

Научный журнал

ВЕСТНИК

Сибирского
государственного
индустриального
университета

№ 1 (35), 2021

Основан в 2012 году
Выходит 4 раза в год

Учредитель:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Редакционная коллегия

М.В. Темлянецв
(главный редактор)
А.В. Новичихин
(отв. секретарь)

Е.П. Волынкина
Г.В. Галевский
В.Ф. Горюшкин
В.Е. Громов
Л.Т. Дворников
Жан-Мари Дрезет
Стефан Золотарефф
Пенг Као
С.В. Коновалов
С.М. Кулаков
А.Г. Никитин
Е.Г. Оршанская
Т.В. Петрова
Е.В. Протопопов
В.И. Пантелеев
Арвинд Сингх
А.Ю. Столбоушкин
И.А. Султангузин
А.В. Феоктистов
В.Н. Фрянов
В.П. Цымбал
Си Чжан Чен

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Усольцев А.А., Михно А.Р., Козырев Н.А., Белов Д.Е., Шамрай В.Р. Исследование порошковых проволок системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W с заменителем кремнефтористого натрия при наплавке под марганецсодержащими флюсами.....3
Башенко Л.П., Козырев Н.А., Гизатулин Р.А., Михно А.Р., Усольцев А.А. Поведение водорода при сварке под флюсом на основе шлака производства силикомарганца.....12
Малушин Н.Н., Ковалев А.П., Романов Д.А., Громов В.Е., Гизатулин Р.А. Эффект кинетической пластичности и его применение при плазменной наплавке экономно легированных теплостойких сплавов.....16

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

Гудимова Л.Н., Живаго Э.Я. Машины и механизмы металлургического производства.....21
Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т., Никитин А.Г. Понятие кинематических пар квазивысоких классов и их использование при устранении избыточных связей в шарнирных механизмах.....27
Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т., Никитин А.Г., Торушпанов К.В. О создании рационального четырехзвенного кривошипного механизма качения кристаллизатора.....31

ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Асоев М.Дж., Якубов У.Ш., Кабутов К. Температурная зависимость теплофизических свойств и термодинамических функций сплавов системы Al – Sn.....35

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

Осипов Ю.К., Матехина О.В. Пневматические конструкции в формировании архитектурной среды.....42

ОБРАЗОВАНИЕ И ПЕДАГОГИКА

Пьянкова Л.А. Анализ современных зарубежных концепций профессионального самоопределения.....48

ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ, БИОГРАФИИ

Тресвятский Л.А. Профессор Николай Васильевич Толстогузов: социально-исторический портрет.....54
Творческое наследие Валентина Павловича Цымбала.....65

К сведению авторов.....69

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77872 от 03.03.2020 г.

Адрес редакции:

654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Центральный район, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42,
Сибирский государственный
индустриальный университет
каб. 433 М
тел. 8-3843-74-86-28
[http: www.sibsiu.ru](http://www.sibsiu.ru)
e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru

Адрес издателя:

654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Центральный район, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42,
Сибирский государственный
индустриальный университет
каб. 336 Г
тел. 8-3843-46-35-02
e-mail: rector@sibsiu.ru

Адрес типографии:

654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Центральный район, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42,
Сибирский государственный
индустриальный университет
каб. 280 Г
тел. 8-3843-46-44-02

Подписные индексы:

Объединенный каталог «Пресса России» – 41270

Подписано в печать

31.03.2021 г.

Выход в свет

31.03.2021 г.

Формат бумаги 60×88 1/8.

Бумага писчая.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 4,2.

Уч.-изд. л. 4,46.

Тираж 300 экз.

Заказ № 75.

Цена свободная.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ ПРОВОЛОК СИСТЕМЫ Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W С ЗАМЕНИТЕЛЕМ КРЕМНЕФТОРИСТОГО НАТРИЯ ПРИ НАПЛАВКЕ ПОД МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИМИ ФЛЮСАМИ

А.А. Усольцев, А.Р. Михно, Н.А. Козырев, Д.Е. Белов, В.Р. Шамрай

E-mail: a.us@rambler.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлены результаты исследования наплавленных образцов, выполненных наплавкой порошковой проволоки системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W с заменителем кремнефтористого натрия под марганецсодержащими флюсами. В качестве заменителя кремнефтористого натрия была использована пыль электрофильтров производства алюминия. Наплавка осуществлялась на наплавочные пластины из стали марки 09Г2С с использованием различных марганецсодержащих флюсов. Изучены химические составы наплавленных слоев, построены зависимости влияния оксидов FeO и MnO на извлечение основных элементов. Методами оптической микроскопии исследована и описана структура и неметаллические включения наплавленных образцов, изучены твердость и износостойкость полученных наплавленных поверхностей.

Ключевые слова: шлак силикомарганца, порошковая проволока, наплавка под флюсом, неметаллические включения, структура, твердость, износостойкость.

STUDY OF FLUX CORED WIRES OF THE Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W SYSTEM WITH A SODIUM FLUOROSILICATE SUBSTITUTE USED IN SUBMERGED-ARC WELDING WITH MANGANESE-CONTAINING FLUXES

A.A. Usoltsev, A.R. Mikhno, N.A. Kozyrev, D.E. Belov, V.R. Shamrai

E-mail: a.us@rambler.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper presents the study results of deposited samples performed by arc submerged welding with flux-cored electrode of the Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W system with a sodium fluorosilicate substitute under manganese-containing fluxes. The dust from aluminum electrostatic precipitators was used as a substitute for sodium fluorosilicate. Deposition was carried out on the plates made of 09G2S steel using various manganese-containing fluxes. The chemical compositions of the deposited layers were studied, the dependences of the influence of FeO and MnO on the extraction of basic elements were plotted. The structure and nonmetallic inclusions of the deposited samples were investigated and described by the methods of optical microscopy. The hardness and wear resistance of the obtained deposited surfaces were studied.

Keywords: silicomanganese slag, flux-cored wire, submerged arc welding, non-metallic inclusions, structure, hardness, wear resistance.

Введение

Качество наплавляемого металла и угар легирующих элементов во многом зависят от состава сварочных флюсов и физико-химического взаимодействия между собой порошковой проволоки и флюсов.

Ранее в рамках развития направления по совершенствованию составов наплавочных материалов системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W в Сибирском государственном индустриальном университете (СибГИУ) был разработан новый состав порошковой проволоки с добавле-

нием углеродфторсодержащего материала – пыли газоочистки производства алюминия [1 – 19]. Применение такого состава проволоки позволяет исключить образование пор, раковин, трещин и проводить удаление водорода. Химический состав порошковых проволок с использованием пыли газоочистки вместо кремнефтористого натрия защищен патентами РФ [20 – 23].

В настоящей работе приведены результаты влияния сварочных флюсов на извлечение основных элементов, на микроструктуру и степень загрязненности неметаллическими включениями, твердость и износостойкость при наплавке порошковой проволоки с использованием различных марганецсодержащих флюсов.

Материалы и методы исследования

Изготовление порошковой проволоки проводили на лабораторном станке. В качестве наполнителя использовали порошкообразные материалы: кремний КР-1 по ГОСТ 2169 – 69, марганец МР-0 по ГОСТ 6008 – 82, хром ПХА-1М по ТУ 14-1-1474 – 75, ванадий ВЭЛ-1 по ТУ 48-0533 – 71, железный порошок ПЖВ-1 по ГОСТ 9849 – 86, вольфрам ПВТ по ТУ 48-19-72 – 92, углеродфторсодержащий материал (пыль газоочистки производства алюминия). Химический состав пыли газоочистки производства алюминия следующий: 21,000 – 46,230 % Al_2O_3 ; 8,000 – 15,000 % Na_2O ; 0,400 – 6,000 % K_2O ; 0,700 – 2,300 % CaO ; 0,500 – 2,480 % SiO_2 ; 2,100 – 3,270 % Fe_2O_3 ;

0,070 – 0,900 % MnO ; 0,060 – 0,900 % MgO ; не более 0,190 % S; не более 0,180 % P; 12,500 – 30,200 % $C_{общ}$; 18,000 – 27,000 % F (по массе).

С целью изучения извлечения основных элементов из порошковой проволоки при использовании различных марганецсодержащих флюсов изготовлены два образца порошковой проволоки с разным компонентным составом (табл. 1).

После проведения расчетов состава порошковых проволок и их изготовления проводили наплавку образцов с использованием различных сварочных флюсов, изготовленных из шлакового щебня производства ферросиликомарганца с различным содержанием MnO . В первом варианте использовали шлак производства силикомарганца с содержанием MnO менее 8 %, во втором с содержанием MnO от 8 до 12 %, в третьем с содержанием MnO от 12 до 18 %. В качестве образца сравнения использовали флюс марки АН-348А (флюс 4). Химический состав используемых сварочных флюсов представлен в табл. 2.

Все исследуемые флюсы (табл. 2), изготовленные из шлаков производства силикомарганца, имеют низкую окисленность (содержание FeO и MnO), а значит и угар элементов при наплавке данной порошковой проволокой должен быть ниже. Маркировка исследуемых образцов представлена в табл. 3.

Наплавку исследуемых образцов осуществляли по режиму, рекомендованному ГОСТ 26101 – 84: сила тока 620 А, напряжение 32 В, скорость наплавки 20 см/мин.

Т а б л и ц а 1

Компонентный состав исследуемых порошковых проволок

Проволока	Содержание, г						
	углеродфторсодержащий материал	ПХА-1М	МР-0	КР-1	ВЭЛ-1	ПВТ	ПЖВ-1
1	48,70	17,5	5,5	6,6	2	10	30,50
2	60,66	17,5	5,5	6,6	2	15	18,54

Т а б л и ц а 2

Химический состав используемых флюсов

Флюс	Содержание, % (по массе)													
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	ZnO	C	F	TiO ₂
1	0,70	6,69	27,99	35,96	14,96	8,02	0,71	1,81	0,64	0,021	0,013	0,020	0,14	0,22
2	0,41	9,64	35,07	42,57	6,82	1,58	0,14	0,61	0,21	0,022	0,010	0,016	0,15	0,17
3	0,55	16,41	28,34	41,45	6,64	1,50	0,13	0,58	0,22	0,021	0,013	0,028	0,18	0,15
4	2,38	4,81	15,25	22,41	13,99	23,58	2,15	0,98	0,041	0,031	0,012	0,020	10,46	2,56

Маркировка исследуемых образцов

Используемый флюс	Используемая проволока	Номер наплавленного образца
1	1	1
	2	2
2	1	3
	2	4
3	1	5
	2	6
4	1	7
	2	8

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав полученных образцов представлен в табл. 4, усвоение основных элементов в табл. 5.

При использовании флюса АН-348А (табл. 4) угар основных элементов (вольфрама и хрома) значительно выше, чем при использовании флюсов, изготовленных из шлака силикомарганца, что связано с более высокой окисленностью шлака (содержанием FeO), при этом более высокое содержание MnO способствовало дополнительному восстановлению марганца в наплавленном слое (рис. 1).

Исследования образцов наплавленного слоя на наличие неметаллических включений (табл. 6, рис. 2) проводили по ГОСТ 1778 – 70. Полированную поверхность изучали при увеличении 100.

Металлографические исследования полированных микрошлифов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений от 100 до 1000. Микроструктуру (рис. 3) выявляли путем

травления образцов в растворе 4 % HNO₃ в этиловом спирте.

Величину зерна определяли в соответствии с ГОСТ 5639 – 82 при увеличении 500 с помощью пакета прикладных программ для металлографических исследований Siam Photolab 700.

При проведении металлографических исследований были получены следующие структуры образцов: в образцах 1, 2 обнаружена ферритная структура с областями перлита. В образцах 3, 4 видны зерна феррита, которые окружены сеткой перлита. Образец 3 имеет феррито-перлитную структуру (65 % перлита, 35 % феррита) с ферритными зернами вытянутой формы. В образце 4 по границам зерен находятся темно травящиеся участки закалочной структуры. Образец 5 состоит из игольчатого мартенсита, а образец 6 имеет феррито-перлитную структуру (75 % перлита, 25 % феррита). Образец 7 имеет феррито-перлитную структуру (20 % перлита, 80 % феррита), а наплавленный слой (микроструктура) образца 8 состоит из игольчатого мартенсита.

Маркировка исследуемых образцов

Образец	Содержание, % (по массе)													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
1	0,22	0,83	1,14	0,60	0,05	0,07	0,001	1,69	0,057	0,009	0,023	0,004	0,141	0,014
2	0,42	0,95	1,28	0,85	0,06	0,08	–	2,47	0,084	0,009	0,037	0,002	0,141	0,015
3	0,29	0,77	1,17	0,76	0,06	0,10	0,004	1,48	0,075	0,014	0,020	0,004	0,079	0,011
4	0,54	0,61	1,29	0,94	0,06	0,09	0,002	2,13	0,084	0,011	0,024	0,004	0,106	0,016
5	0,21	0,67	1,39	0,60	0,04	0,06	–	1,57	0,056	0,010	0,014	0,003	0,068	0,012
6	0,46	0,62	1,71	0,84	0,07	0,08	0,001	2,21	0,080	0,011	0,041	0,002	0,065	0,017
7	0,45	0,57	0,95	0,58	0,05	0,09	0,012	1,31	0,071	0,010	0,035	0,004	0,038	0,017
8	0,56	0,63	1,09	0,76	0,06	0,08	0,014	2,18	0,087	0,011	0,042	0,005	0,043	0,019
1*	0,50	0,80	1,10	0,60	–	–	–	2,00	0,07	–	–	–	–	–
2*	0,60	0,90	1,25	0,80	–	–	–	3,00	0,07	–	–	–	–	–

П р и м е ч а н и е. * – Расчетное значение для проволоки.

Усвоение элементов в наплавленных образцах

Образец	Содержание, % (по массе)					
	C	Si	Mn	Cr	W	V
1	44,0	103,7	103,6	100,0	84,5	81,4
2	70,0	105,5	102,4	106,2	82,3	120,0
3	58,0	96,2	106,3	126,6	74,0	107,1
4	90,0	67,7	103,2	117,5	71,0	120,0
5	42,0	83,7	126,3	100,0	78,5	80,0
6	76,6	68,8	136,8	105,0	73,6	114,2
7	90,0	71,2	86,3	96,6	65,5	101,4
8	93,3	70,0	87,2	95,0	72,6	124,2

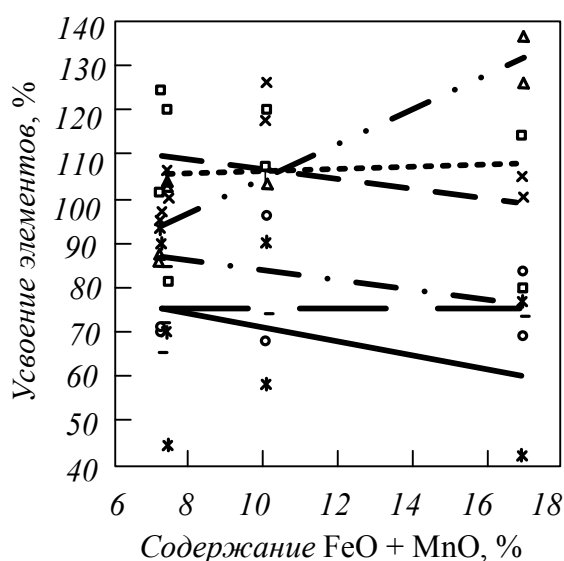


Рис. 1. Зависимость усвоения химических элементов от содержания FeO и MnO в сварочном флюсе:

- *, ————— — углерод, $y = -1,6307x + 87,443$, $R^2 = 0,1113$;
 o, - - - - - — кремний, $y = -1,1056x + 94,845$, $R^2 = 0,0825$;
 Δ, - · - · - — марганец, $y = 3,8207x + 66,786$, $R^2 = 0,8583$;
 ×, - - - - - — хром, $y = 0,2062x + 103,72$, $R^2 = 0,0063$;
 -, ————— — вольфрам, $y = 0,0253x + 74,987$, $R^2 = 0,0003$;
 □, - - - - - — ванадий, $y = -1,0701x + 117,16$, $R^2 = 0,0684$

Измерение твердости наплавленного слоя (табл. 7) исследуемых образцов выполняли по методу Бринелля с помощью ультразвукового твердомера УЗИТ-3 в соответствии с требованиями ГОСТ 9012 – 59.

Скорость истирания наплавленного слоя опытных образцов определяли путем проведения испытаний на износ (δ) на машине 2070 СМТ-1. Результаты износостойкости исследуемых образцов представлены в табл. 7.

На основе полученных данных по химическому составу, износостойкости и твердости исследуемых образцов построены зависимости (рис. 4, 5).

Построенные зависимости указывают на влияние химических элементов на твердость и износостойкость исследуемых образцов.

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность применения пыли газоочистки вместо кремнефтористого натрия в порошковых проволоках системы Fe – C – Si – Mn – Cr – V – W с разработанным флюсом, причем при введении углеродфторсодержащего материала вместо кремнефтористого натрия пор, трещин и раковин в наплавленном слое не наблюдали.

Таблица 6

Неметаллические включения наплавленных образцов

Образец	Типы неметаллических включений по образцам, балл		
	Оксиды точечные	Силикаты недеформирующиеся	Нитриды строчечные
1	3а	5а	2а
2	1а	3б	—
3	1а	3б	3а
4	5а	5б	—
5	1а	3б	—
6	3а	5а	—
7	1а	—	—
8	3а	5а	—

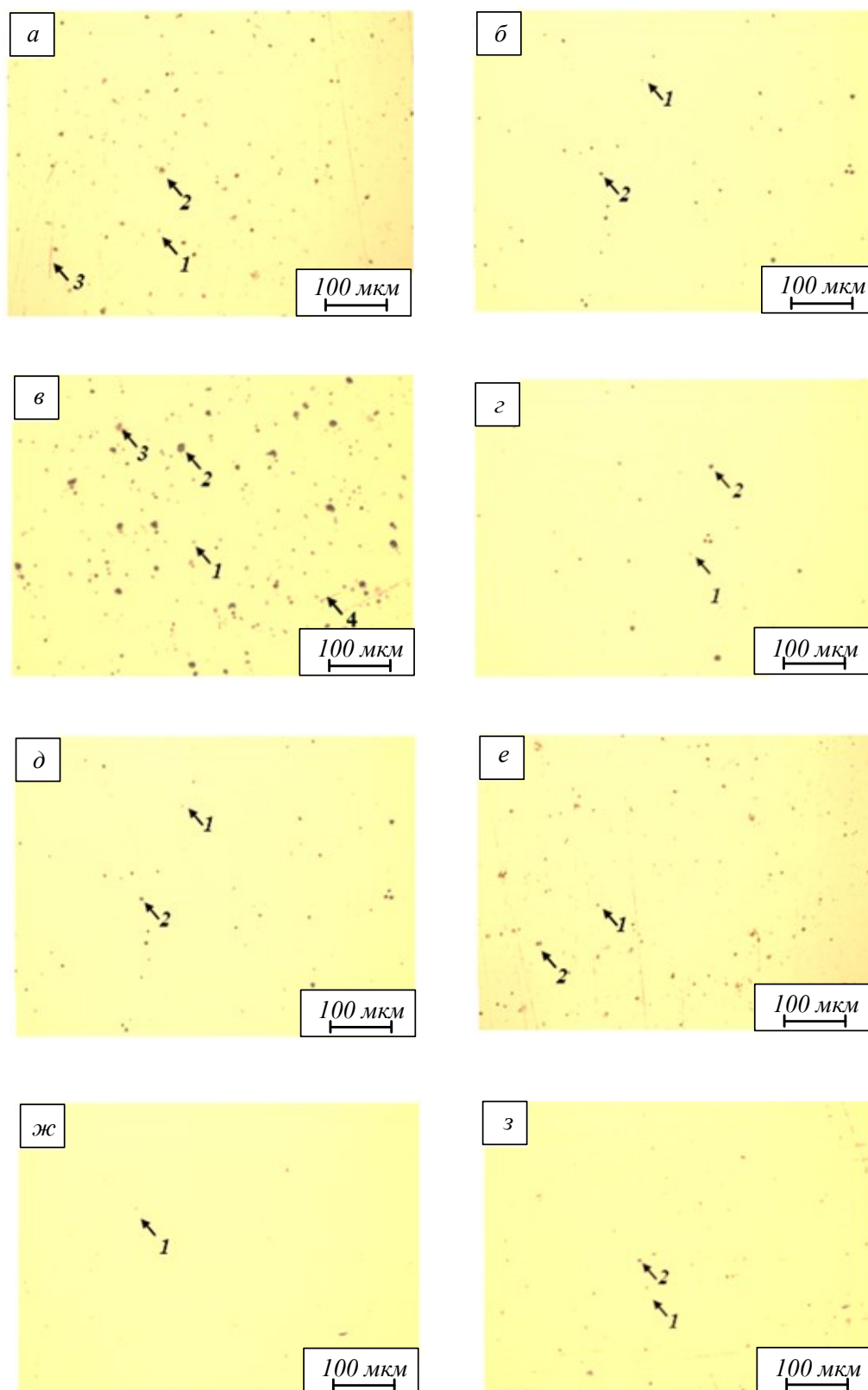


Рис. 2. Неметаллические включения исследуемых образцов 1 – 8 (а – з):
1 – точечные оксиды; 2 – силикаты недеформирующиеся; 3 – нитриды строчечные; 4 – строчечные нитриды

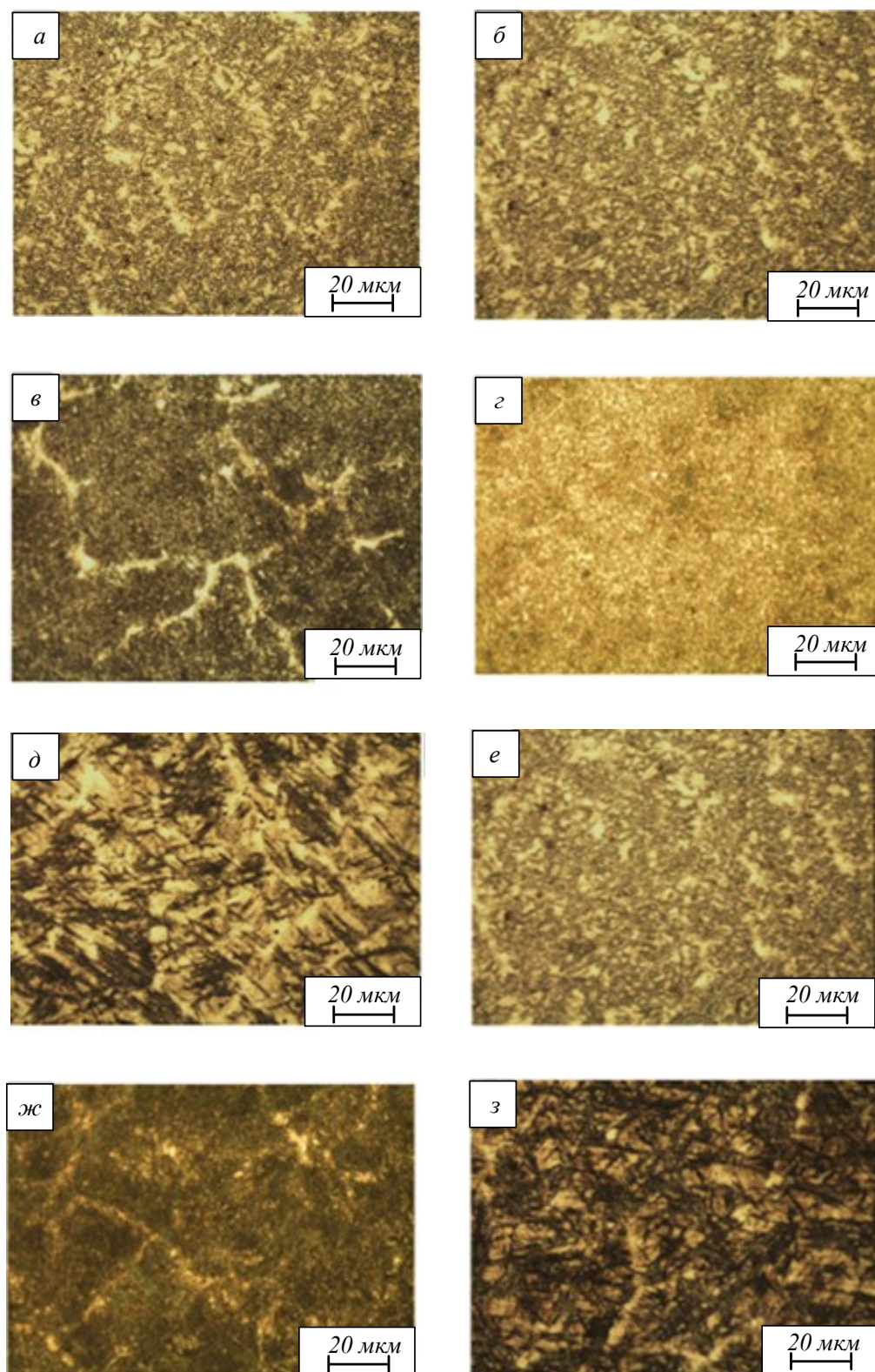


Рис. 3. Микроструктура наплавленных образцов 1 – 8 (а – з)

Основные показатели твердости и износостойкости исследуемых образцов

Образец	Пределы твердости		Средняя твердость		Износ, 10^{-5} г/об.
	HB	HRC	HB	HRC	
1	244 – 328	20,5 – 32,0	263	26,5	7,55
2	369 – 513	35,1 – 44,9	414	40,7	5,51
3	264 – 368	31,0 – 41,8	300	35,9	7,72
4	299 – 374	24,1 – 35,1	305	31,3	4,29
5	445 – 518	41,6 – 46,6	449	43,5	2,33
6	488 – 582	45,8 – 50,6	479	48,3	2,20
7	340 – 446	38,1 – 45,0	360	41,6	2,76
8	602 – 810	57,9 – 61,3	619	59,9	2,20

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н., Козырева О.Е., Шурупов В.М. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 4. С. 34 – 37.
2. Козырев Н.А., Титов Д.А., Козырева О.Е., Шурупов В.М. Порошкообразная проволока системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo. – В кн.: Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика. Материалы 16-й Международной научн.-практич. конф. Т. 1. – СПб.: изд. Санкт-Петербургского политехнического университета, 2014. С. 69 – 71.
3. Козырев Н.А., Титов Д.А., Козырева О.Е. Порошкообразная проволока системы С – Si – Mn – Cr – V – Mo с углеродфторсодержащей добавкой. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сб. трудов V Международной научн.-практич. конф. с элементами научной школы для молодых ученых. Юргинский технологический институт. Т. 1. – Юрга: изд. Томского политехнического университета, 2014. С. 42 – 43.

