меди в титан. После спекания коэффициенты диффузии принимают наименьшие значения и несколько увеличиваются в результате деформации. При температуре деформации, соответствующей температуре возврата, наблюдается начало диффузионного взаимодействия, в результате чего коэффициент диффузии меди увеличивается в 1,6 - 2 раза, а титана в 1,3 - 1,8 раза по сравнению с их величиной после спекания. Температура начала интенсивной диффузии соответствует температуре начала рекристаллизации, что свидетельствует о взаимосвязи механизмов процессов, развивающихся в твердой фазе порошкового материала одновременно. С увеличением скорости деформации коэффициенты диффузии увеличиваются вследствие увеличения энергии активации процесса деформации. Увеличение пористости порошкового материала приводит к уменьшению коэффициента диффузии в связи с тем, что пористость препятствует переносу диффундирующего вещества через фазу пор.

Таким образом, коэффициенты диффузии зависят от температурно-скоростных условий деформации, следовательно, от механизмов возврата и рекристаллизации, проходящих в твердой фазе порошкового материала.



# ПРОМЫШЛЕННАЯ

# ТЕПЛОТЕХНИКА



# НОВАЯ СИСТЕМА ВЫГРУЗКИ ИЗВЕСТИ ИЗ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ

Храпач А.В., Еронько С.П.

Донецкий национальный технический университет

Известь, как известно, широко используется в качестве флюса в металлургическом производстве с целью удаления из чугуна и стали серы и фосфора. В настоящее время ее получают путем обжига известняка в барабанных вращающихся печах и печах шахтного типа. Благодаря ряду преимуществ, в последние годы предпочтение отдают шахтным обжиговым печам. Их устойчивая, т.е. в заданном технологическом режиме, работа во многом определяется надежностью и техническими возможностями системы выгрузки обожженной извести.

Сотрудниками кафедры МОЗЧМ Донецкого национального технического университета при участии автора доклада на основе результатов анализа достоинств и недостатков известных систем [1 - 4] предложено устройство для разгрузки шахтной обжиговой печи, снабженное столом, совершающим плоскопараллельное движение относительно ее корпуса. Устройство (рис. 1)

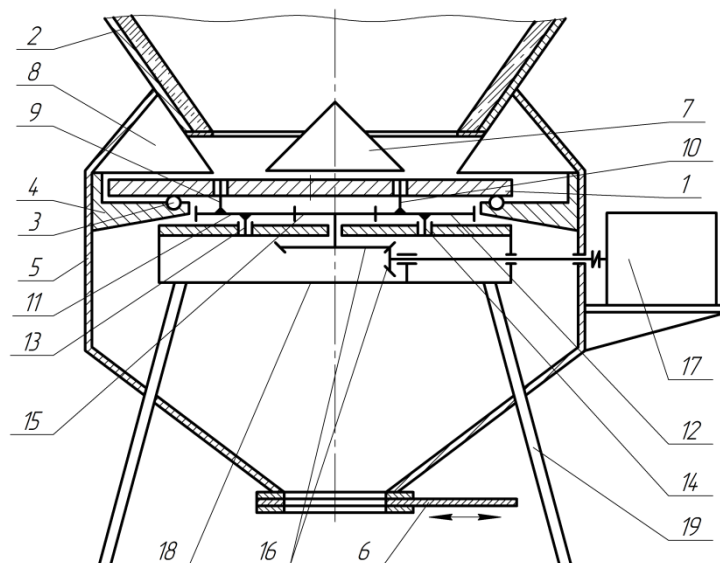


Рисунок 1 – Кинематическая схема разработанной системы выгрузки шахтной печи

включает под 1, установленный с зазором относительно шахты 2 на тела качения 3, размещенные в углублениях опорных кронштейнов 4, равномерно закрепленных по периметру на внутренней цилиндрической поверхности приемного бункера 5, примыкающего снизу к шахте печи и снабженного шиберной задвижкой 6. Над центральной частью пода 1 в зазоре между ним и нижним торцом шахты 2 размещен конический колпак 7, жестко связанный с корпусом печи, к которому прикреплены ножи 8 с регулируемым углом атаки, равномерно рассредоточенные по периметру над верхней плоскостью пода 1. В

нижней опорной поверхности пода выполнены два цилиндрических отверстия, в которых установлены с возможностью относительного вращения пальцы 9 и 10, каждый из которых жестко закреплен соответственно на зубчатых колесах 11 и 12, горизонтально установленных на вертикальных осях 13 и 14. Пальцы 9 и 10 смещены в одном и том же направлении на одинаковое расстояние от вертикальных осей 13, 14 зубчатых колес 11, 12. Оба этих колеса имеют одинаковые размеры и синхронизированы между собой размещенной на одной линии их центров приводной шестерней 15, посредством конической передачи 16 связанной с мотор-редуктором 17, закрепленном на наружной поверхности приемного бункера 5. Подшипниковые опоры всех зубчатых колес размещены на опорной раме 18, установленной на несущие стойки 19.

Как показали результаты лабораторных исследований, проведенных на физической модели предложенного устройства для разгрузки шахтной известково-газовой печи (фото на рис.2), его промышленное использование

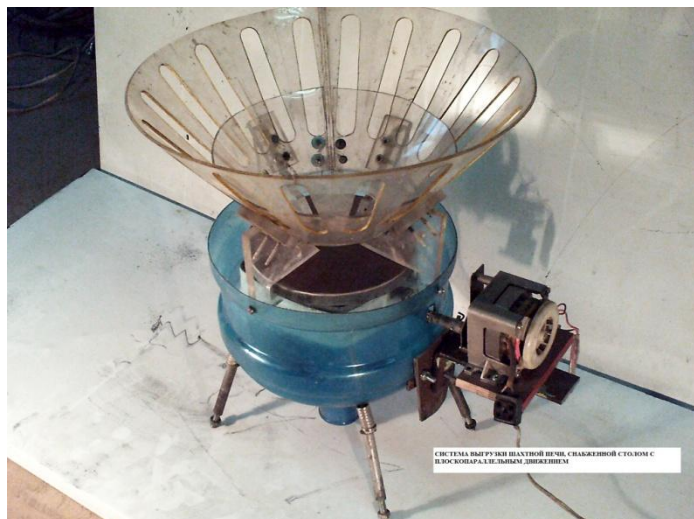


Рисунок 2 – Физическая модель разработанной системы выгрузки шахтной обжиговой печи

позволит повысить равномерность выдачи материала, благодаря возможности ее реализации в непрерывном режиме с одновременным сбросом извести всеми ножами по периметру подвижного пода.

#### Литература:

1. Монастырев А.В., Александров А.В. Печи для производства извести. Справочник. – М.: Металлургия, 1979. – 232 с.
2. Табунщиков Н.П. Производство извести. – М.: Химия, 1974. – 240 с.
3. Монастырев А.В. Производство извести. – М.: Высшая школа, 1978. – 225 с.
4. Производство извести и сатурационного газа на сахарных заводах / Н.П. Табунщиков, Э.Т. Аксенов, Р.Я. Гуревич, Л.Д. Шевцов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 176 с.

# РАЗРАБОТКА РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Сныткина А.В., Бирюков А.Б.

Донецкий национальный технический университет

Актуальность проблемы энергосбережения сегодня становится все более масштабной и существенной. Аспектов рассмотрения данной проблемы огромное множество, но рассмотреть их все не представляется возможным. Поэтому мы остановимся на таком вопросе, как рациональное использование энергии, расходуемой на водоснабжение промышленных предприятий.

Отличительной особенностью водоснабжения большинства промышленных предприятий является использование оборотных систем водоснабжения.

В оборотных циклах водоснабжения вода подвергается очистке от взвешенных частиц и охлаждению, и снова используется. Свежая вода потребляется только для компенсации потерь, составляющих порядка 5% от количества воды, находящейся в обороте. Очистка воды производится в отстойниках или гидроциклонах, а также аппаратах тонкой очистки (фильтрах), а охлаждение воды – в прудах-охладителях, брызгальных бассейнах, в башенных или вентиляторных градирнях.

В системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого охлаждения воды, применяют башенные градирни с капельными или плёночными оросителями. Движение охлаждающего воздуха навстречу охлаждаемой воде из оросителей в градирнях башенного типа происходит за счет естественной тяги.

Вентиляторные градирни применяют при необходимости устойчивого и глубокого охлаждения воды. Отличаются вентиляторные градирни от башенных отсутствием вытяжных башен. Движение охлаждающего воздуха навстречу охлаждаемой воде организуется с помощью вентиляторов. В вентиляторных градирнях осуществляется автоматическое поддержание температуры охлажденной воды на заданном уровне путём изменения производительности вентиляторов.

Вентиляторные градирни до последнего времени были наиболее эффективны с технической точки зрения, так как обеспечивали более глубокое и качественное охлаждение воды, выдерживая большие удельные тепловые нагрузки (однако требуют затрат электрической энергии для привода вентиляторов).

Подобные системы водоснабжения применяются для следующих производственных процессов: охлаждение элементов печей, первичное и вторичное охлаждение МНЛЗ, охлаждение конденсаторов турбин электростанций и др.

При использовании вышеперечисленных охлаждающих устройств, теплота отбираемая от охлаждаемой воды безвозвратно теряется в окружающую среду, кроме того происходит потеря до 5% воды за счет ее испарения и уноса.

Замена охлаждающего устройства на теплонасосную установку позволит полезно использовать тепловую энергию, отбираемую от охлаждаемой воды и сведет к нулю ее потери. То есть такое мероприятие характеризуется высокой экономической эффективностью.

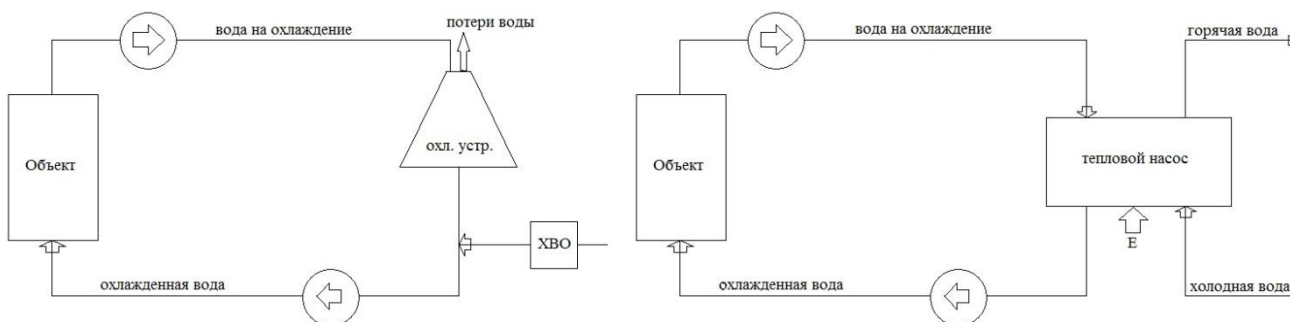


Рис. 1а – Схема оборотного водоснабжения с использованием градирни

Рис. 1б – Схема оборотного водоснабжения с использованием теплового насоса

Теоретически, при использовании охлаждающего устройства, количество тепла, которое выбрасывается в окружающую среду будет равно, Вт:

$$Q = G \cdot c \cdot \Delta t = G \cdot c \cdot (t_B^r - t_B^x), \quad (1)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя (воды), кг/с;

$c$  – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);

$t_B^r$  – температура воды, идущей на охлаждение, °С

$t_B^x$  – температура охлажденной воды, °С

При замене охлаждающего устройства на тепловой насос количество тепловой энергии, которое получит потребитель, Вт:

$$Q_{\text{потр}} = Q + E, \quad (2)$$

где  $Q$  – количество тепла, забираемое у охлаждаемого объекта, Вт;

$E$  – электроэнергия, затраченная на работу теплового насоса, Вт.

