

Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал
№ 5 (98)/2022 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

• **Штерензон Вера Анатольевна**

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Синьковский Антон Владимирович**

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

• **Штерензон Владимир Александрович**

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

• **Зыков Сергей Арленович**

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

• **Дронсейко Виталий Витальевич**

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Алексеев А.А., Алексеев П.А., Мокшанов Н.А.</i> ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ СБОРОК С ОБРАЗЦАМИ СВИДЕТЕЛЯМ3	<i>Tertyshnik E.G.</i> WAYS TO IMPROVE THE HEAT GENERATOR A. ROSSI22
<i>Neganov D.A., Makhutov N.A., Zorin A.E., Studenov E.P., Kolesnikov O.I.</i> FORECASTING OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF METAL WELDED CONNECTIONS OF PIPELINES AND TANKS, TAKING INTO ACCOUNT THE TIME PARAMETER OF WELDING9	<i>Фирстов А.П.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕСЧАНО-МАСЛЯНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ОТВЕРЖДЕНИИ НАГРЕТЫМ ВОЗДУХОМ26

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК:53.082.79

ОЦЕНКА РАДИОАКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ СБОРОК С ОБРАЗЦАМИ СВИДЕТЕЛЯМ

Алексеев Александр Григорьевич
старший научный сотрудник,
«НИЦ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино
Алексеев Павел Александрович
старший научный сотрудник, к.т.н
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г.Обнинск
Мокшанов Никита Андреевич
Инженер-исследователь 2-ой категории
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г.Обнинск

RADIOACTIVITY OF CONTAINER ASSEMBLY WITH REFERENCE SPECIMENS

Alexeev A.G.
NRC «Kurchatov Institute» – IHER
Alexeev P.A.
Mokshanov N.A.
JSC "SSC RF – IPPE"

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.98.1654

АННОТАЦИЯ

Приведена методика оценки радиоактивности контейнерной сборки с образцами свидетелями для реактора ВВЭР-1000 на примере Ростовской АЭС. Оценка основана на измерении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма излучения на расстоянии 1 м от контейнерной сборки и расчета накопленной активности основных радионуклидов в зависимости от типа стали, из которых изготовлены образцы свидетели.

ABSTRACT

A method for assessing the radioactivity of a container assembly with reference specimens for the VVER-1000 reactor is given using the Rostov NPP as an example. The assessment is based on measuring the ambient dose equivalent rate of gamma radiation at a distance of 1 m from the container assembly and calculating the accumulated activity of the main radionuclides depending on the type of steel from which the witness samples are made.

Ключевые слова: радионуклиды, образцы свидетели, удельная радиоактивность, АЭС

Keywords: Capsule assemblies specimens capsules, standard specimens, radionuclides, specific radioactivity

Введение

Важным условием для безопасности и ресурса атомных электростанций (АЭС) с реакторами ВВЭР-1000 является сохранение целостности корпуса реактора в аварийных ситуациях и на протяжении всего времени эксплуатации.

Влияние таких факторов как нейтронное облучение и высокие температуры приводят к изменению механических свойств материала корпуса реактора. Для получения информации об изменении свойств материала корпуса реактора применяют т.н. образцы-свидетели (ОС). Основой для использования программ образцов-свидетелей, реализуемых в России, служат нормативные документы [1, 2]. ОС располагаются в непосредственной близости к корпусу реактора в области с максимальной плотностью нейтронного потока и изготовлены из тех же материалов, что и корпус реактора (стали 15X2НМФА, 15X2НМФА-А), сварные швы (сталь Св-09ХГНМТА). Исследование механических свойств ОС проводится в специализированных лабораториях, например в НИЦ «Курчатовский институт». В

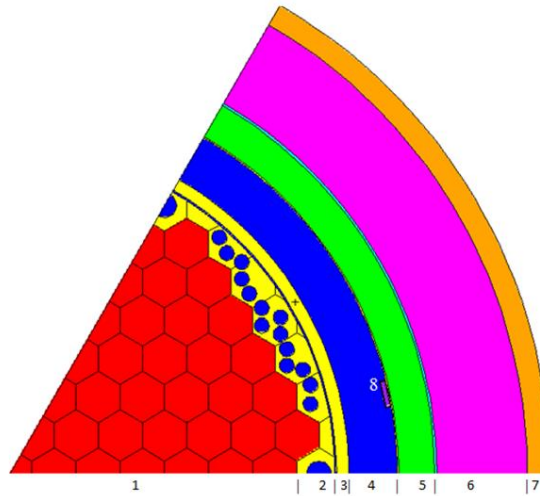
соответствии с нормативными требованиями [3] при транспортировке радиоактивных материалов между организациями необходимо провести паспортизацию – указать общую активность и активность основных радионуклидов. Определение активности радионуклидов является трудоемкой задачей, как с точки зрения применяемого оборудования, так и с точки зрения методического обеспечения такой работы.

Общую активность ОС, находящихся в контейнерных сборках (КС) измеряют при выгрузке из реактора во время ППР. Основываясь на данной информации, а также на расчетной оценке активности и изотопного состава облученных ОС разработана методика оперативного определения активности основных радионуклидов в облученных ОС с зависимостью от времени облучения и времени выдержки (времени прошедшего между остановом реактора и передачей ОС).

Расчетная оценка активности и изотопного состава ОС

Для расчета активности радионуклидов накопленных в ОС и КС первоначально определялся спектр нейтронов в месте расположения КС в реакторе ВВЭР-1000. Для этого в программе моделирования переноса излучения

методом Монте-Карло – MCNP [4], построена расчетная модель, учитывающая геометрию и материальный состав реактора. Расчетная модель представлена на рисунке 1.



1 – активная зона; 2 – выгорodka; 3 – внутрикорпусная шахта; 4 – вода;
5 – корпус ядерного реактора 6 – воздух 7 – теплоизоляция; 8 – контейнер с ОС

Рисунок 1 – Расчетная модель реактора

При расчете спектра нейтронов использовались библиотеки оцененных ядерных данных ENDF-B7 [5].

Используя программный комплекс расчёта активации конструкционных материалов, получены активности радионуклидов в КС и ОС. В состав программного комплекса входят программы подготовки групповых констант из файлов оцененных данных; библиотека ядерно-физических данных; алгоритмы расчёта радиационных характеристик продуктов деления и наведенной активности.

Библиотека ядерно-физических данных включает в себя: библиотеки свойств радионуклидов; групповые сечения активации; независимый выход продуктов деления групповые характеристики γ -излучения, α - и β -излучения.

В общем случае алгоритм расчёта радиационных характеристик состоит в следующем: до момента останова реактора накапливаются осколки деления и нарабатываются продукты активации, происходят радиоактивный распад и выгорание продуктов радиоактивного распада; после останова реактора – только распад радионуклидов.