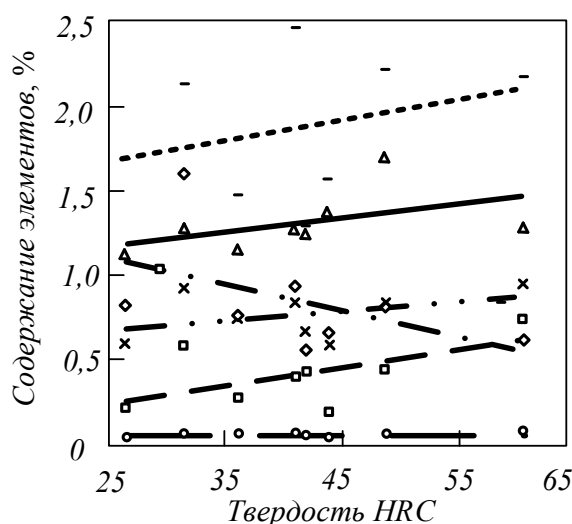


Рис. 4. Влияние химических элементов на твердость HRC исследуемых образцов:

- , ———— — углерод, $y = 0,0107x - 0,0138$, $R^2 = 0,3434$;
 ◇, —·—·—·— — кремний, $y = -0,0156x + 1,4972$, $R^2 = 0,2427$;
 Δ, ———— — марганец, $y = 0,0081x + 0,9813$, $R^2 = 0,2255$;
 ×, —·—·—·— — хром, $y = 0,006x + 0,5339$, $R^2 = 0,1885$;
 ·, —·—·—·— — вольфрам, $y = 0,0122x + 1,3783$, $R^2 = 0,0914$;
 ○, ———— — ванадий, $y = 0,0005x + 0,0532$, $R^2 = 0,1922$

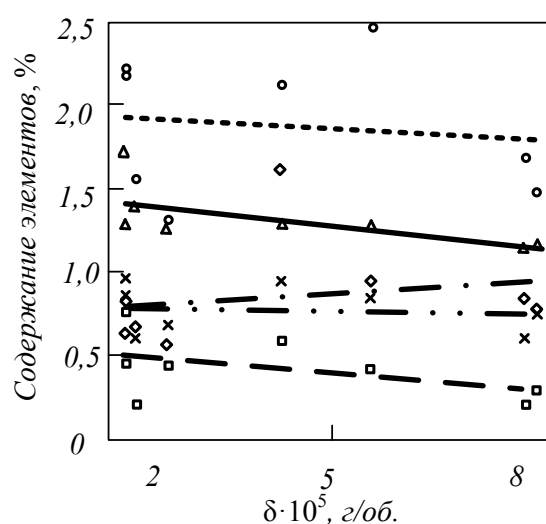


Рис. 5. Влияние химических элементов на скорость износа исследуемых образцов:

- , ———— — углерод, $y = -3943,8x + 0,5967$, $R^2 = 0,2401$;
 ◇, —·—·—·— — кремний, $y = 2798,2x + 0,7353$, $R^2 = 0,0403$;
 Δ, ———— — марганец, $y = -4979,9x + 1,5303$, $R^2 = 0,4372$;
 ×, —·—·—·— — хром, $y = -1460,9x + 0,8419$, $R^2 = 0,0584$;
 ·, —·—·—·— — вольфрам, $y = -2857,7x + 2,0035$, $R^2 = 0,0258$

4. Козырев Н.А., Титов Д.А., Шурупов В.М. Влияние введения в шихту порошковой проволоки системы $C - Si - Mn - Cr - W - V$ углеродфторсодержащей добавки. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сб. трудов V Международной научн.-практич. конф. с элементами научной школы для молодых ученых. Юргинский технологический институт. – Юрга: изд. Томского политехнического университета, 2014. Т. 1. С. 43 – 45.
5. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н., Шурупов В.М., Горюшкин В.Ф. Изучение влияния введения в шихту для производства порошковой проволоки системы $C - Si - Mn - Cr - W - V$ углеродфторсодержащей добавки и никеля // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 6. С. 31 – 33.
6. Козырев Н.А., Титов Д.А., Козырева О.Е., Шурупов В.М., Соколов П.Д. Новые порошковые проволоки для наплавки прокатных валков. – В кн.: Современные проблемы электрометаллургии стали. Материалы XVI Международн. конф. В 2 ч. Ч. 2. / Под ред. В.Е. Рощина. – Челябинск: изд. Центр ЮУрГУ, 2015. С. 127 – 132.
7. Козырев Н.А., Галевский Г.В., Титов Д.А., Кибко Н.В., Шурупов В.М. Изучение наплавляемого сталью 35B9X3CF валика // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сб. научн. трудов. Вып. 35. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2015. С. 79 – 85.
8. Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение качества наплавленного порошковой проволокой 35B9X3CF валика. – В кн.: Обработка материалов: современные проблемы и пути решения. Сб. трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Юргинский технологический институт. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2015. С. 84 – 90.
9. Козырев Н.А., Галевский Г.В., Крюков Р.Е., Титов Д.А., Шурупов В.М. Новые материалы для сварки и наплавки. – В кн.: Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XXIX Международн. научн.-практич. конференции 15 – 16 декабря 2015 г. Ч. 2. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2015. С. 184 – 188.
10. Козырев Н.А., Титов Д.А., Кибко Н.В. Изучение влияния состава порошковой проволоки ПП-Нп-35B9X3CF на свойства наплавляемого валика // Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3. С. 60 – 64.
11. Козырев Н.А., Уманский А.А., Титов Д.А. Экспериментальные исследования и обоснование новых составов порошковых проволок для наплавки прокатных валков. – В кн.: Технологии реновации машин и оборудования. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XI Промышленного салона и специализированных выставок «Промэкспо, станки и инструмент», «Сварка. Контроль. Диагностика». – Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. С. 115 – 119.
12. Kozurev N.A., Galevskiy G.V., Titov D.A., Kolmogorov D.E., Gusarov D.E. On Quality of a Weld Bead Using Power Wire 35v9h3sf. – In book: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. P. 1 – 8.
13. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Экспериментальные исследования влияния состава порошковых проволок систем легирования $C - Si - Mn - Cr - V - Mo$ и $C - Si - Mn - Cr - W - V$ // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016. № 4. С. 74 – 79.
14. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик наплавленного металла // Производство проката. 2016. № 5. С. 43 – 47.
15. Козырев Н.А., Уманский А.А., Титов Д.А., Гизатулин Р.А. Совершенствование составов порошковых проволок для наплавки прокатных валков. – В кн.: Инновационные технологии и экономика в машиностроении. Сб. трудов VII Международной научн.-практич. конф. Юргинский технологический институт. – Юрга: изд. Томского политехнического университета, 2016. С. 33 – 39.
16. Титов Д.А., Корнев Е.С., Корнева А.В., Козырев Н.А. Применение многофакторного анализа при оценке степени износа наплавленного слоя прокатных валков с использованием порошковых проволок систем $C - Si - Mn - Cr - W - V$ и $C - Si - Mn - Cr - V - Mo$ // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. Сб. научн. трудов. Вып. 36. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2016. С. 189 – 193.
17. Уманский А.А., Козырев Н.А., Титов Д.А. Исследование и разработка новых составов порошковой проволоки для наплавки прокатных валков, обеспечивающих повышение

- ние эксплуатационных характеристик наплавленного металла. – В кн.: Неделя металлов в Москве. Сборник трудов конференции. 10 – 13 ноября 2015 г.: – М.: изд. ОАО АХК ВНИИМЕТМАШ им. Академика А.И. Целикова, 2016. С. 70 – 76.
18. Kozыrev N.A., Galevsky G.V., Kryukov R.E., Titov D.A., Shurupov V.M. New materials for welding and surfacing. – In book: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. Article 012031.
19. Kozыrev N.A., Kibko N.V., Umanskii A.A., Titov D.A., Bashchenko L.P. Composition of C – Si – Mn – Cr – W – V powder wire and quality of surfacing // Steel in Translation. 2016. Vol. 46. No. 11. P. 781 – 787.
20. Пат. 2518211 РФ. Порошковая проволока / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А., Козырева О.Е., Старовацкая С.Н. Заявл. 07.05.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
21. Пат. 2518035 РФ. Порошковая проволока / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Титов Д.А., Козырева О.Е.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. Заявл. 24.06.2013; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
22. Пат. 2492981 РФ. Шихта порошковой проволоки / Козырев Н.А., Малущин Н.Н., Шурупов В.М., Козырева О.Е.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. Заявл. 05.03.2012; опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26.
23. Пат. 2492982 РФ. Шихта порошковой проволоки / Козырев Н.А., Вострецов Г.Н., Шурупов В.М., Вострцова Т.Н.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. Заявл. 05.03.2012; опубл. 20.09.2013. Бюл. № 26.

© 2021 г. А.А. Усольцев, А.Р. Михно,
Н.А. Козырев, Д.Е. Белов, В.Р. Шамрай

Поступила 2 октября 2020 г.

УДК 621.791:624

ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ НА ОСНОВЕ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКОМАРГАНЦА

Л.П. Бащенко, Н.А. Козырев, Р.А. Гизатулин, А.Р. Михно, А.А. Усольцев

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность использования в качестве сварочного флюса шлака производства силикомарганца. Исследовано влияние режимов сварки на содержание водорода в металле сварных швов. Опытные сварные образцы удовлетворяют требованиям по содержанию водорода.

Ключевые слова: сварка, флюс, шлак, водород, силикомарганец, сварной шов.

BEHAVIOR OF HYDROGEN DURING SUBMERGED ARC WELDING USING FLUX FROM SLAG OF SILICOMANGANESE PRODUCTION

L.P. Bashchenko, N.A. Kozyrev, R.A. Gizatulin, A.R. Mikhno, A.A. Usol'tsev

E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The possibility of using silicomanganese slag as a welding flux is considered. The influence of welding modes on the hydrogen content in the weld metal is investigated. The experimental welded samples meet the requirements for the hydrogen content.

Keywords: welding, flux, slag, hydrogen, silicomanganese, weld.

Введение

При изготовлении крупногабаритных сварных металлоконструкций ведущим технологическим процессом является сварка под флюсом. Основными составляющими этого процесса являются сварочное оборудование, основной металл, сварочные проволоки, флюс. Высокое качество и сварочно-технологические возможности флюса обеспечивают потребителю необходимые технико-экономические показатели сварки. Для производителя флюсов их качество является решающим фактором в сбыте своей продукции.

Важным направлением в сварочном производстве является разработка новых сварочных флюсов, которые обеспечивают требуемые физико-химические показатели с более низкой себестоимостью [1 – 4]. Решение этой проблемы можно осуществить путем использования в качестве сварочных флюсов отходов металлургического производства, которые снизят себестоимость [5 – 8].

Материалы и методы исследования

Ранее рассмотрена возможность использования в качестве сварочных флюсов шлака производства силикомарганца [9 – 13]. Исследование влияния режимов сварки на содержание водорода в металле сварных швов проводили с использованием оборудования НПЦ «Сварочные процессы и технологии».

В качестве сварочного флюса использовали шлак производства силикомарганца фракции от 0,45 до 2,50 мм. Химический состав флюса, % (по массе): FeO 0,42; MnO 16,22; CaO 29; SiO₂ 41,34; Al₂O₃ 6,53; MgO 1,33; S 0,24; P 0,022; ZnO 0,008; C 0,031; F 0,31; TiO₂ 0,15; Cr₂O₃ 0,025.

Сварку образцов проводили после сушки сварочного флюса при температуре 250 – 300 °С в течение 3 ч с использованием стальных пластин из стали марки 09Г2С толщиной 20 мм сварочной проволокой Св-08ГА с помощью автоматического сварочного трактора ASAW-1250. Режимы сварки образцов (*I* – сила тока; *U* – напряжение; *v* – скорость сварки; *E* – погонная энергия) выби-

Т а б л и ц а 1

Режимы сварки образцов

Эксперимент	I , А	U , В	v , см/мин	E , Дж/см
0	700	30	30	42000
1	600	28	28	36000
2	600	30	32	33750
3	600	32	30	38400
4	650	28	32	34125
5	650	30	30	39000
6	650	32	28	44571
7	700	28	30	39200
8	700	30	28	45000
9	700	32	32	42000

рали методом полнофакторного математического планирования эксперимента (табл. 1). Для сравнения (эксперимент «0») был использован режим сварки: 700 А, 30 В, 30 см/мин.

Химический состав опытных образцов исследовали рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре XRF-1800 и атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71. Определение химического состава металла сварных швов проводили химическими методами на содержание углерода по ГОСТ 12344 – 2003, серы по ГОСТ 12345 – 2001 и фосфора по ГОСТ 12347 – 77.

При отработке технологии получения сварных соединений с пониженной газонасыщенностью определяли концентрацию водорода в металле сварного шва (табл. 3). Измерения содержания водорода в металле сварного шва проводили на хроматографе «Газохром 3101».

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав металла сварных швов приведен в табл. 2.

Содержание водорода в металле сварных швов опытных образцов (1) – (9) и образца сравнения (0) приведено ниже:

Образец	Содержание Н, см ³ /100 г
0	1,1
1	1,2
2	1,1
3	1,4
4	1,1
5	1,1
6	1,0
7	1,3
8	1,0
9	0,9

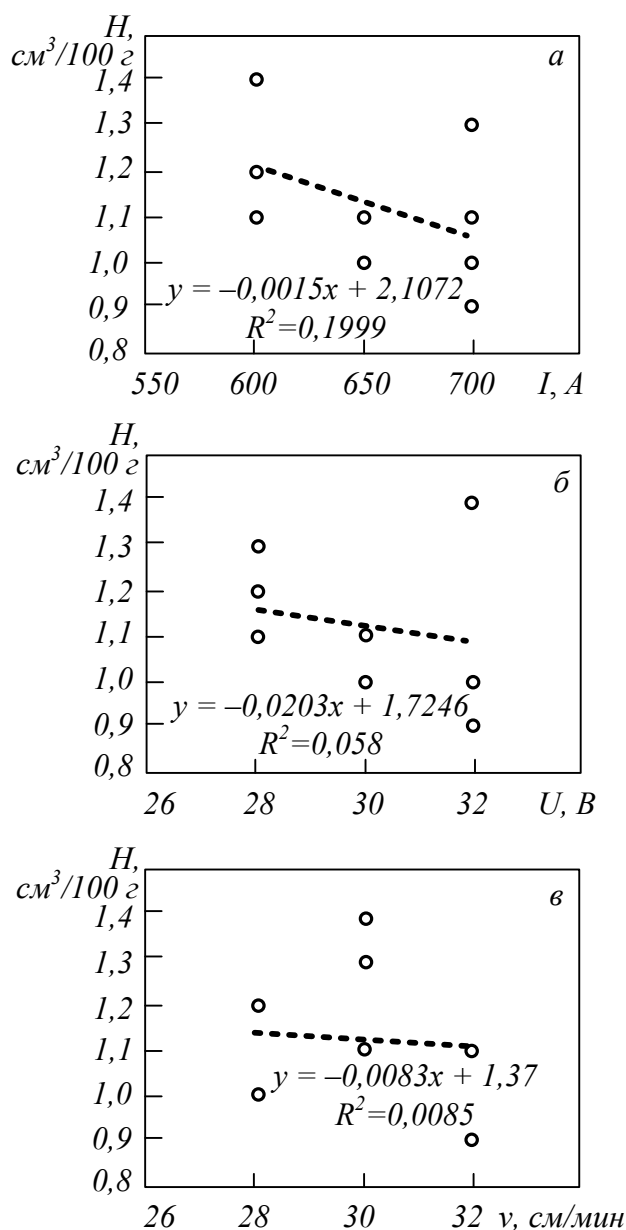
Содержание водорода в металле сварных швов указывает, что при прочих равных условиях концентрация водорода зависит от силы тока, напряжения и скорости сварки. Все отобранные пробы удовлетворяют требованиям по содержанию водорода: концентрация водорода во всех пробах менее 2 см³/100 г.

Т а б л и ц а 2

Химический состав металла сварных швов

Образец	Содержание элементов, % (по массе)										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo	Al	S	P
0	0,11	0,41	1,16	0,05	0,31	0,15	0,002	0,10	0,009	0,014	0,014
1	0,07	0,48	1,24	0,05	0,43	0,16	0,001	0,14	0,012	0,013	0,016
2	0,08	0,54	1,38	0,06	0,28	0,17	0,003	0,08	0,018	0,014	0,014
3	0,08	0,51	1,31	0,06	0,32	0,15	0,001	0,10	0,014	0,014	0,013
4	0,08	0,49	1,20	0,05	0,45	0,17	0,002	0,16	0,013	0,011	0,015
5	0,07	0,50	1,26	0,05	0,43	0,17	0,003	0,14	0,002	0,012	0,018
6	0,07	0,49	1,25	0,05	0,40	0,16	0,002	0,13	отс.	0,012	0,015
7	0,09	0,50	1,23	0,04	0,41	0,13	0,001	0,14	0,014	0,011	0,011
8	0,09	0,50	1,31	0,06	0,31	0,17	0,001	0,09	0,019	0,014	0,013
9	0,07	0,53	1,27	0,05	0,37	0,15	0,002	0,12	0,010	0,015	0,016

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК



Зависимость содержания водорода в металле сварных швов от изменения силы тока при сварке (а), от изменения напряжения при сварке (б) и от изменения скорости сварки (в)

Зависимости содержания водорода в металле сварных швов от режимов сварки представлены на рисунке.

Выводы

Получены данные о влиянии режимов сварки на содержание водорода в металле сварных швов. Выявлено, что при увеличении силы тока и напряжения при сварке возможно снижение концентрации водорода в металле сварных швов. Полученные сварные образцы удовлетворяют требованиям по содержанию водорода: концентрация водорода во всех пробах менее $2 \text{ cm}^3/100 \text{ g}$.

1. Брусницын Ю.Д., Брусницын М.Ю. Использование диаграмм фазовых равновесий неметаллических систем для диагностики и разработки сварочных материалов. – В кн.: Методические рекомендации к программе «Расчет состава сварочных шлаков, электродных покрытий и флюсов». – СПб.: ЦНИИ КМ «Прометей», 2000. – 41 с
2. Карташев М.Ф., Наумов С.В., Юрченко А.Н., Шекшеев М.А. Исследование сварочных свойств плавного сварочного флюса, полученного электродуговым гранулированием. – В кн.: Перспективные материалы конструкционного и медицинского назначения. Сб. тр. Междунар. науч.-техн. молодеж. конф., г. Томск, 26 – 30 ноября 2018 г. – Томск: изд. ТПУ, 2018. С. 174 – 175.
3. Калинин В.Т., Николаев А.И., Малышевский В.А. Перспективы использования минерального и технического сырья Мурманской области для производства сварочных материалов и флюсов. – В кн.: Доклады международной научно-технической конференции. Петраньевские чтения: «Сварочные материалы» (к 70-летию создания электродов УОНИ-13), Санкт-Петербург, 18 – 22 мая 2009. – СПб., 2009. С. 80 – 89.
4. Кокорин В.Н. Анализ промышленного рециклинга твердых техногенных отходов предприятий черной металлургии. – В кн.: Экономика, экология и общество России в 21-м столетии. – СПб.: изд. СПбГТУ, 2003. С. 273 – 274.
5. Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Сварочные флюсы и добавки к ним на основе отходов металлургического производства. – В кн.: Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. Сб. трудов Международной научно-практической конференции 18 – 21 апреля 2017. – Кемерово: изд. КузГТУ, 2017. С. 128 – 133.
6. Кислов А.И., Михно А.Р., Козырев Н.А. Исследование сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13 – 15 июня 2018. Вып. 22. Ч. 2. Естественные и технические науки. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2018. С. 208 – 210.
7. Михно А.Р., Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Усольцев А.А., Козырева О.А. Разработка новых сварочных флюсов на основе шлаков металлургического производства. – В кн.:

- Сварка в России – 2019: современное состояние и перспективы. Тезисы докладов Международной конференции, Томск, 3 – 7 сентября 2019. – Томск, 2019. С. 187 – 188.
8. Козырев Н.А., Крюков Р.Е. Эффективное использование шлака силикомарганца при изготовлении сварочных флюсов. – В кн.: Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении. Сборник трудов Международной научно-практической конференции 18 – 21 апреля 2017. – Кемерово: изд. КузГТУ, 2017. С. 134 – 139.
 9. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Lipatova U.I., Kozyreva O.E. On the use of slag from silicomanganese production for welding flux manufacturing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 150. Article 012032.
 10. Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kozyreva O.E., Lipatova U.I., Filonov A.V. Production of welding fluxes using waste slag formed in silicomanganese smelting // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 125. Article 012034.
 11. Kozyrev N.A., Mikhno A.R., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Umanskiy A.A. Use of silicomanganese slag and ladle electric steelmaking slag in manufacturing the welding fluxes for surfacing the mining equipment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 206. Article 012032.
 12. Крюков Р.Е., Козырев Н.А. Основы создания углеродсодержащих сварочных и наплавочных материалов. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2019. – 359 с.
 13. Козырев Н.А., Михно А.Р., Усольцев А.А., Крюков Р.Е., Попова М.В. Сварочный флюс на основе барий-стронциевого модификатора и шлака силикомарганца. – В кн.: Металлургия: технологии, инновации, качество. Металлургия – 2019. Труды XXI Международной научно-практической конференции, 23 – 24 октября 2019. Ч. 1. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2019. С. 322 – 328.

© 2021 г. *Л.П. Бащенко, Н.А. Козырев, Р.А. Гизатулин, А.Р. Михно, А.А. Усольцев*
Поступила 17 февраля 2021 г.

УДК 621.791.92

ЭФФЕКТ КИНЕТИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКЕ ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННЫХ ТЕПЛОСТОЙКИХ СПЛАВОВ*

Н.Н. Малушин, А.П. Ковалев, Д.А. Романов, В.Е. Громов, Р.А. Гизатулин

E-mail: da_rom@live.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Для упрочнения деталей машин горно-металлургического комплекса, работающих в условиях абразивного износа, широко применяются в качестве наплавочных материалов хромовольфрамовые теплостойкие стали типа Р18, Р6М5, Р9, Р2М8, 3Х2В8, 3Х2В4Ф, Х10В14, 25Х5ФМС и др. В настоящее время экономически и технически целесообразно осуществлять защиту поверхностей ответственных деталей машин и механизмов с использованием упрочняющих покрытий. Наиболее перспективным методом среди других является наплавка покрытий. В наплавленном металле типа экономно легированного сплава Р2М9 наблюдается эффект кинетической пластичности при мартенситном превращении. Концепция «экономного легирования» сплавов основана на выборе легирующих элементов, которые имели бы относительно небольшую стоимость и (или) входили бы в состав наиболее доступных лигатур. При шихтовке таких сплавов часто используются доступные «естественные лигатуры», например ферротитан и феррованадий. Сплавы также могут быть легированы микродобавками редкоземельных материалов. При мартенситном превращении определяющая роль в релаксации напряжений принадлежит эффекту кинетической пластичности. Влияние эффекта кинетической пластичности на характер формирования временных и остаточных напряжений изучено при охлаждении образцов из наплавленного металла типа сплава Р2М9 и стали 12Х17 на установке тепловой микроскопии ИМАШ-20-75. Проявление эффекта кинетической пластичности оценивали по снижению временных напряжений в процессе охлаждения жестко закрепленных образцов в интервале температур мартенситного превращения. Эффект кинетической пластичности можно использовать для регулирования напряженного состояния и предотвращения образования холодных трещин в наплавленных теплостойкими сталями высокой твердости деталях горно-металлургического оборудования.

Ключевые слова: наплавленный металл, экономно легированный сплав Р2М9, эффект кинетической пластичности, сверхпластичность, релаксация напряжений, установка тепловой микроскопии.

THE EFFECT OF KINETIC PLASTICITY AND ITS APPLICATION IN PLASMA SURFACING OF ECONOMICALLY ALLOYED HEAT-RESISTANT ALLOYS

N.N. Malushin, A.P. Kovalev, D.A. Romanov, V.E. Gromov, R.A. Gizatulin

E-mail: da_rom@live.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. To strengthen the parts of machines of the mining and metallurgical complex operating under abrasive wear conditions, chromium-tungsten heat-resistant steels of the R18, R6M5, R9, P2M8, 3X2V8, 3X2V4F, Kh10V14, 25Kh5FMS types, etc. are widely used as surfacing materials. Currently, it is economically and technically feasible to protect the surfaces of parts of critical machines and mechanisms and use hardening coatings. The most promising method among others is the surfacing of coatings. This article shows that in the deposited metal of the type of economically alloyed P2M9 alloy, the effect of kinetic plasticity is

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – докторов наук МД-486.2020.8 и кандидатов наук МК-5585.2021.4, а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-08-00044.

observed during martensitic transformation. The concept of "economical alloying" of alloys is based on the choice of such alloying elements that would have a relatively low cost and / or would be included in the most affordable master alloys. Fulfillment of these conditions allows to reduce the cost of the production process and, accordingly, to reduce the cost of semi-finished products and finished products without significant loss in mechanical and operational properties. When blending such alloys, available "natural alloys" are often used, such as ferrotitanium and ferrovanadium. The advantages of economically alloyed alloys should also include ample opportunities for the use of scrap and production waste in smelting. Alloys can also be alloyed with microadditives of rare earth materials. However, the main disadvantages of this group of alloys are the insufficient level and instability of properties, as a result of which they are currently recommended for use mainly in terrestrial objects: medical implants, car parts and various decorative items. The effect of kinetic plasticity during martensitic transformation plays a decisive role in stress relaxation. The influence of the effect of kinetic plasticity on the nature of the formation of temporary and residual stresses during cooling of specimens of deposited metal of the P2M9 alloy and steel 12Kh17 on a thermal microscopy unit IMASH – 20–75 has been investigated. The manifestation of the effect of kinetic plasticity was assessed by the decrease in temporary stresses during the cooling of rigidly fixed samples in the temperature range of martensitic transformation. It is shown that the effect of kinetic plasticity can be used to regulate the stress state and prevent the formation of cold cracks in parts of mining and metallurgical equipment deposited with heat-resistant steels of high hardness.

Keywords: deposited metal, economically alloyed P2M9 alloy, effect of kinetic plasticity, superplasticity, stress relaxation, thermal microscopy unit.

Введение

Для упрочнения деталей машин горно-металлургического комплекса, работающих в условиях абразивного износа, широко применяются в качестве наплавочных материалов хромовольфрамовые теплостойкие стали типа P18, P6M5, P9, P2M8, 3X2B8, 3X2B4Ф, X10B14, 25X5ФМС и др. В разработанных в Сибирском государственном индустриальном университете способах наплавки теплостойких сталей высокой твердости для предотвращения образования холодных трещин, возникающих при использовании традиционной технологии наплавки, предложено применять эффект кинетической пластичности («сверхпластичности») при $\gamma \rightarrow \alpha$ -мартенситном превращении [1]. Эффект увеличения пластичности в теплостойких сталях при температурах на 50 – 80 °С ниже температуры A_1 впервые обнаружен и исследован А.П. Гуляевым [2]. Исследованиям эффекта повышенной пластичности посвящен ряд научных работ [3 – 7]. Однако данные об эффекте сверхпластичности при мартенситном $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращении в экономно легированном теплостойком наплавленном металле представлены в недостаточном объеме. Также не разработаны практические пути использования этого явления.

Целью настоящей работы является исследование эффекта кинетической пластичности (сверхпластичности) в наплавленном металле типа экономно легированных сталей P6M5, P2M8, P2M9 в процессе мартенситного превращения, доказательства возможности использования этого явления для уменьшения уровня остаточных напряжений в наплавленном металле, определение вероятности образования холодных трещин в процессе плазменной наплавки в среде азота.

Материалы и методы исследования

В работе проведено исследование кинетической пластичности наплавленных экономно легированных теплостойких сталей высокой твердости типа P2M9, дополнительно легированной алюминием и азотом. Химический состав стали P2M9: 0,86 % C; 4,80 % Cr; 2,50 % W; 9,40 % Mo; 0,50 % V; 0,85 % Al; 0,08 % N; остальное – железо. Химический состав хромистой коррозионно-стойкой стали 12X17, относящейся к ферритному классу: 0,10 % C; 17,50 % Cr; 0,70 % Mn; 0,65 % Si; остальное – железо.

Исследование влияния эффекта кинетической пластичности на характер формирования временных и остаточных напряжений при охлаждении образцов из наплавленного металла типа сплава P2M9 и стали 12X17 в кованом состоянии проводили на установке тепловой микроскопии ИМАШ-20-75 [8]. Сталь P2M9 мартенситного класса используется в качестве наплавочного материала для упрочнения наплавленных деталей. Сталь 12X17 относится к аустенитному классу, мартенситное превращение отсутствует. В настоящей работе показано, что только при протекании мартенситного превращения наблюдается эффект сверхпластичности.

Проявление эффекта кинетической пластичности оценивали по снижению временных напряжений в процессе охлаждения жестко закрепленных образцов в интервале мартенситного превращения. Закрепление осуществляли с помощью электромеханического привода установки. Образцы нагревали в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. за счет тепла, выделенного при протекании электрического тока. Нагрев проводили до 800 °С, (что ниже точки A_{c1}) и до 1200 °С (при этой темпе-

ратуре наблюдается высокая степень растворения карбидной фазы в аустените). После нагрева и выдержки образцы жестко закрепляли для сохранения постоянства их длины при последующем охлаждении. Условия нагрева и охлаждения имитировали термический цикл плазменной наплавки. Неизменность длины обуславливала соответствующий рост упругопластической деформации образца при охлаждении. Напряжения в образцах в процессе охлаждения непрерывно измеряли с помощью тензометрических датчиков с точностью $\pm 1,5\%$. Температуру определяли платино-платинородиевой термопарой, приваренной к средней части образца. Временные напряжения в жестко закрепленных образцах в зависимости от температуры фиксировали на потенциометре типа ПДП-4.

В процессе испытаний замеряли расстояние между реперными точками, нанесенными на микротвердометре ПМТ-3, через 0,25 мм на базе 10 мм холодного образца до и после нагрева и перед началом мартенситного превращения. Погрешность измерения удлинения в рабочей зоне составляла не более $\pm 0,01$ мм. Замеры осуществляли с помощью высокотемпературного микроскопа МВТ-71. При охлаждении образцы растягивали по различным схемам. В первом случае напряжения, возникающие при температурном укорочении образца при охлаждении, компенсировали с помощью электромеханического привода установки. Получаемая при этом величина относительного удлинения характеризует лишь увеличение объема, которым сопровождается мартенситное превращение. Во втором случае в интервале мартенситного превращения проводили периодическое растяжение образца вплоть до его разрушения.

Результаты и их обсуждение

При охлаждении образцов из стали Р2М9 от температуры 1200 °С наблюдается эффект кинетической пластичности при фазовом превращении (рис. 1), который проявляется в снижении временных напряжений в интервале мартенситных температур 300 – 100 °С. Максимум напряжений на кривой формирования временных напряжений в стали составляет примерно 240 МПа и наблюдается при значении температуры, близкой к температуре начала мартенситного превращения сплава Р2М9 при ее закалке с температуры $T_n = 1200$ °С. Минимум напряжений наблюдается при 100 °С и соответствует температурам M_k^{ysl} , лежащим выше температуры конца мартенситного превращения M_k ($M_k^{ysl} > M_k$), когда степень превращения уже достаточно велика, и за счет образования прочного «каркаса»

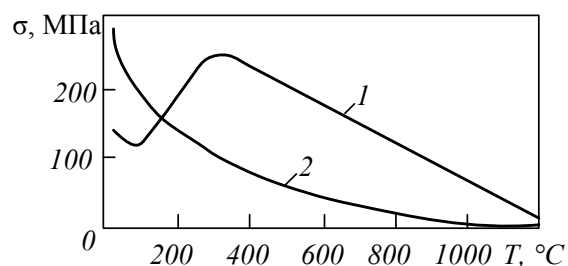


Рис. 1. Временные напряжения в образцах из наплавленного металла типа стали Р2М9 (1) и стали 12Х17 (2)

из многочисленных мартенситных кристаллов возрастает предел текучести, а пластичность сплава начинает уменьшаться. Соответствие температур максимальных и минимальных значений временных напряжений температурам точек M_n и M_k^{ysl} подтверждается методами измерения удельного электросопротивления, dilatометрического анализа и литературными данными.

В интервале мартенситного превращения временные напряжения снижаются в полтора – два раза по сравнению с величиной напряжений, накопившихся при охлаждении в аустенитной области (рис. 1, кривая 1). При дальнейшем охлаждении ниже температуры M_k^{ysl} напряжения возрастают до 120 – 180 МПа за счет некоторого увеличения количества мартенсита. При охлаждении образцов из стали 12Х17 (рис. 1, кривая 2) ввиду отсутствия фазового превращения эффект кинетической пластичности не проявляется. С повышением температуры напряжения непрерывно увеличиваются и достигают значений, значительно превышающих остаточные напряжения в сплаве Р2М9, претерпевшем мартенситное превращение.

В настоящей работе определена роль эффекта сверхпластичности в релаксации временных напряжений. Для этого проводили определение относительного удлинения δ , характеризующего пластичность металла. Известно [1, 2], что для этих сталей определение характеристик пластичности (и в частности δ) не проводилось. Если гипотеза об определяющей роли сверхпластичного состояния в релаксации временных напряжений достоверна, то при дополнительном растяжении образца в момент мартенситного $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения можно достичь значительной величины относительного удлинения.

Повышенные характеристики пластичности свидетельствуют о сверхпластичном состоянии. Относительное удлинение, получаемое в первом случае за счет увеличения объема, составляет в инструментальных сталях 3 – 5 %, что довольно

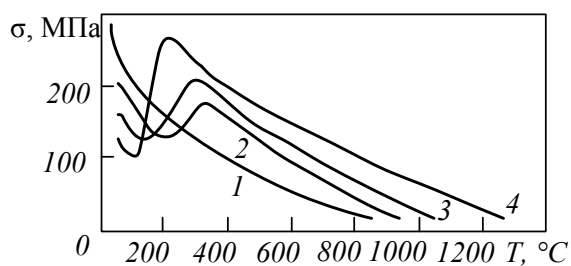


Рис. 2. Временные напряжения в жестко закрепленных образцах наплавленного сплава Р2М9 в зависимости от температуры нагрева при разных значениях T_n : 1 – 800 °C; 2 – 1000 °C; 3 – 1100 °C; 4 – 1200 °C

точно согласуется с данными об объемном эффекте мартенситного превращения для соединений железа. Растяжение образцов в интервале мартенситного превращения позволяет получить большие значения относительного удлинения (15 – 35 %). Такие значения пластичности свидетельствуют об определяющей роли кинетической пластичности (сверхпластичности) в релаксации временных напряжений в теплостойком наплавленном металле.