В процессе эксплуатации теплового насоса пользователь расходует средства только на оплату электроэнергии, приводящей в действие компрессор. Контур теплового насоса является закрытым и не нуждается в постоянной подаче свежей воды, пропадает необходимость в химводоочистке, что влечет за собой дополнительную экономию.

Полученную тепловую энергию можно использовать на такие нужды: система горячего водоснабжения, отопительные системы, технологические нужды и др.

#### Литература:

1. Теплоэнергетика металлургического производства: учебное пособие/ Б.И. Басок, Ю.Л. Курбатов, А.Б. Бирюков, Е.В. Новикова. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2013, - 228 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Барков С.П., Туяхов А.И.

Донецкий национальный технический университет

На металлургических заводах, в условиях рыночной экономики, часто приходится выполнять отдельные заказы на поставку сравнительно небольших объемов металлургической продукции. Период ожидания следующего заказа может составлять несколько суток.

На Донецком металлургическом заводе одна из методических нагревательных печей мелкосортного отделения прокатного цеха работает в периодическом режиме. При таком режиме работы для уменьшения тепла охлаждения огнеупорной кладки сжигали от 300 до 500 м<sup>3</sup>/ч природного газа.

С целью экономии расхода топлива при нагреве квадратных заготовок в трехзонной методической печи, а также при вынужденном режиме холодного хода предлагается использовать современные изоляционные материалы с низким коэффициентом теплопроводности, устанавливаемые на внутренней поверхности огнеупорной кладки печи. В Украине фирмой "RATH" разработана технология крепления тепловой изоляции внутри кузнечных, термических и других печей, температурный режим которых близок к методическим нагревательным печам.



Рисунок 1 - Огнеупорная футеровка в отжигательных печах с выдвижным подом

В ходе работы был проведен тепловой анализ состояния печи, на внутренней поверхности которой располагается изоляция толщиной 65 мм с коэффициентом теплопроводности 0,06 Вт/мК. Тепловые потери через кладку печи снижаются более чем в два раза, при непрерывной эксплуатации печи в течении 300 дней, при этом экономия расхода топлива в пересчете на природный газ может составлять более 300 тысяч кубометров.

Заметное преимущество установки такого способа расположения изоляции проявляется при вынужденном простое печи в течении длительного времени.

Потери тепла складываются из трех составляющих: через огнеупорную кладку, поступление в печь холодного атмосферного воздуха и при водяном охлаждении глиссажных труб.

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{кл}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{гл.тр.}}$$

где  $Q_{\text{пот}}$  - общие потери тепла, кДж;

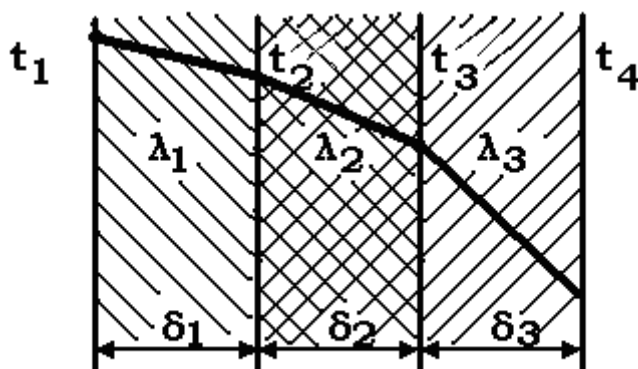
$Q_{\text{кл}}$  - потери тепла через огнеупорную кладку, кДж;

$Q_{\text{в}}$  - потери тепла при поступлении в печь холодного атмосферного воздуха, кДж;

$Q_{\text{гл.тр.}}$  - потери тепла при водяном охлаждении глиссажных труб, кДж.

На основе ранее полученных экспериментальных данных были определены расходы подсасываемого атмосферного воздуха при измеренных величинах разряжения в рабочем пространстве и общей величине неплотностей в печи, а потери тепла через глиссажные трубы определялись по фактическому расходу воды и ее температуре.

Расчет температурного состояния кладки при охлаждении печи производился методом последовательного приближения через квази-стационарные состояния.



где  $\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности, Вт/м<sup>2</sup>К;

$\delta_i$  - толщина стенки, м;

$t_i$  - температуры стенок, °С;

Рисунок 2 - Распределение температур в многослойной стенке.

Результаты расчета показали, что темп охлаждения печи при использовании внутренней изоляции более чем в 2 раза медленнее по сравнению с печью без такой изоляции, а экономия топлива при простое в течении 60 дней с перерывами может достигать 0,5 млн. м<sup>3</sup> природного газа.

Литература:

1. Гинкул С.И. Тепломассообмен/ С.И. Гинкул, В.И. Шелудченко, В.В. Кравцов, С.В. Палкина - Донецк: Норд-Пресс, 2006, 298 с.



## ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПЛАМЕННЫХ ПЕЧАХ

Петренко Л.Н., Бирюков А.Б.

Донецкий национальный технический университет

При высокотемпературном нагреве металла в пламенных нагревательных печах происходит образование окалины, что приводит к прямым потерям металла и к изменению условий теплопередачи в камере печи (с одной стороны металл покрывается слоем материала со значительно меньшим коэффициентом теплопроводности; с другой стороны, происходит выделение теплоты по реакциям окисления железа).

Объектом исследования является пламенная печь. Целью данной работы является создание методики диагностики процессов окисления металла, базирующейся на рассмотрении баланса кислорода в потоке продуктов сгорания на участке камера печи – участок газохода – рекуператор, которая позволяет определять расходы воздуха, подсасываемого в топку и на изучаемом участке газохода, а также расход кислорода на окисление металла в камере печи.

Источниками поступления кислорода в печь являются: воздух, подаваемый вентилятором на горелочные устройства для организации процесса горения (обычно для этой цели используется атмосферный воздух, хотя в общем случае речь может идти об обогащенном воздухе с произвольным содержанием кислорода); атмосферный воздух, подсасываемый в камеру печи; атмосферный воздух, подсасываемый в газоходы.

Источники расходования кислорода: по реакциям горения; на окисление и обезуглероживание металла; на выбивание из печи продуктов сгорания, содержащих некоторое количество кислорода.

Поскольку для данной системы диагностики имеется три определяемых неизвестных величины: текущие значения подсоса воздуха в топку и участок газохода от пламенного окна до рекуператора,  $V_{под}^T$ ,  $V_{под}^Г$  и текущий расход кислорода на окисление металла,  $V_{ок}^{O_2}$ , необходимо составление системы из трех уравнений (1-3), в результате решения которой определяются текущие значения неизвестных величин.

$$V_T \cdot V_{пс} + V_{под}^m + V_{под}^z - V_{ок}^{O_2} = \frac{V_B \cdot c_B \left( \frac{t_B^{BX} + t_B^{ВЫХ}}{2} \right) \cdot (t_B^{ВЫХ} - t_B^{BX})}{(t_{пс}^{BX} - t_{пс}^{ВЫХ}) \cdot \sum_{i=1}^n C_i^{КОМ} \cdot c_i^{КОМ} \left( \frac{t_{пс}^{BX} + t_{пс}^{ВЫХ}}{2} \right)}; \quad (1)$$

$$C_{O_2}^o = \frac{V_T \cdot V_{пс} \cdot C_{O_2}^{пс} + V_{под}^T \cdot C_{O_2}^{ВА} - V_{ок}^{O_2}}{V_T \cdot V_{пс} + V_{под}^T - V_{ок}^{O_2}}; \quad (2)$$

$$C_{O_2}^p = \frac{V_T \cdot V_{пс} \cdot C_{O_2}^{пс} + V_{под}^T \cdot C_{O_2}^{ВА} + V_{под}^Г \cdot C_{O_2}^{ВА} - V_{ок}^{O_2}}{V_T \cdot V_{пс} + V_{под}^T + V_{под}^Г - V_{ок}^{O_2}}; \quad (3)$$

Первое уравнение системы представляет собой выражение из теплового баланса рекуператора, смысл которого заключается в том, что количество тепла, воспринятое воздухом, численно равно количеству тепла, отданному продуктами сгорания. Из данного теплового баланса определяется неизвестное значение полного расхода продуктов сгорания через рекуператор.

Второе уравнение получено из рассмотрения баланса кислорода в районе пламенного окна, а третье – из баланса кислорода перед рекуператором.

Решение системы уравнений (1-3) необходимо производить для исследуемого момента времени на основании текущих значений величин-аргументов. Для использования созданного компонента в отрыве от АСУ на ПК, находящейся под управлением обычной ОС, данная система элементарно решается при помощи стандартных вычислительных пакетов. Для режима работы в рамках АСУ составляется программный модуль, реализующий стандартные способы решения систем уравнений. Для рассматриваемой системы более удобными оказываются стандартные численные методы решения систем уравнений.

Величина текущего расхода воздуха на окисление  $V_{ок}^{O_2}$  дает прямое количественное представление о количестве металла, переведенного в окалину. Поскольку по своему составу слой окалины более, чем на 90% состоит из вюстита  $FeO$ , то моментальное количество окисляемого металла может быть определено как:

$$m_{ок} = V_{ок}^{O_2} \cdot \rho_{O_2} \cdot K_c,$$

где  $\rho_{O_2} = 1,43$  – плотность кислорода н.ф.у.,  $кг/м^3$ ;

$K_c = 3,5$  – коэффициент, характеризующий отношение атомных масс железа и кислорода.

На стадии отладки созданного компонента диагностики необходимо производить сравнение спрогнозированных потерь металла в окалину за весь период нагрева с разницей масс металла до тепловой обработки и после зачистки от окалины.

Поскольку при использовании разработанного компонента диагностики в режиме реального времени в тренде системы АСУ ТП накапливается информация об изменении во времени не только базовых величин, но и  $V_{под}^T(\tau)$ ,  $V_{под}^r(\tau)$ ,  $V_{ок}^{O_2}(\tau)$ ,  $m_{ок}(\tau)$ , то совместный анализ изменения базового набора величин и добавленного позволяет анализировать изменение состояния ограждающей конструкции печи, плотности газоходов, уточнять склонность различных марок стали к образованию окалины. Совместное рассмотрение созданного компонента диагностики позволяет уточнять значения констант скорости для реакций окалинообразования.

Таким образом, разработаны основы компонента диагностики процесса окисления металла и подсосов воздуха в камеру печи и по газоходам, исходными данными для которого являются тепловая нагрузка рекуператора, температуры продуктов сгорания до и после рекуператора, концентрации кислорода в районе пламенного окна и перед рекуператором, расход топлива и коэффициент расхода воздуха для его сжигания.

# ПОСТАНОВКА ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ ПРИ МИКРОЛЕГИРОВАНИИ СТАЛИ ЕЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОРОШКОВОЙ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОВОЛОКОЙ

Талах Б.Б.

Донецкий национальный технический университет

В практике современного металлургического производства одним из перспективных направлений повышения качества металла и улучшения качества потребительских свойств, не требующих значительных сырьевых и энергетических затрат, является микролегирование сталей.

Под микролегированием понимают введение в металлический сплав небольшого (до 0,1% по массе) количества легирующих элементов для изменения свойств [1].

Ввод химически активных элементов в сталь с помощью ПП(порошковой проволоки) имеет ряд преимуществ перед продувкой стали порошками :

- менее интенсивное бурление и уменьшение выбросов жидкой стали, снижение дымообразования и загрязнения атмосферы;
- более высокая степень усвоения;
- меньшие тепловые потери по сравнению с продувкой порошками;
- возможность прецизионной доводки стали по химическому составу путем ввода порошковой проволоки с различными материалами при высокой степени усвоения и эффективности;
- более низкие капитальные и эксплуатационные расходы по сравнению с продувкой порошковыми смесями.