В основу алгоритма расчёта, который позволяет получить зависящие от времени активности образца по каждому изотопу (Бк), массы активных и стабильных изотопов (кг), групповые спектры γ - и β -излучения всего образца, заложены аналитические решения балансных дифференциальных уравнений.

В программном комплексе расчет наведенной активности выполняется для среднего спектра нейтронов в заданном объёме.

Расчет проводился для ОС из трех типов сталей Св-09ХГНМТА, 15Х2НМФА, 15Х2НМФА-А и для КС из стали 08Х18Н10Т.

В результате проведенных расчетов были получены изотопный состав облученных ОС и КС состоящий из более чем 100 изотопов (см. таблицу 1). Далее изотопы, имеющие наибольшую активность, отобраны для дальнейшего анализа и учета в разрабатываемой методике.

На рисунке 2 показана зависимость активности сталей ОС и КС от времени.

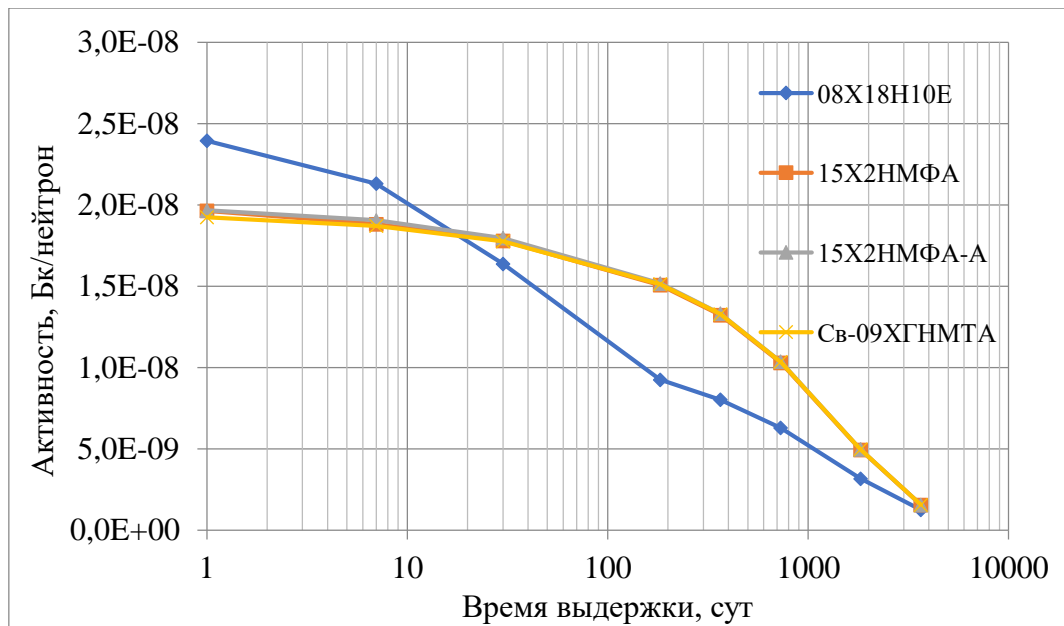


Рисунок 2 – Изменение активности сталей после облучения

Для основных радионуклидов амбиентного эквивалента выполнен расчет мощности дозы (МАЭД) на расстоянии 1 м от КС при условии равномерного распределения радионуклидов по объему КС с ОС и с учетом реальной конструкции КС с ОС.

Таблица 1

Перечень изотопов, учитываемых при расчете

Изотоп						
1-H-3	13-Al-30	22-Ti-51	26-Fe-53	28-Ni-63	40-Zr-90	41-Nb-98
3-Li-8	14-Si-31	23-V-48	26-Fe-55	28-Ni-65	40-Zr-93	41-Nb-100
4-Be-8	14-Si-32	23-V-49	26-Fe-59	29-Cu-62	40-Zr-95	42-Mo-91
4-Be-10	14-Si-33	23-V-50	26-Fe-60	29-Cu-64	40-Zr-96	42-Mo-93
4-Be-11	15-P-30	23-V-52	26-Fe-61	29-Cu-66	40-Zr-97	42-Mo-99
5-B-12	15-P-32	23-V-53	27-Co-56	31-Ga-72	40-Zr-98	42-Mo-101
5-B-13	15-P-33	23-V-54	27-Co-57	31-Ga-73	41-Nb-90	43-Tc-99
6-C-11	15-P-34	24-Cr-49	27-Co-58	32-Ge-73	41-Nb-90	43-Tc-101
6-C-14	15-P-35	24-Cr-51	27-Co-60	32-Ge-75	41-Nb-91	-
6-C-15	15-P-36	24-Cr-55	27-Co-61	33-As-74	41-Nb-92	-
12-Mg-27	16-S-35	25-Mn-53	27-Co-62	33-As-76	41-Nb-93	-
13-Al-26	16-S-37	25-Mn-54	27-Co-63	39-Y-88	41-Nb-94	-
13-Al-28	21-Sc-47	25-Mn-56	27-Co-64	39-Y-89	41-Nb-95	-
13-Al-29	21-Sc-48	25-Mn-57	28-Ni-57	40-Zr-88	41-Nb-96	-
13-Al-30	21-Sc-49	25-Mn-58	28-Ni-59	40-Zr-89	41-Nb-97	-

Методика определения активности

Непосредственный расчет активности радионуклидов накопленных в ОС при облучении проводится по следующей схеме:

пределяется МАЭД от КС и от ОС в КС:

$$H_{КС}^*(10) = H^*(10) \cdot (2 \cdot M_{КС} / M_{КС+ОС}) \cdot D_{КС}$$

$$H_{ОС}^*(10) = H^*(10) - H_{КС}^*(10)$$

где $D_{КС}$ – относительный вклад в МАЭД КС при одинаковой массе КС и ОС (см. рисунок 3)

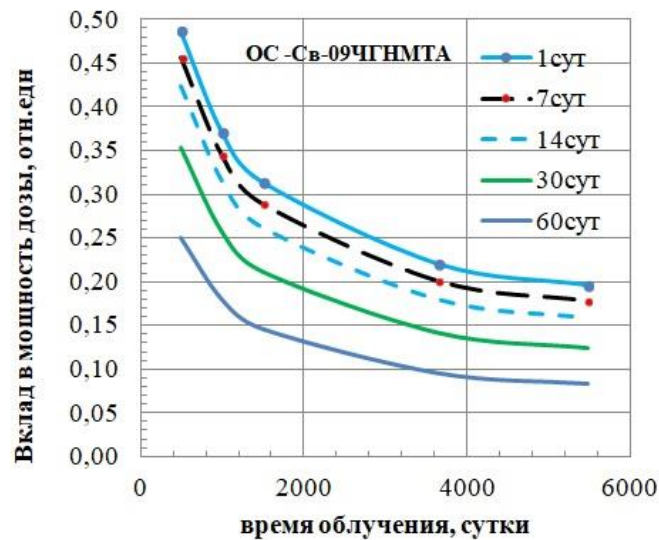


Рисунок 3 – Вклад в мощность дозы от контейнера с ОС (Св-09ХГНМТА) в зависимости от времени облучения.