На рис. 2 представлены данные о влиянии степени легирования твердого раствора на релаксацию временных напряжений. Видно, что при охлаждении образцов от температур, превышающих точку A_{c1} , наблюдается эффект сверхпластичности при фазовом превращении. Этот эффект проявляется в снижении временных напряжений в интервале температур 310 – 100 °C. Максимум напряжений соответствует температурам 330, 310 и 230 °C (на кривых 2, 3 и 4). Эти значения температур довольно близки к температурам начала мартенситного превращения при выбранных температурах нагрева, а минимум напряжений проявляется при 210, 150 и 120 °C – соответствует температурам M_k^{ysl} , лежащим выше температуры конца мартенситного превращения M_k ($M_k^{ysl} > M_k$). Величина временных термических и структурных напряжений до начала мартенситного превращения зависит от температуры нагрева образца и возрастает с ее увеличением. При этом с повышением температуры нагрева максимум и минимум временных напряжений на кривой смещаются в область более низких температур, что следует связать с обогащением аустенита углеродом и легирующими элементами, которые приводят к снижению температур начала и конца мартенситного превращения [2]. Величина релаксации временных напряжений в интервале мартенситного превращения также зависит от температуры нагрева и возрастает с ее увеличением.

Исследования влияния эффекта кинетической пластичности на величину остаточных напряжений в образцах из сплава Р2М9 показали, что

величина остаточных напряжений зависит от температур мартенситного превращения и соответственно связана с кинетикой процесса. По-видимому, оказывают влияние морфологический тип и общее количество образующихся кристаллов мартенсита. При этом уровень остаточных напряжений зависит от величины интервала температура окончания релаксации временных напряжений M_k^{ysl} – комнатная температура T_k . Чем меньше интервал $M_k^{ysl} - T_k$, тем меньшую величину имеют остаточные напряжения при комнатной температуре. При увеличении T_n от 800 до 1200 °C температура окончания релаксации напряжений M_k^{ysl} понизилась от 210 до 120 °C, а величина остаточных напряжений при этом уменьшилась от 200 – 210 до 120 – 130 МПа (рис. 2, кривые 2, 3 и 4).

Таким образом, за счет смещения мартенситного интервала и проявления эффекта кинетической пластичности прямая связь величины остаточных напряжений с температурой нагрева стали нарушается. При нагреве образцов из стали Р18 до 800 °C ввиду отсутствия фазового превращения при охлаждении эффект кинетической пластичности не проявляется. В этом случае с понижением температуры напряжения непрерывно увеличиваются и достигают значений, в 2,0 – 2,5 раза превышающих остаточные напряжения в стали, претерпевшей мартенситное превращение (рис. 2, кривые 1 и 4). Эффект кинетической пластичности проявляется только в условиях развития фазового превращения. Так, в стали 12Х17 увеличение пластичности при охлаждении с различных температур не наблюдается.

Релаксацию напряжений можно использовать для регулирования напряженного состояния в процессе наплавки и предотвращения образования холодных трещин в наплавленном теплостойком металле. Так, в способе многослойной наплавки в азотсодержащей среде теплостойкими сталями высокой твердости проводят предварительный подогрев до температуры выше температуры начала мартенситного превращения на 50 – 100 °C ($T_{под} = 230 \div 280$ °C) наплавляемой заготовки. После наплавки каждого слоя осуществляют выдержку с одновременным снижением температуры подогрева наплавляемой заготовки на 20 – 100 °C ниже температуры начала мартенситного превращения, а непосредственно после наплавки последнего слоя проводят высокотемпературный отпуск на наплавочной установке с температурой, находящейся в интервале «температура рекристаллизации основного металла» – «температура отпуска наплавленного металла». Это позволяет получить наплавленный металл в закаленном состоянии с низким уровнем остаточных напряжений и

максимально использовать свойства наплавленного высоколегированного слоя [9].

Данные, полученные при исследованиях на установках тепловой микроскопии, проверяли путем наплавки по разработанным способам заготовок деталей диам. 100 мм порошковыми проволоками, обеспечивающими получение наплавленного металла типа стали Р2М9 дополнительно легированной азотом, алюминием и никелем. Наплавку заготовки осуществляли на установке для плазменной наплавки тел вращения УД – 417 [10].

Промышленные испытания в реальных заводских условиях показали, что изготовленные с применением плазменной наплавки активного слоя теплостойкими сталями высокой твердости с регулируемым термическим циклом наплавленные детали обладают повышенной (в 1,5 – 2,0 раза) стойкостью по сравнению с серийными деталями [1, 7].

Выводы

В наплавленном экономно легированном теплостойком металле наблюдается эффект повышенной пластичности в момент мартенситного превращения, который можно использовать для релаксации напряжений в процессе наплавки и предотвращения образования холодных трещин. Определяющая роль в релаксации временных напряжений в теплостойком металле принадлежит эффекту кинетической пластичности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малушин Н.Н., Валуев Д.В. Обеспечение качества деталей металлургического оборудования на всех этапах их жизненного цикла путем применения плазменной наплавки теплостойкими сталями. – Томск: изд. Томского политехнического университета, 2013. – 358 с.
2. Гуляев А.П., Сармянова Л.М. Технологическая пластичность быстрорежущих сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 1969. № 7. С. 2 – 9.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
4. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов. – М.: Металлургия, 1995. – 280 с.
5. Сверхпластичность металлических материалов / Под ред. М.Х. Шоршорова. – М.: Наука, 1993. – 220 с.
6. Применение эффекта сверхпластичности сталей в инструментальном производстве / С.Ф. Гнусов и др. – Томск: изд. НТЛ, 2008. – 237 с.
7. Малушин Н.Н. Технология изготовления прокатных валков плазменной наплавкой теплостойкими сталями высокой твердости. – В кн.: Влияние высокоэнергетических воздействий на структуру и свойства конструкционных материалов. Серия «Фундаментальные проблемы современного материаловедения». В 2-х т. Т. 2 / Под ред. В.Е. Громова. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2013. С. 290 – 297.
8. Малушин Н.Н. Методика исследований и образец из наплавленного металла для испытаний на установках тепловой микроскопии // Вестник СибГИУ. 2013. № 1 (3). С. 6 – 7.
9. Пат. РФ № 2699488. Способ многослойной наплавки теплостойкими сталями высокой твердости в азотсодержащей среде / Н.Н. Малушин., Д.А. Романов, В.Л. Осетковский, А.П. Ковалев, Е.А. Будовских, Д.В. Валуев. Заявл. 29.02.2019, опубл. 05.09.2019. Бюл. № 25.
10. Малушин Н.Н., Гизатулин Р.А., Ковалев А.П., Осетковский В.Л., Осетковский И.В. Влияние высокотемпературного отпуска на свойства хромовольфрамового металла высокой твердости, наплавленного плазменной наплавкой в защитно-легирующей среде азота/ Заготовительные производства в машиностроении. 2017. № 12. С. 30 – 40.

© 2021 г. Н.Н. Малушин, А.П. Ковалев,
Д.А. Романов, В.Е. Громов, Р.А. Гизатулин
Поступила 4 марта 2021 г.

МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л.Н. Гудимова, Э.Я. Живаго

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрены основные этапы развития технических устройств и механизмов, используемых в металлургической промышленности. Приведено несколько примеров применяемых при выплавке и обработке металлов шарнирных рычажных механизмов, работающих в условиях высоких температур и нагрузок.

Ключевые слова: шарнирные рычажные механизмы, исполнительный механизм, машины и агрегаты, загрузочные устройства, механизм кристаллизатора.

MACHINES AND MECHANISMS OF METALLURGICAL PRODUCTION

L.N. Gudimova, E.Ya. Zhivago

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper considers the main stages of development of technical devices and mechanisms used in the metallurgical industry. The work provides several examples of articulated link mechanisms operating at high temperatures and loads, used in the smelting and processing of metals.

Keywords: articulated link mechanisms, actuator, machines and assemblies, loading devices, mold mechanism.

Введение

Известные советские и российские специалисты по истории и философии науки и техники, науковедению (такие как Б.И. Козлов, Н.Я. Конфедератов, А.Н. Боголюбов и другие) объясняют трудности при изучении античной техники ограниченностью исторической базы. Ни одна книга этого периода не дошла до нашего времени в виде артефакта. Все источники многократно переписывались и переводились с одного языка на другой. С уверенностью можно утверждать лишь то, что в XII – VII тысячелетиях до нашей эры слово «механизм» уже широко употреблялось и появились первые механические устройства, имеющие источник энергии. Изобретение водяного колеса (XIV – XV вв.) существенно изменило подачу и мощность дутья, стали широко использоваться простые рычажные механизмы не только непосредственно в процессе выплавки металлов, но и в металлообработке. Начиная с XVIII в. (периода первой технической революции) существенно изменяется не только технология изготовления металлов, но и применяемые

механизмы. Появляются загрузочные машины для доменных печей, устройства для подогрева воздуха и другие, большинство из которых основаны на применении шарнирных рычажных устройств и механизмов. Научной теории синтеза механизмов в то время не существовало, но развивающаяся промышленность требовала внедрения более сложных машин и механизмов и ставила перед учеными задачу нахождения такого метода синтеза, который позволит создавать машины, обладающие высокой работоспособностью и долговечностью. Русским ученым П.Л. Чебышёвым в 1852 г. была обоснована формула для построения шарнирных параллелограммных механизмов, которая была положена в основу существующих современных методов синтеза структур шарнирных механизмов.

Восстановить сколько-нибудь системно историю возникновения и развития технических сооружений, механизмов и машин, применяемых в различных отраслях промышленности (в том числе и в металлургическом производстве) от античности до наших дней практически не-

возможно [1 – 4]. Так как античные книги не дошли до нашего времени в виде архетипа – исследователи располагают только текстами, которые неоднократно перекопировывали и переводили с одного языка на другой. С уверенностью можно только утверждать, что под словом «техника» на протяжении всего времени существования человечества понимались не только средства труда (простые и сложные устройства, механизмы, машины), но и методы, процессы и технологии производства [5]. По мере развития технологического цикла любого производства изменялась и используемая техника, усовершенствование которой было тесно связано с развитием науки. По данным, приведенным в источниках по истории техники и технологий, говорится, что «металлы появились у человечества не вдруг, не в результате какого-то революционного скачка в развитии общества, они постепенно входили в его жизнь в течение некоторого переходного периода между каменным веком и веком металлов» [6].

Первые процессы плавления железной руды в смеси с древесным углем происходили сначала в неглубоких ямах, затем в небольших глиняных горнах (горшках). Раздувку проводили ртом при помощи трубок, вставленных в отверстия горна. Позднее стали применять меха из шкур животных, которые приводили в движение ручным или ножным способом. По мере развития общества потребность в металле постоянно возрастала. Увеличивались размеры горнов, масса загружаемой шихты, что требовало увеличения мощности дутья. Эту проблему удалось решить в XI – XII вв., используя изобретение водяного колеса, которое металлурги стали применять для приведения в действие воздуходувных мехов. На иллюстрациях работ [3, 4] видно, что уже в это время в устройствах в металлургии широко использовались простые рычажные механизмы.

Увеличившиеся в размерах горны стали шахтными печами, а в XIII – XV вв. появились печи с мощным дутьем, названные «домницами», что дало возможность получать не только железо, но и чугун. Древнейшие домны появились в Зигерланде во второй половине XV в. [3, 4], они отличались значительной высотой и мощным воздуходувным устройством. Это позволило значительно увеличить количество выплавляемого чугуна, но развивающееся общество требовало иных свойств металла, которые были необходимы для изготовления изделий в таких развивающихся промыслах, как горное дело, кузнечное ремесло и другие.

В период XIV – XV вв. появились первые вододействующие молоты, прокатные станы и

протяжные устройства для вытягивания проволоки и выделки жести. Могли быть и другие технологические схемы, определяемые спецификой и условиями производства, но ни в описании, ни в иллюстрированном варианте до нашего времени они не дошли. В конце XVIII в. для привода прокатного стана стали применять паровые машины. Прокатка стала одним из трех основных звеньев производственного цикла металлургических заводов, постепенно вытесняя менее производительный способковки.

Развитие металлообработки и машиностроения привело к совершенствованию горно-металлургического производства, которое потребовало применения новых устройств и механизмов для увеличения объемов и улучшения качества металла, что создавало предпосылки для развития научных основ металлургии [7, 8]. Так, в 1784 г. английским металлургом Генри Кортон запатентована пудлинговая печь. В 1850 г. англичанин Парри изобрел загрузочное устройство для доменной печи, а в 1857 г. Э. Каупер изобрел способ и устройство для подогрева воздуха отходящими газами доменной печи. В 1856 г. Г. Бессемер создал новый способ передела жидкого чугуна в сталь, а в 1864 г. французские инженеры отец и сын Эмиль и Пьер Мартен создали печь, в которой можно переделывать в сталь не только чугуны, но и железный лом.

Началом расцвета механики как науки можно считать конец XVIII – начало XIX вв. – период бурного развития математического естествознания [7, 8]. Это времена первой технической революции, времена Ньюкомена, Ползунова, Уатта, когда стали создаваться паровые машины, способные заменить труд людей и животных. Эти машины были первыми сложными рычажными механизмами. Разработки перечисленных изобретателей опережали науку и часто работали с принуждением. Достаточно указать на то, что знаменитый полный параллелограмм Уатта, который был положен в основу создания серии подобных машин, широко используемых в технике того времени, не являлся механизмом. Только благодаря развитию науки теории механизмов и машин стало возможно создание работоспособных рычажных механизмов, которые и до настоящего времени используются в металлургической промышленности [9, 10].

Шарнирные рычажные механизмы металлургического производства и современные требования, предъявляемые к ним

Современная металлургия в настоящее время охватывает все стадии технологических процессов: от добычи и обогащения сырья до получения готовой продукции в виде черных и цветных

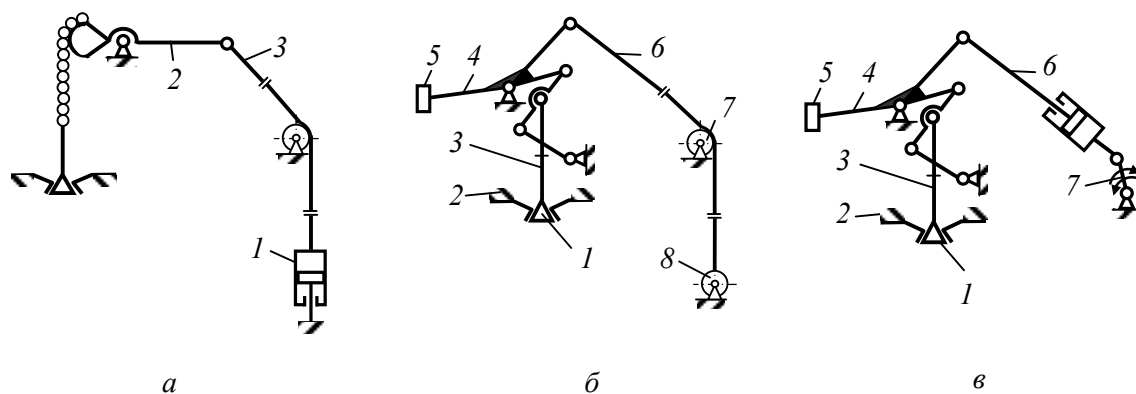


Рис. 1. Схемы приводов конусов загрузочных устройств

металлов и их сплавов. Как показал проведенный анализ по использованию машин и агрегатов [11 – 16], на металлургических заводах до 40 % от общего числа используемых составляют рычажные или кривошипно-шарнирные механизмы. Приведем несколько примеров таких механизмов. На рис. 1 показаны структурные схемы приводов загрузочных устройств, используемых для загрузки шихты в доменную печь.

Известно два типа привода конусов: свободный и принудительный. При использовании свободного привода его опускание осуществляется под действием веса шихты и конуса (рис. 1, а). Подъем производится принудительно электролебедкой или пневмоцилиндром 1, связанными через рычажный балансир 2 гибкой связью 3. Приводы второго типа (рис. 1, б, в) могут быть балансирными и безбалансирными. Существуют балансирные приводы канатные, от электролебедки (рис. 1, б) и бесканатные, гидравлические (рис. 1, в). В обоих случаях в структурах привода присутствует кривошипно-шатунный механизм.

Современные машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) состоят из большого числа элементов и узлов, таких как сталеразливочный стенд, промежуточный ковш, тележка или стенд для промежуточного ковша, кристаллизатор, механизм возвратно-поступательного движения кристаллизатора, опорные элементы и устройства зоны вторичного охлаждения, устройства для транспортировки слитка, механизм для ввода и уборки заправки и др.

Кристаллизатор является важной частью МНЛЗ, он обеспечивает интенсивный отвод тепла кристаллизующейся стали. Для создания условий отсутствия зависания и прилипания тонкой корочки жидкого металла используются следующие типы механизмов качения кристаллизатора: рычажно-кулачковые, рычажно-кулисные, рычажно-шарнирные [17 – 20]. Особым требова-

нием к конструкции механизма качения является высокая частота качения, это обеспечивает усреднение теплоотвода и снижение неравномерности при нарастании толщины корочки металла. Высокая частота качения вызывает быстрый износ шарнирных соединений и деформацию звеньев (деталей) механизма качения. На рис. 2 показана структурная схема механизма качения кристаллизатора, являющегося рычажно-шарнирным механизмом. Механизм качения состоит из двух соединенных между собой четырехзвенных механизмов 1 и 2. Расположение точек *A, B, C, D* обеспечивает высокую точность движения кристаллизатора при вытягивании слитка. Достигается это повышенной точностью изготовления звеньев четырехзвенных механизмов и соблюдением параллельности шатунов, образующих четырехугольник *ABCD*.

Вакуумные дуговые электропечи используются для получения высококачественных стальных слитков. Дуга в таких печах поддерживается в вакууме между ванной слитка, который формируется в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе, и расходным электродом. Кристаллизатор прижимается к опорному кольцу вакуум-камеры четырьмя одинаковыми механизмами. Структурная схема механизма приведена (в рабочем положении) на рис. 3, а.

Рычажный механизм *ABCD* соединен с захватом 1 шарниром 5 с ограниченной подвижностью. Шатун 4, шарнир 5 и ползун 3 обеспечивают отклонение захвата и его вертикальное перемещение. Пружина 2 обеспечивает постоянную силу прижатия и самозапирание механизма после перехода через верхнее «мертвое» положение. Приводом механизма является качающийся гидроцилиндр 7.

Несмотря на то, что основным рабочим органом (технологическим инструментом) прокатного стана являются валки, машины и механизмы главной линии должны содержать большое

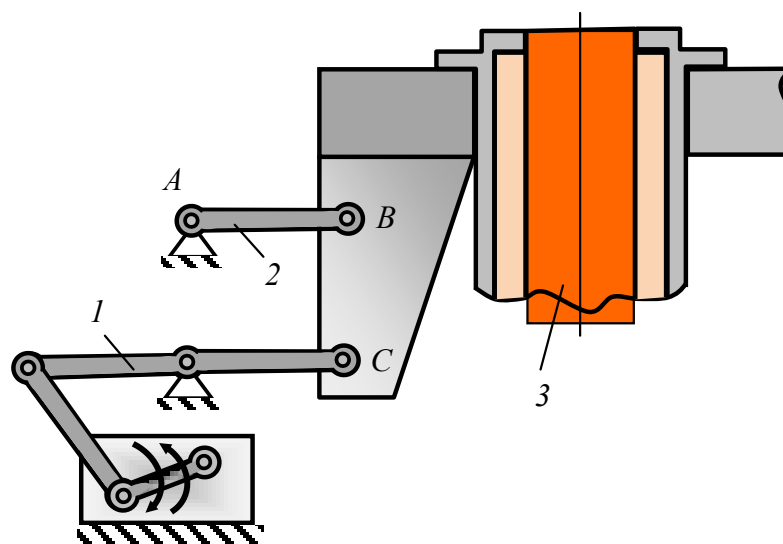


Рис. 2. Кинематическая схема механизма качения кристаллизатора

количество различных по назначению передаточных механизмов [21 – 26], среди которых значительное место занимают кривошипно-рычажные. В качестве примера показана кинематическая схема устройства подъемно-качающихся столов трехвальной клетки (рис. 4, а).

Такое устройство столов применяется в среднесортных и крупносортовых станах. Стол 1 приводится в движение от электродвигателя через редуктор 2. Подъем и поворот относительно оси 3 происходит при помощи вертикальной тяги 4 и кривошипно-рычажной передачи 5. Подъем и опускание стола осуществляется в результате поворота кривошипного вала редуктора на 180° .

Для уравнивания стола используют контргрузы 6. Для разгрузки кривошипного вала редуктора контргрузы устанавливаются на отдельном рычаге 7, который поворачивается вокруг подшипника 8, дополнительного кривошипа 9. Синхронная работа случаев, если подъемно-

качающиеся столы устанавливаются с двух сторон, осуществляется соединением тяги 10 приводов переднего и заднего стола. В этом случае столы приводятся в движение одним электродвигателем через редуктор 2 и кривошипную передачу 5.

Для поперечной резки горячего проката различных сечений после прокатки на различных сортовых станах (слябингах, блюмингах) применяются ножницы с параллельными ножами. На ножницы поступает металл, температура которого обычно находится в интервале $800 - 1000^\circ\text{C}$. Летучие ножницы для резки горячей заготовки с радиальным ступенчатым выравниванием скорости ножей устанавливаются за последней клетью непрерывного заготовочного стана 850/700/500 для резки заготовок сечением от 60×60 до 100×100 мм. Скорость движения заготовки составляет $5,2 - 1,8$ м/с, длина заготовок соответствует определенному ряду длин (минимальная 2,5 м, а максимальная 12,0 м).

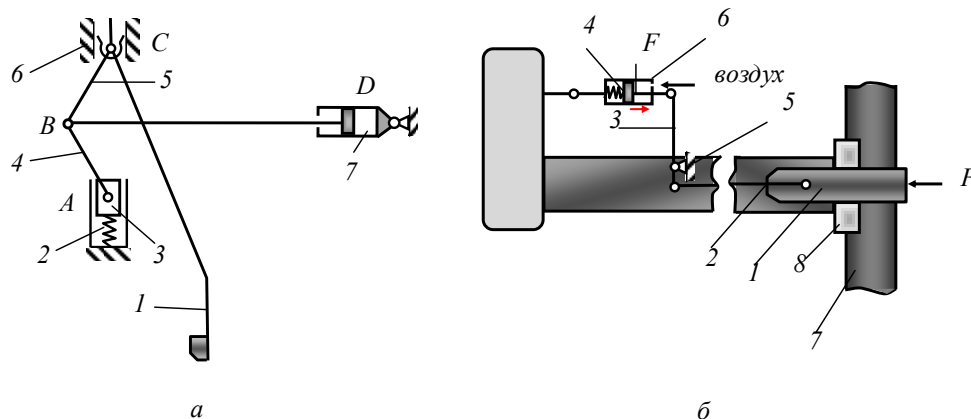


Рис. 3. Структура рычажного механизма прижима кристаллизатора (а) и зажима электрода (б)

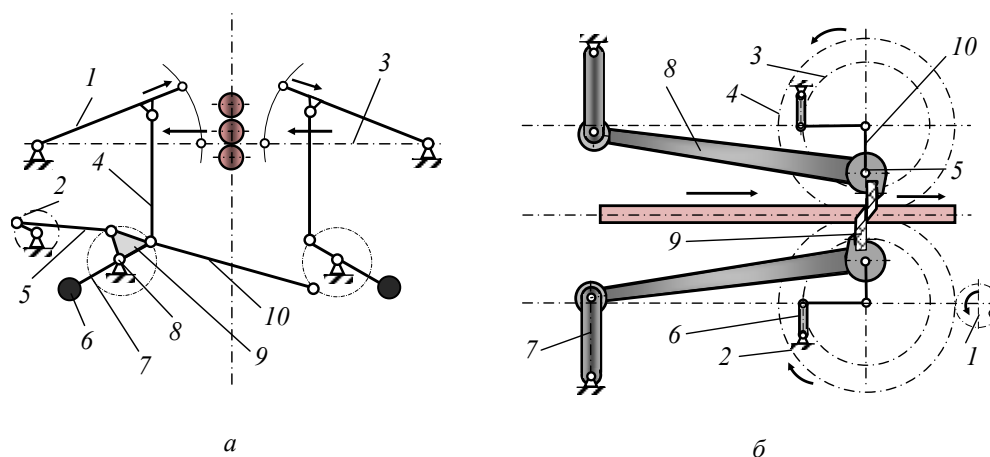


Рис. 4. Рычажное устройство перемещения столов среднесортного и крупносортного станов (а), кинематическая схема рычажно-кривошипных летучих ножей (б)

На рис. 4, б показана часть кинематической схемы, то есть устройство шестизвенного рычажного шарнирного механизма, при помощи которого непосредственно происходит резание металла. Ножи 9 закреплены на концах в головках (суппортах) шатунов 8, второй конец которых шарнирно соединен с качающимся шатуном 7, закрепленным на станине ножей. Головки ножей свободно устанавливаются в пальцах 5 двух кривошипов 10. Кривошипы получают движение от водил (на рисунке не показаны) при помощи звена 6. Звенья 6 необходимы потому, что оси вращения водил и кривошипов не совпадают. Водила приводятся в движение шестернями 1 и 2 от электродвигателя.

Проведенный анализ устройств и механизмов [27 – 29] современной металлургической промышленности показал, что на всех стадиях металлургического цикла в большей или меньшей степени в машинах и агрегатах присутствуют рычажные системы и шарнирные рычажные механизмы. Особенности металлургического производства являются непрерывность работы металлургических агрегатов [30], тесная связь между смежными цехами, тяжелые условия работы оборудования, связанные с высокими температурами, скоростями, запыленностью и динамическими нагрузками. Существенным недостатком шарнирных рычажных механизмов является наличие в них избыточных связей, устранение которых решает основные проблемы, связанные с температурными деформациями деталей механизмов и точностью их изготовления. Отсутствие избыточных связей позволит повысить износостойкость, работоспособность деталей и, как следствие, приведет к увеличению коэффициента полезного действия механизма и долговечности машины в целом [31 – 33].

Создание методики синтеза структур шарнирных рычажных механизмов без избыточных

связей позволит находить все их многообразие, а последующие исследования (кинематическое и силовое) дадут возможность уже на первых этапах проектирования рекомендовать структуру механизма, наиболее удовлетворяющую определенному технологическому циклу.

Выводы

На всех стадиях металлургического цикла в большей или меньшей степени в машинах и агрегатах присутствуют рычажные системы и шарнирные рычажные механизмы. Существенным недостатком шарнирных рычажных механизмов является наличие в них избыточных связей, их устранение решает основные проблемы, связанные с температурными деформациями деталей механизмов и точностью их изготовления. Отсутствие избыточных связей позволит повысить износостойкость, работоспособность деталей и приведет к увеличению коэффициента полезного действия механизма и долговечности машины в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козлов Б.И. Опыт историко-теоретического исследования. Возникновение и развитие технических наук. – Л.: Наука, 1987. – 248 с.
2. Запарий В.В. История черной металлургии Урала. 90-е годы XX века. – М.: Наука, 2017. – 264 с.
3. Дятчин Н.И. История развития техники. – Ростов на Дону: Феникс, 2001. – 320 с.
4. Машиностроение. Энциклопедия / К.В. Фролов и др. – М.: Машиностроение, 1994. – 534 с.
5. Боголюбов А.Н. Развитие теории механизмов и машин в трудах ученых XVIII – 1-ой половины XIX века: автореф. канд. техн. наук: 10.02.2011: Киев, 1961. – 23 с.

6. Конфедератов Н.Я. Джеймс Уатт. Изобретатель паровой машины. – М.: Наука, 1969. – 224 с.
7. Цирульников Е.В. История отечественной металлургии в лицах (памятные даты III квартала 2014 г.) // Черные металлы. 2014. № 9. С. 86 – 88.
8. Машины и агрегаты металлургического производства. Т. IV – 5 / Н.В. Пасечник, В.М. Синицкий, В.Г. Дрозд и др. – М.: Машиностроение-1, 2000. – 912 с.
9. Сортовые машины непрерывного литья заготовок. – Краматорск: ЗАО "НКМЗ", 2009. – 16 с.
10. Ульчицкий О.А., Казанева Е.К., Булатова Е.К., Хисматуллина Д.Д. История мартеновских цехов корпорации «Юнайтед Стейтс Стил» в городах Гэри и Магнитогорск // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 1 (54). С. 41 – 47.
11. Дукмасов В.Г., Агеев Л.М. Состояние и развитие технологии оборудования в мировой металлургии. – Челябинск: ЮУрГУ, 2002. – 187 с.
12. Цирульников Е.В. Новый металлургический завод ООО «НЛМК-Калуга» // Черные металлы. 2013. № 9. С. 33 – 35.
13. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1987. – 440 с.
14. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. Т. 2. Машины и агрегаты сталеплавильных цехов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1987. – 432 с.
15. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
16. Кузнечно-штамповочное оборудование / А.Н. Банкетов, Н.С. Добринский и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
17. Kalker J.J. Three-dimensional elastic bodies in rolling contact. – London: Kluwer Academic Publisher, 1990. – 314 p.
18. Kim J.H. A new computational approach to contact mechanics using variable-node finite elements // International Journal for Numerical Methods in Engineering. 2007. Vol. 73. No. 13. P. 1966 – 1988.
19. Garcia de Jalon J., Bayo E. Kinematic and dynamic simulation of multibody systems. The realtime challenge. – New-York: Springer-Verlag. 1994. – 449 p.
20. Goncharov K.A., Fedorov A.A., Chechulin Y.B. Using finite element method for the strength calculation of tube rolling equipment. – In book: 18-th CAD-FEM User's Meeting 2000. Internationale FEM-Technologietage. – Friedrichshafen. Lake Constance. 2000. P. 323 – 326.
21. Goncharov K.A., Chechulin Y.B. Stress-strain state of mill for cold rolling of tubes. – In book: Proceedings of 13th International Symposium «Materials, methods and technologies». – Sunny Beach. Bulgaria, 2011. P. 222 – 229.
22. Goncharov K.A., Chechulin Y.B. Stress state of a tool for stamping tubes. – In book: Proceedings of 13th International Symposium «Materials, methods and technologies». – Sunny Beach. Bulgaria, 2011. P. 212 – 221.
23. Смирнов А.Н., Подкорытов А.Л. Современные сортовые МНЛЗ: перспективы развития технологии и оборудования // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2010. № 2 (260). С. 61 – 65.
24. Goncharov K.A., Chechulin Y.B. Algorithm to find technical solutions for the modernization of the cold rolling mill of large diameter pipes. – In book: Proceedings of 13th International Conference on Applied Mathematics and Computational Methods (AMCM '13). – Venice, Italy. 2013. P. 64 – 68.
25. Shinkin V.N. Calculation of technological parameters of O-forming press for manufacture of large-diameter steel pipes // CIS Iron and Steel Review. 2017. Vol. 13. P. 33 – 37.
26. Lakshmi Shamvardhini Sydanna T.R. Manufacturing with design and analysis of rotor shaft of hammer mill crusher // International Journal of Science. Engineering and Technology Research (IJSETR). 2017. No. 5. P. 877 – 881.
27. Fomin A., Glazunov V., Terekhova A. Development of a Novel Rotary Hexapod with Single Drive. – In book: Proceedings of the 22nd CISM IFTOMM Symposium ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics and Control. 2019. P. 141 – 146.
28. Jelali M. Performance assessment of control systems in rolling mills-application to strip thickness and flatness control // Journal of Process Control. 2007. No. 17. P. 805 – 816.
29. Gad J. Analiza i ocena sytuacji finansowej przedsiębiorstwa. – In book: Ekonomia finansowa prawo gospodarcze. Podręcznik dla sędziów i prokuratorów. – Łódź – Lublin: Uniwersytet Łódzki Wydział Zarządzania, 2015. P. 69 – 77.
30. Zakrzewska-Bielawska A. The strategic dilemmas of innovative enterprises: proposals for high-technology sectors // R&D Management. 2012. Vol. 42. No. 5. P. 514 – 514.
31. Thome R., Ostheimer V., Ney G., Rüpell F., Girgensohn A., Plociennik U., Schmitz W., Geerkens Ch., Becker M. Soft reduction in the continuous casting of billets. – In book: Millenium Steel. 2007. P. 112 – 118.
32. Белитченко А.К., Ротенберг А.М., Форин А.И., Целиков А.А. Тянуще-правильные машины шестиручьевых радиальных МНЛЗ Молдавского металлургического завода // Сталь. 1990. № 7. С. 32 – 34.
33. Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т. Проблемы исключения избыточных связей в плоских шарнирных механизмах // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-1. С. 24 – 32.