При внепечном микролегировании жидкой стали наиболее важным параметром является скорость ввода ПП в расплав [2]. Если она низкая, то это приводит к её плавлению и растворению наполнителя ПП в верхних слоях ванны, что ухудшает процесс, приводит к неравномерному распределению вводимого кальция по высоте ковша. При чрезмерно высоких скоростях ввода ПП, она не успевает расплавиться и, достигая дна ковша, изгибается и выходит в верхние слои расплава и даже в атмосферу. Кальций при этом расходуется нерационально. Скорость ввода ПП необходимо выбирать таким образом, чтобы её оболочка была расплавлена в нижних объёмах ковша, у его днища. При этом наполнитель ПП, всплывая в виде капель, будет максимально растворяться в расплаве. Согласно современным представлениям, толщина твёрдой стальной корки ПП вначале растёт вследствие намораживания на неё металла ковша, а затем уменьшается вследствие плавления.

Математическая постановка тепловой задачи :

1. Начальные условия :

$$T_1 = T_3 = T_0; R_1(0) = R_2(0) = R; R_3(0) = R + \delta. \quad (1)$$

Здесь:  $T_0$  – температура окружающей среды;  $R$  – радиус области, занимаемой наполнителем ПП в начальный момент времени;  $\delta$  – толщина стальной оболочки в этот момент.

Диапазон изменения радиальной координаты  $r$  в каждой из областей:

$$i = 1 : 0 \leq r \leq R_1(\tau) = R + \Delta R_1(\tau), \quad \Delta R_1 < 0;$$

$$i = 2 : R_1(\tau) \leq r \leq R_2 = R;$$

$$i = 3 : R \leq r \leq R_3(\tau) = R + \Delta R_3(\tau), \quad \Delta R_3(0) = \delta.$$

Здесь:  $R_1(\tau)$  – граница твердой фазы наполнителя;  $R_2$  – граница жидкой его фазы;  $R_3(\tau)$  – внешняя граница стальной оболочки проволоки. Последняя включает как первоначальную оболочку, так и замороженную на нее твердую корочку стали.

Очевидно, что  $R_3 > R_2 \geq R_1$ .

При этом:  $\Delta R_3 > 0$  для налипания корочки и  $\Delta R_3 < 0$  – при плавлении оболочки ПП.

2. Граничные условия :

а) ось симметрии ( $r = 0$ ) : (2)

$$\frac{\partial T_1}{\partial r} = 0;$$

б) стык твердого наполнителя и стальной оболочки ( $r = R$ ) :

$$T_1 = T_3; \tag{3}$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}; \tag{4}$$

в) стык твердой и жидкой фаз наполнителя ПП

( $r=R_1$  при его плавлении) :

$$T_1 = T_n^h; \tag{5}$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} + \rho_1 \cdot L_1 \cdot \dot{R}_1 = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}; \tag{6}$$

г) стык поверхности ПП с жидкой сталью ( $r = R_3$ ) :

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r} + \rho_3 \cdot L_3 \cdot \dot{R}_3 = \alpha(T_c^o - T_3). \tag{7}$$

$T_3 = T(R_3)$  - намораживание корочки при  $T_3 < T_n^c$ ;

$T_3 = T_n^c$  - плавление оболочки с коркой.

Здесь:  $T_n^h, T_n^c$  - температуры ликвидуса наполнителя и стали;  $T_c^o, T_c$  - температура стали в объеме ковша и при  $r = R_3$ ;  $\rho_1, \rho_3$  - плотности наполнителя и стали;  $L_1, L_3$  – удельные теплоты фазовых переходов;  $\dot{R}_1, \dot{R}_3$ , – скорости перемещения границ  $r = R_1$  и  $r = R_3$ .

Литература:

1. Троцан А.И. Теория и практика микролегирования с учетом межкристаллитной внутренней адсорбции /А.И. Троцан, И.Л. Бродецкий, А.И. Ищенко. - К.: "КИМ" - 2009. - 272 с.

2. Захаров Н. И., Полозюк О. Е. Исследование процессов теплообмена при обработке жидкой стали порошковой проволокой// Приднепр. науч. вестник. – Дн. – 1997. - №17. – С. 22-26.

# ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА



# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В КОТЛАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Кутина И.В., Гридин С.В.

Донецкий национальный технический университет

Анализ последних публикаций и информации, размещенной на интернет-сайтах производителей водогрейных котлов малой мощности (ВКММ), позволил сделать вывод, что котельная техника малой и средней тепловой мощности развивается по направлениям: повышение энергетической эффективности путем снижения тепловых потерь и более полного использования энергетического потенциала топлива; уменьшение габаритов котельного агрегата за счет интенсификации процесса сжигания топлива; интенсификации теплообмена в топочной камере и на поверхностях нагрева; снижение загрязняющих атмосферу газообразных выбросов ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ); повышение надежности работы котла.

Интенсификацию теплообмена в элементах котла можно проводить как установлением интенсификаторов теплообмена в топке, так и в жаротрубном элементе. Как отмечено в работах [1, 2], первый способ ощутимо влияет как на теплотехнические, так и на экологические результаты (КПД возрастает на 1–3%, выбросы  $\text{CO}$  уменьшаются в 5 раз,  $\text{NO}_x$  – в 2 раза). В цилиндрическую топку устанавливают вторичные излучатели, что способствует лучшему теплообмену в топке, а также приводит к улучшению экологических показателей. Для ВКММ такой способ интенсификации практически не используют. Вследствие малых размеров топки единственным способом интенсификации теплообмена является установка турбулизирующих вставок в газотрубном пучке.

На сегодняшний день известны различные способы интенсификации теплообмена в конвективных элементах водогрейных котлов: применение перфорированных поверхностей, многослойных конвективных поверхностей, оребрения, а также вставок различной конфигурации.

Посредством интенсификации теплообмена увеличивается количество тепла, передаваемого через единицу поверхности теплообмена и соответственно, уменьшаются массогабаритные показатели теплообменника; достигается более выгодное соотношение между передаваемым количеством тепла и мощностью, затрачиваемой на прокачивание теплоносителей. Высокое техническое качество интенсифицированного теплообменного оборудования улучшает общие характеристики энерготехнологических установок.

Различают две группы методов интенсификации процессов теплообмена: конструктивные и технологические. К первой группе относятся методы, дающие возможность интенсифицировать теплообмен путем изменения гидродинамической обстановки или развития поверхности с помощью конструктивных приемов, ко второй – методы, приводящие к созданию специальных технологических условий, обеспечивающих улучшение гидродинамической обстановки для проведения процесса теплообмена.

Интенсификация теплообмена всегда сопровождается ростом потерь давления. Для оценки эффективности способа интенсификации теплообмена используется несколько критериев которые включают в себя как тепловые, так и гидродинамические характеристики потока. И в инженерной практике кроме этих критериев не менее важными являются массогабаритные характеристики котла и эффективность использования топлива. Все эти

параметры должны быть системно учтены не только на отдельном этапе (создание, эксплуатация), а в течение жизненного цикла котла. Для задачи экономии топлива (при постоянной мощности и геометрических размерах котла сравнивается расход топлива в котле с интенсификацией теплообмена и в котле с гладко трубной поверхностью) критерием эффективности интенсификатора теплообмена имеет вид:

$$K = \left( \frac{B_{p/i}}{B_{p/o}} \right)^n \cdot \left( \frac{M_i}{M_o} \right)^c \cdot \left( \frac{\Delta P_i}{\Delta P_o} \right)^m \quad (1.1)$$

Критерий для задачи уменьшения массогабаритных характеристик при постоянном расходе топлива и мощности, приведенный в работе имеет вид:

$$K = \left( \frac{V_i / Q_k}{V_o / Q_k} \right)^c \cdot \left( \frac{M_i / Q_k}{M_o / Q_k} \right)^n \cdot \left( \frac{\Delta P_i / Q_k}{\Delta P_o / Q_k} \right)^m = \left( \frac{B_{p/i}}{B_{p/o}} \right)^n \cdot \left( \frac{M_i}{M_o} \right)^c \cdot \left( \frac{\Delta P_i}{\Delta P_o} \right)^m \quad (1.2)$$

где  $V$  - объем конвективного пучка,  $Q$  - тепловая мощность котла, кВт. Критерием эффективности интенсификатора теплообмена  $K$  выбрано долю уменьшения экологического воздействия в течение жизненного цикла теплообменника благодаря использованию интенсификаторов теплообмена. Критерий  $K$  предлагается определить с использованием методологии LCA на основе разработанных нами методических рекомендаций.

$$K = \left( \frac{K_i}{K_o} \right) \quad (1.3)$$

Интенсификация теплообмена должна рассматриваться не только как эффективный метод улучшения теплотехнических показателей котла, но и как способ уменьшить экологические последствия при использовании энергетических и других ресурсов на протяжении жизненного цикла котла. Благодаря интенсификации процесса теплообмена при одинаковых энергетических затратах и тепловых нагрузках коэффициент теплопередачи возрастает в 2 - 2,5 раза.

Проанализированы современные направления развития котельной техники малой мощности. Рассмотрены современные способы интенсификации теплообмена в водогрейных котлах малой мощности. На основе собственных исследований и анализа работ авторов предложено рассчитывать теплообмен в гладкотрубных каналах водогрейных котлов с учетом поправки на интенсивность теплообмена на начальном участке гидродинамической стабилизации потока.

#### Литература:

1. Петриков С.А. Прогрессивные способы интенсификации теплообмена в отопительных котлах / С.А. Петриков, Н.Н. Хованов // Промышленная энергетика. – 2003. – № 12. – С. 18 -22.
2. Кишкин А.А., Краев М.В., Зуев А.А. «Авиационная и космическая техника», «Интенсификация теплообмена» С. 130., 1993.



# ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОПРОВОДОВ

Халецкая О.А., Гридин С.В.

Донецкий национальный технический университет

Изоляция трубопроводов — один из самых важных аспектов энергосбережения в современном мире. Уменьшение потерь тепла с помощью теплоизоляционных материалов для труб стало главным средством экономии энергии и ресурсов.

В виду разнообразия трубопроводов, их назначения и особенностей эксплуатации существует много материалов для их изоляции. Это могут быть минераловатные маты или цилиндры, теплоизоляция в виде трубок на основе вспененного каучука или полиэтилена, скорлупы из пенополиуретана, защитные полотна или жидкая теплоизоляция (термокраска).

При прокладке теплопровода в грунте тепловой поток направлен от теплоносителя (через стенку трубы, тепловою изоляцию и грунт) к поверхности земли и далее в окружающую среду. Таким образом, теплота, теряемая теплопроводом, нагревает прилегающий к нему грунт.

В многотрубном одноячейковом канале тепловые потоки от каждого теплопровода нагревают воздух в канале, затем общий поток от нагретого воздуха через стенки канала рассеивается в грунте. Вследствие этого, вокруг любого теплопровода образуется определенное температурное поле.

Для определения теплотерь каждого теплопровода необходимо определить температуру воздуха в канале.

Температуру воздушной среды в канале  $t_{в.кан}$  определяем из уравнения теплового баланса [1]:

$$\sum_1^n \frac{t_i - t_{в.кан}}{R_i} (1 + \beta) = \frac{t_{в.кан} - t_0}{R_{кан}}$$

Примем параметры теплопровода и канала, например: глубина заложения до осей трубы 1,2 м; диаметр трубы 159х5 мм; толщина изоляции обоих теплопроводов – 60 мм; теплопроводность изоляции  $\lambda_{из}=0,05$  Вт/(м·°С); температура теплоносителя в подающем теплопроводе  $t_1=150$ °С, в обратном –  $t_2=70$  °С; температура грунта на оси заложения труб  $t_0=5$  °С; теплопроводность грунта  $\lambda_{гр}=1,7$  Вт/(м·°С); теплопроводность стенок канала  $\lambda_{канала}=1,3$  Вт/(м·°С); коэффициент теплообмена  $\alpha=12$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С); поправочный коэффициент  $\beta=0,2$  [1].

Подставив в уравнение теплового баланса исходные значения (предварительно рассчитав сопротивления теплопередаче  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_{кан}$ ) и выразив из него  $t_{в.кан}$ , получаем температуру воздушной среды в канале, равной 31,7 °С.