ассчитывается МАЭД от реперного радионуклида ^{54}Mn , содержащегося в КС и ОС.

$$H_{\text{КС Mn}}^*(10) = H_{\text{КС}}^*(10) \cdot R_{\text{Mn КС}}$$

$$H_{\text{ОС Mn}}^*(10) = H_{\text{ОС}}^*(10) \cdot R_{\text{Mn ОС}}$$

где $R_{\text{Mn КС}}$ и $R_{\text{Mn ОС}}$ – относительные вклады в МАЭД реперного радионуклида ^{54}Mn , содержащегося в КС и ОС соответственно. $R_{\text{Mn ОС}}$ для ОС из Св-09ХГНМТА показан на рисунке 4.

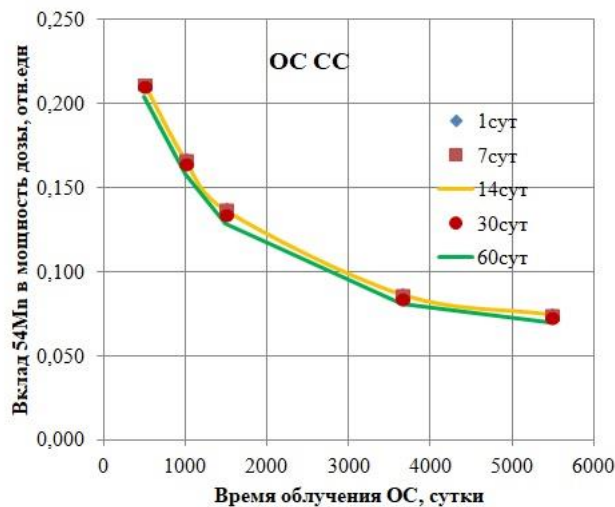


Рисунок 4 – Относительный вклад ^{54}Mn в мощность дозы от ОС ($R_{\text{Mn ОС}}$) из Св-09ХГНМТА от времени облучения и времени выдержки после останова реакторной установки

ассчитывается активность реперного радионуклида ^{54}Mn , содержащегося в КС и ОС.

$$A_{\text{КС Mn}} = H_{\text{КС Mn}}^*(10) [\text{мкЗв/ч}] / (8,78 \cdot 10^{-8} [(\text{мкЗв/ч})/\text{Бк}])$$

$$A_{\text{ОС Mn}} = H_{\text{ОС Mn}}^*(10) [\text{мкЗв/ч}] / (8,78 \cdot 10^{-8} [(\text{мкЗв/ч})/\text{Бк}])$$

пределяется суммарная активность радионуклидов в КС

$$A_{\text{КС}} = A_{\text{КС Mn}} \cdot a_{\text{КС}}$$

$$A_{\text{ОС}} = A_{\text{ОС Mn}} \cdot a_{\text{ОС}}$$

где $a_{\text{КС}}$, $a_{\text{ОС}}$ – отношение суммарной активности к активности ^{54}Mn для КС и ОС соответственно. Зависимость $a_{\text{КС}}$ от времени облучения и выдержки показана на рисунке 5.

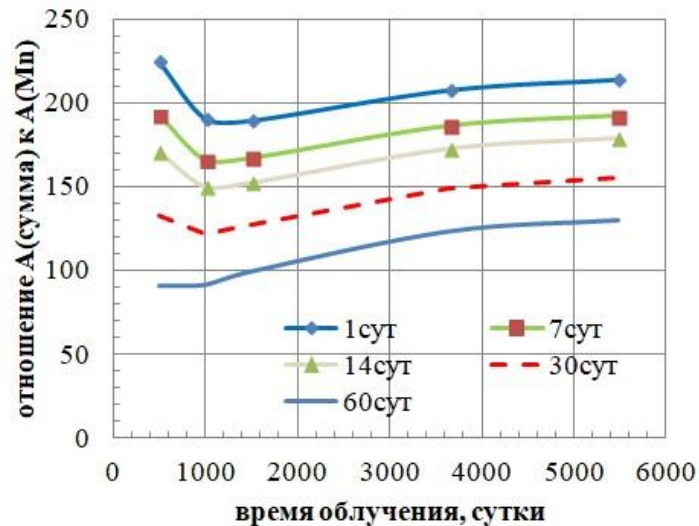


Рисунок 5 – Отношения суммарной активности к активности ^{54}Mn в КС от времени облучения и времени выдержки после останова РУ

асчет активности основных радионуклидов проводится методом радионуклидный векторов.

$$A_i = A_{KCi} + A_{OCi}$$

$$A_{KCi} = A_{KCMn} \cdot K_{KCi}$$

$$A_{OCi} = A_{OCMn} \cdot K_{OCi}$$

где A_i – активность радионуклида; K_{KCi} и K_{OCi} радионуклидные вектора.

Методология радионуклидного вектора используется для оценки активности трудноизмеряемых радионуклидов [6]. Под трудноизмеряемыми понимаются радионуклиды имеющие бета излучение и трудноизмеряемое гамма излучение. Специальными исследованиями

устанавливается соотношение между удельной активностью хорошо регистрируемыми гамма активными радионуклидами (реперами) и удельной активностью трудноизмеряемых радионуклидов. Затем по результатам измерения удельной активности «реперных» радионуклидов оценивается удельная активность трудноизмеряемых радионуклидов.

Результаты

В таблице 2 приведены результаты расчета для ОС из 15X2НМФА-А облучаемых в течение 10 лет и выдерживаемых в течении 14 дней до измерения. Измеренная мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) от КС с ОС составила 550 мкЗв/ч. В таблице 3 представлены активности основных радионуклидов в облучённых КС и ОС

Таблица 2

Результаты расчетов активности КС с ОС

Параметр		Результат
МАЭД от КС и от ОС в КС	[мкЗв/ч]	0,450E+02
МАЭД от реперного радионуклида Mn-54 в КС	[мкЗв/ч]	0,113E+02
Активность от реперного радионуклида Mn-54 в КС	[Бк]	0,137E+09
Суммарная активность радионуклидов в КС	[Бк]	0,237E+11
МАЭД от ОС в КС	[мкЗв/ч]	0,505E+03
МАЭД от реперного радионуклида Mn-54 в ОС	[мкЗв/ч]	0,454E+02
Активность от реперного радионуклида Mn-54 в ОС	[Бк]	0,554E+09
Суммарная активность радионуклидов в ОС	[Бк]	0,380E+11
Суммарная активности радионуклидов, накопленных в КС с ОС	[Бк]	0,617E+11