© 2021 г. Л.Н. Гудимова, Э.Я. Живаго
Поступила 7 декабря 2020 г.

УДК 621.01

ПОНЯТИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР КВАЗИВЫСОКИХ КЛАССОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ УСТРАНЕНИИ ИЗБЫТОЧНЫХ СВЯЗЕЙ В ШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМАХ

Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников, А.Г. Никитин

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Создание механизмов, свободных от избыточных связей в них, является одной из наиболее актуальных задач современного машиностроения. Наиболее широко в практике машиностроения применяются плоские шарнирные механизмы. В работе академика И.И. Артоболевского «Механизмы в современной технике» из более двух тысяч описанных там механизмов не менее 70 % являются плоскими с избыточными связями в своих цепях. Появление в шарнирных рычажных механизмах избыточных связей приводит к уменьшению коэффициента полезного действия, способствует износу деталей в их соединениях, уменьшает срок службы машин. Магистральным в машиностроении должно стать направление по созданию адаптивных, самоустанавливающихся (не содержащих избыточных связей) машин. К настоящему времени хорошо изучен метод устранения избыточных связей, предложенный Л.Н. Решетовым. Однако эта методика позволяет для удовлетворения условия отсутствия избыточных связей в шарнирных механизмах определять лишь общее количество классических кинематических пар пятого, четвертого и третьего классов. В настоящей работе рассматривается вопрос об использовании таких кинематических пар, которые могут обеспечивать требуемое перемещение (или вращение) в нужном направлении лишь на определенную наперед заданную незначительную величину. Подобные пары следует называть кинематическими парами квазивысокого класса, то есть приближенными по возможному движению к классическим парам высоких классов. Такой подход к решению проблемы устранения избыточных связей в шарнирных рычажных механизмах, которые широко применяются и в металлургической промышленности, позволит существенно улучшить работу механизмов качения и прижима кристаллизатора, перемещения столов среднесортного и крупносортового станов, летучих ножниц, исполнительных механизмов кузнечно-штамповочных машин и др.

Ключевые слова: кинематическая пара, квазивысокий класс, четырехзвенный механизм, рациональный механизм, избыточная связь, механизм качения, механизм прижима.

THE CONCEPT OF KINEMATIC PAIRS OF QUASI-HIGH CLASSES AND THEIR USE IN ELIMINATION OF REDUNDANT LINKS IN ARTICULATED MECHANISMS

L.N. Gudimova, L.T. Dvornikov, A.G. Nikitin

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The creation of mechanisms free from redundant links in them is one of the most urgent tasks of modern engineering. Planar articulated mechanisms are most widely used in the practice of mechanical engineering. In his work "Mechanisms in modern technology" Academician I.I. Artobolevsky described more than two thousand mechanisms, at least 70% were planar ones with redundant links in their chains. The appearance of redundant links in the articulated mechanisms leads to a decrease in the efficiency, contributes to the wear of parts in their joints, and reduces the service life of machines. The main direction in mechanical engineering should be the direction of creating adaptive, self-aligning (not containing redundant links) machines. To date, the method for eliminating redundant links proposed by L.N. Reshetov has been thoroughly studied. However, this technique makes it possible to determine only the total number of classical kinematic pairs of the fifth, fourth and third classes to satisfy the condition of the absence of redundant links in the articulated mechanisms. In this paper, we consider the issue of using such kinematic pairs that can provide the required displacement (or rotation) in the desired direction only by a certain predetermined insignificant amount. Such pairs should be called kinematic pairs of a quasi-high class, that is, close in possible movements to classical pairs of high classes. This approach to solving the problem of eliminating redundant links in articulated link mechanisms,

which are widely used in the metallurgical industry, will significantly improve the operation of the rolling and clamping mechanisms of the mold, the movement of tables of medium and large-section mills, flying shears, actuators of forging and stamping machines, etc.

Keywords: kinematic pair, quasi-high class, four-link mechanism, rational mechanism, redundant link, rolling mechanism, clamping mechanism.

Применение шарнирных и рычажных механизмов в качестве исполнительных в машинах металлургической промышленности обусловлено возможностью их использования для передачи значительных усилий [1 – 3]. Наиболее часто используются кривошипно-ползунные и коленно-рычажные механизмы. Рычажные механизмы иногда используют в комбинации с кулачковыми для получения сложных траекторий точек исполнительных органов машин. Существенным недостатком всех шарнирных механизмов является наличие в них избыточных связей, которые приводят к уменьшению коэффициента полезного действия и срока службы машин, к увеличению энергозатрат производственного цикла и к износу деталей в местах соединений [4 – 6].

При введении в цепи плоских шарнирных механизмов кинематических пар более высоких классов, обеспечивающих увеличение числа относительных движений в них (снимающих избыточность связей), предполагалось, что пары p_4 , p_3 , p_2 и p_1 принципиально отличаются от пар p_5 по числу возможных движений [7 – 9]. При работе пары p_5 возможно единственное относительное движение (вращательное или поступательное) в единой для обоих звеньев плоскости; при работе пары p_4 возможно еще одно дополнительное относительное движение, выводящее звенья из единой плоскости. При работе пары p_3 возможны три степени свободы в относительном движении звеньев, а пар p_2 и p_1 – всего две и одна степень свободы относительного движения соответственно.

Если решается задача исключения избыточных связей в плоском механизме [9 – 12], то она существенно конкретизируется. Задача может быть сформулирована так: каким образом следует соединить звенья между собой при условии, что плоскости движения входного и выходного звеньев строго определены, в частности, когда входное и выходное звенья движутся в одной и той же плоскости. При этом все остальные звенья, соединяющие входное и выходное звенья, самоустанавливаются так, чтобы в целом в механизме не было избыточных связей.

Эти пары должны быть более подвижные, то есть более высоких классов, но относительные движения в них могут быть весьма ограниченными по величине. Такие высшие пары называются кинематическими парами квазивысоких классов (приблизительно высоких классов). Зная структуру конкретного плоского механизма, вполне возможно

отследить, как должны самоустанавливаться промежуточные звенья между собой, чтобы движение беспрепятственно передавалось от входного звена на выходное.

Дело в том, что уже второе звено плоского механизма (то есть следующее после входного) не может быть строго введено в плоскость движения первого звена, третье звено не может быть введено в плоскость движения второго звена и так далее [13 – 15]. Чтобы дать возможность второму, третьему и следующим звеньям двигаться в своих плоскостях, используют кинематические пары более высоких классов. Но эти относительные движения могут быть ограниченными по величине. Поэтому кинематические пары, соединяющие такие (не находящиеся в одной плоскости движения) звенья, следует проектировать особо, а значит считать их парами квазивысоких классов.

Поясним подробнее обнаружение избыточности связей и их устранение через пары квазивысоких классов. На рис. 1 показан шарнирный четырехзвенный механизм в двух проекциях (на рис. 1 умышленно непараллельность осей шарниров показана чрезмерной, чтобы точки пересечения осей пар не выходили за пределы рисунка). Видно, что геометрические оси шарниров реально не могут быть выполнены соосными или параллельными (линии, перпендикулярные осям шарниров $I - I$, $II - II$, $III - III$ и $IV - IV$, пересекаются между собой в точках K_1 , K_2 и K_3 соответственно).

Очевидно, что при повороте звена I передать движение к звену 3 проблемно, а при приведенных отклонениях осей – невозможно. Каждое такое пересечение осей шарниров, препятствующее свободе движения звеньев, – и есть избыточная связь.

Именно три пересечения осей шарниров $I - I$ и $II - II$, $II - II$ и $III - III$, $III - III$ и $IV - IV$ в точках K_1 , K_2 и K_3 свидетельствуют о невозможности трех относительных движений, то есть о трех избыточных связях, которые аналитически определяются по формуле $q = m(p - n)$ (где m – количество общих связей, накладываемых на механизм в целом; p – количество кинематических пар; n – количество подвижных звеньев; q – количество избыточных связей). Для этого плоского механизма $m = 3$, $p = 4$, $n = 3$ и $q = 3$. Чтобы ликвидировать эти избыточные связи достаточно обычные шарниры за-

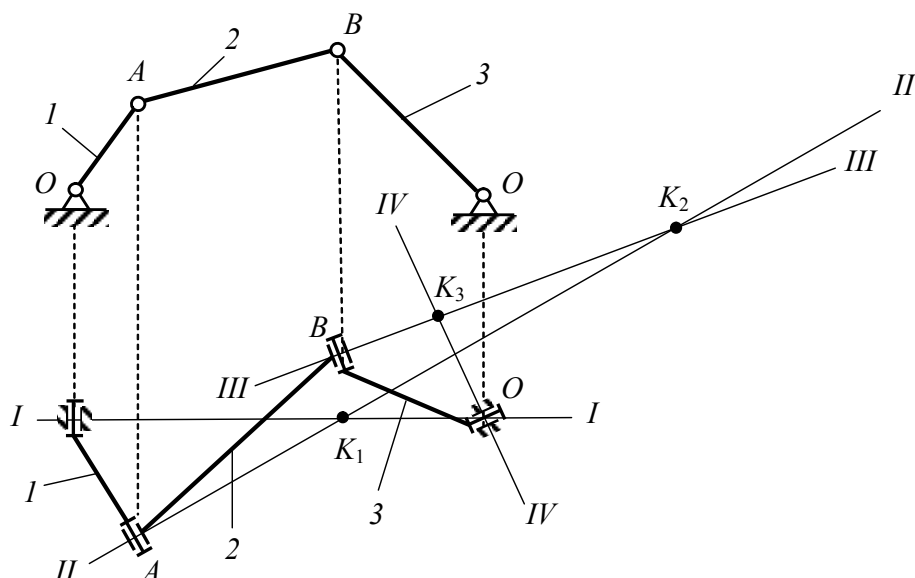


Рис. 1. Избыточность связей в шарнирном четырехзвенном механизме

менить на пары, позволяющие более одного относительного движения.

Реальное проявление избыточных связей при работе механизмов можно показать на примере плоского шарнира, когда соединяемые в шарнир звенья оказываются в пересекающихся плоскостях. На рис. 2 звенья 1 и 2 соединены в шарнир. Когда плоскости звеньев совпадают или параллельны (рис. 2, а), момент M_1 беспрепятственно передается звену 2 ($M_2 = M_1$). Если же плоскости, в которых движутся звенья, пересекаются в пространстве (рис. 2, б), то момент M_1 лишь частично передается звену 2, в виде момента M_2 , при этом появляется момент M_{21} в плоскости, перпендикулярной плоскости, в которой задано движение звену 1.

Это обстоятельство приводит к появлению контактов звеньев в точках, смещенных относительно центра шарнира (рис. 2, в). Появляющиеся при этом силы F_{21} и F_{12} , являются вредными, приводящими к потере передаваемой мощности, то есть становятся ненужными, избыточными связями. Это препятствие может быть преодо-

но, если геометрические элементы звеньев, образующих пару, выполнить криволинейными, как это показано на рис. 2, г. Это не будет сферический шарнир в полном его понимании, это будет шарнир квазивысокого класса. Кривизна соединения может быть рассчитана, исходя из требований допусков на соединение звеньев.

Выводы

Проблема создания кинематических пар квазивысоких классов требует своего дальнейшего систематического решения. Применение шарнирных рычажных механизмов без избыточных связей особенно актуально в металлургических машинах, в которых во время эксплуатации размеры звеньев могут изменяться из-за износа в соединениях деталей, из-за возникающих в них деформаций, в том числе и от воздействия высоких температур. Это приводит к сокращению срока эксплуатации, уменьшению коэффициента полезного действия и надежности в эксплуатации.

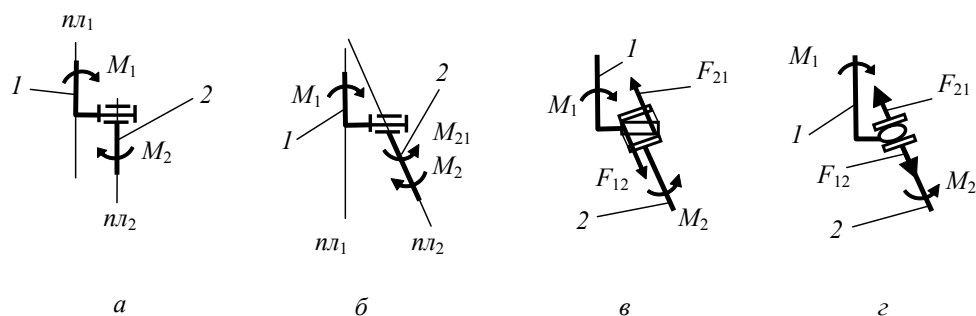


Рис. 2. Избыточность связи (плоский шарнир) и ее устранение

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х т. Т. 1. Машины и агрегаты доменных цехов / Ф.К. Иванченко, М.А. Тылкин, А.А. Королев и др. – М.: Металлургия, 1987. – 440 с.
2. Артоболовский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
3. Uicker J.J., Pennock G.R. Theory of Mechanisms. – New York: Oxford Univ. Press, 2003. – 928 p.
4. Родионов Н.А. Исследование долговечности подшипников шарнирно-рычажного механизма качения кристаллизатора МНЛЗ. – В кн.: Современное машиностроение. Наука и образование. Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конференции / Под ред. М.М. Радкевича, А.Н. Евграфова. – СПб.: изд. Политехн. ун-та, 2013. С. 371 – 378.
5. Живаго Э.Я. Основные принципы классификации и создания кинематических пар. – В кн.: Труды Междунар. Науч.-техн. конференции. Вопросы проектирования, эксплуатации технических систем в металлургии, машиностроении, строительстве. Ч. II. – Старый Оскол: 1999. С. 142 – 144.
6. Butcher E.A., Hartman C. Efficient enumeration and hierarchical classification of planar simple-jointed kinematic chains: Application to 12- and 14-bar single degree-of-freedom chains // Mechanism and Machine Theory. 2005. Vol. 40. No. 9. P. 1030 – 1050.
7. Евграфов А.Н., Петров Г.Н. Расчет геометрических и кинематических параметров пространственного рычажного механизма с избыточной связью // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 3. С. 3 – 8.
8. Евграфов А.Н., Терешин В.А., Хростицкий А.А. Геометрия и кинематика пространственного шестизвенника с избыточными связями // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 2. С. 170 – 176.
9. Евграфов А.Н., Хростицкий А.А. Терешин В.А. Особенности задачи исследования геометрии механизма с избыточными связями // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2011. № 135. С. 122 – 126.
10. Хростицкий А.А., Евграфов А.Н., Терешин В.А. Методика силового расчета парадоксальных механизмов с избыточными связями. – В кн.: XL Неделя науки СПбГПУ. Материалы междунар. науч.-практ. конференции. Ч. IV. – СПб.: изд. Политехн. ун-та, 2011. С. 136 – 138.
11. About preparation of new section of terminology IFToMM on MMS: Chapter 16 “Compliant Mechanisms” / N.T. Pavlovic et al. – In book: Terminology for the mechanism and machine science: Proceedings of the Scientific Seminar (Saint-Petersburg, Russia, June 23-29, 2014). 25th Working Meeting of IFToMM Permanent Commission on MMS. – Gomel – Saint-Petersburg, 2016. P. 47 – 49.
12. Audi R. The Cambridge dictionary of philosophy. – Cambridge University Press, 1999. – 1031 p.
13. Boegelsack G. Twenty-five years IFToMM Commission A “Standardization of Terminology” – history, methodology, results and future work // Mech. Mach. Theory. 1998. Vol. 33. No. 1/2. P. 1 – 5.
14. Khurmi R.S., Gupta J.K. Theory of machines. – Ram Nagar, New Delhi, India, 2011. – 1071 p.
15. Saura M., Celdran A., Dopico D., Cuadrado I. Computational structural analysis of planar multi-body systems with lower and higher kinematic pairs. Mechanism and Machine Theory, 71. – Elsevier, 2014. P. 79 – 92.

© 2021 г. Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников,
А.Г. Никитин

Поступила 7 декабря 2020 г.

УДК 621.01

О СОЗДАНИИ РАЦИОНАЛЬНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО КРИВОШИПНОГО МЕХАНИЗМА КАЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА

Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников, А.Г. Никитин, К.В. Торушпанов

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Наиболее широко в современной промышленности, в том числе и в металлургической, применяются плоские шарнирные механизмы. До настоящего времени само понятие избыточности связей сформулировано не четко, нередко ошибочно. В научной школе Сибирского государственного индустриального университета проведены исследования: избыточными связями в механических системах следует называть такие, которые возникают в кинематических парах в результате неизбежной принужденной сборки системы. Количество звеньев, количество и классы используемых кинематических пар этой системы не соответствуют самоустанавливающейся системе, описываемой формулой подвижности А.П. Малышева. Показано, что при обеспечении движения звеньев в параллельных плоскостях или с минимальным отклонением от параллельности возможно существенно уменьшить усилия, возникающие в кинематических парах. В металлургической промышленности такие механизмы работают в условиях высоких температур и нагрузок, которые часто приводят к увеличению деформации деталей, а нередко и к заклиниванию в местах их соединения. Создание механизмов, способных адаптироваться к изменяющимся нагрузкам, позволит решить задачу не только увеличения коэффициента полезного действия механизма, но и улучшения всего выполняемого технологического цикла.

Ключевые слова: кинематическая пара, четырехзвенный механизм, рациональный механизм, избыточная связь, механизмы качения и прижима кристаллизатора.

ON THE CREATION OF A RATIONAL FOUR-LINK CRANK ROLLING MECHANISM OF A MOLD

L.N. Gudimova, L.T. Dvornikov, A.G. Nikitin, K.V. Torushpanov

E-mail: lyu-gudiova@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. Planar articulated mechanisms are most widely used in modern industry, including metallurgy. Up to now, the concept of redundancy of links itself has not been formulated clearly and is often incorrect. The research has been carried out in the scientific school of Siberian State Industrial University: the redundant links in the mechanical systems arise in kinematic pairs as a result of the inevitable forced assembly of the system. The number of links, the number and classes of the used kinematic pairs of this system do not correspond to the self-aligning system described by the A.P. Malyshev. It is shown that by ensuring the movement of the links in parallel planes or with a minimum deviation from parallelism, it is possible to reduce significantly the forces arising in the kinematic pairs. In the metallurgical industry, such mechanisms operate under conditions of high temperatures and loads, which often lead to an increase in the deformation of parts, and often to jamming at their joints. The creation of mechanisms capable of adapting to changing loads will solve the problem of not only increasing the efficiency of the mechanism, but also improving the entire technological cycle performed.

Keywords: kinematic pair, four-link mechanism, rational mechanism, redundant links, rolling and clamping mechanisms of the mold.

Техническое перевооружение в металлургической промышленности должно проводиться путем внедрения нового высокопроизводительного оборудования. Решения этой проблемы можно

добиться созданием рациональных кинематических схем шарнирных рычажных механизмов без избыточных связей [1 – 4]. Такие механизмы получили широкое применение в металлургии,

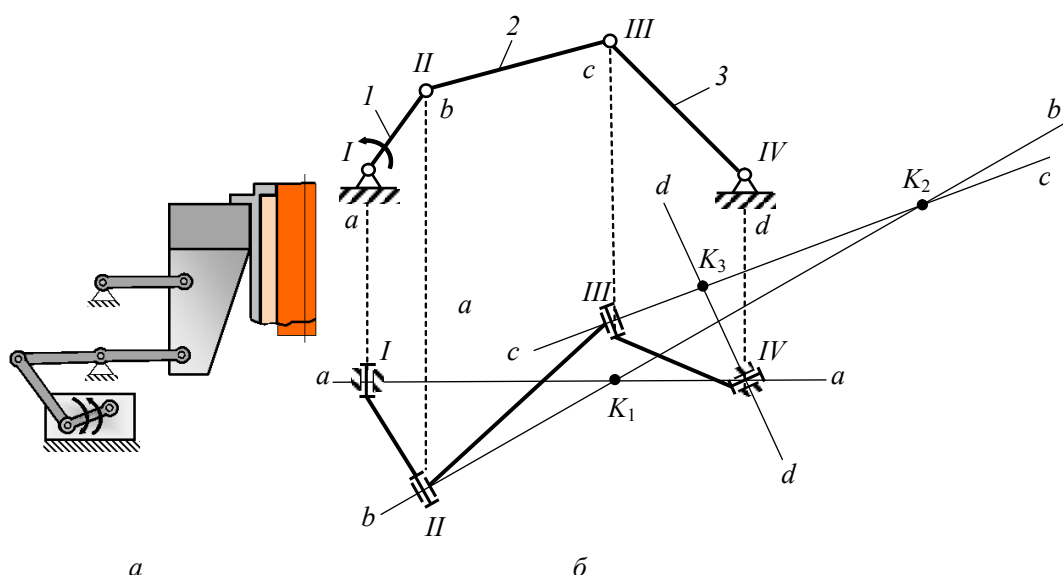


Рис. 1. Механизм качения кристаллизатора (а), избыточность связей в шарнирном четырехзвеннике (б)

благодаря возможности передачи значительных усилий.

В настоящей работе, основываясь на ранее проведенных исследованиях по созданию механизмов без избыточных связей [5], поставлена и решена задача определения одного из динамических параметров, реакций связи (усилий, возникающих в местах соединения деталей) на примере четырехзвенного кривошипного механизма. Подобные кинематические схемы используются в механизмах качения кристаллизатора (рис. 1), щековых дробилок, ножниц для резки металла, в прессах кузнечно-штамповочного производства и т.п.

В рассматриваемых структурах шарнирных механизмов звенья соединяются только кинематическими парами пятого класса.

Проведено динамическое исследование шарнирного четырехзвенного механизма с использованием программного комплекса T-Flex (рис. 2, а, б). Трехмерные модели механизмов созданы таким образом (рис. 2, в), что ведущее звено I (кривошип) совершает полный оборот (рис. 1, б).

При проведении эксперимента звенья одного механизма были соединены между собой вращательными кинематическими парами p_5 с позиционным отклонением между реальным расположением осей шарниров и номинальным (Δ) в пределах плоскости (рис. 3, а) и с отклонением от параллельности плоскостей относительно общей плоскости (рис. 3, б) соответствующим шестому качеству точности. Реальное проявление избыточных связей при работе механизмов можно показать на примере плоского шарнира, когда соединяемые в шарнир звенья оказываются в пересекающихся плоскостях (рис. 3, в).

В случае обеспечения параллельности перемещения звеньев (рис. 3, в), момент M_1 звена I беспрепятственно передается звену 2 ($M_2 = M_1$). При пересечении в пространстве плоскостей, в которых движутся звенья (рис. 3, б, в) (соответствует условию работы механизма с избыточными связями), момент M_1 лишь частично передается второму звену в виде M_2 . При этом появляется момент M_{21} в плоскости, перпендикулярной той, в которой задано движение звену I. Чтобы ликвидировать появление избыточных связей, звенья второго механизма (рационального) были соединены между собой с полным совмещением осей шарниров и с обеспечением строгого параллельного их движения в плоскости (рис. 3, в). При проведении эксперимента использовались следующие условия: угловая скорость ведущего звена ω составляет 600 об/мин; вращающий момент ведущего звена M составляет 500 Нм.

На рис. 4 приведены графики изменения усилий (реакций связи) в местах соединения звеньев за полный оборот ведущего звена (кривошипа), возникающие во втором и третьем шарнирах (рис. 1, б), в механизме с избыточными связями и с их отсутствием.

Анализ проведенного эксперимента убедительно доказывает, что появляющееся смещение относительно центра шарнира и отклонение от параллельности плоскостей вращения звеньев приводят к возникновению контактов звеньев (рис. 3, в). Эти контакты вызывают появление дополнительных сил F_{21} и F_{12} , которые являются вредными, приводящими к потере передаваемой мощности. То есть появляются ненужные, избыточные связи.

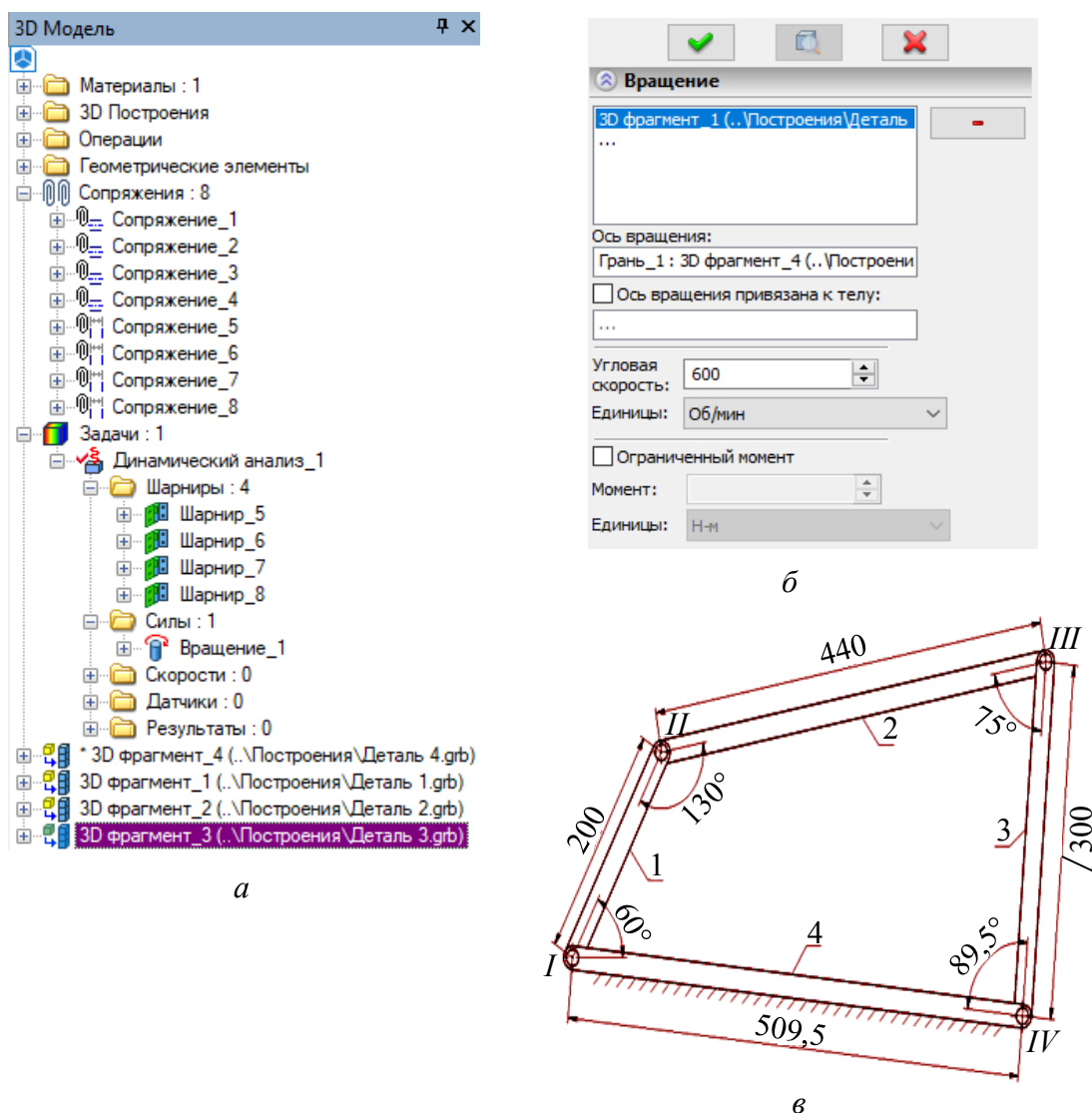


Рис. 2. Параметры программы T-Flex (а, б) и размеры исследуемого механизма (в)

Усилия, возникающие в местах соединения звеньев (деталей) в механизме с избыточными связями, более чем в десять раз больше усилий в механизме без избыточных связей. Несмотря на то, что в рациональном механизме в реальных условиях работы возникающие усилия возможно будут иметь более высокие значения, чем полученные в проведенном эксперименте, можно утверждать, что исключение избыточных связей дает возможность получить более производительные механизмы и машины [8 – 10].

Отметим, что при создании рациональных механизмов соединять звенья можно, например, известными кинематическими парами третьего (сферический шарнир) и четвертого (шарнир с пальцем) классов, а также и парами, геометрические элементы звеньев которых выполнены криволинейными (рис. 3, з). Это уже не будет сферический шарнир в полном его понимании, а будет шарнир квазивысокого класса. Кривизна соединения может быть рассчитана, исходя из требований допусков на соединение звеньев (деталей).