Следующим шагом является построение температурного поля, т.е. графическое представление распределения температуры в грунте. Зная температуру в каждой конкретной точке сечения канала, можно оценить

возможность использования нагретого грунта в полезных целях, например, для поддержания требуемой температуры в близко расположенных к каналу подземных или полуподземных сооружениях.

Для расчета и последующего построения температурного поля использовалась следующая формула [1]:

$$t_{x,y} = t_0 + (t_{в.кан} - t_0) \frac{1}{2\pi\lambda_{сп}} \ln \frac{\sqrt{x^2 + (y+h)^2}}{\sqrt{x^2 + (y-h)^2}}$$

Путем создания расчетных таблиц в программе Microsoft Excel было просчитано достаточное для построения температурного поля количество точек с искомой температурой.

На рис. 1 показано сечение теплопровода и подземного гаража (наименьшее расстояние в свету от канала до ближайшего инженерного сооружения согласно СНиП 2.04.07-86\* (2000) "Тепловые сети" равно 2 м). Путем построения изотерм обозначено температурное поле, возникающее вокруг канала с теплопроводами. Изотермы построены для значений температуры: 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6 °С.

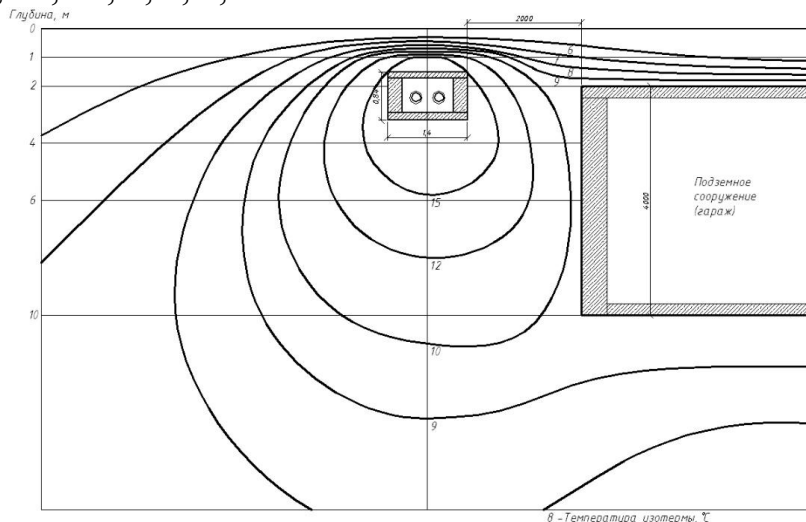


Рис. 1. Распределение теплового поля в грунте, сечение теплотрассы и подземного сооружения.

Как видно из рисунка, ограждающая конструкция близлежащего к теплотрассе инженерного сооружения (подземного гаража) попадет в область грунта с температурой 9 °С, в то время как естественная температура грунта на данной глубине 5 °С. Таким образом, благодаря смежному расположению гаража и теплотрассы можно повысить температуру воздуха в гараже на 4 °С, или сэкономить энергию, требуемую для поддержания в нем более высокой температуры, за счет меньшей разницы требуемого и естественного ее значения.

Одновременно с этим уменьшаются затраты теплопроизводителя на подогрев теплоносителя в силу создания "подпора" тепловому потоку из теплопровода и, как следствие, меньшим теплотерям по длине теплопровода.

Литература:

1. Ионин А. А. и др. Теплоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982.

# АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА НА ДОНБАССЕ

Королева В.Г., Гридин С.В.

Донецкий национальный технический университет

Сланцевый газ – это природный газ, добываемый из месторождений, расположенных в сланцевых осадочных породах земной коры и состоящий в основном из метана.

На Донбассе в районе Славянска существуют сланцевые залежи Юзовского газового месторождения (рис.1).



Рис.1. Карта Юзовского газового месторождения

Горючие сланцы представляют собой подобие песчаника, но эта порода более плотная, с низкой пористостью и состоит из более мелких и твердых частиц.

Такую твердую породу бурить намного сложнее, а запасы газа в таких месторождениях гораздо меньше. Чтобы добыть его, требуется пробурить большое количество горизонтальных скважин, каждая из которых даст лишь ограниченный объем газа. Суть технологии заключается в закачке в скважину нескольких миллионов кубометров литров жидкости вперемежку с химикатами, которые, в свою очередь, способны кардинально изменить состав грунтовых вод в худшую сторону. Именно эта причина больше всего вызывает опасения экологов и различных общественных объединений, которые выступают за прекращение разработки «новых газовых месторождений».

Данная технология наносит колоссальный вред окружающей среде. Независимые экологи подсчитали, что специальный буровой раствор содержит 596 наименований химикатов: ингибиторы коррозии, загустители, кислоты, биоциды, ингибиторы для контроля сланца, гелеобразователи. Для каждого бурения нужно до 26 тыс. кубометров раствора. Десятки тонн раствора

химикатов смешиваются с грунтовыми водами и вызывают широчайший спектр непрогнозируемых негативных последствий. Опасность представляет не только раствор сам по себе, но и соединения, которые поднимаются из-под земли в результате гидроразрыва. В местах добычи наблюдается мор животных, птиц, рыб, «кипящие» ручьи с метаном. Домашние животные заболевают, теряют шерсть, умирают. Ядовитые продукты попадают в питьевую воду и воздух. В США у тех американцев, которые в настоящее время живут поблизости от буровых вышек, наблюдаются головные боли, потери сознания, нейропатия, астма, отравления, раковые и другие заболевания [1].

Отравленная питьевая вода становится непригодной для питья и может иметь цвет от обычного до чёрного.

На сегодня есть 9 причин остановить добычу сланцевого газа в Донбассе:

1. Запасы воды, которые требуются для разработки, поистине огромны – от 5000 до 20000 тонн только на одну скважину при общем их количестве на одном квадратном километре 10-15 штук.

2. В области месторождений накапливается большое количество зараженной химикатами воды. Плодородность почвы падает, грунтовые воды становятся непригодными для использования.

3. Через 10-20 лет после добычи в верхних слоях грунтовых вод обязательно появятся бензол, мышьяк, толуол, диметилбензол и еще около 500 различных вредных химикатов в количестве, значительно превышающем норму.

4. Добыча сланцевого газа приводит к большим потерям метана. В результате значительно усиливается парниковый эффект.

5. Через трещины и разломы земных пород в грунтовые воды попадает масса токсичных веществ.

6. Использование технологии гидроразрыва приводит к значительным выбросам углекислого газа.

7. Местность, в которой добывается сланцевый газ, активно загрязняется радиоактивными веществами.

8. Все грядущие поколения жителей Донбасса будут лишены запасов пресных подземных вод, стоит только добыче сланцевого газа развернуться в полную силу.

9. Гидроразрывы пласта значительно увеличивают вероятность землетрясений, которые провоцирует давление в скважине в 1,5 тысяч атмосфер.

На Донбассе нецелесообразно начинать добычу сланцевого газа, потому что у нас нет ровных сланцевых пластов, насыщенных газом, площадью в десятки тысяч квадратных километров на глубине от одной до двух тысяч метров. Добыча сланцевого газа требует огромных инвестиций. Данный вид добычи грозит серьезными экологическими проблемами.

#### Литература:

1. <http://terra-america.ru/donbass-kak-territiria-energospora.aspx>

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭФФЕКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК МИНИ-ТЭЦ

Константинов И.Г., Сафьянц С.М.  
Донецкий национальный технический университет

Использование когенерации является одним из способов повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения. Однако слабым местом комбинированной выработки тепловой и электрической энергий в одном цикле является постоянство отношения количества вырабатываемой энергии, при котором достигается наименьший удельный расход топлива. Традиционно, при необходимости увеличения отпуска тепловой или электрической энергии, комбинированный цикл «разбавляют» отдельным способом получения того или иного вида энергии. То есть, или осуществляют дополнительную выработку тепла от котлов, или дополнительное производство электроэнергии в конденсационном цикле. Однако такое регулирование сопровождается значительным снижением эффективности ТЭЦ. Возможность регулирования соотношения внутри комбинированного цикла имеется при использовании паровых турбин, но здесь достаточно низкий диапазон регулирования.

Перспективными методами регулирования нагрузок в мини-ТЭЦ, имеющих относительно небольшую мощность, может быть использование баков-аккумуляторов или тепловых насосов. При этом эффективность использования энергии топлива будет лишь немногим уступать комбинированному циклу, работающему в оптимальном режиме.

Соотношение между электрической и тепловой мощностями когенерационной установки определяется как:

$$\frac{N_{\text{эл}}^{\text{КГУ}}}{Q_{\text{т}}^{\text{КГУ}}} = \frac{\eta_{\text{эл}}^{\text{КГУ}}}{\eta_{\text{т}}^{\text{КГУ}}}$$

где  $N_{\text{эл}}^{\text{КГУ}}$  - электрическая мощность когенерационной установки (КГУ), кВт;

$Q_{\text{т}}^{\text{КГУ}}$  - тепловая мощность КГУ, кВт;

$\eta_{\text{эл}}^{\text{КГУ}}$  - электрический к.п.д. КГУ;

$\eta_{\text{т}}^{\text{КГУ}}$  - тепловой к.п.д. КГУ.

Применение теплового насоса позволяет изменять это соотношение в сторону уменьшения производства электрической энергии вплоть до нуля. При этом тепловая мощность ТЭЦ может быть увеличена до величины:

$$Q_{\text{т}}^{\text{ТЭЦ}} = Q_{\text{т}}^{\text{КГУ}} \cdot \left( 1 + \frac{\mu \cdot \eta_{\text{эл}}^{\text{КГУ}}}{\eta_{\text{т}}^{\text{КГУ}}} \right)$$

где  $\mu$  - коэффициент преобразования энергии в тепловом насосе компрессионного типа;

$Q_t^{ТЭЦ}$  - максимальная тепловая мощность ТЭЦ, использующая теплонасосные установки для потребления электроэнергии, вырабатываемой КГУ, кВт.

Удельный расход условного топлива на выработку электрической энергии, отпускаемой потребителям, должен определяться на основании выражения:

$$b_{эл}^{ТЭЦ} = \frac{122,9 \cdot \mu}{\mu \cdot \eta_{эл.нт}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{эс}^{ТЭЦ} + \eta_{т.нт}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{тс}^{ТЭЦ}}, \frac{\text{г.у.т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

а удельный расход топлива на производство тепла по формуле:

$$b_t^{КГУ-ТНУ} = 122,9 \left( \frac{1 - \alpha}{\mu \cdot \eta_{эл.нт}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{эс}^{ТЭЦ} + \eta_{т.нт}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{тс}^{ТЭЦ}} + \frac{\alpha}{\mu_{ТНУ}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{эл.нт}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{эс}^{ТЭЦ} + \eta_{т.нт}^{ТЭЦ} \cdot \eta_{тс}^{ТЭЦ}} \right), \frac{\text{г.у.т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

где  $\alpha$  - доля тепловой нагрузки потребителей, покрываемая за счет мощности тепловых насосов:

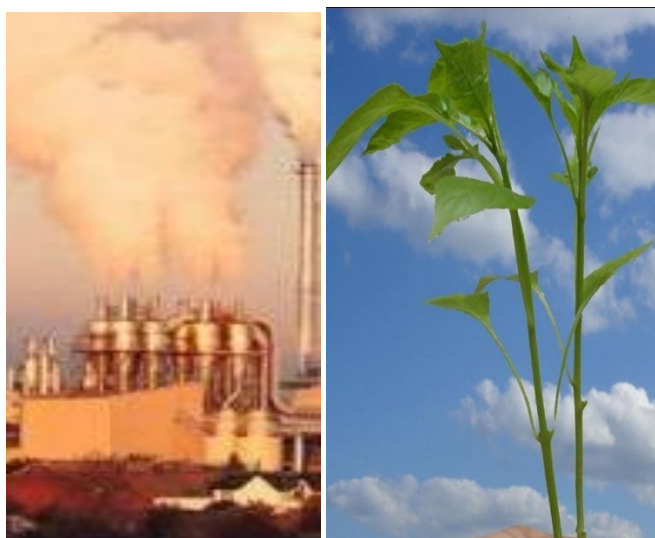
$$\alpha = \frac{Q_t^{ТНУ}}{Q_t^{ТЭЦ}}$$

$Q_t^{ТНУ}$  - тепловая мощность тепловых насосов, кВт;

$Q_t^{ТЭЦ}$  - суммарная тепловая мощность когенерационных установок и тепловых насосов, кВт.