Таблица 3

Активность основных радионуклидов

Изотоп	Активность радионуклидов [Бк]		
	КС	ОС	Сумма
15-P-32	0,671E+07	0,855E+07	0,153E+08
21-Sc-46	0,421E+06	0,000E+00	0,421E+06
24-Cr-51	0,113E+11	0,260E+10	0,139E+11
26-Fe-55	0,113E+11	0,319E+11	0,431E+11
26-Fe-59	0,262E+09	0,750E+09	0,101E+10
27-Co-58	0,264E+09	0,000E+00	0,264E+09
27-Co-60	0,241E+07	0,198E+10	0,198E+10
28-Ni-63	0,365E+09	0,828E+08	0,448E+09
42-Mo-99	0,632E+06	0,335E+07	0,398E+07
43-Tc-99	0,611E+06	0,322E+07	0,384E+07
74-W-185	0,467E+08	0,000E+00	0,467E+08
74-W-187	0,703E+05	0,000E+00	0,703E+05

Как видно из таблиц 2 и 3 90% активности КС и ОС составляют трудноизмеряемые изотопы 24-Cr-51 и 26-Fe-55.

Заключение

Разработана методика оперативного определения активности основных радионуклидов в облученных образцах-свидетелях с зависимостью от времени облучения и времени выдержки. Входными данными для методики являются значения времени облучения, времен выдержки, масса контейнера (масса образцов свидетелей и тип стали ОС) и измеренная мощность дозы от контейнера с образцами-свидетелями. Оценка активности радионуклидов, накопленных в облученных образцах-свидетелях, проводится методом радионуклидного вектора. По результатам работы оформлен нормативный документ [7]. Работы выполнялась в рамках договоров между Ростовской АЭС и ООО «АтомПромИнжиниринг» при личном участии Генерального директора А.Ю.Соколова.

ССЫЛКИ

ПНАЭ Г-7-008-89 Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. 2-е издание, исправленное и дополненное /Госатомэнергонадзор СССР. Москва. Энергоатомиздат, 1990 г.

ПНАЭ Г-7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и

трубопроводов атомных энергетических установок /Госатомэнергонадзор СССР. Москва. Энергоатомиздат, 1989 г.

НП 053-04 Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов./ <https://meganorm.ru/Index2/1/4293850/4293850683.htm> (от 12.09.2022)

MCNP – General Monte Carlo N-Particle Transport code. LA-12625-M, Vers. 4B, 1997.

M.B. Chadwick, et al., "ENDF/B-VII.0: Next Generation Evaluated Nuclear Data Library for Nuclear Science and Technology", Nuclear Data Sheets, Vol. 107, Number 12, Dec 2006, UCRL-JRNL-225066 (2006).

ISO 21238: 2007, The Scaling Factor method to determine the radioactivity of low- and intermediate-level radioactive waste packages generated at nuclear power plants

Контроль активности радионуклидов, накопленных в контейнерной сборке с образцами – свидетелями. Энергоблоки 1-4 Ростовской АЭС/ МПК №-81632696-0027-2022 Свидетельство об аттестации методики измерений № 027-01.00281-2013-2022 от 27.07.2022г/ Регистрационный код методики измерений по Федеральному реестру № ФР.1.38.2022.43906.

UDC 621.791.011

FORECASTING OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF METAL WELDED CONNECTIONS OF PIPELINES AND TANKS, TAKING INTO ACCOUNT THE TIME PARAMETER OF WELDING

*D.A. Neganov, N.A. Makhutov, A.E. Zorin,
E.P. Studenov, O.I. Kolesnikov*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.98.1653

ANNOTATION

The article presents the results of experimental studies of the relationship between the welding reference variables (chemical composition of welding materials, welded elements, welding conditions), the structure formed in the welded joint, its basic mechanical properties (ductility, strength, impact toughness), and crack resistance parameters. The research consisted in carrying out standard and special tests, as well as studying the structure of the metal after heat treatment at various cooling rates. To confirm the established relationships, tests of circumferential welded joints of pipes and sheets of tanks, welded according to the technologies used in the Transneft PJSC, were carried out.

As a result, a model has been developed for predicting the mechanical properties of welded joints according to data of various levels. It was elucidated the quantitative effect of the cooling rate and structure parameters on the main mechanical properties of the welded joint. Also, empirical expressions were obtained connecting the group of mechanical properties of the metal (the ratio of the yield strength to the tensile strength, relative elongation, impact toughness), combined into a "complex coefficient of durability", and the metal crack resistance parameters used in the force criterion of fracture mechanics.

The greatest practical effect from the implementation of the developed model is achieved with the introduction of differentiated decreasing coefficients within the framework of computation for strength and durability, depending on the level of data on the welded joint used in the calculations.

Keywords: forecasting of mechanical properties, welding, circumferential welded joints, weld structure, pipeline, tank, crack resistance, load-bearing capacity

Introduction

Welded joints are one of the highly risk points in the structure of oil pipelines and tanks [1-3]. In the process of welding, the zone of the welded joint is affected by significant thermal and mechanical effects, which causes both structural changes in the metal and changes in its stress strain behavior. Ergo, forecasting the durability of welded joints becomes a much more difficult task, and their reliability naturally decreases (due to the occurrence of defects, the possibility of deviation of welding conditions from optimal values, the presence of difficult-to-predict welding stresses, etc.). First of all, this applies to mounting welded joints performed in the field, where the performance of works and their quality control are much more complicated, in comparison with factory environment.

In this regard, the improvement of methodological approaches to assessing the technical condition of welded joints of oil pipelines and tanks to determine and predict their durability is a relevant objective.

At the Transneft PJSC, the decision to repair or replace welded joints containing defects is based on the

results of calculating the strength and durability of the defective zone. The calculation methods used in this case are based on both deformation criteria for reaching of limit state and force criteria of destruction.

The chosen calculation method determines the corresponding composition of special characteristics of the metal used as initial data (for example, destructive strain rate, critical stress intensity factor (SIF), etc.). Their characterization for the whole variety of steels used in the construction and repair of oil pipelines and tanks, welding technologies, welding materials, etc. is a separate and very time consuming task. At the same time, the experience of Transneft Research Institute LLC, as well as information from open sources [4] indicate the correlation of these parameters with the basic mechanical properties of the metal, which are determined by its structural state formed as a result of the imposition of a thermal welding cycle (in the case of welded joints). That is, there is a correlation shown in Figure 1.