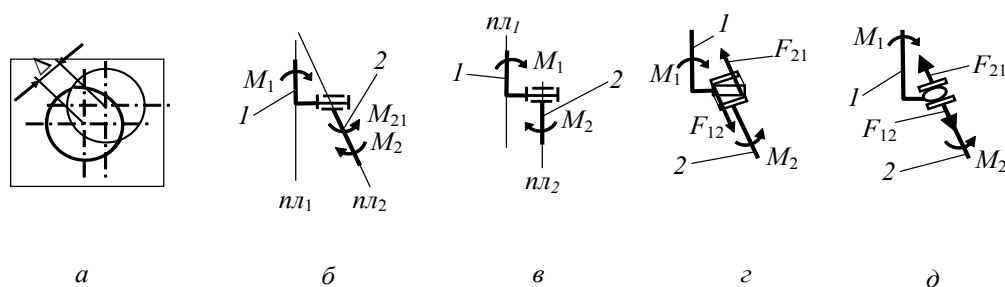


Рис. 3. Условия соединения звеньев

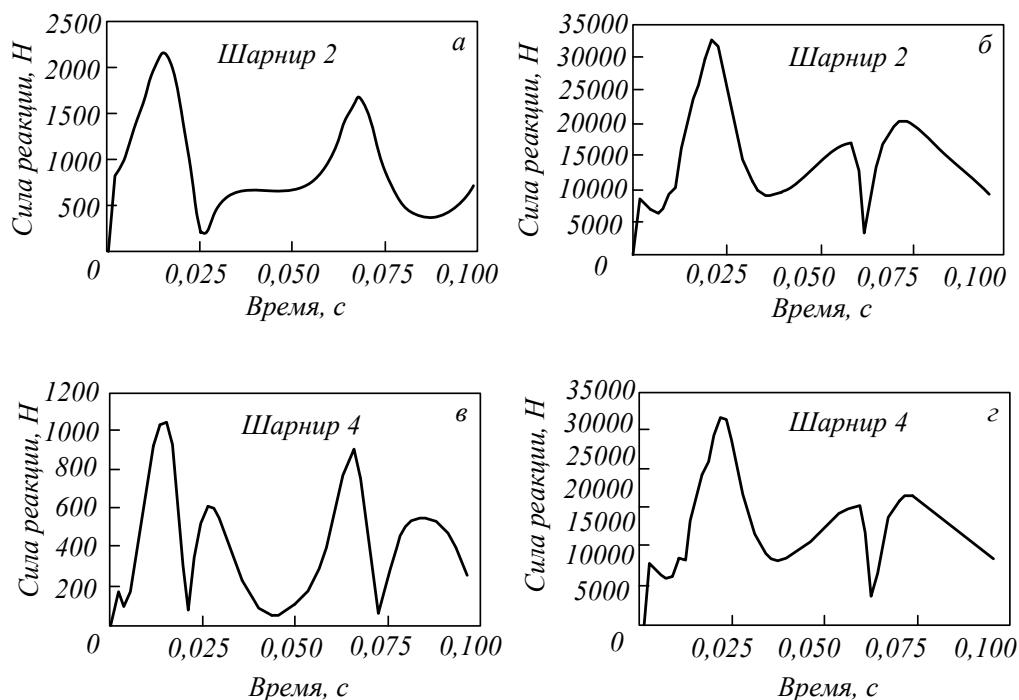


Рис. 4. Реакции связи в соединениях:
а, в – механизм без избыточных связей; б, г – механизм с избыточными связями

Выводы

Применение в металлургических машинах механизмов без избыточных связей позволит исключить влияние изменения размеров деталей не только из-за износа в соединениях, но и из-за возникающих в них деформаций, в том числе и от воздействия высоких температур. В результате увеличится срок эксплуатации, повысится коэффициент полезного действия, надежность всей металлургической машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
2. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Т. 1. Машины и агрегаты доменных цехов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник и др. – М.: Металлургия, 1987. – 440 с.
3. Uicker J.J., Pennock G.R. Theory of Mechanisms. – New York: Oxford Univ. Press, 2003. – 928 p.
4. Родионов Н.А. Исследование долговечности подшипников шарнирно-рычажного механизма качения кристаллизатора МНЛЗ. – В кн.: Современное машиностроение. Наука и образование. Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конференции / Под ред. М.М. Радкевича, А.Н. Евграфова. – СПб.: изд. Политехн. ун-та, 2013. С. 371 – 378.
5. Гудимова Л.Н., Дворников Л.Т. Основы теории избыточности связей в механизмах. – Новокузнецк: ООО Полиграфист, 2018. – 174 с.
6. About preparation of new section of terminology IFToMM on MMS: Chapter 16 “Compliant Mechanisms” / N.T. Pavlovic et al. – In book: Terminology for the mechanism and machine science: Proceedings of the scientific seminar (Saint-Petersburg, Russia, June 23-29, 2014). 25th Working Meeting of IFToMM Permanent Commission on MMS. – Gomel – Saint-Petersburg, 2016. P. 47 – 49.
7. Audi R. The Cambridge dictionary of philosophy. – Cambridge University Press, 1999. – 1031 p.
8. Boegelsack G. Twenty-five years IFToMM Commission A “Standardization of terminology” – history, methodology, results and future work // Mech. Mach. Theory. 1998. Vol. 33. No. 1/2. P. 1 – 5.
9. Khurmi R.S., Gupta J.K. Theory of machines. – Ram Nagar, New Delhi, India, 2011. – 1071 p.
10. Saura M., Celdran A., Dopico D., Cuadrado I. Computational structural analysis of planar multibody systems with lower and higher kinematic pairs. Mechanism and Machine Theory, 71. – Elsevier, 2014. P. 79 – 92.

© 2021 г. Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников,
А.Г. Никитин, К.В. Торушпанов
Поступила 7 декабря 2020 г.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al – Sn

И.Н. Ганиев¹, А.Г. Сафаров², М.Дж. Асоев², У.Ш. Якубов¹, К. Кабутов²

E-mail: ganiev48@mail.ru

¹Институт химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан

²Физико-технический институт им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Республика Таджикистан

Аннотация. Исследованы зависимости температуры от удельной теплоемкости, коэффициента теплоотдачи в режиме «охлаждения» и изменение термодинамических функций в диапазоне 300 – 450 К алюминия марки А7 (99,7 % Al), легированного оловом. Установлено, что теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов с ростом температуры увеличиваются, а при увеличении концентрации легирующего компонента уменьшаются. Коэффициент теплоотдачи сплавов с ростом температуры и содержания олова в алюминии растет. Энергия Гиббса сплавов с ростом температуры – уменьшается, при увеличении содержания легирующего компонента – растет.

Ключевые слова: алюминий марки А7 (99,7 % Al), сплавы системы Al – Sn, олово, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, режим «охлаждения», энтальпия, энтропия, энергия Гиббса.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES AND THERMODYNAMIC FUNCTIONS OF THE Al – Sn ALLOY SYSTEM

I.N. Ganiev¹, A.G. Safarov², M.Dzh. Asoev², U.Sh. Yakubov¹, K. Kabutov²

E-mail: ganiev48@mail.ru

¹V.I. Nikitin Institute of Chemistry of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

²S.U. Umarov Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Abstract. The investigation of temperature dependences on the specific heat capacity, the heat transfer coefficient in the “cooling” mode and the change in thermodynamic functions in the range of 300 – 450 K for aluminum grade A7 (99.7 % Al) doped with tin was carried out. It was established that the heat capacity, enthalpy and entropy of alloys increase with the increase in temperature, and decrease with the rise in concentration of the alloying component. The heat transfer coefficient of the alloys increases with the increase in temperature and tin content in aluminum. The Gibbs energy decreases with the increase in the temperature, and increases with the rise in the content of the alloying component.

Keywords: aluminum grade A7 (99.7 % Al), Al – Sn alloy system, tin, heat capacity, heat transfer coefficient, “cooling” mode, enthalpy, entropy, the Gibbs energy.

Введение

Теплоемкость является одним из важнейших физических свойств твердых тел, характеризует изменение состояния вещества при изменении

температуры. Изучение теплоемкости является одним из основных методов исследования структурных и фазовых превращений в сплавах. По температурной зависимости теплоемкости

можно определить другие физические характеристики твердого тела: температуру и тип фазового превращения, температуру Дебая, энергию образования вакансий, коэффициент электронной теплоемкости и другие [1 – 5].

В работах [6, 7] изучена температурная зависимость удельной теплоемкости алюминия марок ОСЧ и А7 (99,7 % Al) в режиме «охлаждения». Методика была апробирована и показала хорошее совпадение полученных температурных зависимостей теплоемкости для алюминия марок ОСЧ и А7 (99,7 % Al) с имеющимися в литературе данными.

Настоящая работа посвящена изучению влияния добавок олова на температурную зависимость теплоемкости и на изменение термодинамических функций алюминия марки А7.

Теория метода и описание установки

Для измерения удельной теплоемкости сплавов в широкой области температур использовали закон охлаждения Ньютона–Рихмана. Всякое тело, имеющее температуру выше окружающей среды, будет охлаждаться, причем скорость охлаждения линейно (пропорционально) зависит от градиента температуры. Если взять два металлических образца одинаковой формы и охлаждать их от одной температуры, то по зависимости температуры образцов от времени (кривым охлаждения) можно найти теплоемкость одного образца, зная теплоемкость другого (эталоны).

Количество теплоты, теряемой объемом dV металла за время $d\tau$, определяется по зависимости

$$\delta Q = C_p^0 \rho dT dV, \quad (1)$$

где C_p^0 – удельная теплоемкость металла; ρ – плотность металла; T – температура образца (принимается одинаковой во всех точках образца, так как линейные размеры тела малы, а теплопроводность металла велика).

Величину δQ можно подсчитать, кроме того, по закону Ньютона–Рихмана:

$$\delta Q = \alpha(T - T_0) dS d\tau, \quad (2)$$

где dS – элемент поверхности; T_0 – температура окружающей среды; α – коэффициент теплоотдачи.

Приравняв выражения (1) и (2), получим

$$C_p^0 \rho dT dV = \alpha(T - T_0) dS d\tau. \quad (3)$$

Количество теплоты, которое теряет весь объем образца:

$$Q = \int_V C_p^0 \rho dT dV = \int_S \alpha(T - T_0) dS d\tau. \quad (4)$$

Полагая, что C_p^0 и ρ не зависят от координат точек объема, а α , T и T_0 не зависят от координат точек поверхности образца, можно написать:

$$C_p^0 \rho V \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) S \quad (5)$$

или

$$C_p^0 m \frac{dT}{d\tau} = \alpha(T - T_0) S, \quad (6)$$

где V – объем всего образца; $m = \rho V$ – масса; S – площадь поверхности всего образца.

Соотношение (6) для двух образцов одинакового размера при допущении, что $S_1 = S_2$, $\alpha_1 = \alpha_2$, имеет вид:

$$\begin{aligned} C_{p_1}^0 &= C_{p_2}^0 \frac{m_2}{m_1} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1} = \\ &= C_{p_2}^0 \frac{m_2}{m_1} \frac{\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_2}{\left(\frac{\Delta T}{\Delta \tau}\right)_1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Следовательно, зная массы образцов m_1 и m_2 , скорости их охлаждения и удельную теплоемкость эталона $C_{p_1}^0$, можно вычислить удельную теплоемкость неизвестного образца $C_{p_2}^0$ из уравнения:

$$C_{p_2}^0 = C_{p_1}^0 \frac{m_1}{m_2} \frac{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1}{\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2}, \quad (8)$$

где $m_1 = \rho_1 V_1$ и $m_2 = \rho_2 V_2$ – масса образца 1 и 2; $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_1$ и $\left(\frac{dT}{d\tau}\right)_2$ – скорости охлаждения эталона и изучаемого образца при данной температуре.

Для определения скорости охлаждения строят кривые охлаждения (термограммы) образцов. Кривая охлаждения представляет собой зависимость температуры образца от времени при охлаждении его в неподвижном воздухе.

Передача теплоты от более нагретого тела к менее нагретому – процесс, стремящийся к уста-

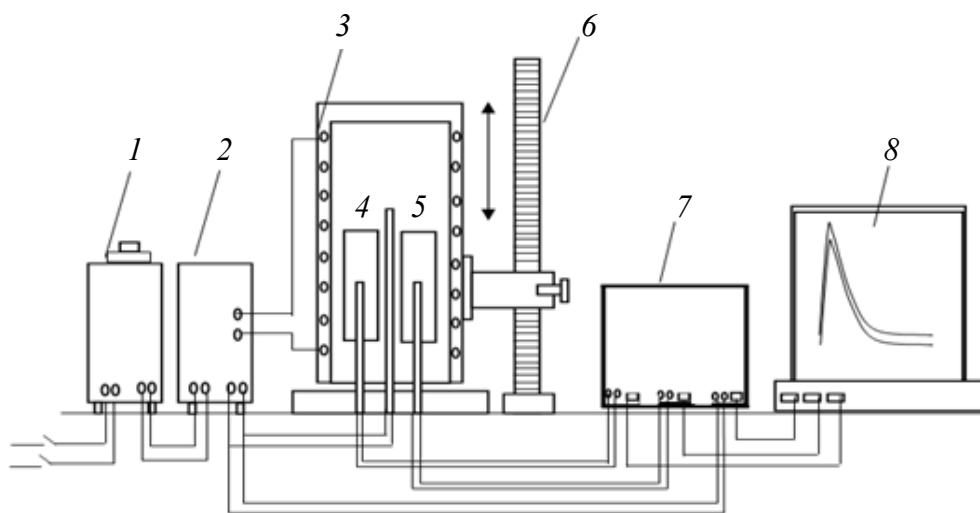


Рис. 1. Установка для определения теплоемкости твердых тел в режиме «охлаждения»

новлению термодинамического равновесия в системе, состоящей из огромного числа частиц, то есть это релаксационный процесс, который можно описать во времени экспонентой. В рассматриваемом случае нагретое тело передает свою теплоту окружающей среде (то есть телу с бесконечно большой теплоемкостью). Поэтому температуру окружающей среды можно считать постоянной (T_0). Тогда закон изменения температуры тела от времени τ можно записать в виде $\Delta T = \Delta T_1 e^{-\tau_1/\tau_2}$ (где ΔT – разность температур нагретого тела и окружающей среды; ΔT_1 – разность температур нагретого тела и окружающей среды при $\tau = 0$; τ_1 – постоянная охлаждения, численно равная времени, в течение которого разность температур между нагретым телом и окружающей средой уменьшается в e раз).

Измерение теплоемкости проводили по методике, описанной в работах [8 – 17], на установке, схема которой представлена на рис. 1. Установка состоит из следующих узлов: электропечь 3 смонтирована на стойке 6, по которой она может перемещаться вверх и вниз (стрелкой показано направление перемещения). Образец 4 и эталон 5 (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндры длиной 30 мм и диам. 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары 4 и 5. Концы термопар подведены к цифровому многоканальному термометру 7, который подсоединен к компьютеру 8.

Электропечь включали через автотрансформатор 1, установив нужную температуру с помощью терморегулятора 2. По показаниям термометра отмечали значение начальной температуры. Образец и эталон помещали в электропечь и нагревали до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифрового многоканального термометра на компьютере.

Далее образец 4 и эталон 5 одновременно извлекали из электропечи и с этого момента фиксировали снижение температуры. Записывали показания термометра на компьютере (в виде таблиц) через фиксированное время 10 с.

Точность измерения температуры составляла 0,1 К. Исследуемый образец и эталон охлаждали ниже комнатной температуры. Временной интервал фиксации температуры составлял 10 с. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 310 до 670 К составляла $\pm 1\%$. Погрешность измерения теплоемкости по предлагаемой методике не превышала 4 – 6 % в температурном интервале исследований.

Обработку результатов измерений производили с помощью программы MS Excel. Графики строили с помощью программы Sigma Plot. Значения коэффициента корреляции составляли $R_{\text{корр}} = 0,9954 \div 1,0000$, подтверждая правильность выбора аппроксимирующей функции.

Результаты и их обсуждение

Экспериментально полученные кривые охлаждения образцов из сплавов системы Al – Sn представлены на рис. 2, а.

Полученные зависимости температуры сплавов от времени с достаточной точностью описываются уравнением вида

$$T = ae^{-b\tau} + pe^{-k\tau}, \quad (9)$$

где a, b, p, k – постоянные величины для данного образца; τ – время охлаждения.

Дифференцируя уравнение (9) по τ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплавов

$$\frac{dT}{d\tau} = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau}. \quad (10)$$

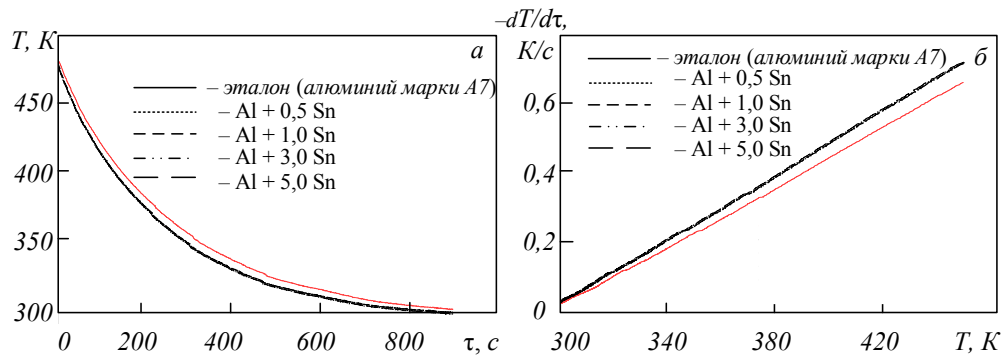


Рис. 2. Зависимость температуры от времени охлаждения (а) и температурная зависимость скорости охлаждения (б) образцов из сплавов системы Al – Sn

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (10) для исследованных сплавов приведены в табл. 1.

Кривые скорости охлаждения в виде зависимости (10) для изученных сплавов представлены на рис. 2, б.

Получены полиномиальные коэффициенты температурной зависимости удельной теплоемкости сплавов системы Al – Sn, которая описывается общим уравнением

$$C_{p_0}^0 = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (11)$$

Значения коэффициентов приведены в табл. 2.

Результаты расчета C_p^0 по уравнениям (8) и (10) через 25 К представлены в табл. 3 и на рис. 3, а. Сравнение данных по температурной зависимо-

сти теплоемкости для алюминия марки А7 показывает, что полученное уравнение хорошо согласуется с приводимыми в справочнике [18] данными. Теплоемкость сплавов с ростом температуры увеличивается, а с ростом концентрации олова в алюминии уменьшается.

Используя значения удельной теплоемкости сплавов системы Al – Sn и экспериментально полученные значения скорости охлаждения, вычисляли температурную зависимость коэффициента теплоотдачи сплавов системы Al – Sn по уравнению

$$\alpha = \frac{C_{p_0}^0 m \frac{dT}{d\tau}}{(T - T_0) S} \quad (12)$$

Т а б л и ц а 1

Значения коэффициентов a , b , p , k , ab , pk в уравнении (10) для сплавов системы Al – Sn и эталона (алюминий марки А7)

Содержание олова, % (по массе)	a , К	b , $с^{-1}$	p , К	$k \cdot 10^{-4}$, $с^{-1}$	ab , $К \cdot с^{-1}$	$pk \cdot 10^{-3}$, $К \cdot с^{-1}$
Al марки А7 (1)	182,354	3,91	299,5973	0,199	0,714	5,98
(1) + 0,5 Sn	180,964	4,16	294,9540	0,111	0,753	3,27
(1) + 1,0 Sn	181,592	4,17	296,2180	0,119	0,757	3,51
(1) + 3,0 Sn	180,964	4,16	295,9530	0,111	0,753	3,27
(1) + 5,0 Sn	181,592	4,17	295,2180	0,119	0,757	3,51

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов a , b , c , d в уравнении (11) для сплавов системы Al – Sn и эталона (алюминий марки А7)

Содержание олова, % (по массе)	a , Дж/(кг·К)	b , Дж/(кг·К ²)	c , Дж/(кг·К ³)	$d \cdot 10^{-4}$, Дж/(кг·К ⁴)	R^2
Al марки А7 (1)	690,097	1,0123	–0,0013	0,009	1,0000
(1) + 0,5 Sn	–11504,181	92,6000	–0,2306	1,920	0,9954
(1) + 1,0 Sn	–10831,639	86,9800	–0,2152	1,780	0,9958
(1) + 3,0 Sn	–11562,630	92,8000	–0,2305	1,910	0,9956
(1) + 5,0 Sn	–10706,855	86,2300	–0,2139	1,770	0,9957

**Значения удельной теплоемкости, кДж/(кг·К),
сплавов системы Al – Sn и эталона (алюминий марки А7)**

Содержание олова, % (по массе)	C_p^0 , кДж/(кг·К), при T , К					
	300	325	350	400	425	450
Al марки А7 (1)	904,14	916,29	927,97	950,25	961,02	971,65
(1) + 0,5 Sn	705,80	824,67	889,30	927,80	937,67	965,30
(1) + 1,0 Sn	700,28	816,68	881,01	920,24	928,51	951,47
(1) + 3,0 Sn	689,40	807,51	870,27	901,40	905,57	926,02
(1) + 5,0 Sn	681,10	790,99	849,22	877,10	879,93	897,47

Температурная зависимость коэффициента теплоотдачи для сплавов системы Al – Sn представлена на рис. 3, б. Видно, что с ростом добавок олова в алюминии коэффициент теплоотдачи увеличивается.

Для расчета температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса были использованы интегралы от удельной теплоемкости по уравнениям:

$$[H^0(T) - H^0(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (13)$$

$$[S^0(T) - S^0(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (14)$$

$$[G^0(T) - G^0(T_0)] = [H^0(T) - H^0(T_0)] - T[S^0(T) - S^0(T_0)]; \quad (15)$$

здесь $T_0 = 298,15$ К.

Результаты расчета температурных зависимостей изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по уравнениям (13) – (15) через 25 К представлены в табл. 4.

Выводы

В режиме «охлаждения» по известной теплоемкости эталона из алюминия марки А7 установлена теплоемкость и коэффициент теплоотдачи сплавов системы Al – Sn. Получены полиномы, описывающие температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия, энергия Гиббса) сплавов в интервале температур 300 – 450 К. С помощью полученных зависимостей показано, что с ростом температуры теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшаются. Добавки олова в изученном концентрационном интервале 0,5 – 5,0 % (по массе) уменьшают теплоемкость, энтальпию, энтропию и увеличивают коэффициент теплоотдачи алюминия марки А7. При этом значение энергии Гиббса сплавов при увеличении концентрации олова растет.

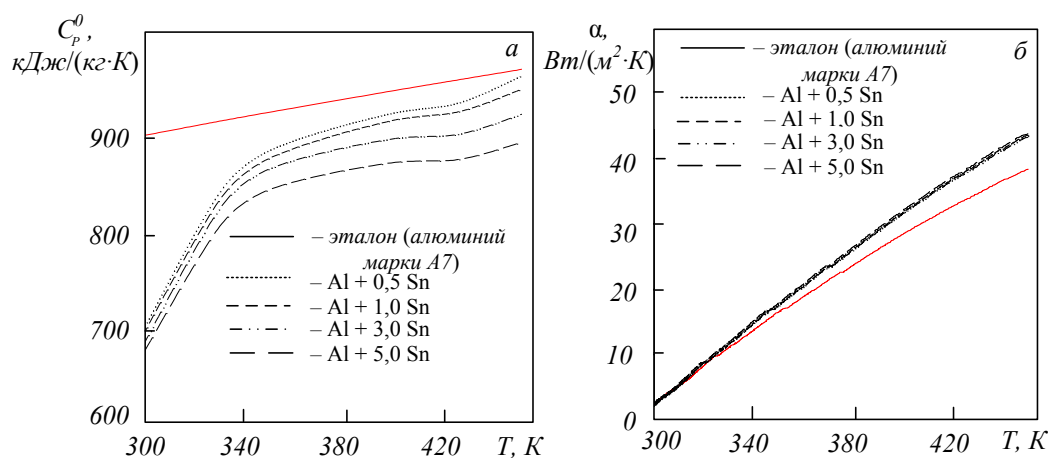


Рис. 3. Температурные зависимости удельной теплоемкости (а) и коэффициента теплоотдачи (б) сплавов системы Al – Sn

**Значения термодинамических функций
сплавов системы Al – Sn и эталона (алюминий марки А7)**

Содержание олова, % (по массе)	Значение функций при T , К					
	300	325	350	400	425	450
	$[H^0(T) - H^0(T_0^*)]$, кДж/кг					
Al марки А7 (1)	1,6718	24,4283	47,4825	94,4431	118,3343	142,4929
(1) + 0,5 Sn	1,2952	20,5579	42,0769	87,8085	111,1087	134,8402
(1) + 1,0 Sn	1,2853	20,3732	41,6852	87,0279	110,1241	133,5759
(1) + 3,0 Sn	1,2649	20,1102	41,1791	85,7965	108,3684	131,2108
(1) + 5,0 Sn	1,2502	19,7763	40,3693	83,8352	105,7847	127,9543
	$[S^0(T) - S^0(T_0^*)]$, кДж/кг·К					
	300	325	350	400	425	450
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг					
Al марки А7 (1)	0,0056	0,0784	0,1468	0,2722	0,3301	0,3853
(1) + 0,5 Sn	0,0043	0,0659	0,1297	0,2518	0,3083	0,3625
(1) + 1,0 Sn	0,0043	0,0653	0,1285	0,2495	0,3055	0,3591
(1) + 3,0 Sn	0,0042	0,0645	0,1269	0,2460	0,3008	0,3530
(1) + 5,0 Sn	0,0042	0,0634	0,1244	0,2405	0,2937	0,3444
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг					
	300	325	350	400	425	450
	$[G^0(T) - G^0(T_0^*)]$, кДж/кг					
Al марки А7 (1)	-0,0052	-1,0657	-3,8897	-14,4205	-21,9546	-30,9026
(1) + 0,5 Sn	-0,0040	-0,8729	-3,3183	-12,9029	-19,9095	-28,2978
(1) + 1,0 Sn	-0,0040	-0,8653	-3,2882	-12,7855	-19,7300	-28,0423
(1) + 3,0 Sn	-0,0039	-0,8534	-3,2463	-12,6207	-19,4624	-27,6385
(1) + 5,0 Sn	-0,0039	-0,8406	-3,1897	-12,3636	-19,0478	-27,0284

* $T_0 = 298,15$ К

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Измерение теплоемкости и теплоты плавления методом охлаждения / С.А. Киров, А.В. Козлов, А.М. Салецкий, Д.Э. Харабадзе. – М.: ООП Физ. фак-т МГУ, 2012. – 23 с.
- Булкин П.С., Попова И.И. Общий физический практикум. – В кн.: Молекулярная физика. – М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 52 – 60.
- Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М.: Бином. Лаборатории знаний, 2010. – 368 с.
- Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Физматлит, 2006. – 544 с.
- Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. – М.: Лань, 2008. – 480 с.
- Ниёзов Х.Х., Ганиев И.Н., Бердиев А.Э. Сплавы особочистого алюминия с редкоземельными металлами. – Душанбе: ЧДММ «Сармад компания», 2017. – 146 с.
- Низомов З., Гулов Б.Н., Ганиев И.Н., Саидов Р.Х., Обидов Ф.У., Эшов Б.Б. Исследование температурной зависимости удельной теплоемкости алюминия марок ОСЧ и А7 // Доклады АН Республики Таджикистан. 2011. Т. 54. № 1. С. 53 – 59.
- Рахимов Ф.А., Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Отаджонов С.Э. Влияние хрома на удельную теплоемкость и изменение термодинамических функций сплава Zn5Al // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2019. № 4 (40). С. 40 – 44.
- Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Одинаев Ф.Р., Якубов У.Ш., Кабутов К. Температурная зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций сплава АЖ4,5 с висмутом // Металлы. 2020. № 1. С. 21 – 29.
- Ганиев И.Н., Назарова М.Т., Якубов У.Ш., Сафаров А.Г., Курбонова М.З. Влияние лития на удельную теплоемкость и изменения термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Теплофизика высоких температур. 2020. Т. 58. № 1. С. 55 – 60.
- Ганиев И.Н., Якубов У.Ш., Назарова М.Т., Курбонова М.З. Влияние добавок калия на температурную зависимость теплоемкости и изменений термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2019. Т. 75. № 4. С. 16 – 22.
- Ниёзов О.Х., Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Муллоева Н.М., Якубов У.Ш. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций свинцового сплава ССуЗ с кальцием // Вестник Южно-Уральского гос-

- ударственного университета. Серия: Металлургия. 2019. Т. 19. № 3. С. 33 – 43.
- 13.** Ганиев И.Н., Назарова М.Т., Курбонова М.З., Якубов У.Ш. Влияние натрия на удельную теплоемкость и на изменение термодинамических функций алюминиевого сплава АБ1 // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2019. № 51 (77). С. 25 – 30.
- 14.** Ганиев И.Н., Эсанов Н.Р., Хакимов А.Х., Ганиева Н.И. Температурная зависимость теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ 2.18 с церием // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2019. № 2 (28). С. 25 – 30.
- 15.** Якубов У.Ш., Ганиев И.Н., Махмадизода М.М., Сафаров А.Г., Ганиева Н.И. Влияние стронция на температурную зависимость удельной теплоемкости и изменение термодинамических функций сплава АЖ5К10 // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2018. № 3. С. 61 – 67.
- 16.** Ганиев И.Н., Сафаров А.Г., Одинаев Ф.Р., Кабутов К., Ботуров К. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций алюминиевого сплава АЖ 4.5, легированного свинцом // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2018. № 4 (26). С. 17 – 23.
- 17.** Ганиев И.Н., Ниёзов Х.Х., Гулов Б.Н., Низомов З., Бердиев А.Э. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамических функций сплава АК1М2, легированного празеодимом и неодимом // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 3 (21). С. 32 – 39.
- 18.** Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах. – М.: Металлургия, 1989. – 384 с.
- © 2021 г. *И.Н. Ганиев, А.Г. Сафаров, М.Дж. Асоев, У.Ш. Якубов, К. Кабутов*
Поступила 31 августа 2020 г.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ В ФОРМИРОВАНИИ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ

Ю.К. Осипов, О.В. Матехина

E-mail: olgamatekhina@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения пневматических конструкций для создания современных архитектурных сооружений как временных, так и стационарных, создающих новую искусственную среду обитания на базе природных форм.

Ключевые слова: пневматические конструкции, формообразование, архитектурная среда.

PNEUMATIC STRUCTURES IN FORMATION OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT

Yu.K. Osipov, O.V. Matekhina

E-mail: olgamatekhina@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The paper focuses on the pneumatic structures used for designing modern architectural structures, both temporary and stationary, that create a new artificial habitat based on natural forms.

Keywords: pneumatic structures, form making, architectural environment.

Пневматические конструкции находят широкое применение во многих областях экономики. Популярность пневмоопорных (конструкции, которые обеспечивают свою структурную целостность за счет избытка внутреннего давления воздуха, действующего на гибкие оболочки) и пневмокаркасных (составляющие несущую основу сооружения арки или продольные блоки, заполненные сжатым воздухом) конструкций обусловлена, прежде всего, большой степенью компактности в упакованном виде, малым сроком монтажа-демонтажа, легкостью, возможностью использования в труднодоступных местах вследствие относительной простоты транспортировки.

Например, вес, приведенный к единице площади сооружения, железобетонных зданий пролетом 18 – 24 м составляет 300 – 350 кг/м², строений из легких металлических ограждений – 40 – 50 кг/м², а приведенный вес пневматических конструкций бьет все существующие рекорды и составляет 1,5 – 2,0 кг/м². Если перекрыть надувной

оболочкой площадь 1000 м², то вес такой оболочки составит всего две тонны, то есть для перевозки всего сооружения потребуется одна машина, а для его возведения – всего несколько часов.