Использование систем аккумуляции тепла (или баков-аккумуляторов) рассчитано на то, чтобы при выполнении электрической нагрузки КГУ, избыточную тепловую энергию направлять не в градирню, где тепло отдается окружающей среде, а запастись для использования в периоды дефицита тепловой мощности. Подобная ситуация может возникать при работе мини-ТЭЦ по трехзонным тарифам. Так, в пиковые часы электрической нагрузки сети, электроэнергия дорогая и ее выгодно производить в большом объеме. При этом КГУ будет производить и много избыточного тепла, которое можно накопить в баке-аккумуляторе. В часы ночного минимума производство электроэнергии будет убыточным, и желательно держать минимальную мощность, выдаваемую в электросеть. Для этого тепловую нагрузку необходимо осуществлять от бака-аккумулятора, а уже недостающее тепло получать от когенерационной установки.

# ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ





## СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОТ МАКЕЕВСКОГО КОКСОХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА «МАКЕЕВКОКС»

Каштальян Г.В., Кочура В.В.

Донецкий национальный технический университет

В настоящее время в Украине функционирует 13 крупных коксохимических предприятия, 7 из которых сосредоточены в Донецкой области. Неблагоприятная экологическая обстановка и медленное внедрение в практику новых технологий обуславливают необходимость технического перевооружения коксохимической подотрасли. На современных заводах внедряют передовые технологии, позволяющие снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. К основным из них относят установки бездымной загрузки угольной шихты в камеры коксования, установки беспылевой выдачи и сухого тушения кокса.

В зарубежной практике для обеспечения бездымной загрузки шихты в коксовые печи применяют систему гидроинжекции. Схема такого устройства приведена на рисунке 1. Перед выпуском шихты в камеру коксовых печей на загрузочные отверстия опускаются телескопы и автоматически зажигаются нефтяные горелки, которые зажигают газы. Продукты горения с температурой  $\sim 700$  °С поступают по трубопроводам в трубы Вентури, где тонкие частицы пыли обволакиваются капельками воды и выделяются в циклоны. Охлажденный газ поступает в вентилятор, где происходит удаление из него водой тончайших частиц пыли.

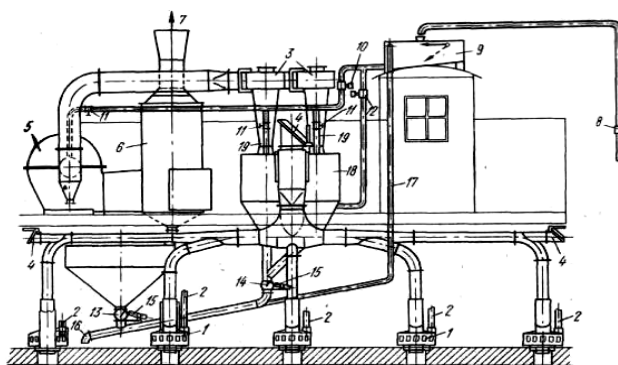
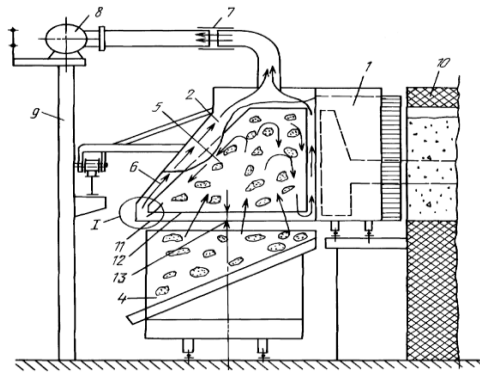


Рисунок 1 – Отсасывающая установка на загрузочном вагоне.

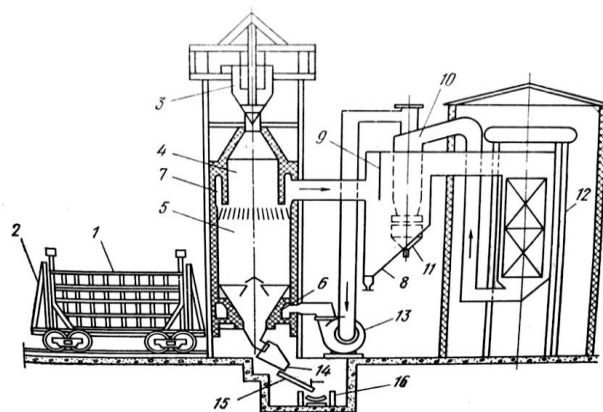
Выдача кокса из печей сопровождается выбросом в атмосферу значительных объемов пылегазовой смеси. В целях локализации этих выбросов и для дальнейшей их очистки от взвешенных частиц (пыли кокса) построена современная система беспылевой выдачи кокса (схема аспирации тушильного вагона комплекса БВК представлена на рисунке 2). Во время выдачи кокса зонты с двойными стенками устанавливаются над тушильным вагоном и присоединяют к стационарному коллектору. Разрежение в коллекторе создается двумя тягодутьевыми машинами. Эффективность локализации и отсоса пылевоздушной смеси 90 – 95%.



1 - двересъемная машина; 2 - пылеотсасывающий зонт; 3 – коксонаправляющая; 4 - коксотушильный вагон; 5 – кожух; 6 – щелевой зазор; 7 – соединительный патрубок; 8 – коллектор; 9 – опоры; 10 – коксовая батарея

Рисунок 2 - Установка беспылевой выдачи кокса из печей коксовой батареи

Процесс тушения заключается в охлаждении раскаленного кокса инертными газами, циркулирующими в замкнутом контуре между камерой и котлом-утилизатором. Раскаленный кокс при 950 – 1050°C в специальном тушильном вагоне подают в шахту подъемника УСТК, остуда он попадает в форкамеру, а затем в камеру тушения. В нижнюю часть камеры тушения подаются инертные газы ( $CO_2, N_2$ ), проходя через слой кокса газы нагреваются, тем самым охлаждая кокс. Затем нагретые газы отправляются на очистку и охлаждение в котле-утилизаторе. Охлажденные и очищенные газы подаются снова в камеру тушения. Цикл повторяется до тех пор пока кокс не охладится до температуры 200-250 °С.



1 – съемный кузов; 2 – направляющие стойки; 3 – загрузочное устройство; 4 – форкамера; 5 – камера тушения; 6 – периферийные дутьевые решетки; 7 – кольцевой отвод; 8 – пылеосадительная камера; 9 – перегородка;

Рисунок 3 – Схема сухого тушения кокса

#### Литература:

1. Мищенко И.М. Черная металлургия и охрана окружающей среды: учебное пособие. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2013. – 452 с.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАО «НКМЗ»**

Колесников В.А., Темнохуд В.А.  
Донецкий национальный технический университет

К основным неблагоприятным факторам в кузнечно-прессовых цехах относятся высокая температура, шум, вибрация, масляный аэрозоль, оксид углерода, азота и др.

Источниками тепловыделений являются поверхности нагревательных печей, обрабатываемые и остывающие затем в цехе горячие поковки, источниками шума — паровоздушные и пневматические штамповочные молоты, выхлопы сжатого воздуха при работе прессов и молотов без глушителей, а также струя сжатого воздуха, используемого для обдувки матриц штампа от пыли и окалины.

Особенно неблагоприятные микроклиматические условия создаются в кабинах мостовых кранов, не оборудованных надлежащей теплоизоляцией и кондиционированием. Так, при двухрядном расположении оборудования, когда кабины располагаются непосредственно над нагревательными печами, температура воздуха в кабинах достигает 40 °С и выше. При однорядном расположении оборудования температура в них обычно не превышает 37 °С. Стены и пол в кабинах могут нагреваться до 40 °С, а в отдельных случаях – до 50 °С, являясь вторичными источниками тепла. Такие температурные условия в сочетании с ограниченной подвижностью воздуха вызывают затруднения теплоотдачи как путем конвекции, так и излучения, что вызывает резкое перенапряжение терморегуляции организма крановщиков, вплоть до возникновения перегревов.

Для улучшения микроклимата в кабинах электромостовых кранов в скором времени будет установлена термоизоляционная защита и местные кондиционеры. Т.к. это предусмотрено в реконструкционных планах завода.

Молоты и штампы при ударах генерируют импульсный шум интенсивностью 99,5 – 125 дБА. Эти же машины создают вибрацию рабочих мест, которая также может превышать допустимые уровни.

Источниками выделения в воздух цеха оксида углерода и вредных газов являются нагревательные печи: масляным аэрозолем воздух загрязняется в процессе смазывания горячих штампов минеральными маслами. В целях устранения из воздушной среды цеха указанных веществ, копоти и дыма, вредно влияющих на здоровье рабочих, цеха оборудованы устройствами для аэрации (естественная вентиляция), а нагревательные печи дымогазоотводящими каналами. Для нагрева заготовок преимущество отдано электрическим печам вместо пламенных. Кроме того, в целях удаления вредных газов, образующихся в результате сгорания смазочных материалов при штамповке, а также для отвода пыли и окалины штамповочные молоты и

ковочные прессы снабжены местными вытяжными устройствами. Одной из мер борьбы с загрязнениями воздушной среды цеха и рабочего места кузнеца является применение для смазывания горячих штампов вместо смеси веретенного масла с графитом бездымных смазок на водной основе. Например, смазка «Укринол-7» используемая на ЗАО «НКМЗ», не вызывает загрязнения воздуха масляным аэрозолем, так как полностью сгорает при работе штампа.

Результатом всех мероприятий по устранению загазованности и запыленности воздуха в цехе является резкое повышение чистоты выбросов из цеха в окружающую среду и, как следствие, повышение чистоты воздушной среды на территории предприятия в целом.

Для предотвращения перегревания организма рабочего в кузнечных цехах максимально, механизированы трудовые процессы - для подачи металла от печи к молоту или прессу используются роликовые транспортеры, толкатели, тельферы на монорельсах, пневматические подъемные столы и другие механизмы и приспособления, позволяющие устранить непосредственный контакт кузнеца с раскаленными заготовками. Кроме того, механизировано удаление горячих поковок из цеха (через приямки у рабочих мест они под полом попадают в тару или на конвейер, что исключает вредное влияние на рабочего теплового излучения и повышения температуры в цехе). На окнах нагревательных печей устроены водяные завесы, применяется местная вентиляция и душирующие установки. Температурный режим кузнечных цехов предприятия зависит от воздухообмена.

Снижение шума и вибрации достигается установкой ковочно-штамповочных прессов на специальные виброизолированные фундаменты. Оборудование звукоизолирующих кожухов на прессы, облицовка участков штамповки звукопоглощающими материалами снижает шум на 8 – 12 дБ. Наряду с этими мерами вдобавок по всему цеху устанавливаются шумопоглощающие перегородки и экраны.

Во избежание нежелательных последствий постоянного влияния каких-либо опасных или вредных факторов важное значение имеет правильная организация режима труда работающих в кузнечно-прессовых цехах. Так при обслуживании кривошипных горячештамповочных прессов используется метод совмещения профессий, что позволяет равномерно распределять производственную нагрузку между всеми членами бригады, переводить работающих с одного вида производственной деятельности на другой. Кроме того, при обслуживании прессов, на заводе, введены дополнительные перерывы по 5-10 мин через каждые 1,5-2,5 ч работы.