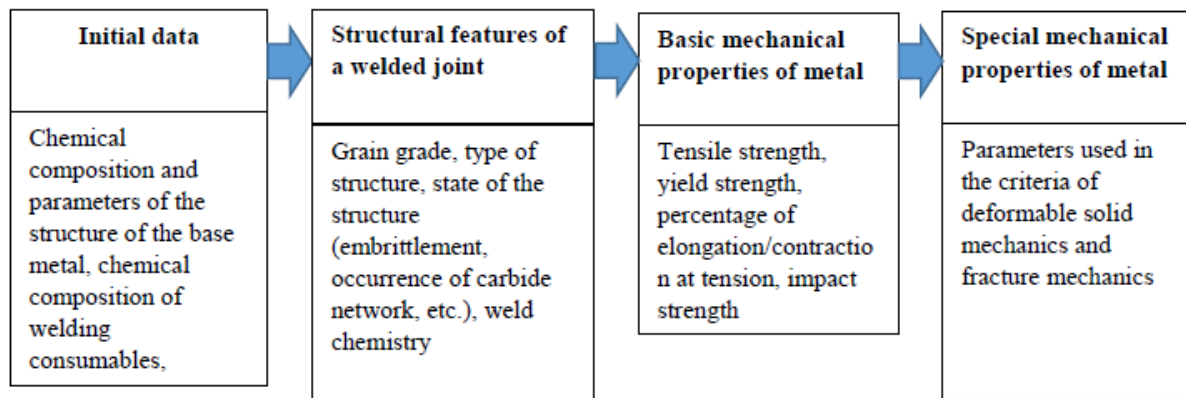


Figure 1 – The co-relation of different levels of data on the welded joint

Thus, the determination of an empirical correlation of the blocks presented in Figure 1 will allow, in the absence of the necessary initial data, to refine them based on the available information of another level, and, at the same time, to expand the scope of the actual data on the welded joint obtained at the stage of its operation.

Experimental technique

The experimental studies performed were divided into two stages.

At the first stage, the influence of the thermal cycle of welding was being determined in the

maximum possible range of cooling rates over the formed structure of the metal of the welded joint and its mechanical characteristics (including special properties used in the force criterion of fracture mechanics: critical SIF K_{Ic} , parameters of cyclic crack resistance C and n).

A pipe of strength class K56, with a diameter of 1220 mm and a wall thickness of 12.0 mm, was selected for research.

16 templates were cut from the pipe, which were then heat-treated with the parameters given in Table 1.

Table 1

Templates heat treatment parameters

No.	Heating temperature $T_{max}, ^\circ C$	Holding time at temperature T_{max}, sec	Cooling rate in the temperature range $Ac3-Ac1, ^\circ C/sec$
1	1100	10	0.5
2			1.5
3			3
4			6
5			10
6			40
7			70
8			80
9	900	15	0.5
10			1.5
11			3
12			6
13			10
14			40
15			70
16			80

To perform heat treatment, a KEP 50/1250 batch-type furnace for metals was used. The cooling rate was controlled using thermocouples.

Then, samples were made from each template for metallographical observations and mechanical tests (Table 2).

Table 2

Composition of tests and studies for each heat-treated template

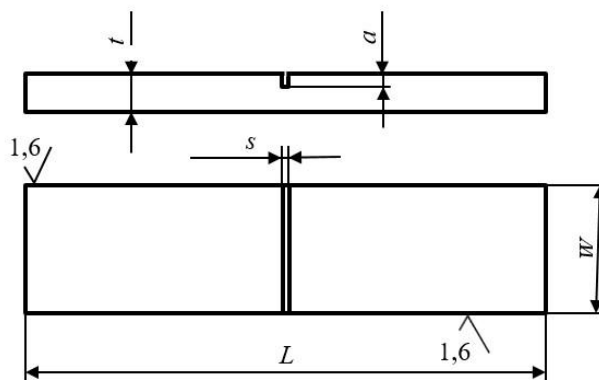
Item No.	Mode of test	Number of samples, pcs.	Testing technique, determinable parameters
1	Cylindrical testpiece tensile test	5	Tests in accordance with GOST 1497 ¹ with determination of: tensile strength σ_v ; yield strength σ_t ; percentage of elongation δ ; - contraction ratio ψ .
2	Impact bending	5	Tests in accordance with GOST 9454 ² with the determination of impact strength KCV ₋₂₀
3	Cyclic crack resistance	3	Tests with determination of: number of cycles to fracture; critical SIF K_{Ic} ; parameters of cyclic crack resistance C and n
4	Determination of the structural and phase composition	1	Research in accordance with GOST 5639 ³ , GOST 5640 ⁴ , GOST 8233 ⁵ with determination of: content of microconstituents; grain grade

Separately, it is necessary to dwell on the test method for cyclic crack resistance. The samples, the configuration of which is shown in Figure 2, were stress-cycled with the parameters: maximum tensile rated stress in a cycle is $0.8 \sigma_t$; the cycle asymmetry coefficient (in terms of stresses) $R = 0.1$; the test base is 10^5 cycles (or till destruction). Crack growth was monitored every 1000 stress cycles. For this, specially applied reference points and magnifying optical devices were used. In addition, an extensometer was installed at the place where the stress concentrator was applied. The test results were used to construct curves of crack growth rate versus stress intensity factor range

(CCGR), from which the parameters C and n were determined using the method described in [5, 6], as well as the critical SIF K_{Ic} (SIF K_I at the critical crack depth) according to the expression from [7]:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} F_I(\alpha) \quad (1)$$

where σ is the nominal stress in the sample, MPa;
 $\alpha = a/t$;
 $F_I(\alpha) = 1,12 - 0,231\alpha + 10,55\alpha^2 - 21,72\alpha^3 + 30,39\alpha^4$



$W = 20 \text{ mm}; L = 200 \text{ mm}; t = 11 \text{ mm}; a = 0.1t; s = 0.2 \text{ mm}$

Figure 2 – Configuration of the test specimen for cyclic crack resistance

The values of the characteristics of the static and cyclic crack resistance of the metal (in our case, the constants K_{Ic} , C and n) may depend on the method of their preparation [8]. That is, the values of the constants

determined in laboratory conditions on standard samples can differ significantly from the values characteristic of the configuration in its real operating conditions.

¹ GOST 1497-84 Metals. Tensile test methods.

² GOST 9454-78 Metals. Impact test method at low, room and high temperatures.

³ GOST 5639-82 Steels and alloys. Methods for identifying and determining the size of the grain.

⁴ GOST 5640-68 Steel. Metallographic method for assessing the microstructure of sheets and strips.

⁵ GOST 8233-56 Steel. Microstructure standards.

Therefore, in order to confirm the universality of the results obtained within the framework of the crack resistance tests described above, model tests similar in purpose were carried out, in which both the configuration of the surface semielliptical crack and the stressed-deformed state of the pipeline under the action of internal pressure were reproduced.