На основе пневматических конструкций возводятся выставочные павильоны, спортивные сооружения, промышленные здания, кафе, рестораны, хранилища и так далее [1]. Надувные купола удобны в качестве «тепляков» для производства строительных работ в зимнее время. В странах с жарким климатом под надувными прозрачными куполами, отражающими инфракрасные солнечные лучи и пропускающими ультрафиолет, строятся стадионы и выставочные комплексы, в Заполярье купола из пленок позволяют сохранить благоприятный микроклимат.

Однако остается еще много проблем в конструировании пневмоопорных конструкций, в решении которых может помочь живая природа. Пневмоопорные конструкции ввиду их легкости и эластичности деформируются от сильных ветровых нагрузок, ливней, снеговых заносов, что

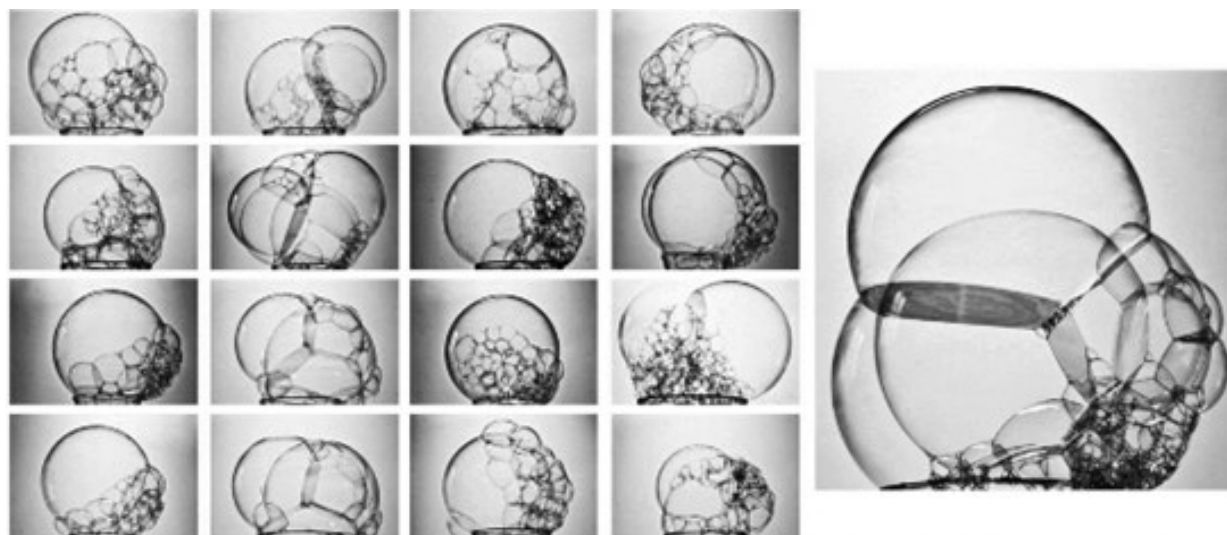


Рис. 1. Эксперименты Ф. Отто по поиску формы

представляет собой определенную проблему с точки зрения статики. Это приводит к необходимости использования более тяжелых материалов для оболочек и, следовательно, более мощного электрооборудования для поддержания внутреннего давления. Одно из возможных решений этой проблемы – поиск форм конструкций, геометрия которых способствует получению минимального аэро-гидродинамического коэффициента сопротивления [2]. Примеры оптимальных форм можно найти в живой природе, достижению которых способствуют те же конструктивные принципы и средства, которые действуют и применяются в пневмогидросистемах: преднапряженность клеток водой и воздухом, а также эластичность живых тканей. Примером могут служить листья и стебли растений, лепестки цветов, морские животные и рыбы и т.п. Их формы обтекаемы, но каждая приобретает свой характер в зависимости от условий той среды, в которой она находится.

Построенные человеком аэрогидростатические формы должны максимально отвечать характерным условиям нагрузок, действующих в конкретной среде и месте строительства, в этом случае можно говорить об их рациональности. Создание первых аэрогидростатических конструкций натолкнуло на мысль использовать ценные свойства живой природы в дальнейшем развитии таких систем. Аэрогидростатическое давление в живых организмах активно влияет на их формирование, в результате чего возникают разнообразнейшие комбинации форм (плавательные пузыри рыб, патиссоны, яблоки, помидоры и т.д.), в них почти отсутствуют арматурные ткани, тем не менее они упруги.

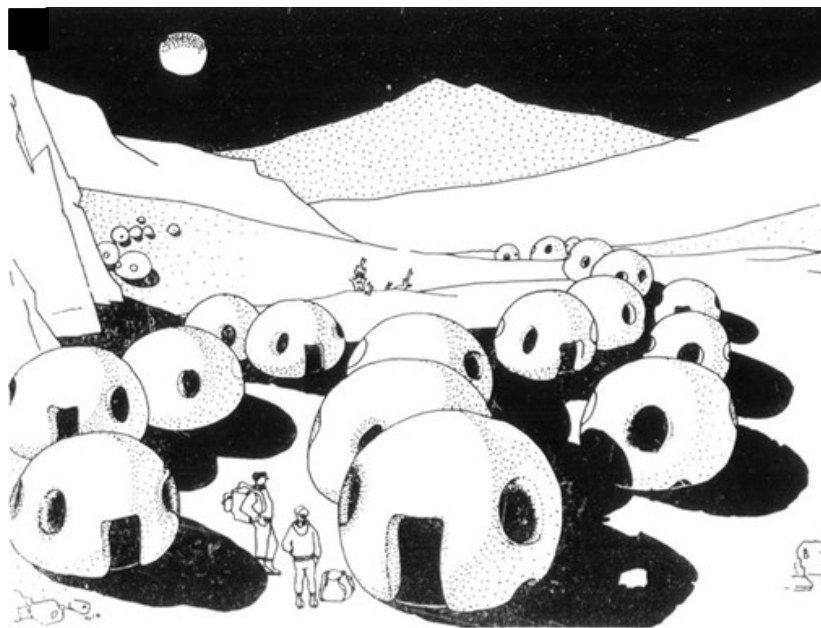
Родоначальником исследований по механизмам формообразования пневматических конструкций считается немецкий архитектор Ф. От-

то. Он пытался найти идеальную форму (с минимальной площадью поверхности) в ходе экспериментов с мыльными пузырями (рис. 1). Природные аналоги пневматических оболочек организованы симбиотически и нет различий между структурой, формой и материалом. Отто сотрудничал с учеными различных научных направлений (математиками, химиками, биологами) и создал множество типов пневматических форм.

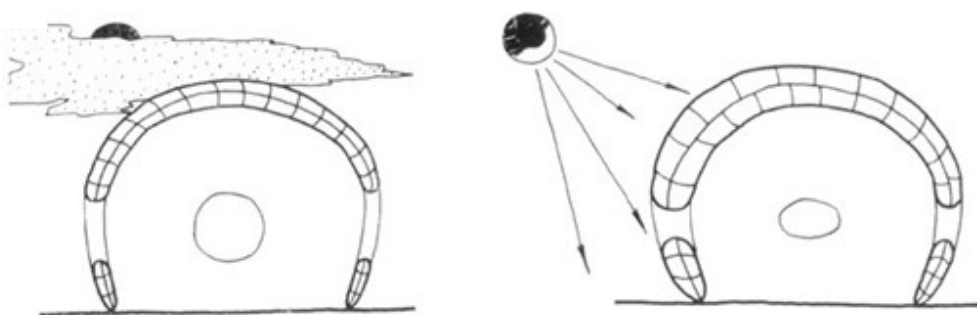
Попытки создания мобильных пневмоархитектурных сооружений одним из первых принял архитектор Ю.С. Лебедев, руководитель лаборатории архитектурной бионики. Им был предложен проект мобильного туристического городка из пневмокаркасных конструкций для условий жаркого климата (рис. 2). В конструкциях использовался принцип авторегуляции в аэрогидростатических системах, в частности свойства газов расширяться и изменять свой цвет в зависимости от изменения температуры и солнечного облучения. Смесь газов, заключенная между двумя упругими и прозрачными пленками (покрытия оранжереи или туристической палатки) под давлением, с усилением инсоляции увеличивалась бы в объеме и меняла цвет с теплых тонов на холодные и наоборот, повышая изолирующую способность покрытия.

«Использование свойств расширения воздуха или каких-либо смесей газов от перегрева создаст возможность автоматической регуляции микроклимата помещений. Здесь может дать эффект автоматического увеличения толщины покрытия надувных оболочек в связи с расширением от повышения температуры газов», – пишет Ю.С. Лебедев [3].

Мобильность и легкость пневматических конструкций позволяет их использовать в качестве временных сооружений в труднодоступных



а



б

Рис. 2. Авторегулирующаяся аэростатическая система, архитектор Ю.С. Лебедев:

а – общий вид туристического городка; б – схема изменения формы «палатки» в связи с изменением солнечного освещения

местах, а также в качестве передвижных легко-возводимых зданий. Как пример можно привести необычный концертный зал, получивший название «Ark Nova», сделанный из пропускающей свет мембраны фиолетового цвета (рис. 3). Авторы: британский скульптор Аниш Капур и японский архитектор Арата Исозаки, 2013 г. Форма здания напоминает гигантский пончик. В надутом виде зал высотой 35 м вмещает примерно 500 зрителей. Акустику в зале обеспечивают специальные панели и экраны. Сооружение может быть надуто всего за два часа, а полностью собрать или разобрать его рабочие могут за сутки.

На всемирных выставках в Монреале и Осаке было возведено большое количество разнообразных павильонов с использованием пневматических конструкций. Выставочные сооружения носят временный характер, и использование таких конструкций наиболее оправдано. Ярким примером может служить павильон фирмы

«Фуджи» на ЭКСПО-70. Он состоит из 16 связанных между собой пневматических арок, объединенных продольными связями и установленными на кольцевом фундаменте диам. 50 м. Длина дуги арок – 71,3 м, диаметр сечения – до 4 м. Высота сооружения от 25 м, в середине до 31,6 м (рис. 4). Торцы павильона закрыты пневмооболочками. Внутренний объем помещения 87 тыс. м³.

Еще один пример продолжения работ Ф. Отто – построенный архитектором Николасом Гримшоу в графстве Корнуолл в Великобритании ботанический сад «Эдем». Дизайнер Садов Эдем был вдохновлен мыльными пузырями, которые с легкостью адаптируются к любой поверхности, на которую они опускаются. В составе комплекса – два оранжерейных комплекса «биома» из связанных друг с другом прозрачных полусфер (рис. 5). В одной из биом тропический климат, в другой – климат Средиземноморья.

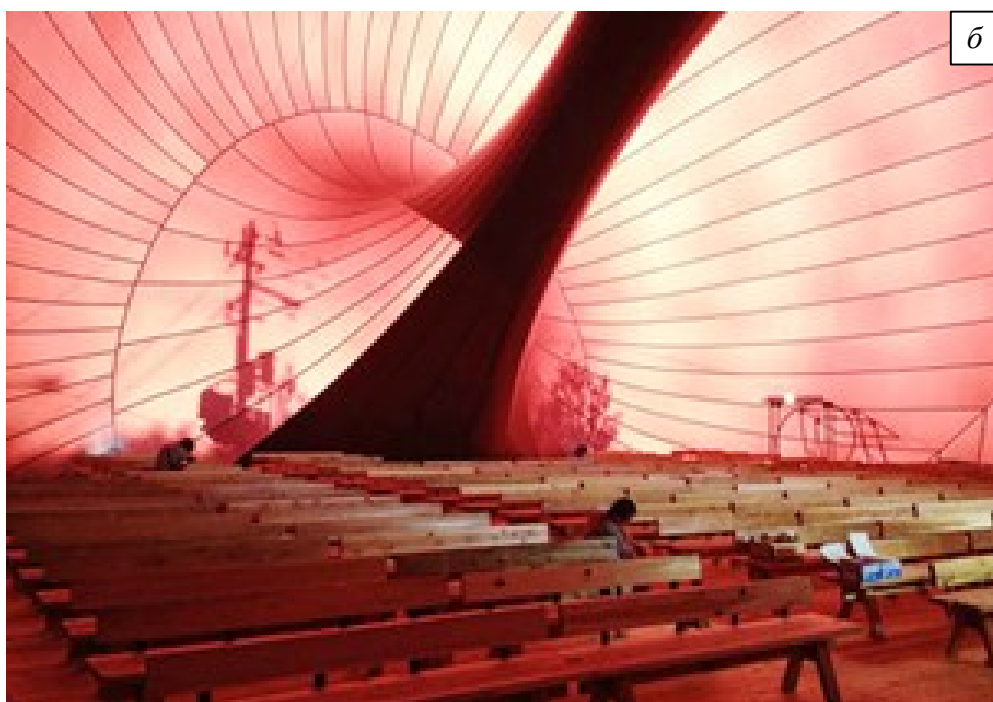


Рис. 3. Общий вид (а) и интерьер (б) концертного зала «Ark Nova»

Этот ботанический сад стал частью программы «Миллениум», призванной продемонстрировать глобальную связь человека и растительного мира. Традиционный материал для оранжерейных и ботанических комплексов – стекло, но Сады Эдема исключение. На их геодезические купола из стальных шестиугольных рам натянут фторполимерный сверхлегкий прозрачный тефлон ETFE. Панели на основе ETFE весят на 99 % меньше, чем стеклянные, при этом материал пропускает 90 % солнечного света, что очень важно для растений. Сады Эдема являются самым «легким» ботани-

ческим садом в мире. При этом самый большой купол имеет высоту 50 м.

Современная архитектура использует новые материалы, которые обладают уникальными свойствами и позволяют осуществлять объемно-пространственную трансформацию сооружений [4, 5]. Это и стадион «Allianz Arena» архитекторов Херцог и де Мерон, Мюнхен, Германия, 2005 г., раздвижная крыша которой площадью 20 тыс. м² покрыта многослойными подушками ETFE и опирается на купольную конструкцию пролетом 310 м, и торгово-развлекательный



Рис. 4. Павильон фирмы Фуджи

центр Хан-Шатыр, Казахстан, 2006 г. (рис. 6), и спортивная арена «Singapore Sports Hub», бюро «Agir», Сингапур, 2014 г. с раздвижной крышей из пневматических оболочек.

Выводы

Пневматические конструкции, долгое время используемые только в качестве временных

(чаще всего промышленных) сооружений, теперь обретают новую жизнь. В настоящее время стало актуальным использовать мобильные пневматические сооружения, в частности ковидные госпитали, которые сыграли решающую роль в период быстрого роста заболеваний, в особенности в отдаленных регионах России.



Рис. 5. Сады Эдема, Корнуолл, Великобритания



Рис. 6. Торгово-развлекательный центр «Khan Shatyr», бюро «Foster and Partners», Астана, Казахстан

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Осипов Ю.К., Матехина О.В. Архитектурные конструкции гражданских зданий. В 3 ч. Ч. III. Крыши и большепролетные покрытия. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2020. – 138 с.
2. Колейчук В.Ф. Новейшие конструктивные системы в формировании архитектурной среды. – М.: БуксМАрт, 2016. – 127 с.
3. Лебедев Ю.С. Бионика и город будущего. – В кн.: Город и время. Сборник статей / Е. Беляева, М. Витвицкий, Э. Гольдзамт и др. – М.: Стройиздат, 1973. С. 160 – 178.
4. Пшеничникова К.А. Предпосылки формирования пневматических конструкций в современной архитектуре. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=823> (дата обращения: 01.02.2021 г.).
5. Пшеничникова К.А. Особенности формирования пневматической архитектуры в XXI веке. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=868> (дата обращения: 01.02.2021 г.).

© 2021 г. Ю.К. Осипов, О.В. Матехина
Поступила 3 февраля 2021 г.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ КОНЦЕПЦИЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО САМООПРЕДЕЛЕНИЯ

Л.А. Пьянкова

E-mail: duby.ludmila@yandex.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлен анализ зарубежных концепций профессионального самоопределения, включая концепцию профессиональных проб С. Фукуямы, концепцию профессиональной зрелости Д. Сьюпера, концепцию самоактуализации личности А. Маслоу. Узкий контекст рассмотрения современных зарубежных концепций профессионального самоопределения связан с их популяризацией в связи с необходимостью разработки новых способов понимания и конструирования психолого-педагогических технологий. Такие технологии позволяют расширять границы профориентации как одного из этапов профессионального самоопределения с позиций профессиональной и личностной трансформации субъекта, его перехода из социальности в профессиональность в молодом возрасте и обратно в социальность по завершению его профессионального пути с дальнейшей профессионализацией самоопределения уже достаточно зрелого человека. Рассмотрены множественность профессиональных выборов как непрерывный процесс прогнозирования социально-профессиональной трансформации человека на протяжении его карьерной траектории, а также стремление человека к самосовершенствованию, самоосуществлению в значимой для него деятельности.

Ключевые слова: профессиональное самоопределение, профессиональная ориентация, концепция профессионального самоопределения.

ANALYSIS OF MODERN FOREIGN CONCEPTS OF PROFESSIONAL SELF-DETERMINATION

L.A. Pyankova

E-mail: duby.ludmila@yandex.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The analysis of foreign concepts of professional self-determination, including the concept of professional tests of S. Fukuyama, the concept of professional maturity of D. Super, the concept of personality self-actualization of A. Maslow is presented. The narrow context of the consideration of modern foreign concepts of professional self-determination is associated with their popularization in connection with the need to develop new ways of understanding and constructing psychological and educational technologies. Such technologies make it possible to expand the boundaries of professional orientation, as one of the stages of professional self-determination from the point of view of professional and personal transformation, the subject of his transition from sociality to professionalism at a young age and back to sociality upon completion of his professional path with further professionalization of the individual. The same plurality of professional choices as a continuous process of predicting the social and professional transformation of a person during his career path as well as a person's desire for self-improvement, self-realization in a meaningful activity for him.

Keywords: professional determination, career guidance, the concept of professional self-determination.

Профессиональное самоопределение, будучи в фокусе внимания различных гуманитарных дисциплин (социологии, экономики труда, теории социальной работы, кадрового менеджмен-

та, педагогики, психологии труда) выступает ведущей задачей в раннем юношеском возрасте. Эта задача инициирована различного рода событиями, которые возникают перед личностью на

разных этапах жизненного и профессионального пути: окончание школы, профессионального учебного заведения; смена места жительства; изменение семейного положения; повышение квалификации; оптимизация на рабочем месте и другое.

Целью настоящей работы является анализ и описание трех зарубежных концепций, послуживших базисом для современного понимания профессионального самоопределения и профориентации молодежи.

Теоретический анализ доступных нам источников и диссертационных работ свидетельствует, что исследование профессионального самоопределения осуществляется в рамках различных направлений: социологическое (В.В. Водзинская, И.С. Кон, М.Х. Титма), профориентационное (Е.И. Головаха, А.Е. Голомшток, Е.А. Климов, Н.С. Пряжников, П.А. Шавир), жизнедеятельностное (К.А. Абульханова-Славская, Л.И. Божович, М.Р. Гинзбург, В.А. Крутецкий), профессиональное развитие (В.А. Бодров, Э.Ф. Зеер, В.Т. Кудрявцев, А.К. Маркова, Ю.П. Поваренков) [1]. Значительное внимание в отечественной психологии уделяется анализу структуры профессионального самоопределения (Е.М. Борисова, Е.А. Климов, И.В. Кузнецова), изучению факторов профессионального самоопределения (Н.С. Глухонюк, И.Н. Захаровой, Г.П. Никова, О.В. Падалко, В.Ф. Сафина, С.Н. Чистяковой). На каждом этапе развития общества эта тема получает новое содержательное и инструментальное наполнение, реализуясь в различных концепциях отечественных и зарубежных авторов.

Под концепцией профессионального самоопределения подразумевается определенный способ понимания, трактовки процесса и результата выбора личностью своего жизненного и профессионального пути. В этом способе находят отражение самопознание индивидуально-типологических особенностей личности, соотношение этих особенностей с ожиданиями, требованиями в отношении предмета, содержания, условий будущей профессиональной деятельности, текущей и перспективной ситуаций на рынке труда, реализации ее индивидуального и социального через «Я-производственное».

Обращаясь к философскому, социологическому и психологическому уровню анализа проблемы профессионального самоопределения, уточним их отличия. Так, философский уровень актуализирует сущность человека, вопросы экзистенциализации. Объектом такого уровня выступает человек как родовое существо и человечество в целом. Социологический уровень сопряжен с влиянием социокультурных условий на самоопределяющуюся личность. Объектом яв-

ляется социум, конкретная общественная структура. Психологический уровень описывает влияние индивидуально-типологических характеристик человека на его самоопределение при доминирующей роли мотивации и обратное влияние характера профессиональной деятельности на личность и ее поведение. Объектом рассматривается отдельный индивид в его связях и отношениях с другими индивидами и с общественным целым.

Концептуальное рассмотрение молодежной аудитории как обособленной общественной группы началось еще в начале XX века. Представляя собой действительно феномен, молодежь исследовалась в работах Г. Стэнли Холла (США), в дальнейшем Ш. Бюлером, Э. Шпрангером и В. Штерном (Германия). В отечественных исследованиях этот вопрос стал предметом рассмотрения у Л.С. Выготского, А.Б. Залкинда и других исследователей. Теоретическое осмысление особенностей молодежи в психолого-педагогических работах позволило сформулировать три основных направления этого феномена:

- характеристика молодежной группы как носителя психофизических свойств молодости;
- рассмотрение молодежи как культурной группы;
- изучение молодежи как объекта и субъекта процесса преемственности и смены поколений.

Молодежь исследуется как социально-демографическая и социокультурная категория. В поле зрения ученых попадают ценностные ориентации, жизненные приоритеты, профессиональные предпочтения современных юношей и девушек, проблемы их социализации и профессионального самоопределения.

В зарубежных исследованиях наибольшее эмпирическое применение в вопросах профессионального развития и поведения, выбора профессии молодежи получили следующие основные концепции, ставшие предтечей для отечественных работ: концепция профессиональных проб С. Фукуямы, концепция профессиональной зрелости Д. Сьюпера, концепция самоактуализации личности А. Маслоу [2 – 4].

Такой узкий контекст рассмотрения современных зарубежных концепций профессионального самоопределения связан с их популяризацией в связи с необходимостью разработки новых способов понимания и конструирования психолого-педагогических технологий. Такие технологии позволяют расширять границы профориентации как одного из этапов профессионального самоопределения с позиций профессиональной и личностной трансформации субъекта, его перехода из социальности в профессиональность в молодом возрасте и обратно в социальность по

завершению его профессионального пути с дальнейшей профессионализацией самоопределения уже достаточно зрелого человека. Эти технологии также расширяют множественность профессиональных выборов как непрерывный процесс прогнозирования социально-профессиональной трансформации человека на протяжении его карьерной траектории и как стремление человека к самосовершенствованию, самоосуществлению в значимой для него деятельности.

Для анализа существующих зарубежных концепций профессионального самоопределения использовали конструкты «профессиональное самоопределение» и «профориентация». Поясним, как они соотносятся. Профориентация является более широким понятием для педагогики, психологии труда и других, смежных с ними наук, по характеру решаемых в данном контексте проблем. Профориентация нацелена на оказание помощи в выборе. Перспективно удачный выбор профессии доставляет человеку удовлетворение от выполняемой деятельности, он находит в ней смысл и реализует себя, становится успешным, материально удовлетворенным. Как правило, профессия соответствует физическим и духовным способностям, психическим особенностям, состоянию здоровья, интересам, знаниям, умениям, а также экономическим притязаниям современного человека. Если эти обстоятельства не учитываются, выбор профессии может стать неудачным. В таком случае каждодневная работа становится обременительной и нудной обязанностью, выполнение которой может неблагоприятно сказаться на духовном и физическом состоянии человека. В качестве примера можно привести многочисленные факторы профессионального выгорания [5]. Профессиональное самоопределение выступает самостоятельным и осознанным нахождением смыслов работы и всего существования человека в конкретных социально-экономических условиях. И здесь такой процесс по смыслу примыкает к самореализации, самотрансценденции.

Созданная японским ученым Ф. Фукуямой система особой подготовки молодежи к профессиональному выбору основана на трудовых пробах подрастающего поколения. Эта система представляет последовательность этапов профессионального самоопределения: познание себя, познание мира профессий, профессиональные пробы в 16-ти видах деятельности (так называемые «трудовые пробы»), обучение профессии, адаптация к рабочему месту при обязательном участии наставника и принятие окончательного решения о работе [2]. Центральной идеей системы С. Фукуямы является деятельностный подход, реализуемый через пробу, особенности

которой – диагностика общих и специальных профессионально важных качеств. Результатом каждого этапа и всей пробы выступает некий результат выполнения функциональных обязанностей и синтез эмоций, переживаемых в различных ситуациях, приближенных к профессиональным. Школьникам предлагается: побывать на крупном промышленном предприятии, ощутить себя «песчинкой» сложного механизма; тесно повзаимодействовать с коллегами в рамках малого предприятия; интенсивно поработать в условиях дефицита времени и в других стрессовых факторах; побывать в условиях монотонной работы с документами, где требуется концентрация, скрупулезность; попробовать себя в спортивной, публичной, проектной, научной деятельности и других видах деятельности.

В 80-ые годы прошлого века советской системой образования на базе так называемых учебно-производственных комбинатов использовались элементы профессионального ориентирования, включая практическое участие школьников в производственном процессе. Но дефицит материальных ресурсов привел в основном к профориентации рабочих профессий. В то время в стране отмечался дефицит рабочих кадров в отелных отраслях и существующий подход позволил в определенной мере решить эту проблему. При этом под профессиональной пробой следует понимать моделирование конкретного вида профессиональной деятельности в предмете, в содержании (в определенной степени) и в условиях труда, содействующих осмысленному выбору профессии. Фактически целью профессиональных проб является уменьшение неопределенности представлений о собственном выборе. Своеобразным современным аналогом профессиональных проб являются проводимые фестивали профессий «Билет в будущее» как возможность погрузиться в мир профессий будущего, познакомиться с трендами, влияющими на выбор профессий (в связи с изменением технологического уклада) и получить рекомендации от профессиональных наставников. Примером регионального подхода к ранней профессиональной ориентации (с шестого класса) является «Кванториум 42». Задача наставников как главных участников мероприятия, помощь в принятии правильного решения через анимацию возможных путей развития, без навязывания чужого мнения. Традиционный формат таких мероприятий – онлайн тестирование, практические мероприятия, нацеленные на сопровождение в тему конкретных компетенций, которые интересуют участников, исходя из заранее определенных направлений подготовки. Такие направления чаще всего отражают реальные запросы

рынка труда в текущем моменте или на перспективу. Профессии, устремленные в будущее, связаны с многохарактерностью и многозадачностью трудовых операций, требуют навыков системного, критического и аналитического мышления, отражают запрос молодых людей на конвергентное знание.

Концепция профессиональной зрелости Д. Сьюпера предполагает множественность профессиональных выборов. Следуя его логике (что не противоречит современным представлениям о профессиональном самоопределении как построении карьеры на всем периоде профессионального пути человека), есть первичный профессиональный выбор, когда фактически принимается судьбоносное решение с дальнейшим пересмотром своего личностного поведения в отношении профессионального будущего, и есть цепочка дальнейших решений по его коррекции [3]. Не всегда это означает радикальное решение, но экзистенциальные вопросы человек периодически себе может задавать.

По мнению Д. Сьюпера осуществление попыток «Я-концепции» – это поиск индивидуальных профессиональных предпочтений и типов карьер человека. «Я-концепция» интерпретируется всеми теми утверждениями, которые личность желает сказать о себе, в том числе и с профессиональной стороны [3]. Это формирует ее вокабуляр, который может быть использован для проектирования профессионального выбора. Так, руководствуясь стереотипами о содержании профессии юриста, молодые люди с мотивацией избегания, доминированием личностной тревожности скорее всего от нее откажутся, поскольку ключевое их утверждение в отношении характера труда этого специалиста – «профессия, сопряженная со значительным риском и высокой ответственностью».

Исследователь выделяет следующие стадии профессионального развития:

1 – стадия пробуждения «Я-концепции»: личность развивается через идентификацию со значимым взрослым, что и приводит к династиям;

2 – человек пытается попробовать себя в различных профессиональных ролях и делает акцент на свои реальные профессиональные возможности. Фактически он может быть соотнесен с профессиональными пробами;

3 – стадия консолидации: человек стремится обеспечить устойчивую личную позицию в найденной профессиональной области.

4 – стадия сохранения: характеризуется односторонним профессиональным развитием индивида, без выхода за рамки найденного профессионального поля;

5 – стадия спада: знаменуется появлением новых ролей, частичным участием в профессиональной жизни в форме наблюдения за деятельностью других лиц.

Д. Сьюпер, понимая карьеру как последовательность профессий, рабочих занятий, мест и позиций в течение жизни человека, дает классификацию карьер для мужчин и женщин в связи с выделенными им стадиями профессионального развития, индивидуальными профессиональными предпочтениями и типами карьеры. Этот процесс представляет осуществление человеком «Я-концепции». Особое место в классификации профессий отводится профессиональным испытаниям или этапам исследования, которые необходимо проводить в жизни человека [5].

Центральным моментом для А. Маслоу является выделение в качестве ключевого понятия самоактуализации стремление человека совершенствоваться, проявлять себя в значимом для него деле. В его концепции близкими к понятию «самоопределение» выступают понятия «самоактуализация», «самореализация», «самоосуществление». Самоактуализирующемуся человеку присущ целый ряд проявлений, позволяющих адекватно воспринимать себя и других: готовность к сосредоточению, сдержанность, способность к концентрации, независимость, наличие коммуникативных умений, опыт духовной практики и другое. Трудно переоценить важность таких качеств для современного специалиста, работающего в условиях многозадачности, полипрофессионализма, интенсивности рабочего графика, риска оказаться на грани срыва от эмоционального и физического перенапряжения. Психолог выделяет восемь способов самоактуализации, сводимых к череде непрерывных процессов принятия решения, выбора между безопасностью и риском, готовности к реализации своих потенциальных возможностей, экологичности поведения, не противоречащего внутренним убеждениям, глубинным установкам личности, интуиции, опыту внутренних переживаний, способности к целостности и интеграции личности в моменты выбора и наивысшей ответственности, преодолению защитных механизмов поведения, мешающих ей.

Однако само понятие «самоактуализация» является дискуссионным. Так, Н.С. Пряжников убежден, что «самореализация» в труде, понимаемая как стремление утвердить свое достоинство через служение идеалам добра и справедливости, реально сталкивается с серьезными трудностями:

1 – общество не готово справедливо оценивать вклад каждого человека в общее благосостояние;

2 – конкретный человек, понимая, что его труд часто не оценивается по справедливости, очень редко добровольно и творчески реализует свои лучшие таланты в нем. Таких людей очень немного, их иногда считают «почти святыми» или «дураками» [6]. Самоактуализируясь, человек примиряет себя с несправедливостью распределения благ в обществе, системой мотивации, оплаты труда, дифференциации общества в целом, доступа к образовательным ресурсам, культуре и иное.