Рабочие должны пользоваться антифонами типа ВЦНИОТ-1, ВЦНИОТ-2 и др. и противозумными вкладышами «Беруши».(чем они часто пренебрегают, нарушая тем самым нормы ОТ)

В качестве индивидуальных средств защиты рабочих от инфракрасного излучения применяется соответствующая спецодежда и для защиты глаз – очки со светофильтрами, покрытыми светоотражающим слоем.

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА ПРАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»**

Пигольчук А.О., Кочура В.В.  
Донецкий национальный технический университет

При строительстве электросталеплавильного цеха ПрАО «Донецксталь» - металлургический завод» предусматривается сооружение газоочистки с рукавным фильтром, предназначенной для очистки технологических выбросов дуговой сталеплавильной печи ДСП-150; неорганизованных выбросов от вытяжного зонта над дуговой сталеплавильной печью ДСП-150; пылегазовоздушной смеси, удаляемой от миксера; пылегазовоздушной смеси, удаляемой из отделения подготовки сыпучих материалов; пылегазовоздушной смеси, удаляемой от системы подачи сыпучих и ферросплавов в печь ДСП-150.

Технологические газы, отсасываемые от газовыпускного отверстия печи, поступают в камеру осаждения, в которой происходит осаждение всевозможных крупных частиц. Мелкодисперсная пыль образуется в результате испарения металла в зоне действия электрических дуг, пары которого конденсируются и взаимодействуют с кислородом и азотом, имеющимися в рабочем пространстве печи. Более крупные фракции пыли образуются из шлакообразующих и молотых раскислителей.

Затем по газоходу Ø 3200 мм, состоящему из водоохлаждаемых и неохлаждаемых частей поступают в охладитель с принудительной вытяжкой конструкции фирмы SIEMENS VAI. На участке водоохлаждаемого газохода температура газов снижается до 600 °С и далее в охладителе до 294 °С.

Вытяжной зонт для улавливания неорганизованных выбросов размером 36x27,5 м устанавливается непосредственно над электропечью. Отвод неорганизованных выбросов на газоочистку осуществляется по газоходу Ø 5100 мм (вторичная линия).

В зависимости от стадии работы электропечи предусматривается регулирование объемов отсоса от вытяжного зонта и от технологического отверстия печи. Регулирование осуществляется при помощи клапанов с электроприводами поставки фирмы SIEMENS VAI – на газоходе Ø 5100 мм от вытяжного зонта и газоходе Ø 3200 мм от печи.

Суммарный объем аспирационного воздуха, удаляемого из отделения подготовки сыпучих, от бункеров и укрытий пылящих узлов системы подачи сыпучих и ферросплавов составит 175 тыс. нм<sup>3</sup>/ч.

Объем отсоса от миксера составит 120 тыс. нм<sup>3</sup>/ч. Пылегазовоздушная смесь поступает на группу циклонов, где происходит улавливание. Далее газоход миксера подключается к газоходу неорганизованных выбросов через бустерный вентилятор.

Технологические газы после предочистки и охлаждения, смешиваются с неорганизованными выбросами от вытяжного зонта в смесителе и по газоходу

поступают в рукавный фильтр.

В соответствии с инжинирингом фирмы Siemens VAI максимальный объем пылегазовоздушной смеси, поступающей на рукавный фильтр газоочистки составит 1036 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Температура пылегазовоздушной смеси на входе в рукавный фильтр (в нормальном режиме работы) не выше 124 °С. Содержание пыли в неочищенном газе (в течении плавки) 4-5  $\text{г}/\text{м}^3$ , содержание пыли в неочищенном газе (в течении завалки) 1-2  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Газоочистка оборудована рукавным фильтром конструкции фирмы Siemens VAI с импульсной регенерацией. Площадь поверхности фильтрования 19740  $\text{м}^2$ . Удельная газовая нагрузка не более 1,7  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ . Конечная запыленность после очистки не более 20  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Состав выбрасываемых в атмосферу дымовых газов следующий:  $\text{NO}_x < 200 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{SO}_2 < 500 \text{ мг}/\text{м}^3$ ;  $\text{CO} < 250 \text{ мг}/\text{м}^3$ ; КПД очистки не менее 97,5%.

Регенерация рукавов фильтра осуществляется очищенным осушенным сжатым воздухом автоматически в зависимости от перепада давления на фильтре. Регенерация рукавов фильтра может производиться как в рабочем состоянии (все отсеки задействованы для фильтрации), так и в нерабочем состоянии для более эффективной очистки (подлежащие очистке отсеки отключаются).

Применение синтетических тканей в качестве фильтровальных материалов для фильтров позволяет использовать их при температурах выше 150 градусов. При этом, такие ткани более долговечны по сравнению с натуральными шерстяными и хлопчатобумажными тканями. Преимуществами таких фильтров являются простота обслуживания, надежность и длительный срок службы рукавов (до 20-24 месяцев) [1].

В качестве тягодутьевых машин приняты 3 дымососа двухстороннего всасывания поставки фирмы «Siemens VAI» с электродвигателями мощностью по 2000 кВт. Очищаемый воздух выбрасывается в атмосферу через вытяжную трубу высотой 30 м диаметром 6,5 м. Для контроля за выбросами в атмосферу на вытяжной трубе предусматриваются патрубки для замера запыленности.

Пыль, уловленная рукавным фильтром, направляется в сборный бункер для пыли при помощи конвейеров уборки пыли фирмы Siemens VAI. Сборный бункер  $V=100 \text{ м}^3$  для пыли оборудован пневматической системой разжижения пыли. Пыль из сборного бункера выгружается в вагоны и направляется на утилизацию для дальнейшего использования в производстве.

Таким образом, при использовании для газоочистки электросталеплавильного цеха ПрАО «Донецксталь» - металлургический завод» рукавного фильтра конструкции фирмы Siemens VAI с импульсной регенерацией достигается максимальный результат по уменьшению вредного воздействия на окружающую природную среду.

Литература:

1. Ладыгичев М.Г., Бернер Г.Я. Зарубежное и отечественное оборудование для очистки газов: Справочное издание / М.Г. Ладыгичев, Г.Я. Бернер. – М.: Теплотехник, 2004. – 696 с.

## **МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В УСЛОВИЯХ СНЕЖНЯНСКОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА АО «МОТОР СИЧ»**

Попович Ю.В., Темнохуд В.А.  
Донецкий национальный технический университет

Предприятие с высоким уровнем механизации и автоматизации производственных процессов, владеет многими современными технологиями производства деталей авиационных газотурбинных двигателей, такими как: вакуумное осаждение износостойких покрытий (нитрида титана на поверхность лопаток), точная штамповка лопаток, обеспечивающая минимальные припуски под механическую обработку, глубинное шлифование профильных поверхностей с использованием правки абразивных кругов алмазными правящими роликами; электрохимические и электрофизические методы обработки; скоростное протягивание; сварка деталей в среде защитных газов и вакуумных камерах; вакуумное осаждение жаростойких покрытий на лопатках турбины; финишные операции виброабразивной обработки и ультра звукового упрочнения пера и хвостовика рабочих лопаток компрессора и турбины. Имеется оборудование для сварки (в камере с контролируемой атмосферой, контактной, в среде защитных газов) и пайки (печной и токами высокой частоты). Завод располагает специализированным корпусом для электрохимической обработки лопаток. Применение автоматизированного проектирования с помощью систем EVCLID, ACAD, ADEM, системы автоматизированной разработки технологических процессов "TECHCARD", наличие в крупном инструментальном цехе современных и высокоточных станков, возможность точной электроэрозионной обработки сложно-фасонных деталей и штампов электродами и инструментами позволяют обеспечить высокий организационно-технический уровень подготовки производства лопаток.

В процессе механической обработки деталей образуется большое количество металлосодержащих отходов (пыль, стружка), а также других отходов абразивных материалов.

На предприятии для улавливания пылевидных выбросов используют газоочистное сооружение такое как – циклон, который обеспечивает очистку газов в среднем на 88%. Для более эффективного улавливания мелкодисперсной пыли целесообразно было бы установить рукавный фильтр, что обеспечит очистку газов, более чем на 97%.

Металлическая стружка и металлическая пыль образуется зачастую на одном и том же оборудовании. На одном и том же станке могут образовываться отходы разных металлов, так как обрабатываются заготовки из разных металлов. Для отделения отходов разных металлов можно использовать магнитные свойства отходов железа. Притягиваясь к магниту стальные опилки



отделяются от других металлических отходов и собираются отдельно в соответствующей таре. Далее они направляются на переработку. В настоящее время основными направлениями переработки металлосодержащих отходов являются производство брикетов, аглошихты, окатышей.

Отходы абразивных материалов временно хранятся в закрытых емкостях на специальных площадках с твердой поверхностью и по мере накопления вывозятся на свалку ТБО, что очень плохо сказывается на окружающей среде. Из-за ветров происходит постоянное пыление отвалов, что приводит к загрязнению воздушного бассейна. Осадки (дожди, снег) выщелачивают из отвалов элементы и соединения, что приводит к заражению почвы и воды. Все это способствует росту экологической напряженности в регионе.

Наиболее рациональным решением проблемы утилизации металлосодержащих отходов является ее окускование методом брикетирования.

В результате лабораторных исследований в качестве дополнительных комплексов шихты для брикетирования металлосодержащих отходов были приняты песок кварцевый, глина молотая и порошок лигносульфонатов технический (ЛСТ). Оксид кремния, содержащийся в песке, предупреждает преждевременное восстановление окалины, глина и ЛСТ пластифицируют формовочную массу. Кроме того, глина обеспечивает прочность брикета в условиях повышенных температур, а лигносульфонат – при низких температурах.

Компоненты шихты дозировали по существующей технологии. Равномерная формовочная масса была получена при перемещении не менее 4 мин. Оптимальная влажность формовочной смеси 2,0 – 2,5%. Увеличение ее влажности выше данного предела приводило к снижению предела прочности сырца при сжатии и налипанию формовочной массы на штампельные пластины.

Сырца прессовали на коленно-рычажном прессе СМ-1085. Для удобства изготовления и эксплуатации выбрали форму брикета, аналогичную форме и размерам строительного кирпича. Для приобретения необходимой для транспортировки и эксплуатации прочности отформованный сырец подвергали термообработке в интервале температур 150 – 170 °С. Эта операция – наиболее узкое место технологии, так как приходится совмещать сушку брикета из металлосодержащих отходов и алюмосиликатных изделий и обеспечивать для них нормальный режим сушки. Опытный брикет помещали на туннельные вагонетки в виде пакета на деревянный поддон, установленный на "подсад" из шамотного или муллитокремнеземистого кирпича. Для предотвращения попадания осыпи на "подсад" из сырца его накрывали картоном.

По новой технологии получили брикет на основе металлосодержащих отходов с пределом прочности при сжигании не менее 15 Н/мм<sup>2</sup>. Опытный брикет испытывали в доменном цехе, при загрузке в печь пластинчатым транспортом затруднений не наблюдалось. В контрольный передел равномерность выдачи шлака по леткам улучшились на 10 – 12%, интенсивность плавки по руде – на 1,3%, по сожженному коксу – на 3,4%. Выход колошникового газа возрос на 4,6% при неизменном общем перепаде, что указывает на улучшение газопроницаемости столба шихты. В период эксперимента горн работал эффективно, о чем свидетельствовали рост тепловых нагрузок на холодильники.

**ПЕРЕРАБОТКА ШЛАКА ДСП-150  
ПРАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»**

Рогожина А.А., Кочура В.В.  
Донецкий Национальный Технический Университет

Основные виды отходов электросталеплавильного цеха ПраО «Донецксталь» - металлургический завод» представлены в табл.1.