To carry out model tests, four circular welded joints were made, welded by automatic welding with a solid wire in shielding gases from pipes of K56 steel grade from various manufacturers, with wall thickness of 12.0 mm and diameter of 1220 mm.

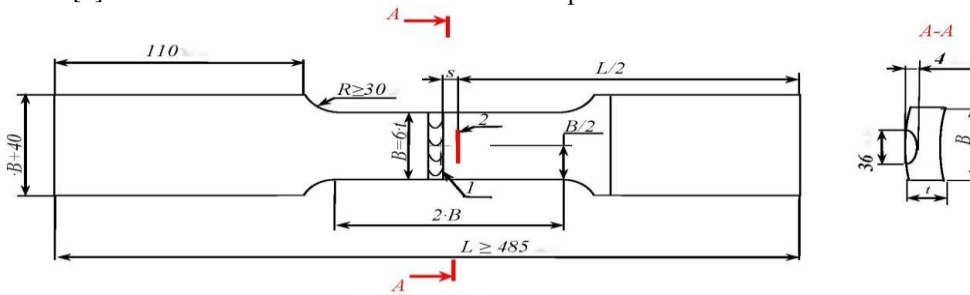
During welding, a thermal cycle was recorded, which made it possible to determine the absolute heating temperature and calculate the cooling rate of the metal in various zones of the welded joint using the procedure from [9].

Samples for testing were cut from the manufactured circular welded joints, according to the configuration shown in Figure 3. The weld seam reinforcement on the samples was removed, and a surface semi-elliptical crack-like stress concentrator was applied along the welded joint with a length of 36 mm, a depth of 4 mm, and a width of 0.2 mm. Concentrator application areas:

$s = 0$ mm - fusion line (FL);

$s = 2$ mm from the fusion line (FL+2); $-s = 5$ mm from the fusion line (FL-5).

If the condition is met $B \geq 6t$, uniaxial tension of this specimen configuration makes it possible to realize a stressed-deformed state in its central part across the width, similar to that which arises in a pipeline when it is loaded with internal pressure [10]. A total of 72 samples were made.



1 – welded seam; 2 – stress concentrator

Figure 3 – Configuration of segmental specimens

The sample testing program provided for their cyclic loading on the basis of 10^5 cycles (or till destruction).

Loading parameters consisted of two stages: The maximum load in the cycle is $0.9 \cdot \sigma_t$. Cycle ratio is $R = 0.1$. Duration of loading is 10^4 cycles.

The maximum load in the cycle is $0.45 \cdot \sigma_t$. Cycle ratio is $R = 0.1$. Duration of loading is $5 \cdot 10^3$ cycles.

The implementation of the above loading parameters was carried out in turn, during the entire number of cycles (or till destruction). This approach makes it possible to obtain different fracture roughness at stages 1 and 2 of loading, as a result of different rates

of crack growth, which makes it possible to determine the kinetics of its development [11].

Also, as in the case of testing samples with the structure shown in Figure 2, upon completion of the model tests, CCGR were built, from which the parameters of crack resistance K_{Ic} , C and n were determined. Taking into account the loading scheme of the samples and the parameters of the applied crack-like concentrators, the expression from API 579/ASME FFS-1 was used to calculate the K_I ⁶:

$$|K_I| = \sigma_\Phi \frac{\sqrt{\pi \cdot H}}{\Phi} \cdot F_{tr} \quad (2)$$

$$\text{where } \Phi = \sqrt{1,0 + 1,464 \cdot \left(\frac{H}{a}\right)^{1,65}}$$

$$F_{tr} = M_1 + M_2 \cdot \left(\frac{H}{\delta}\right)^2 + M_3 \cdot \left(\frac{H}{\delta}\right)^4$$

$$M_1 = 1,13 - 0,09H/a$$

$$M_2 = -0,54 + \frac{0,89}{0,2 + H/a}$$

$$M_3 = 0,5 - \frac{1}{0,65 + H/a} + 14(1 - H/a)^{2,4}$$

⁶ API 579/ASME FFS-1 Fitness For Service. Fitness For Service (American Society of Mechanical Engineers, ASME, 2007), USA

σ_f is nominal stress perpendicular to the plane of the crack at the point at which the defect is located, МПа; H is the depth of the calculated crack, mm; a is half-length of the calculated crack, mm.

At the second stage, the determined empirical correlations were checked.

For this purpose, circular welded joints of pipes and butt welded joints of sheets of the tank wall were made using welding technologies approved for use in the Transneft PJSC (see Table 3).

Table 3

The scope of welded joints prepared for testing at the second stage

Item No.	Welding technology	Pipe diameter, mm	Sheet size (length x width), mm	Number of welded joints, pcs.
Circular welded pipe joints				
1	MMA*	720-1220	-	12 (3 welded joints each for four different pipe manufacturers)
2	MMA+FCAW-S*	720-1220	-	12 (3 welded joints each for four different pipe manufacturers)
3	MWSG-AG+AWFCW-AG*	720-1220	-	12 (3 welded joints each for four different pipe manufacturers)
4	AWSG-AG*	720-1220	-	12 (3 welded joints each for four different pipe manufacturers)
5	MMA+ASMAW*	720-1220	-	12 (3 welded joints each for four different pipe manufacturers)
Butt welded joints of the tank wall sheets				
6	MMA*	-	1500x300	6
7	MWSG-AG*	-		6
8	AWFCW-AG*	-		6
9	MWSG-AG+ASMAW*	-		6

* MMA – manual metal-arc welding with a basic coated stick electrode ; FCAW-S - fluxcored automated welding - self-shielded filler wire; MWSG-AG - mechanized welding with solid wire in active gases and mixtures; AWFCW-AG - automatic flux-cored wire welding in active gases and mixtures; AWSG-AG - automatic welding with solid wire in active gases and mixtures; ASMAW - automatic submerged-arc welding.

Samples were cut from the welded coils and sheets for research and testing of various zones of the welded joint (weld metal, fusion line, sections of the weldaffected zone), similar to those shown in Table 2.

Results

Processing the results of laboratory tests and metallographical observations of thermally treated

templates made it possible to build an empirical diagram reflecting the relative change in the basic mechanical properties of the metal as the rate of its cooling increases (Figure 4). The determined correlation is also associated with structural changes occurring in the metal, caused by the action of the thermal cycle (see Figure 4).