Неоспоримо, что проблему человеческого достоинства можно трактовать только в контексте личностного самосознания на рабочем месте, но ее решение все же во многом остается делом самого человека. Это зависит от того, насколько он в собственной профессиональной деятельности видит условия для полноценного личностного развития. Труд человека, в основе которого благополучие и достаток, играет важную роль в жизни. Возможность труда по душе, в соответствии со склонностями, служит фактором удовлетворенности жизнью. Именно поэтому следует выбирать профессию в соответствии с наклонностями, способностями и желаниями человека.

Современное понимание профессионального самоопределения и профориентации, истоками для которых послужили концепции С. Фукумы, Д. Сьюпера, А. Маслоу, можно свести к ряду тезисов:

– *профориентация* – это система психолого-педагогических мероприятий по формированию у молодежи профессионального самоопределения, готовности к сознательному и обоснованному выбору своего социально-профессионального, экономического развития сообразно имеющимся индивидуально-типологическим особенностям личности, перспективам развития рынка труда и собственным ожиданиям, амбициям, желаниям в отношении конкретного вектора. В существующих условиях можно говорить о многовекторности проектирования личностью своего профессионального пути. Основные характеристики профориентации связаны: с комплексом мер, инициируемых государством в отношении подготовки кадров, рационального их использования и расстановки; с научным подходом в реализации применяемого психолого-педагогического инструментария (с опорой на экономику, демографию, социологию и другие отрасли знания); с учетом трех условий, позволяющих обеспечить эффективность работы, включая потребностно-мотивационную составляющую, склонности и направленность личности и потребности рынка труда в ситуации

определения профиля на каждом этапе развития общества;

– *профессиональное самоопределение* отражается в эмоциональной позиции индивида по отношению к своему месту в мире профессий. Эта позиция определяется социально-экономическими условиями, личностными отношениями в коллективе, трудовыми и карьерными кризисами, но ведущая роль принадлежит активности личности, ответственности за ее формирование. Процесс самоопределения как сужение неопределенности важен при выборе профессии и учитывает особенности и способности личности, а также требования профессиональной деятельности и сложившиеся социально-экономические обстоятельства. Профессиональное самоопределение происходит на протяжении всей профессиональной жизни: человек постоянно размышляет, пересматривает и утверждает свою карьеру. Непрерывность этого процесса отражает ступени становления личности в качестве субъекта деятельности (сфера приложения и развития личностных возможностей, осознание себя полноправным участником сообщества профессионалов, выбор предпочитаемой сферы деятельности, отвечающей индивидуально-типологическим особенностям и запросам личности). В современной ситуации профессиональный путь личности (достижение профессионализма) крайне тернист и потому носит достаточно противоречивый и неоднозначный характер. Восприятие профессиональной самоидентификации может быть инициировано различными событиями, такими как окончание средней школы, получение профессионального образования, стажировки, аттестации и т.д.

Выводы

Профессиональное самоопределение является важной характеристикой социально-психологической зрелости личности, ее потребности в самореализации и самоактуализации. Профессиональное самоопределение – многоэтапный процесс, в котором особая роль отводится его началу – профессиональной ориентации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ренёва Г.Ф. Профессиональное самоопределение личности на различных этапах профессионализации // Вестник Красноярского государственного педагогического университета имени В.П. Астафьева. 2012. Режим доступа. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/professionalnoe-samoopredelenie-lichnosti-na-razlichnyh-etapah-professionalizatsii> (дата обращения: 05.11.2020).

2. Фукуяма С. Теоретические основы профессиональной ориентации. – М.: изд. МГУ, 1989. – 105 с.
3. Super D.E. Self-realization through the work and leisure roles. – In book: Educational and vocational guidance. 1985. P. 43.
4. Маслоу А. Самоактуализация. Психология личности. – М.: изд. Московского университета, 1982. С. 108 – 117.
5. Пьянкова Л.А., Громова А.В. Профессиональное самоопределение молодежи как процесс планирования ею карьеры в современных социально-экономических условиях. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2020. С. 81 – 82.
6. Пряжников Н.С. Профессиональное самоопределение: теория и практика. – М.: Академия, 2008. – 117 с.

© 2021 г. *Л.А. Пьянкова*
Поступила 16 ноября 2020 г.

УДК 316.6

ПРОФЕССОР НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ТОЛСТОГУЗОВ: СОЦИАЛЬНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ

Л.А. Тресвятский

E-mail: lev-35@mail.ru

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

Аннотация. Представлено историческое описание биографии крупного ученого-металлурга, общественного деятеля города Новокузнецк, Кузбасса, доктора технических наук, профессора Николая Васильевича Толстогузова.

Ключевые слова: Толстогузов, профессор, Великая Отечественная война, металлург.

PROFESSOR NIKOLAY VASILYEVICH TOLSTOGUZOV: SOCIO-HISTORICAL PORTRAIT

L.A. Tresvyatsky

E-mail: lev-35@mail.ru

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The article presents the results of a historical study of the biography of a major scientist-metallurgist, public figure of the city of Novokuznetsk and Kuzbass, Doctor of Technical Sciences, Professor Nikolai Vasilyevich Tolstoguzov.

Keywords: Tolstoguzov, a professor, The Great Patriotic war, a metallurgist.

Николай Васильевич Толстогузов родился 21 декабря 1921 г. [1]. В официальном издании книги, посвященной 80-летию Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ, ранее СМИ) отмечено, что Н.В. Толстогузов родился 12 декабря 1921 г. [2]. В опубликованных военных источниках [3] встречается еще одна дата – 24 декабря. Любопытно отметить, что в первой автобиографии 1939 г. абитуриент металлургического вуза Николай Толстогузов пишет: «Родился я 12 декабря 1921 г...». В ходе беседы с дочерью Н.В. Толстогузова, Ольгой Николаевной, удалось выяснить, что Николай Васильевич родился 21 декабря, а в метрике была допущена ошибка и официально прописано 12 декабря. В первые годы советской власти действительно могли быть ошибки при составлении документов, которые по тем или иным причинам не удавалось быстро исправить. По официальным документам Н.В. Толстогузов ро-

дился 12 декабря 1921 г., а в семье Николая Васильевича день рождения отмечали 21 декабря.

Николай Толстогузов родился в городе Бийск Алтайского края и проживал по Озерскому переулку в доме 27. Отец Николая с 1921 г. работал в железнодорожных мастерских г. Бийск, пройдя путь от молотобойца и водопроводчика до слесаря. В 1929 г. Николай пошел учиться в г. Бийск и отучился в железнодорожной школе шесть классов. К этому времени у Николая есть уже три брата (Евгений, Виктор и Юрий). Николай Васильевич был старший из братьев. Евгений погибает на фронтах Великой Отечественной войны, Виктор умирает в детском возрасте, Юрий стал металлургом, работал в г. Новокузнецк.

Семья Толстогузовых в 1935 г. переезжает в г. Сталинск Новосибирской области, поселяется в районе Абагура, где отец Василий Толстогузов работает машинистом на экскаваторе. С 1936 г. отец работает слесарем в паровозном ДЕПО железнодорожной станции г. Новокузнецк. Николай



Рис. 1. Гвардеец Н.В. Толстогузов

обучается в неполной средней школе № 16, где заканчивает седьмой класс. С 1936 г. у Николая появилась возможность продолжить образование в ведомственной средней школе. Семья проживает теперь на ул. Линейной, д. 2, кв. 7. В 10 классе школы № 90 Николай вступает в ряды ВЛКСМ.

Обучаясь в г. Сталинск Николай понимает, что желает связать свою будущую профессию с Кузнецким металлургическим комбинатом (в настоящее время «ЕВРАЗ ЗСМК») и стать металлургом. В годы второй пятилетки в Сталинске сверхбыстрыми темпами возведен крупный завод. Кузнецкий металлургический комбинат и индустриальный город становятся единым целым, связываются одной судьбой. Николай осознанно становится комсомольцем, желая быть в авангарде передовой молодежи, строить социализм и коммунизм. После получения аттестата о среднем образовании Н.В. Толстогузов становится студентом Сибирского металлургического института (СМИ). 29 августа 1939 г. начинающий студент пишет краткую автобиографию, которая подается с заявлением о поступлении в институт.

Начало учебных занятий Николай встретил с воодушевлением, он стремится к знаниям – впереди было несколько лет напряженной учебы. Но международная обстановка накалялась: 1 сентября 1939 г. фашистская Германия объявила войну Польше, СССР вынужден был оградить население западной Белоруссии и Украины от возможных нежелательных последствий. Верховный Совет СССР на IV сентябрьской сессии 1939 г. принимает «Закон о всеобщей воинской обязанно-

сти» [4]. Выпускники 10-х классов, которые стали студентами, ожидали, что они получат отсрочку, но они с воодушевлением узнали, что больше нужны Красной Армии (рис. 1). Обучающиеся в высших учебных заведениях действительно получали отсрочку, но в 1939 г. на студентов первого курса государственные траты были незначительны, страна срочно нуждалась в военном усилении. По всей стране прошел армейский призыв среди студентов-первокурсников.

Николай Васильевич Толстогузов призван Сталинским городским военкоматом и датой поступления на военную службу является 26 сентября 1939 г. [3]. С этого момента начинается славный военно-боевой путь Николая Васильевича: служил в Монголии, был в районе Халхин-Гола; прошел всю Отечественную войну; с октября 1941 г. защищал Москву; участвовал в боях за Днепр и Дон, освобождал Киев и Львов; с боями прошел Польшу, воевал в Германии; встречал союзников по борьбе с фашизмом. Вместе с войсками первого Белорусского фронта участвовал в разгроме берлинской группировки, войну завершил в Праге.

Напряженная международная обстановка 1930 – 1940-х гг. приводит к тому, что студент первого курса СМИ Николай Толстогузов был мобилизован в ряды РККА. В 1939 – 1941 гг. он находится в частях, принимавших участие в боевых действиях в Монгольской народной республике. Ряд авторитетных источников сообщает, что Н.В. Толстогузов «служил в Монголии, воевал на Халхин-Голе». Эта информация [3] содержится в юбилейной картотеке награждений министерства обороны СССР и хранится в ЦАМО (шкаф 58, ящик 20). Вопрос о степени вовлеченности Н.В. Толстогузова в боевые действия остается открытым. Николай Васильевич был призван в РККА 26 сентября 1939 г., а локальное вооруженное противостояние в районе реки Халхин-Голл происходило весной – осенью 1939 г.; решающее сражение произошло в августе 1939 г. и 15 сентября 1939 г. подписано соглашение между СССР, Японией и МНР о прекращении военных действий. О пребывании в действующей армии на территории МНР Н.В. Толстогузов в автобиографии обозначает город Чойбалсан, а службу в качестве командира отделения радио 82 КАП 82 мотострелковой дивизии Забайкальского Военного округа отмечает с ноября 1939 г. по октябрь 1941 г.

В начале Великой Отечественной войны Николай Васильевича направляют с востока на западный фронт, где с октября 1941 г. по декабрь 1945 г. он проходит Западный, Брянский, 1-й Украинский фронт, являясь начальником радиостанции и командиром отделения. В мае 1943 г. становится членом ВКП(б). За боевой путь Н.В. Толстогузов



Рис. 2. Фронтовик Н.В. Толстогузов

награжден орденами и медалями. Известны некоторые подвиги Н.В. Толстогузова: они впечатляют. Но вначале рассмотрим некоторую информацию о младшем брате Евгении Толстогузове 1923 г. рождения, призванного Сталинским РВК. Участвуя в боях (19.08.1943 – 17.09.1943 г.) старший сержант Евгений Васильевич Толстогузов «в бою за с. Морозовка уничтожил двух гитлеровцев и гранатами забросал пулеметный расчет противника» [3]. Гвардии старший сержант Евгений Толстогузов погибает в борьбе с немецко-фашистскими захватчиками 20.12.1943 г. Украинская ССР, Кировоградская обл., Новгородковский р-н, с. Чичелевка [3].

Николай Васильевич не рассказывал о войне коллегам, но подвиги ветерана становятся известны благодаря собранной информации в музее истории СибГИУ и публикации ранее засекреченных материалов. Материалы рассекречены в соответствии с приказом Министра обороны РФ от 8 мая 2007 г. № 81 «О рассекречивании архивных документов Красной Армии и Военно-Морского Флота за период Великой Отечественной войны 1941 – 1945 гг.» (с изменениями на 30 мая 2009 г.) [3] (рис. 2).

Товарищ Толстогузов как командир отделения «бесперебойно обеспечивал бесперебойную радиосвязь, благодаря чему огонь дивизиона своевременно и точно направлялся на немецкие войска...» [3]. Выполняемые обязанности Н.В. Толстогузова были ответственны и опасны. Он в совершенстве знал немецкий язык, постоянно совершенствовал его. Эти знания оказались вос-

требованы, когда он выполнял ответственные задания с разведывательной радиостанцией.

Николай Васильевич Толстогузов не только корректировал огонь, нанося значительный урон противнику, но и лично принимал участие в соприкосновении с противником. Приведем следующий пример: «Рассеяно и уничтожено до 100 человек пехоты врага, 2 противотанковые пушки, 4 станковых и 2 ручных пулемета, 2 арт. батареи противника. В этих боях товарищ Толстогузов лично сам из своего оружия уничтожил 2-х немцев» [3].

Боевой путь Н.В. Толстогузова еще не достаточно изучен и нуждается в отдельном исследовании. Свой боевой путь Н.В. Толстогузов отмерял следующими этапами, что видно из его личного листка по учету кадров: октябрь 1941 г. – март 1942 г. командир отделения радио 82 КАП 82 МСД 5-й Армии; с марта 1942 г. по июль 1943 г. начальник радиостанции 51 гв. КАП 3 гв. МСД; с июля 1943 г. по февраль 1944 г. он участвует в боях на Брянском фронте в качестве начальника радиостанции 17 гв. МБР, 6 гв. МК, 4 Т.А., что соответствует 17 гв. мехбр 6 гвмк [33]; с февраля 1944 по ноябрь 1945 г. он начальник радиостанции 17 ПЧКОС. КБХ. МБР, 6 гв. Л.КОЛСКМК, 4.Т.А., что соответствует 17 гв. МБР 6 гв. МК, 4 Т.А. 1 УкрФ [3].

Вторая мировая война заканчивается для Николая Васильевича скорой демобилизацией. Н.В. Толстогузов радуется Победе и возможности как можно быстрее приступить к мирному труду. Орденоносец стремится побыстрее стать студентом первого курса металлургического института. С декабря 1945 г. по ноябрь 1950 г. Н.В. Толстогузов (рис. 3) является студентом Сибирского металлургического института, становится инженером-металлургом по специальности черные металлы (электрометаллургия). В студенческой группе его избирают старостой, его (фронтовика) избирают в состав комитета партийной организации металлургического института. Он учится с увлечением, показывая пример обучающимся, становится Сталинским стипендиатом. У студента Николая Толстогузова проявляется тяга к науке, научным исследованиям.

Значительное влияние на студента-отличника оказал заведующий кафедрой электрометаллургии Владимир Петрович Ремин, которого увлекла передовая тема прямого получения стали из руд. Студент-выпускник блестяще защищает дипломную работу, которая носила закрытый характер. Студент группы М4-3-45 Н.В. Толстогузов написал работу по теме «Проект завода электростали на производство в год 1 500 000 тонн готового проката по сортаменту КМК в условиях Красноярского края». В обосновании промышленного задания Н.В. Толстогузов отмечал:



Рис. 3. В начале научного пути

«Основой развития всего народного хозяйства страны является черная металлургия... Черная металлургия и в особенности металлургия качественных сталей является основой оборонной промышленности» [5]. Масштаб проведенной работы, качество дипломного проекта, его значение для обороноспособности страны свидетельствуют о появлении в 1950 г. способного специалиста-металлурга, который может выполнять самые ответственные задания и проекты в исследуемой области.

По завершении обучения в СМИ Николая Васильевича (рис. 4) как лучшего студента приглашают в аспирантуру по кафедре электрометаллургии стали. Обучение проходит с декабря 1950 г. по декабрь 1953 г. Результаты дипломной работы не переросли в диссертационное исследование по причине переезда специалистов и оборудования по этому направлению в европейскую часть России. Темой заинтересовалось министерство черной металлургии [6]. В 1950 г. в г. Сталинск приезжает д.т.н., профессор Ленинградского политехнического института Абрам Давидович Крамаров. Это авторитетный ученый, автор фундаментального труда «Электрометаллургия ферросплавов» [7], лауреат Сталинской премии 2-й степени за выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы (1943 г.), а именно, за разработку и внедрение в промышленность вооружения малолегированных марок стали, в составе Научно-исследовательского института № 13 [8].

По завершении обучения в аспирантуре Н.В. Толстогузов защищает диссертацию на степень кандидата технических наук. Тема диссертаци-

онного исследования была связана со свойством легированных конструкционных сталей в условиях отпускной хрупкости. Защита состоялась в Ученом Совете при Московском институте стали и сплавов.

После успешной защиты диссертации научно-педагогическая деятельность Н.В. Толстогузова неразрывно связана с кафедрой электрометаллургии стали. С 1950 г. он прошел путь от аспиранта, ассистента, доцента, профессора до заведующего кафедрой. Карьерный взлет не привел к ослаблению связи Николая Васильевича Толстогузова со своей основной кафедрой. Эта связь в течение лет только нарастала. Он становится доцентом кафедры электрометаллургии стали с октября 1954 г.;



Рис. 4. Экспериментальная плавка



Рис. 5. Доцент Н.В. Толстогузов на демонстрации

в 1957 г. утвержден в ученом звании доцента [9]. С сентября 1960 г. Н.В. Толстогузов становится заведующим кафедрой электрометаллургии стали и ферросплавов, в последствии – по совместительству. В 1960 – 1975 гг. кафедра значительно выросла с пяти штатных единиц до 16. Это связано с увеличением контингента студентов по специальности «Электрометаллургия стали и ферросплавов» и открытием в 1968 г. специальности «Технология электротермических производств» (рис. 5).

Николай Васильевич Толстогузов организовал при кафедре сильную аспирантуру и стал учителем для многих аспирантов. Ученики научной школы профессора Толстогузова характеризуют его как отзывчивого и деликатного человека, который всегда откликнулся на просьбы и предложения, внимательно выслушивал обращающегося и очень ценил время. Кропотливая работа Николая Васильевича с учениками позволила ему стать основателем целостной научной школы в области металлургии, а именно – теории и технологии производства кремнистых и марганцевых сплавов. Развитие металлургии электростали и ферросплавов в СССР в значительной степени обязано школе профессора Н.В. Толстогузова. Подсчитано, что «суммарный эффект от работ, внедренных на заводах страны, составляет 8 млн. рублей» по ценам 1981 г. [10]. Столь значительные результаты были достигнуты благодаря постепенной и своевременной работе по обновлению лабораторной базы кафедры. В 1980 г. формируется научная школа «Создание и применение наноматериалов в металлургии, химической технологии и машиностроении», основателями которой являются д.ф.-м.н., академик РАН М.Ф. Жуков, д.т.н., профессор Н.В. Толстогузов, д.т.н., профессор Г.В. Галевский [11].

В преподаваемых курсах Н.В. Толстогузов стремился знакомить студентов с наиболее современными достижениями мировой и отечественной научно-технической мысли в области производства ферросплавов. Профессор Н.В. Толстогузов постоянно на протяжении многих лет выпускал актуальные работы, делал научные открытия [12]. Следует отдельно отметить фундаментальный труд «Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов» (1992 г.) [13]. В этой работе, как отмечают выдающиеся металлурги, «практически впервые в мире сформулированы основные положения теории восстановления кремния и марганца, представлена оригинальная методика физико-химического моделирования процессов плавки ферросилиция, позволяющая от качественного описания поведения кремния при плавке перейти к количественному анализу его восстановления, выяснен механизм образования потерь кремния, определены пути их уменьшения» [14] (рис. 6).

Перспективного доцента в марте 1955 г. назначают деканом металлургического факультета СМИ, а с сентября 1956 г. он становится заместителем директора всего института по учебной работе. Загруженность Николая Васильевича Толстогузова резко возрастает, он одновременно решает много вопросов. Из отчета за 1957 – 1958 гг. следует: «Положительной стороной в работе экономических семинаров было то, что они охватывали большую часть ведущих научных сотрудников ... Недостатком семинаров явилось неудовлетворительная посещаемость этих семинаров сотрудниками, особенно руководителями института (т.т. Толстогузовым, Куницыным...)» [15]. Отчет подписал директор СМИ Н.М. Куницын [15]. Работая на должности



Рис. 6. Встреча с академиком И.П.Бардиным

заместителя директора, Николай Васильевич фокусирует внимание прежде всего на вопросах, от которых зависит качество подготовки будущих специалистов.

С января по июнь 1961 г. Н.В. Толстогузов являлся проректором по учебной работе СМИ, а с июля 1962 г. по август 1964 г. был проректором по научной работе. Приказом № 481 от 30 сентября 1961 г. Министра МВ и ССО Н.В. Столетьева Н.В. Толстогузов назначен ректором СМИ [16]. С сентября 1964 г. по январь 1988 г. Николай Васильевич Толстогузов был ректором Сибирского металлургического института им. Серго Орджоникидзе.

Николай Васильевич Толстогузов как ректор контролировал и направлял учебную, научную и общественную деятельность вуза (рис. 7). С его участием и помощью ежегодно проходили десятки, сотни мероприятий. Выделим наиболее значимое направление. Во второй половине 1960-х гг. построено и оборудовано новое здание главного корпуса СМИ, начато строительство учебных корпусов металлургического и горного факультетов.

Особо важным направлением становится расширение площадей Сибирского металлургического института. Эта проблема накапливалась годами. Еще в 1954 – 1955 учебном году было отмечено: «В настоящее время с особой остротой встает вопрос об ускорении строительства нового здания института» [17]. Намеченное на конец 1950-х гг. строительство новых корпусов откладывалось. Начало деятельности ректора Н.В. Толстогузова связано с вопросом организации и контроля строительства новых корпусов Сибирского металлургического института. Ликвидация нехватки учебных площадей решается в 1965 г., когда возводится фундаментальное здание по улице Кирова, 42. Трудно переоценить роль руководителя металлургического вуза по

вопросу наращивания учебно-административных и иных площадей института, роста его материально-технического оснащения. При Н.В. Толстогузове и во многом благодаря его усилиям складывается современная система корпусов будущего СибГИУ, которая в настоящих условиях соответствует полноценному кампусу крупного и развитого вуза.

Проект главного корпуса по ул. Кирова, 42 построен с размахом «сталинских зданий» в то время, когда по всей стране еще не изжита кампания по борьбе с «излишествами» в области строительства. Николай Васильевич Толстогузов



Рис. 7. Толстогузов Н.В. на выставке



Рис. 8. Толстогузов Н.В. в минуты отдыха

постоянно контролировал темпы строительных работ, о чем сохранилось много свидетельств. Центральное здание СибГИУ действительно стало украшением города, сердцевинной культурно-образовательного кластера г. Новокузнецк. Заслуга Н.В. Толстогузова состоит еще в том, что он не позволил снизить темпы дальнейшего развития: происходит масштабное строительство протяженного корпуса по пр. Бардина, 25, а также спортивного комплекса, столовой, специализированных лабораторий и т.д. Стройка велась благодаря всесоюзной поддержке: смету утвердил Совет министров РСФСР, действовала командно-административная система, финансирование проекта осуществляло министерство черной промышленности при поддержке Минвуза РСФСР. Но Н.В. Толстогузов проявлял инициативу при использовании местных ресурсов. По воспоминаниям д.т.н., профессора Владимира Яковлевича Целлермаера в программу строительства был включен гараж, которого в первоначальном проекте не было. Была организована трудовая помощь со стороны студентов и преподавателей вуза. В 1973 – 1986 гг. было построено и введено в эксплуатацию 15 000 м².

В 1972 г. основан электрометаллургический факультет, а в 1975 г. введен в работу металлургический корпус, а также состоялось открытие музея боевой и трудовой славы СМИ. В 1976 г. свои двери открывает спортивный комплекс с

пятью залами и плавательным бассейном с 25-метровой дорожкой. В 1980, 1981 и 1983 гг. в эксплуатацию последовательно сдаются лаборатория обучающих систем и тренажеров металлургических процессов, блок тяжелых лабораторий металлургического корпуса и горный корпус. Результатом работы коллектива СМИ во главе с ректором Н.В. Толстогузовым (рис. 8) становится награждение вуза орденом Трудового Красного Знамени в 1980 г.

Стабильная работа вуза под руководством Н.В. Толстогузова способствовала тому, что вуз постепенно наращивал контингент приема. Государство доверяло СМИ. В 1976 г. зачислено 2225 студентов по дневной и иным формам обучения, а в 1980 г. – 2384. Выпуск специалистов составил 1276 и 1523 соответственно [18]. Сибирский металлургический институт выпускал высококвалифицированных специалистов, востребованных в ведущих отраслях промышленности СССР. Выработанный стиль руководства не позволял прикрывать недостатки в деятельности института, а наоборот, требовал их выявлять и ликвидировать. Достигнутые под руководством ректора Н.В. Толстогузова трудовые результаты высоко оценены страной: в 1971 и 1981 гг. его награждают орденом Трудового Красного Знамени, в 1980 г. становится лауреатом государственной премии РСФСР и награжден знаком «Лауреат премии Кузбасса» [12].

Начало перестройки, провозглашенное в 1985 г. апрельским пленумом ЦК КПСС, не застало коллектив СМИ врасплох. Новые направления (хозяйственный расчет, самоокупаемость, создание и внедрение в производство новых инструментов и технологий) были внедрены в первом вузе Кузбасса и закреплены при легендарном ректоре Николае Васильевиче Толстогузове еще в ходе экономической реформы А.Н. Косыгина. Приведем следующий пример. Объем государственных бюджетных научно-исследовательских работ в 1980 г. составлял 119 тыс. рублей, а объем хоздоговорных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ превышал 1 млн 530 тыс. рублей, то есть был почти в 13 раз больше [18].

В 1988 г. Н.В. Толстогузов передал следующему поколению вуз, способный динамично развиваться и адекватно отвечать на новые вызовы современности. Заложенная инфраструктура и материальная база во время ректорства Н.В. Толстогузова стала надежной основой для дальнейшего развития вуза.

Николай Васильевич Толстогузов был советским человеком, настоящим коммунистом. Он принадлежал к тому поколению коммунистов, которое воевало за СССР. В личном листке по

учету кадров на вопрос № 20 «Был ли за границей» вписано – «да» (август 1944 г. – ноябрь 1945 г.: Польша Германия, Чехословакия, Австрия, Венгрия, Румыния). Цель пребывания за границей – служба в Советской Армии. Для него были важны идеалы Октябрьской революции 1917 г.: борьба за социализм и счастье трудящихся всего мира. Николай Васильевич Толстогузов был членом Новокузнецкого ГК КПСС и Кемеровского ОК КПСС, а также делегатом XV съезда КПСС. Характер С.Н. Толстогузова, фронтовика, коммуниста, вступившего в партию в период войны, способного ученого и деятельного руководителя, не мог позволить ему «отдыхать» на пенсии. Николай Васильевич продолжает активно вести научно-преподавательскую деятельность, работу в периодическом научном издании «Известия вузов. Черная металлургия». Ученое звание профессора было присвоено Н.В. Толстогузову еще в 1968 г., а в 1993 г. Николай Васильевич Толстогузов успешно защитил докторскую диссертацию по теме «Теоретические основы и технология плавки кремнистых и марганцевых сплавов» в ведущем вузе Москвы (Московском институте стали и сплавов).

Н.В. Толстогузов умел и любил играть в шахматы. Формально у него был первый разряд, но он принадлежал к тому легендарному поколению перворазрядников, которые составят конкуренцию современным кандидатам в мастера. Особенность Сибирского металлургического института состояла в том, что преподаватели и студенты регулярно занимались шахматами. В 1954 г. в шахматном кружке при институте постоянно занималось 60 человек [17]. В 1957 г. было проведено несколько соревнований: Первенство четырех курсов института, Традиционная встреча на 100 досках КМК и СМИ (счет 37:63 в пользу КМК), Первенство института в зачет X спартакиады. Семья Толстогузовых хранит Диплом № 278 от 15 июня 1951 г., которым был награжден Н.В. Толстогузов за первое место, занятое командой шахматистов ДСО «Наука» в 3-й районной спартакиаде.

Увлечение шахматами у Николая Васильевича Толстогузова было серьезным, полупрофессиональным: выписывал издающуюся в СССР периодическую печать по шахматам, изучал партии ведущих мастеров и гроссмейстеров, просматривал партии чемпиона мира М. Ботвинника. Шахматы ценились советским обществом, ответственными руководителями в армии, промышленности, вузах. По воспоминаниям одного из ветеранов Виталия Васильевича Гуменного начало строительства грандиозного комплекса вуза Н.В. Толстогузов выиграл в шахматы у ответственного чиновника, который

затягивал окончательное решение о строительстве.

Семейная традиция хранит воспоминания, что Николай Васильевич Толстогузов принимал участие в сеансах одновременной игры с гроссмейстерами СССР. Толстогузов Н.В. в часы отдыха с семьей и знакомыми постоянно играл в шахматы, даже на расстоянии (по телефону и т.п.). В 1982 г. команда шахматистов СМИ становится второй среди команд вузов страны: это не случайный результат. Николай Васильевич поддерживал развитие шахмат в вузе. Открытый в вузе шахматный клуб стал заслуженно носить его имя [19].

Н.В. Толстогузов встретил супругу в институте: они вместе учились в одной студенческой группе. Жена Мария Петровна Толстогузова (Кузьмина) работала преподавателем в одном из техникумов города. В семье Н.В. Толстогузова трое детей (Владимир, Ольга и Василий). Николай Васильевич Толстогузов очень ценил семью, это передалось ему от мамы А.И. Толстогузовой, которая поддерживала семейный уют. Отец В.Н. Толстогузов научил сына трудолюбию, ведь он с детских лет был приучен к тяжелому крестьянскому труду. Супруги Толстогузовы были счастливы в браке, Николай Васильевич многим делился с женой, ценил ее советы. Николай Васильевич Толстогузов скончался 22 июня 1995 г. [12].

Сразу после ухода знаменитого ученого и ректора из жизни начинается определение научной и общественно-педагогической деятельности Николая Васильевича Толстогузова [20]. В работах [1, 21] И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина рассматривают вопросы, связанные с научной школой Н.В. Толстогузова.

Материал о биографии и профессиональной деятельности профессора Н.В. Толстогузова находим в обобщающих работах о роли и месте СМИ (СибГИУ) как крупного образовательного кластера Кузбасса: «СМИ – СибГИУ. 75 лет: очерк по истории СибГИУ» [16], «Сибирский государственный индустриальный университет 1930 – 2010» [2], «Институт металлургии и материаловедения СибГИУ. Дела. События. Люди» [11]. Наиболее полная биография Н.В. Толстогузова как ректора металлургического вуза и ученого-металлурга представлена в коллективном труде «Выдающиеся металлурги – выпускники СМИ – СибГИУ» [14].