Таблица 1 - Перечень основных отходов электросталеплавильного цеха

Наименование отхода	Класс опасности	Химический состав		Количество, т/год 1-я очередь/ 2-я очередь
		Вещество	% содержания	
Шлак электросталеплавильный	IV	SiO <sub>2</sub>	18,0	120000 т/ 220000т
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0	
		CaO	36,0	
		MgO	7,0	
		MnO	6,0	
		FeO + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,0	
А)Пыль после газоочисток отделения подготовки сыпучих и ферросплавов  Б)Пыль после газоочистки ЭДП-150  В)Пыль после газоочисток известь обжигового участка	IV	SiO <sub>2</sub>	5,6	600,0/ 1092,0
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,2	
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44,0	25000,0/ 45500,0
		CaO	6,94	
		MgO	1,22	
		MnO	2,22	
		FeO	7,84	
		C	3,2	
		Fe	37,0	14940,0
		ZnO	18,5	
Обрезь и скрап	IV	SiO <sub>2</sub>	3,2	25200/ 45864,0
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41,12	
		CaO	0,82	
		MgO	0,22	
		MnO <sub>2</sub>	0,4	
		FeO	49,7	
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	
		C	0,26	
		S	0,16	
Электроды графитированные отработанные	IV	C	99,2	500,0/ 910,0
		SiO <sub>2</sub>	0,4	
Бой огнеупоров и мусор	IV	SiO <sub>2</sub>	0,2	14900,0
		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1...16	
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11...97,5	
		C	0,1...40	
		MgO	0,2...91	
		CuO	0,1...4,5	

Планируемый объем отходов составляет 207185,2 тыс. т/год для 1-й очереди (при выплавке 1,0 млн. т. стали/год), 349051,2 тыс. т/год для 1-й очереди (при выплавке 1,8 млн. т. стали/год).

Одним из основных видов отходов является электросталеплавильный шлак. Количество шлака при выплавке 1,0 млн. т стали составляет 120 тыс. т/год, а для 1,8 млн. т стали - 220 тыс т/год. Удельный выход шлака составляет приблизительно 90 – 110 кг/т жидкой стали.

Состав шлаков, %: 30-40 CaO, 15-18 SiO<sub>2</sub>, 5-10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 8-12 MgO, 4-9 MnO, 20-35 FeO, 1-1,5 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,1-0,3; основность 1,9-2,3.

Скачивание шлака из ДСП-150 осуществляется через рабочее окно путем наклона печи. Шлак скачивается на пол цеха под печью. Из сталеплавильного цеха шлак фронтальным автопогрузчиком емкостью ковша 2,6 м<sup>3</sup> доставляется на участок первичной переработки шлака, где производится охлаждение шлака до температуры ниже 100 °С и затем этим же автопогрузчиком осуществляется его отгрузка в железнодорожные думпкары для вывоза на шлаковый двор.

На шлаковом дворе шлак остывает и грузится в думпкары, которыми доставляется в цех шлакопереработки, где на дробильно-сортировочном комплексе производится выделение металлической части. Далее металлическая часть возвращается в производство.

Участок первичной переработки шлака представляет собой три отсека (закрома) размером в плане 13×12 м каждый, разделенных защитными стенами высотой 3 м.

От механических повреждений стены и днище закромов футеруются рельсами. Днище закромов выполняется с уклоном 1,5 % в сторону отстойника оборотного цикла воды. Выгрузка шлака осуществляется поочередно в один из отсеков послойно таким образом, чтобы высота слоя шлака от одной партии была не более 150-200 мм. При этом в любой отрезок времени один из отсеков находится на заполнении, другой – на охлаждении шлака, а последний – на отгрузке ранее слитого и остывшего шлака.

В теплый период года шлак орошается водой из форсунок, установленных верхней части стен, ограждающих отсеки. Часть не испарившейся воды собирается в отстойник оборотного цикла и погружным насосом возвращается обратно в систему орошения. Количество воды на охлаждение шлака 10 м<sup>3</sup>/ч, в т.ч. подпитка оборотного цикла водоснабжения до 5 м<sup>3</sup>/ч.

На обратном пути в ЭСПЦ автопогрузчиком завозится охлажденный в отсеках шлак с целью восполнения защитной «постели» и разбавления сливаемого из электросталеплавильной печи огненно-жидкого шлака до температуры ~ 800° С.

Количество вывозимого шлака от одной плавки, при годовом объеме выпуска стали 990 тыс. т/год – 28 т в том числе 6,5 т шлака на восполнение «постели» и разбавление и 38,5 т шлака в том числе 9,0 т на «постель» и разбавление при объеме выпуска стали до 1,8 млн. т/год.

Целью дальнейших исследований является изучение возможных путей использования шлака в строительной отрасли.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ ЧАО «КМПЗ»

Шоста Я.В., Темнохун В.А.

Донецкий национальный технический университет

В технологическом процессе прокатного производства образуется два вида отходов: обрезь прокатного производства и окалина, которая является источником потерь исходного сырья, а также брак.

В процессе окисления образуется простой окисел – закись железа FeO. Окалина имеет три выраженных слоя. Наружный, слой окалины представляет собой окись железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и занимает около 2,5 % всей толщины окалины. Промежуточный слой состоит из Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и занимает собой около 17,5 % толщины окалины. Внутренний слой FeO, прилегающий к основному металлу, занимает 80 % толщины окалины. В процессе прокатки металла в валках рабочих обжимных клетей и при транспортировке его по рольгангу, а также при резке от поверхности заготовок окалина отделяется и частично измельчается, образуя металлическую пыль. Большое количество мелкой металлической пыли поднимается и попадает в атмосферный воздух через аэрационные фонари и неплотности прокатного цеха. Количество такой пыли составляет не менее 200 грамм на тонну готового проката, более 20% от этого количества составляет мелкодисперсная окалина, которая легко проникает в организм человека при вдыхании, тем самым нанося огромный вред. Нормируемый процент брака для различных профила размеров проката составляет 2,0 % в зависимости от профиля проката. В соответствии с утвержденными нормами образования технологических отходов, образование обрезки составляет 5,5% от веса заготовки.

Временное размещение окалины осуществляется в металлических емкостях на 1-ом металлургическом пролете, в думпкарах на 6-ом железнодорожном пути и шламоотстойнике замкнутого оборотного цикла сортопрокатного цеха.

По мере накопления данные отходы передаются на утилизацию как металлосодержащий отход.

При создании новых качественных технологий высокого уровня, которые обеспечивают повышение механических свойств проката за счет совмещения в едином технологическом потоке стана операций пластической деформации и термического упрочнения, было предложено снижение вредных выбросов за счет применения эффективного способа пылеподавления. Подавление неорганизованных пылевых выбросов происходит на выходе из очага деформации компактной струей отработанного охладителя.

В работе предложены две схемы пылеподавления: 1) на рабочих клетях, на которых устанавливается установка ускоренного охлаждения, предусмотрено совмещение процесса охлаждения с пылеподавлением; 2) на клетях, где нет установки ускоренного охлаждения, предусмотрено установить форсунки для

подавления неорганизованной пыли, которая образуется на выходе металла из калибра. Для реализации данной задачи предложен алгоритм проектирования форсунок. Предусмотрены форсунки струйного типа с коническим расходящимся соплом, которые подают поток воды в зону выхода металла из рабочего калибра. Для условий работы стана 330 ЧАО «КМПЗ» спроектирована и использована разработанная программа системы пылеподавления.

Рассчитаны следующие параметры установки: количество форсунок, диаметр сопла, расход воды на одну форсунку, расход воды на каждую группу клетей, расстояние от форсунки до источника выделения пыли и др.

По разработанной программе получены зависимости работы системы от различных конструктивных устройств, зависимость расхода воды на разные группы клетей стана 330 при разных диаметрах сопел.

Для повышения механических свойств предусмотрена установка системы ускоренного охлаждения на выходе из чистой клетки. Для достижения эффекта пылеподавления предусмотрена противоточная подача охладителя. Отработанный охладитель направляется на раскат, выходящий из чистой рабочей клетки. Турбулентный поток охладителя смачивает пыль, которая образуется при прокатке, затем водяным потоком эта пыль уносится в подстановый туннель и попадает в систему очистки оборотного водоснабжения.

Разработан алгоритм проектирования данной камеры охлаждения. В систему расчётов входит задание на проектирование, включающее сортамент охлаждаемого проката по профилям и маркам сталей, геометрические размеры проката, поперечное сечение, скорость прокатки, температуру металла на входе и выходе охлаждающего устройства, механические свойства, требуемую степень пылеподавления и схему подачи охладителя на прокат в зоне выхода металла из очага деформации. Выходом являются проектные решения в виде: сортамента профилей, охлаждаемых в устройстве; конструктивных параметров системы охлаждения; технологических параметров работы системы охлаждения; компоновки охлаждающего оборудования в потоке стана; параметры размещения секции устройства по отношению к выходному сечению очага деформации для обеспечения требуемой степени пылеподавления; температурного состояния раската в процессе, как ускоренного охлаждения, так и на стадии выравнивания температур в паузах при транспортировке его по рольгангу; экономических показателей эффективности разработанной системы охлаждения.

По предварительным результатам степень подавления пылевыведений составила бы 98-99%.

Таким образом, экономическая эффективность разработанных технологических решений определяется в основном повышением качественных показателей сортового проката. Наряду с этим уменьшено тепло- и пылевыведения в атмосферу цеха и неорганизованные выбросы в окружающую среду.

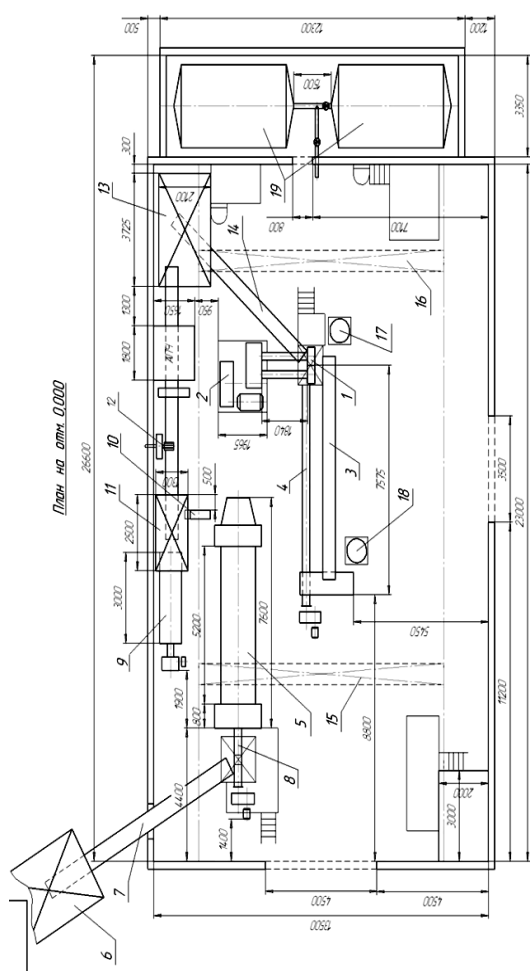
# ПРОИЗВОДСТВО БРИКЕТОВ В УСЛОВИЯХ ООО «СОЮЗ ДОНБАССА»

Шевелева А.А., Кочура В.В.

Донецкий национальный технический университет

ООО «Союз Донбасса» расположено в г. Донецк, основано в 2001 г. и специализируется на разработке, внедрении и производстве материалов, применяемых в металлургической отрасли. Основные виды продукции, выпускаемой предприятием: брикет раскисляющий (БР), комплексный раскислитель (КР), брикет для прямого легирования стали марганцем (БПЛМ), брикет марганцевый щелочесодержащий (БМЩ), брикеты под определенный заказ.

Производство осуществляется на промышленной площадке, состоящей из отдельных, полностью заменяющих друг друга (с независимым производственным циклом) цехов. Каждый цех представляет собой линию по производству брикетов.