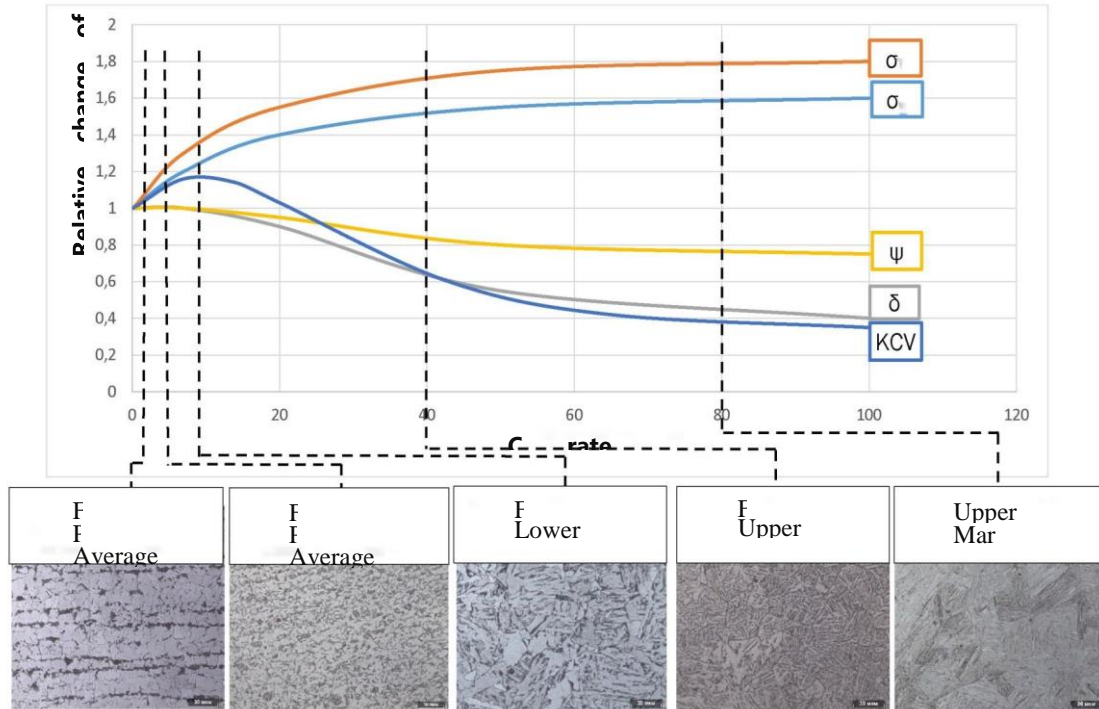


Figure 4 – Influence of the metal cooling rate in the Ac1-Ac3 temperature range on its basic mechanical properties

9

The correlation shown in Figure 4 turned out to be little sensitive to the maximum heating temperature (900 and 1100 °C), and therefore it can be accepted as universal for all cases of metal heating above the Ac3 temperature. When the metal is heated to a temperature below Ac3, the quantitative effect of the cooling rate on the basic mechanical properties of the metal can be corrected by the correction factor K :

$$K = 1 - \frac{T_{Ac3} - T_{max}}{T_{max} - T_{Ac3}}, \text{ at } T_{Ac1} \leq T_{max} \leq T_{Ac3} \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{Ac3} - T_{Ac1} \\ K = 0, \text{ at } T_{max} < T_{Ac1} \end{array} \right.$$

where T_{Ac1} , T_{Ac3} are, respectively, the temperatures of the beginning and end of phase transformations in the metal, °C; T_{max} is a maximum heating temperature during welding, °C.

From the data presented in Figure 4, it can be seen that the basic mechanical properties are determined by the structural state of the metal.

At a cooling rate in the range of 0.5 - 6 °C/sec, the metal is characterized by a ferrite-pearlite structure, the σ_t - yield strength; σ_v - tensile strength; δ - percentage of elongation; ψ - contraction ratio; KCV - impact toughness

average score of which increases from 9 to 11 according to GOST 5639-826, as the cooling rate increases. Based on the change in properties in the above range, the following expressions were obtained,

reflecting the effect of the average grain size of the ferrite-pearlite matrix:

on the values of impact toughness KCV:

$$K_{KCV} = 0,1\Delta N + 1 \quad (4)$$

on the values of tensile elongation δ and ultimate tensile strength δ and yield value σ_v :

$$K_{\sigma v} = K_{\delta} = 0,05\Delta N + 1 \quad (5)$$

where K_{KCV} , $K_{\sigma v}$, K_{δ} is respectively, the correction coefficients of the values of impact toughness, ultimate strength and percentage of elongation, depending on the value of the average grain grade of the ferrite-pearlite matrix; ΔN is a change in the value of the average grain grade of the ferrite-pearlite matrix according to GOST 5639-826, relative to the initial state (for which the mechanical properties are known).

No effect of grain size on the values of properties such as yield strength σ_t and tensile contraction σ_t and tensile contraction ratio ψ was found.

Beginning with a cooling rate of 10 °C/sec, a bainite structure was formed in the metal. Moreover, at lower cooling rates (about 10 °C/sec), the lower bainite with its characteristic lamellar morphology was

identified [12-14], and at higher cooling rates (about 40 °C/sec), the upper bainite with a plumose structure [12-14] (see Figure 4).

The bainite morphology had a very noticeable effect on the properties of the metal. Thus, during cooling at a rate of 10 °C/sec, increased strength and stable plastic characteristics of the metal were recorded, which ensured the highest values of its impact toughness. Upon cooling at a rate of 40 °C/sec, a further increase in strength characteristics and a significant

metal ductility dip in both the plasticity of the metal and the values of its impact toughness were observed.

Since no other structural changes were observed in the considered range of cooling rates (in particular, the appearance of quenching structures), the results obtained were used to determine the quantitative effect of the bainite structure on the mechanical properties of the welded joint (Table 4). Moreover, in this case, it is advisable to determine the effect of bainite irrespective of its exact amount, but only upon actual detection (depending on morphology).

Table 4

Influence of the bainitic structure of the metal on the properties of the welded joint

Structure name	Influence on metal properties				
	Tensile strength σ_v	Yield strength σ_t	Percentage of elongation δ	Contraction ratio ψ	Impact toughness KCV
Upper bainite (plumose)	+15%	+15%	-15%	-10%	-25%
Lower bainite (laminar)	+10%	+10%	0%	0%	+15%

Similarly, the influence of the quenching structure (martensite) in the metal detected at cooling rates of

about 60-80 °C/sec was being determined (see Figure 4), presented in Table 5.