В современных условиях замечен общественный интерес к профессиональной деятельности легендарного ректора Сибирского металлургического института (в настоящее время Сибирский государственный индустриальный университет). Особое значение в распространении информации о деятельности профессора Н.В. Толстогузова приобрели информационные сайты:



Рис. 9. Делегаты XXV съезда КПСС Н.В. Толстогузов и В.И. Чуйков

словари и энциклопедии [22], сайт библиотеки имени Гоголя в городе Новокузнецк [23], «400 знаменитых новокузнецчан» [24], архив города Новокузнецк [25] и др. Качество предоставляемой информации о деятельности профессора Николая Васильевича различно. Информация большей части сайтов показывает статьи периодической печати «Человек эпохи созидателей» [26], «Наш легендарный ректор» [27] и некоторые другие опубликованные в печати источники.

Наиболее ценная информация содержится на сайте «Память народа» [3]. Ценными и оригинальными являются воспоминания и обобщенная информация Е. Медиокритского «Смичи», размещенная на сайтах proza.ru [28] и dil.academic.ru [8].

Следует выделить статьи в периодической печати: газеты «Наш университет», «Кузнецкий рабочий», в которых Ю. Канаев, П. Натальин, В. Угрюмов и другие пытаются проследить деятельность Н.В. Толстогузова, сравнивают, рассуждают. То есть эти работы носят публицистический характер [29 – 30]. Статьи Николая Васильевича и статьи о нем содержатся в различных номерах институтской газеты «За кадры».

В настоящей работе использованы материалы музея истории Сибирского государственного индустриального университета, а также документы из семейного архива семьи Толстогузова. В музее хранится написанная в 1939 г. в качестве абитуриента СМИ первая автобиография Н.В. Толстогузова. Вторая используемая в исследовании информация взята из автобиографии и личных листков по учету кадров, составленных в 1954 г. и хранящихся в семейном архиве семьи ректора. Из неопубликованных источников использовали отчеты о работе СМИ [9, 15, 17], справки, копии архивных документов, объеди-

ненных в папку «Н.В. Толстогузов» [10]. Отдельно отметим рукописный проект выпускной студенческой работы Николая Васильевича [5].

При написании настоящей работы использованы материалы двух видеосюжетов о Н.В. Толстогузове, а также ряд звонков со стороны автора статьи близким родственникам Николая Васильевича Толстогузова. Уточняющие вопросы касались точной даты рождения Н.В. Толстогузова, его военной службы на территории Монголии, хобби и увлечений ректора.

Награды (рис. 9) Николая Васильевича Толстогузова следующие: медаль «За отвагу» 1943 г., медаль «За оборону Москвы» 1943 г. (вручена 27.04.1944 г.), орден Красной Звезды (1944 г.), орден Отечественной войны 1-й степени (1945 г.), медаль «За взятие Берлина» 1945 г. (вручена 26.06.1978 г.), медаль «За победу над Германией» 1945 г. (вручена 10.07.1946 г.), медаль «20 лет Победы над Германией» (1965 г.), медаль «50 лет Вооруженных Сил СССР» (1968 г.), орден Трудового Красного Знамени (1971 г.), медаль «30 лет Победы над Германией» (1975 г.), медаль «60 лет Советской Армии и Флота» (1978 г.), орден Трудового Красного Знамени (1981 г.), орден Отечественной войны 2-й степени (1995 г.), орден Почета (1995 г.). Н.В. Толстогузов отмечен знаком отличия Минвуза СССР, знаком отличия Минчермета СССР, знаком отличия Минвуза РСФСР (рис. 10).

Заслуги Н.В. Толстогузова отмечены признательностью кузбассовцев. Николай Васильевич решением Новокузнецкого городского Совета народных депутатов от 28.06.2005 г. № 41 удостоился звания Почетного гражданина города Новокузнецк [25]. На здании главного корпуса

СибГИУ расположена мемориальная доска. Граффити-портрет Н.В. Толстогузову распо-



Рис. 10. Ректор СМИ Н.В. Толстогузов

жен по адресу г. Новокузнецк, ул. Кирова, 31 (автор Граффити-портрета – барнаульский художник Евгений Алехин). Есть мнение о необходимости в г. Новокузнецк назвать улицу именем Николая Васильевича Толстогузова в память о легендарном человеке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рожихина И.Д., Нохрина О.И. Научная школа профессора Н.В. Толстогузова. – В кн.: Библиографический указатель / Под ред. Л.Н. Бельтюковой. – Новокузнецк: изд. СибГТМА, 1996. С. 9 – 15.
2. Сибирский государственный индустриальный университет 1930 – 2010 / Под ред. С.М. Мочалова и др. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 339 с.
3. Толстогузов Николай Васильевич: Память народа (pamyat-naroda.ru) (дата обращения: 10.01.2021)
4. Закон о всеобщей воинской обязанности. Принят Верховным Советом СССР на IV сессии 1 сентября 1939 г. (Ведомости Верховного Совета СССР. 1939 г. № 32; 1941 г. № 12). <https://istmat.info/node/22804> (дата обращения: 22.01.2021)
5. Толстогузов Н.В. Проект завода электро-стали на производство в год 1 500 000 тонн готового проката по сортаменту КМК в условиях Красноярского края. (рукопись). 1950. – 252 с.
6. Наш знаменитый ректор. По рассказам сотрудника кафедры электрометаллургии СибГИУ Виктории Павловны Тимофеевой <https://proza.ru/2018/08/25/1685> (дата обращения: 13.02.2021)
7. Крамаров А.Д. Электрометаллургия ферросплавов. Л.-М.: Главная редакция литературы по черной металлургии, 1936. – 312 с.
8. Сталинская премия за выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы (1943) <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1639601> (дата обращения: 13.01.2021).
9. Отчет о работе за 1955 – 1956 учебный год. МВО СССР. Сибирский металлургический институт имени Серго Орджоникидзе. г. Сталинск, Кемеровская обл. – Новокузнецк, – 145 с.
10. Справка о научно-педагогической и общественной деятельности ректора Сибирского ордена Трудового Красного Знамени металлургического института имени Серго Орджоникидзе профессора Толстогузова. Ноябрь 1981 г. – Материалы Музея СибГИУ. Папка 308 Т.
11. Институт металлургии и материаловедения СибГИУ. Дела. События. Люди / Е.В. Протопопов, М.В. Темлянцев, Г.В. Галевский, Н.А. Козырев, А.Р. Фастыковский, С.Г. Коротков, А.Н. Калиногорский. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2020. – 127 с.
12. Николай Васильевич Толстогузов: библиографический указатель / Сост. Л.Н. Бельтю-

- кова. – Новокузнецк: изд. СибГТМА, 1996. – 80 с.
13. Толстогузов Николай Васильевич – Ученые – Знаменитые новокузнецчане – 400 Знаменитых Новокузнецчан (xn--400-eddplucwdhb0e2b.xn--p1ai) (дата обращения: 15.01.2021)
14. Выдающиеся металлурги – выпускники СМИ – СибГИУ / Под общ. Ред. Е.В. Протопопова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2015. 260 с.
15. Отчет о работе за 1957 – 58 учебный год. МВО СССР. Сибирский металлургический институт имени Серго Орджоникидзе. г. Сталинск, Кемеровская обл. – Новокузнецк. – 134 с.
16. СМИ – СибГИУ. 75 лет: очерк по истории СибГИУ / Под ред. Н.М. Кулагина. – Кемерово: Кузбасс, 2005. – 304 с.
17. Отчет о работе за 1954 – 1955 учебный год. МВО СССР. Сибирский металлургический институт имени Серго Орджоникидзе. г. Сталинск, Кемеровская обл. – 131 с.
18. Паспорт Сибирского ордена Трудового Красного Знамени института имени Серго Орджоникидзе. 1980. – 48 с.
19. Шахматный клуб имени Н.В. Толстогузова https://www.sibsiu.ru/universitet/podrazdeleniya/otdely/?ELEMENT_ID=259 (дата обращения: 21.02.2021)
20. Тимофеева В.П. Краткий очерк научной, педагогической и общественной деятельности Н. В. Толстогузова. – В кн.: Николай Васильевич Толстогузов: библиографический указатель / Сост. Л.Н. Бельтюкова. – Новокузнецк, 1996. С. 6 – 8.
21. Нохрина О.И. Теория и практика электрометаллургии стали и ферросплавов: научно-справочное издание. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2015. – 54 с.
22. Толстогузов Николай Васильевич// <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/589489> (дата обращения: 12.02.2021)
23. Толстогузов Николай Васильевич <https://libnvkz.ru/chitatelnyam/o-novokuznetske/pochetnie-grajdane/tolstoguzov-n-v> (дата обращения: 16.01.2021)
24. Толстогузов Николай Васильевич. Муниципальное бюджетное учреждение. Архив города Новокузнецка. Почетные граждане (archivnvkz.ru) http://www.archivnvkz.ru/?page_id=243&pid=260 (дата обращения: 17.01.2021)
25. Человек эпохи созидателей // Кузнецкий рабочий. 2011. № 149.
26. Наш легендарный ректор // Кузнецкий рабочий. 2016. № 132.
27. Медиокритский Е. Смичи. Часть 1. <https://proza.ru/2018/08/25/1685> (дата обращения: 13.02.2021)
28. Канаев Ю. Сила науки – в союзе с производством // Кузнецкий рабочий. 2011. № 53. С. 2.
29. Натальин П. Навечно в памяти // Трудовой Новокузнецк. 1997. № 5. С. 3.
30. Угрюмов В.Николай Васильевич Толстогузов – ректор и солдат // Наш университет. 2014. № 4. С. 2.

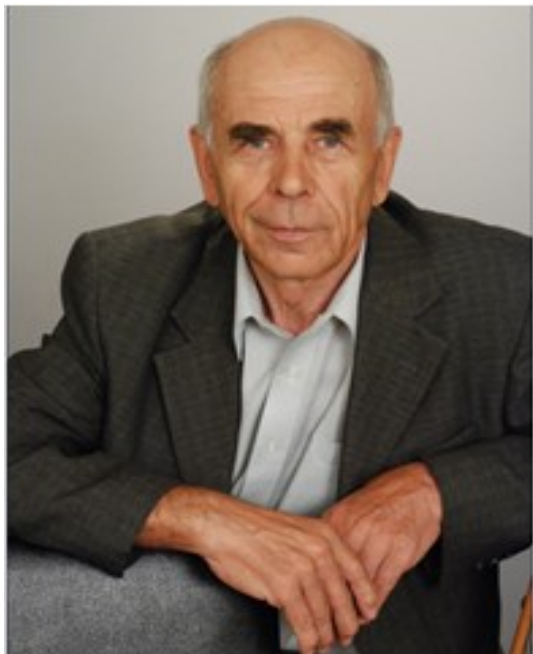
© 2021 г. Л.А. Тресвятский
Поступила 9 марта 2021 г.

ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ВАЛЕНТИНА ПАВЛОВИЧА ЦЫМБАЛА

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

CREATIVE HERITAGE OF VALENTIN PAVLOVICH TSYMBAL

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia



14 февраля 2021 г. в возрасте 87 лет ушел из жизни профессор-консультант кафедры прикладных информационных технологий и программирования, доктор технических наук, профессор, действительный член Международной Академии наук высшей школы, Заслуженный деятель науки РФ, Почетный профессор Кузбасса Цымбал Валентин Павлович.

Валентин Павлович был выдающимся ученым России и бывшего СССР, гордостью нашего университета, имел огромный авторитет среди коллег, пользовался глубоким уважением научной общественности. Валентина Павловича отличали удивительная мудрость и доброта, широкая эрудиция, глубокая порядочность, духовная щедрость, позитивный настрой и неиссякаемый оптимизм. Он внес неоценимый вклад в развитие металлургии, стал одним из основоположников использования методов математического моделирования, а также теории самоорганизации при совершенствовании существующих и создании новых металлургических процессов и агрегатов. Он всегда считал, что назначение и долг ученого – передавать эстафету знаний следующим поколениям. Научные концепции и достижения Валентина Павловича и его многочисленных учеников легли в основу создания науч-

ной школы «Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на принципах самоорганизации».

Валентин Павлович Цымбал родился в Казахстане в городе Караганда 2 августа 1933 года. В 1943 году семья Валентина Павловича переехала в г. Темиртау, где в 1951 году он окончил школу. Валентин Павлович поступил в Сибирский металлургический институт на металлургический факультет (специальность «Металлургия черных металлов») в г. Сталинск (ныне Новокузнецк). В 1956 году он с отличием закончил институт и был распределен на Казахский металлургический завод в г. Темиртау, где проживали его родители. На этом заводе он проработал четыре года, работал в должности помощника мастера, сталевара, начальника смены, получил при этом хорошую школу производственных отношений и познания реальной металлургии. В 1960 году поступил в аспирантуру в СМИ на вновь организованную кафедру «Автоматизация металлургического производства, в 1963 году под руководством профессора П.М. Масловского защитил кандидатскую диссертацию на тему «Моделирование процесса обезуглероживания стали в мартеновской печи на электронных математических машинах», а в 1973 году – докторскую диссертацию на тему «Исследование и управление сталеплавильным процессом с применением математических моделей на примерах обычной и интенсивной плавки». В 1996 году В.П. Цымбал был избран членом-корреспондентом Сибирского отделения Академии наук Высшей школы, а в 1997 году – действительным членом Международной Академии наук высшей школы. В 1996 году ему было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ», а в 2006 году – звание «Почетный профессор Кузбасса». Многогранная деятельность Валентина Павловича по достоинству отмечена высокими наградами. Он был награжден орденом «Знак почета», медалями «За доблестный труд», «За трудовое отличие», «За особый вклад в развитие Кузбасса» III степени, «70 лет Кемеровской области», «За веру и добро», «За служение Кузбассу» и другими. Но главное,

В.П. Цымбал снискал глубокое уважение своих многочисленных учеников и коллег.

Валентин Павлович основал кафедру «Математическое обеспечение и ЭВМ в металлургии» 16 декабря 1980 года, которая позднее была переименована в кафедру «Информационные технологии в металлургии» (ИТМ), стал первым заведующим этой кафедрой и руководил ею более 30 лет до 2012 года. В мае 2015 году кафедра «Информационные технологии в металлургии» в результате объединения с кафедрой «Системы информатики и управления» стала кафедрой «Прикладные информационные технологии и программирование» (ПИТиП), на которой Валентин Павлович работал в должности профессора-консультанта.

Основной состав преподавателей кафедры в период 1980 – 1986 гг.: доктор технических наук, профессор В.П. Цымбал; кандидаты технических наук, доценты В.Н. Буинцев, А.Ф. Сакун, А.Г. Падалко, С.П. Мочалов, Н.А. Калиногорский, С.Н. Калашников, Г.Б. Мельник, С.А. Шипилов, Е.И. Ливерц.

С 1986 г. преподавательский состав кафедры начал расширяться за счет своих выпускников: И.А. Рыбенко, С.Ю. Красноперов, В.И. Кожемяченко, Л.А. Ермакова, В. Ю. Климов, М.Б. Малинов, М.М. Милованов, И.А. Куков, А.Е. Шендриков, П.А. Сеченов и др. Большинство из них защитили кандидатские диссертации и внесли значительный вклад в работу кафедры и университета.

Кафедра ИТМ во главе с Валентином Павловичем впервые в стране начала подготовку специалистов широкого профиля с фундаментальной подготовкой в области металлургии, информационных технологий, программирования, математического моделирования, научных исследований и оптимизации. С 1981 года кафедра вела подготовку инженеров по специализации «Математическое обеспечение и применение ЭВМ в металлургии» в рамках специальности «Металлургия черных металлов», а с 1999 года – по специальности «Информационные системы и технологии». В 2009 году был произведен первый набор студентов на новую специальность «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», которая затем стала направлением подготовки «Информатика и вычислительная техника». По инициативе В.П. Цымбалы впервые в Кузбассе была открыта магистратура по специальности «Металлургия черных металлов». Многие выпускники кафедры ИТМ успешно работают в различных городах России и за рубежом (США, Канада, Австралия, Германия, Чехия и т.д.).

Основным научным направлением деятельности кафедры с 1980 года было «Математическое описание и оптимизация металлургических процессов, разработка автоматизированных исследовательских и тренирующих систем и инструментальных систем моделирования», руководителем которого являлся Валентин Павлович Цымбал. В рамках этого направления выполнено более 30 госбюджетных и хоздоговорных НИР, внедрено в производство и учебный процесс более 20 объектов техники и технологий, среди них 15 тренажерных комплексов, автоматизированная система наладки тепловых и технологических режимов для мартеновских печей КМК, система оптимизации продувки конвертерной плавки для ЗСМК, программные продукты для ЭВМ в виде обучающих систем (таких как «Конверторщик», «Сталевар мартеновской печи», «Сталевар ДСП», «Агломератчик» и др.).

С 1995 года на кафедре начало развиваться новое научное направление «Модели и механизмы самоорганизации», а затем создана научная школа «Математическое моделирование, создание прикладных инструментальных систем и новых металлургических процессов и агрегатов на принципах самоорганизации», руководителем которой являлся Валентин Павлович. В рамках научной школы сформировался эффективно работающий на кафедре ПИТиП коллектив ученых и преподавателей: И.А. Рыбенко, В.Н. Буинцев, В.И. Кожемяченко, С.Н. Калашников, Л.А. Ермакова, А.А. Оленников, П.А. Сеченов, а также аспиранты Е.А. Мартусевич и Д.Ю. Белавенцева.

Под руководством Валентина Павловича учеными кафедры впервые в мировой металлургии создана концепция и комплекс моделей принципиально нового металлургического процесса и агрегата струйно-эмульсионного типа (СЭР), основанного на принципах синергетики и неравновесной термодинамики. Наиболее важными из предложенных и конструктивно реализованных принципов и решений являются: создание высокодисперсной газозвеси, организация вынужденного движения двухфазной среды в замкнутом объеме под давлением. Это позволило создать динамические диссипативные структуры, которые играют роль своеобразных локализованных камер. Центральную роль побудителя движения двухфазной среды выполняет реактор-осциллятор с газодинамическим запирающим каналом, который позволяет проталкивать двухфазную среду через вертикальный колонный реактор и другие аппараты агрегата СЭР. Преимуществами нового процесса и агрегата типа СЭР являются: высокие скорости тепломассообменных процессов (в 100 – 200 раз

выше, чем в конвертере); малые размеры и материалоемкость агрегатов (в 10 – 20 раз меньше, чем в традиционной металлургии); низкие сквозные энергозатраты (13 – 15 ГДж/т); высокая экологичность и безотходность технологий, использование в шихте различного рода пылевидных материалов и отходов; управляемость, универсальность, мобильность; возможность выплавки различных металлов; возможность реализации новой концепции создания мини-заводов и структурных изменений в металлургии. Процесс и агрегат запатентованы в большинстве металлопроизводящих стран мира.

Новый непрерывный металлургический процесс и агрегат реализован в виде крупномасштабной опытной установки в конвертерном цехе № 2 АО «Западно-Сибирский металлургический комбинат».

Большую роль в реализации этой установки сыграли профессор кафедры ИТМ С.П. Мочалов, руководители комбината Б.Н. Кустов и Р.С. Айзатулов, главный сталеплавильщик В.В. Соколов и еще целая группа специалистов. Всего в создании установки и проведении экспериментов участвовало более 50 человек. С 1992 по 2001 год на этой установке было проведено 40 серий экспериментов, которые позволили подтвердить правильность заложенных теоретических и конструктивных решений и усовершенствовать конструкцию установки. Разработаны и экспериментально проверены несколько новых малоэнергоемких технологий, в том числе прямое восстановление пылевидных руд и отходов (шламов, омазученной окалины) без агломерации, получения марганцевых сплавов из бедных пылевидных руд, разделение титано-магнетитовых концентратов на железо и кондиционный титанистый шлак, прямое восстановление металлов с одновременным получением синтез-газа (бездымная технология).

Математическое моделирование и исследования, проведенные учеными кафедры, показали, что разработанный процесс и агрегат обладают определенной степенью универсальности: имеется возможность путем изменения режима продувки и степени дожигания топлива-восстановителя перерабатывать пылевидные материалы с широким диапазоном изменения химического состава, в том числе бедные пылевидные руды и хвосты обогащения. На базе процесса СЭР творческим коллективом ученых и заводских специалистов под руководством Валентина Павловича был разработан ряд ресурсосберегающих технологий: получение металла из чугуна и окалины; прямое восстановление металла из пылевидных железосодержащих материалов; получение марганцевых сплавов;

переработка титано-магнетитовых концентратов; прямое восстановление железа с попутным получением высококалорийного синтез-газа и алюмосиликатных микросфер.

Агрегат типа СЭР может использоваться в качестве газификатора пылевидных фракций угля, но наиболее экономичным является вариант с использованием смеси угля и пылевидных железосодержащих отходов. При этом облегчается процесс поддержания стабильного слоя шлако-металлической эмульсии, внутри которой сжигается топливо, а также снижается расход газообразного кислорода за счет использования кислорода из оксидов железа. Кроме этого, появляется возможность использования избыточной температуры в том случае, когда приоритетной задачей ставится газификация угля с получением синтез-газа. Таким образом, эта технология в самом полном смысле является безотходной и бездымной. Разработанный в рамках научной школы проект «Технология переработки пылевидных угольных и металлургических отходов на основе струйно-эмульсионного агрегата СЭР» был представлен в программе «Российско-германский научный диалог» на международном Конгрессе «Берлинской недели науки» в г. Берлин.

Новый процесс и агрегат СЭР позволил поставить задачу изменения традиционной структуры металлургических комбинатов, так как при этом устраняются агломерационное, коксохимическое, а также доменное производства. Вместо последовательности крупных агрегатов, работоспособность и изменение производительности которых трудно обеспечить при меняющейся конъюнктуре рынка, предприятие новой структуры может состоять из набора независимо друг от друга работающих модулей.

Творческим коллективом научной школы под руководством Валентина Павловича созданы комплекс математических моделей и программно-инструментальных систем применительно к различным технологическим задачам: программно-инструментальная система, позволяющая рассчитывать технологические параметры нового непрерывного металлургического процесса во взаимосвязи с основными конструктивными параметрами агрегата, что создает основу для автоматизации проектирования вновь создаваемых агрегатов; комплекс математических моделей, описывающих взаимосвязь параметров потоков и физико-химических процессов в агрегате струйно-эмульсионного типа, представленном как реактор текущего равновесия; инструментальная система «Инжиниринг-металлургия», представляющая взаимосвязанную систему математических моделей, методов оптимизации и

баз данных, реализованная в виде комплекса программ применительно к решению широкого круга оптимизационных задач ряда металлургических технологий; инструментальная система расчета энерготехнологических комплексов; программный комплекс, реализующий имитационную модель колонного струйно-эмульсионного реактора; программно-инструментальная система, реализующая комплекс моделей взаимосвязи конструктивных и режимных параметров для определения эффективного режима работы гравитационного сепаратора и возможности разделения продуктов сепарации; математическая модель и программная реализация процесса расплавления шарообразных частиц с использованием технологии параллельного программирования NVIDIA CUDA; программно-инструментальная система, позволяющая рассчитывать энтальпию, энтропию и теплоемкость как веществ, так и материалов в интервале температур; инструментальная система моделирования краевых задач тепло- и массообмена на основе развития программных Excel-VBA-приложений; модели массообменных процессов в дисперсных частицах; комплекс математических моделей и автоматизированная система проектирования гарнисажного охлаждения металлургических агрегатов; математическая модель технологического процесса формирования алюминиевых сплавов и автоматизированная информационно-обучающая система «Алюминщик»; программный продукт для расчетов вариантов систем использования вторичной энергии; автоматизированная лабораторная установка с микропроцессорным управлением и SCADA-системой для исследования

принципов управления процессами, обладающими синергетическими свойствами.

Валентином Павловичем лично и в соавторстве опубликовано 9 учебников и учебных пособий, в том числе 3 электронных, более 400 научных статей в российских и иностранных журналах, в материалах научных конференций, конгрессов и симпозиумов различного уровня, получено более 40 авторских свидетельств и патентов. В 2014 году под его редакцией в центральном издательстве «Металлургиздат» опубликована уникальная коллективная монография, обобщившая 25-летний труд творческого коллектива по созданию нового металлургического процесса и агрегата. В настоящее время готовится к изданию последний труд Валентина Павловича – монография «Синергетическая концепция создания математических моделей малоэнергоемких технологических процессов на примерах металлургии» в соавторстве с И.А. Рыбенко и П.А. Сеченовым.

Валентин Павлович был великим ученым и металлургом, замечательным человеком. Он внес огромный вклад в развитие кафедры, университета, города и нашей страны. Он ушел из жизни, но память о нем осталась в его делах, богатейшем научном наследии, многочисленных учениках! Светлые воспоминания о нем сохранятся в наших сердцах на долгие годы!

*Ректорат
Институт Информационных
технологий и автоматизированных систем
Коллектив кафедры прикладных информаци-
онных технологий и
программирования
Редакция журнала*

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Сибирского государственного индустриального университета» публикуются оригинальные, ранее не публиковавшиеся статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера по следующим направлениям:

- металлургия и материаловедение;
- горное дело и геотехнологии;
- машиностроение и транспорт;
- энергетика и электротехнологии;
- химия и химические технологии;
- архитектура и строительство;
- автоматизация и информационные технологии;
- экология и рациональное природопользование;
- экономика и управление;
- образование и педагогика;
- гуманитарные науки;
- социальные науки;
- отклики, рецензии, биографии.

К рукописи следует приложить рекомендацию соответствующей кафедры высшего учебного заведения, экспертное заключение, разрешение ректора или проректора высшего учебного заведения (для неучебного предприятия – руководителя или его заместителя) на опубликование результатов работ, выполненных в данном вузе (предприятии).

В редакцию следует направлять материалы статьи в электронном виде и два экземпляра текста статьи на бумажном носителе. Для ускорения процесса рецензирования статей электронный вариант статьи и скан-копии сопроводительных документов рекомендуется направлять по электронной почте по адресу e-mail: vestnicsibgiu@sibsiu.ru.

Таблицы, библиографический список и подрисуночный текст следует представлять на отдельных страницах. В рукописи необходимо сделать ссылки на таблицы, рисунки и литературные источники, приведенные в статье.

Иллюстрации нужно представлять отдельно от текста на носителе информации. Пояснительные надписи в иллюстрациях должны быть выполнены шрифтом Times New Roman Italic (греческие буквы – шрифтом Symbol Regular) размером 9. Тоновые изображения, размер которых не должен превышать 75x75 мм (фотографии и другие изображения, содержащие оттенки черного цвета), следует направлять в виде растровых графических файлов (форматов *.bmp, *.jpg, *.gif, *.tif) в цветовой шкале «оттенки серого» с разрешением не менее 300 dpi (точек на дюйм). Штриховые рисунки (графики, блок-схемы и т.д.) следует представлять в «черно-белой» шкале с разрешением не менее 600 dpi. На графиках не нужно наносить линии сетки, а экспериментальные или расчетные точки (маркеры) без крайней необходимости не «заливать» черным. Штриховые рисунки, созданные при помощи пространственных программ MS Excel, MS Visio и др., следует представлять в формате исходного приложения (*.xls, *.vsd и др.).

Шрифтовое оформление физических величин: латинские буквы в светлом курсивном начертании, русские и греческие – в светлом прямом. Числа и единицы измерения – в светлом прямом начертании. Особое внимание следует обратить на правильное изображение индексов и показателей степеней. Формулы набираются с помощью редакторов формул Equatn или Math Type, масштаб формул должен быть 100 %. Масштаб устанавливается в диалоговом окне «Формат объекта». В редакторе формул для латинских и греческих букв использовать стиль «Математический» («Math»), для русских – стиль «Текст» («Text»). Размер задается стилем «Обычный» («Full»), для степеней и индексов – «Крупный индекс / Мелкий индекс» («Subscript / Sub-Subscript»). Недопустимо использовать стиль «Другой» («Other»).

Необходимо избегать повторения одних и тех же данных в таблицах, графиках и тексте статьи. Объем статьи не должен превышать 18 – 20 страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала.

Рукопись должна быть тщательно выверена, подписана автором (при наличии нескольких авторов, число которых не должно превышать пяти, – всеми авторами); в конце рукописи указывают полное название высшего учебного заведения (предприятия) и кафедры, дату отправки рукописи, а также полные сведения о каждом авторе (Ф.И.О., место работы, должность, ученая степень, звание, служебный и домашний адреса с почтовыми индексами, телефон и e-mail). Необходимо указать, с кем вести переписку.

Цитируемую в статье литературу следует давать общим списком в порядке упоминания в статье с обозначением ссылки в тексте порядковой цифрой. Перечень литературных источников рекомендуется не менее 10.

Библиографический список оформляют в соответствии с ГОСТ 7.0.100 – 2018: а) для книг – фамилии и инициалы авторов, полное название книги, номер тома, место издания, издательство и год издания, общее количество страниц; б) для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название журнала, название статьи, год издания, номер тома, номер выпуска, страницы, занятые статьей; в) для статей из сборников – фамилии и инициалы авторов, название сборника, название статьи, место издания, издательство, год издания, кому принадлежит, номер или выпуск, страницы, занятые статьей.

Иностранные фамилии и термины следует давать в тексте в русской транскрипции, в библиографическом списке фамилии авторов, полное название книг и журналов приводят в оригинальной транскрипции.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

К статье должны быть приложены аннотация объемом до 250 слов, ключевые слова.

В конце статьи необходимо привести на английском языке: название статьи, Ф.И.О. авторов, место их работы, аннотацию и ключевые слова.

Краткие сообщения должны иметь самостоятельное научное значение и характеризоваться новизной и оригинальностью. Они предназначены для публикации в основном аспирантских работ. Объем кратких сообщений не должен превышать двух страниц текста, напечатанного шрифтом 14 через полтора интервала, включая таблицы и библиографический список. Под заголовком в скобках следует указать, что это краткое сообщение. Допускается включение в краткое сообщение одного несложного рисунка, в этом случае текст должен быть уменьшен. Приводить в одном сообщении одновременно таблицу и рисунок не рекомендуется.

Количество авторов в кратком сообщении должно быть не более трех. Требования к оформлению рукописей и необходимой документации те же, что к оформлению статей.

Корректуры статей авторам, как правило, не посылают.

В случае возвращения статьи автору для исправления (или при сокращении) датой представления считается день получения окончательного текста.

Статьи, поступающие в редакцию, проходят гласную рецензию.

Статьи журнала индексируются в РИНЦ и представлены на сайте СибГИУ (www.sibsiu.ru) в разделе Наука и инновации (Периодические научные издания (Журнал «Вестник СибГИУ»)).

На д н о м е р о м р а б о т а л и

Темлянцев М.В., *главный редактор*

Новичихин А.В., *ответственный секретарь*

Бащенко Л.П., *ведущий редактор*

Запольская Е.М., *ведущий редактор*

Киселева Н.Н., *ведущий редактор*

Темлянцева Е.Н., *верстка*

Олендаренко Е.В., *менеджер по работе с клиентами*