- 1-брикетный пресс
- 2 - привод пресса
- 3 - конвейер брикетов
- 4 - шнек возврата отсева
- 5 - сушильная печь
- 6 - бункер уличный
- 7 - конвейер уличный
- 8 - шнек загрузки печи
- 9 - дробилка стержневая
- 10 - элеватор
- 11 - бункер элеватора
- 12 - вентилятор подачи воздуха
- 13 - накопительный бункер
- 14 - конвейер загрузки пресса
- 15 - тельфер №1
- 16 - тельфер №2
- 17 - АП №1
- 18 - АП №2
- 19- емкости под патоку
- 20 - вибросито

Рисунок 1 - Схема третьего цеха ООО «Союз Донбасса»

Линия состоит из загрузочного бункера (с подающим транспортером), сушильного агрегата (оборудованного шнековым транспортером подачи сырья, шнековым транспортером выгрузки сухого материала), накопительного бункера,

брикетированного валкового пресса (оборудованного шнековым конвейером возврата отсева) и вибросита с холодильной установкой. Линию обслуживают мостовые однобалочные краны. Загрузка исходным сырьем обеспечивается козловым краном, обслуживающим открытую площадку, используемую как склад материалов.

Сырой материал с влажностью 15-25% козловым краном с помощью грейфера загружается в приемный бункер и по транспортеру подается в загрузочный бункер сушильные установки. Затем с помощью шнекового конвейера подается непосредственно в камеру сушильного барабана. Высушенный до влажности 4% материал поступает в накопительный бункер, в котором осуществляется смешивание шихты с необходимыми компонентами (связующие и т.д.).

Из бункера смесь поступает на брикетировочный валковый пресс, в котором формируются брикеты размерами 45\*30\*20. Из пресса по конвейеру готовый брикет поступает на вибросито, где происходит отделение брикета от отсева. Отсев по шнековому конвейеру поступает обратно в приемный бункер пресса.

Сырой материал с влажностью 15-25% козловым краном с помощью грейфера загружается в приемный бункер и по транспортеру подается в загрузочный бункер сушильные установки. Затем с помощью шнекового конвейера подается непосредственно в камеру сушильного барабана 5. Высушенный до влажности 4% материал поступает в накопительный бункер 13, в котором осуществляется смешивание шихты с необходимыми компонентами (связующие и т.д.). Из бункера смесь поступает на брикетировочный валковый пресс 1, в котором формируются брикеты размерами 45\*30\*20. Из пресса по конвейеру готовый брикет поступает на вибросито, где происходит отделение брикета от отсева. Отсев по шнековому конвейеру поступает обратно в приемный бункер пресса.

Готовый брикет расфасовывает в мешки типа “Биг - Бэг” по 800 кг и в таком виде поставляется потребителю.

Все цеха оснащены системами пылеподавления. В системах аспирации используются агрегаты пылеочищающие АП-3000 (для локального пылеподавления непосредственно на запыленных рабочих местах), циклоны типа СЦН-40, рукавные фильтры и центробежные барботажные аппараты.

К несомненным преимуществам производства брикетов в условиях ООО «Союз Донбасса» относятся:

- брикеты производятся безобжиговым методом, поэтому их производство экологически безопасно (безотходность, отсутствие высоких температур при изготовлении);
- брикеты имеют правильную одинаковую форму и вес, обладают высокой прочностью и хорошей транспортабельностью;
- возможность применения в брикете в любом соотношении углеродосодержащего наполнителя для активизации процессов в металлургической печи (карбюризатор, восстановитель, энергоноситель);
- возможность использования в качестве сырья всех видов тонкодисперсных железифлюсолигирующей углеродосодержащих отходов металлургического передела.



## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. МЕТАЛЛУРГИЯ ЧУГУНА

1. Власенко И.А., Кузин А.В. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ КОКСА ПРИ ОСВОЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПЫЛЕВДУВАНИЯ.....6
2. Джафаров Э.Д., Кочура В.В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЛОТКА БЕСКОНУСНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА .....9
3. Кнеpper M., Babich A. EXPERIMENTAL STUDY ON WASTE PLASTICS INJECTION INTO THE BLAST FURNACE.....11
4. Королев И.С. , Кочура В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СТРУИ КОКСОВОГО ГАЗА В ВОЗДУШНОЙ ФУРМЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ .....14
5. Ларькин А.А., Кочура В.В. КАЧЕСТВО ПОМОЛА ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ВДУВАНИЯ В ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ.....16
6. Собонев В.В., Брусов А.Л. ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ДИАМЕТРОВ ТОВАРНЫХ ОКАТЫШЕЙ.....18

### 2. МЕТАЛЛУРГИЯ СТАЛИ

1. Алёшин Р.Г., Лебедев Е.Н. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ .....21
2. Кириченко В.С., Ухин В.Е. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗАРАСТАНИЯ ПОГРУЖНЫХ СТАКАНОВ СЛЯБОВЫХ МНЛЗ.....22
3. Тиминский С.А., Лебедев Е.Н. ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КОНВЕРТЕРНОГО МЕТАЛЛА ИНЕРТНЫМ ГАЗОМ.....25

### 3. ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

1. Нестеренко Б.В., Ратиев С.Н. О МЕСТЕ ГОРЕНИЯ ДУГИ ПРИ КАМЕРНОМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОМ ПЕРЕПЛАВЕ ПОД АКТИВНЫМИ ШЛАКАМИ.....31

### 4. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

1. Бандурка Т.С., Пасечник А.Ю. ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК ИЗ МАРГАНЦОВИСТОЙ БРОНЗЫ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ КОКИЛЬНЫМ ЛИТЬЕМ.....31
2. Чиж Ю.В., Бредихин В.Н. АВТОМАТИЧЕСКАЯ СОРТИРОВКА ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПО СПЛАВАМ.....33
3. Селезнев К.М., Пасечник С.Ю. ПОЛУЧЕНИЕ МЕДНОЙ КАТАНКИ ИЗ ШЛАКОВ .....35

### 5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. Кривой Д.А., Яковченко А.В. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМОВКИ

- ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 450 - 700ММ НА ТРЕХВАЛКОВОЙ ЛИСТОГИБОЧНОЙ МАШИНЕ «HAEUSLER» ОАО ХТЗ, ОБОРУДОВАННОЙ ОПОРНЫМИ МОСТКАМИ.....38
2. Мазный Е.В., Руденко Е.А. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УМЕНЬШЕНИЯ ШИРИНЫ СЛЯБОВ ПРИ ИХ РЕДУЦИРОВАНИИ С МНОГОКРАТНЫМ ОБЖАТИЕМ В КАЛИБРОВАННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВАЛКАХ.....40
3. Шмыгля Р.А., Смирнов Е.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ УГЛА НЕСОВПАДЕНИЯ МЕЖДУ ПРОДОЛЬНЫМИ ОСЯМИ РАСКАТА И ВНУТРЕННЕГО ОСЕВОГО ДЕФЕКТА МАКРОСТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛИТКА НА СТЕПЕНЬ ИХ "ВЫКАТКИ".....42
4. Соболев А.Г., Ручко В.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ СОРТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ПО РАЗНЫМ СХЕМАМ РАСПОЛОЖЕНИЯ УЧАСТА «МЯГКОГО» МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЖАТИЯ.....45
5. Загоруйко Р.Э., Снитко С.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИНСТРУМЕНТА ДЕФОРМАЦИИ ПРЕССА 50МН НА ИСПРАВЛЕНИЕ АСИММЕТРИИ КОЛЕСНОЙ ЗАГОТОВКИ.....47
6. Коряченко Н.И., Яковченко А.В. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМОВКИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ СВАРНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 1220-1420 ММ НА ТРЕХВАЛКОВОЙ ЛИСТОГИБОЧНОЙ МАШИНЕ «HAEUSLER» ОАО ХТЗ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМОВКИ.....49

## **7. ПРИКЛАДНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ**

1. Ермаченко Д.И., Алимов В.И. ОСОБЕННОСТИ ДИФфуЗИОННОГО РАСПАДА ДИФОРМИРУЕМОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ В СЫПУЧЕМ ГРАФИТЕ.....52
2. Генкузина В.О., Крымов В.Н. ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ ХРОМНИКЕЛЬМАРГАНЦЕВОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ.....54
3. Мороз В.В., Алимов В.И. УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТЬЮ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ ТИПА Х12.....56
4. Псёл А.В., Георгиаду М. В. РАЗМЕРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ.....58
5. Семивол М.А., Горбатенко В.П. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ДЕФЕКТОВ МИКРОСТРУКТУРЫ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВЕ.....60
6. Шаповалова И.С., Штыхно А.П. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ.....62

7. Штырно Т.А., Егоров Н.Т. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТИ.....64
8. Супрун Е. В., Горбатенко В.П. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЛАТУНИ МАРКИ ЛС59-1.....66
9. Зозуля А.П., Алимов В.И. ВЛИЯНИЕ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО ОТЖИГА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ИГОЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ .....68
10. Магомедова М.А., Прошкин В.Н. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПРОВОЛОК.....70
11. Марченкова Ю.А., Соболев О.В. КЛАСТЕРНО-КОАГУЛЯЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СПЛАВОВ И ПУТИ ИХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ .....73
12. Павлов В.А., Александров В.Д. ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ ЗАМЕЩЕНИЯ МЕТОДАМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ.....75
13. Понякин В.В., Фролова С.А. ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА GA+8,5 МОЛ.% SN.....77
14. Тертычный Д.В., Горецкий Ю.В. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ФАСОННЫХ ПРОФИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ СОРТОПРОКАТНОГО СТАНА 600 ПАО «АМК» С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ.....79
15. Войнова Е.В., Рябичева Л. А. ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОРОШКОВЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ .....81

## **7. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

1. Храпач А.В., Еронько С.П. НОВАЯ СИСТЕМА ВЫГРУЗКИ ИЗВЕСТИ ИЗ ШАХТНОЙ ОБЖИГОВОЙ ПЕЧИ.....84
2. Сныткина А.В., Бирюков А.Б. РАЗРАБОТКА РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....86
3. Барков С.П., Туяхов А.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЙ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ С ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ.....88
4. Петренко Л.Н., Бирюков А.Б. ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПЛАМЕННЫХ ПЕЧАХ.....90
5. Талах Б.Б. ПОСТАНОВКА ТЕПЛОЙ ЗАДАЧИ ПРИ МИКРОЛЕГИРОВАНИИ СТАЛИ ЕЕ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОРОШКОВОЙ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОВОЛОКОЙ.....92

## **8. ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

1. Кутина И.В., Гридин С.В. ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В КОТЛАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ .....95

2. Халецкая О.А., Гридин С.В. ПРЕИМУЩЕСТВА УТЕПЛЕНИЯ СТЕН ПОМЕЩЕНИЙ ЖИДКИМИ КЕРАМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ «КОРУНД».....97
3. Королева В.Г., Гридин С.В. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВОГО ГАЗА НА ДОНБАССЕ.....99
4. Константинов И.Г., Сафьянц С.М. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭФФЕКТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗОК МИНИ-ТЭЦ .....101

## **9. ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В МЕТАЛЛУРГИИ**

1. Каштальян Г.В., Кочура В.В. СОКРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОТ МАКЕЕВСКОГО КОКСОХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА «МАКЕЕВКОКС».....104
2. Колесников В.А., Темнохуд В.А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАО «НКМЗ».....106
3. Пигольчук А.О., Кочура В.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА ПРАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД».....108
4. Попович Ю.В., Темнохуд В.А. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В УСЛОВИЯХ СНЕЖНЯНСКОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА АО «МОТОР СИЧ».....110
5. Рогожина А.А., Кочура В.В. ПЕРЕРАБОТКА ШЛАКА ДСП-150 ПРАО «ДОНЕЦКСТАЛЬ» - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД» .....112
6. Шоста Я.В., Темнохуд В.А. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОРТОВОГО ПРОКАТА В УСЛОВИЯХ ЧАО «КМПЗ».....114
7. Шевелева А.А., Кочура В.В. ПРОИЗВОДСТВО БРИКЕТОВ В УСЛОВИЯХ ООО «СОЮЗ ДОНБАССА».....116