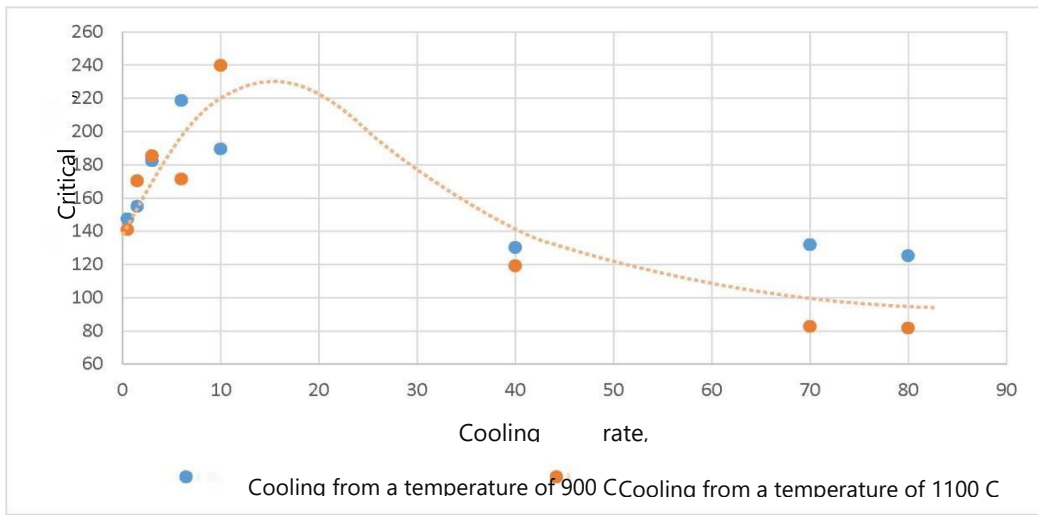
Table 5

Influence of the martensitic structure of the metal on the properties of the welded joint

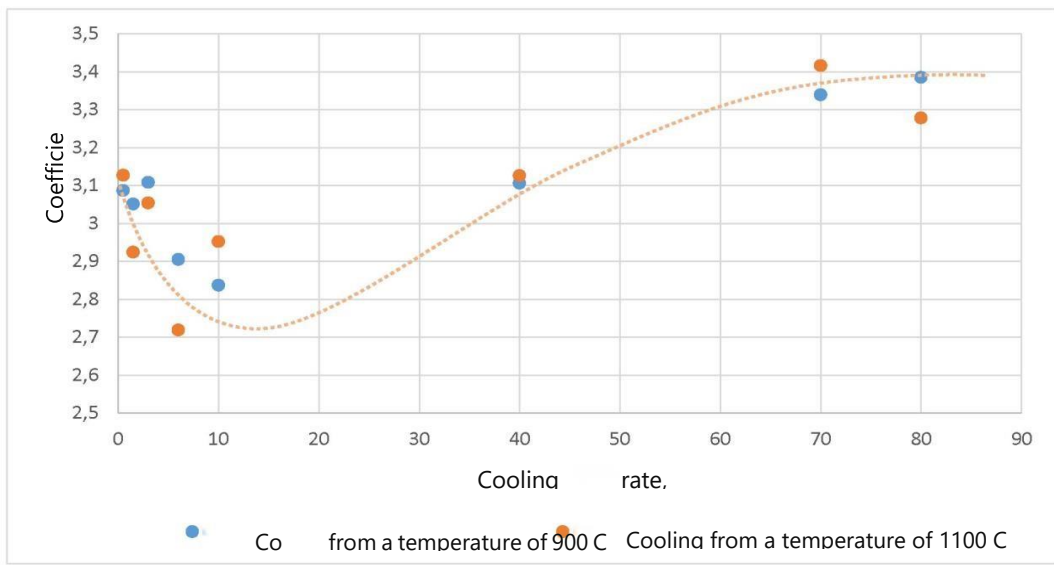
Structure name	Influence on metal properties				
	Tensile strength σ_v	Yield strength σ_t	Percentage of elongation δ	Contraction ratio ψ	Impact toughness KCV
Martensite	+40%	+50%	-50%	-25%	-60%

Tests for the cyclic crack resistance of specimens with the structure shown in Figure 2 made it possible to obtain the correlation between the values of the

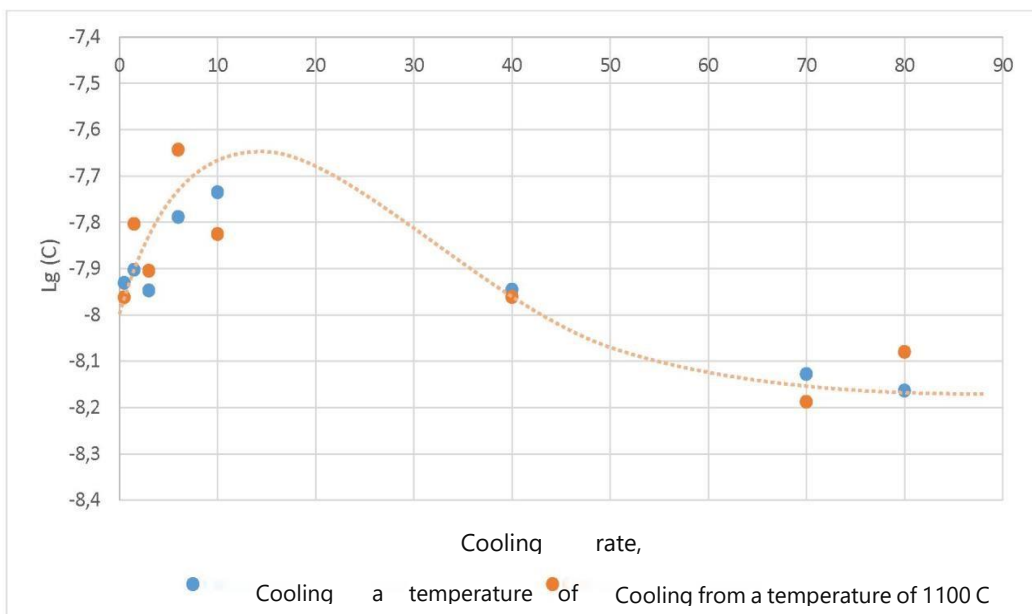
parameters K_{Ic} , C and n with the metal cooling rate (Figure 5).



a



b



c

Figure 5 – Dependence of crack resistance parameters on the metal cooling rate a – for K_{1c} ; b – for n ; c – for C

The reliability and universality of the data obtained was being assessed by comparing them with the test results of segment specimens with the structure shown in Figure 3. The values obtained at cooling rates close to those that occurred in the FL zones, FL + 2 and FL + 5 when welding the coils were being compared (Table 6).

Table 6 shows that the spread of the parameters of crack resistance of the metal of two structures of specimens with different types of stress concentrators is small. The greatest differences are observed in the average K_{Ic} values at a cooling rate characteristic of the FL zone, which can be explained by the difference in

the chemical composition (in segmented specimens in this zone, the chemical composition is also affected by the welding consumables). In other cases, the crack resistance parameters are similar. This result demonstrates that the use of a compact specimen structure for testing (see Figure 2) allows us to obtain reliable parameters of metal crack resistance.

Comparing the diagrams from Figures 4 and 5, it can be seen that the change in the parameters of crack resistance is associated with a change in the basic mechanical properties: high impact toughness and plasticity of the metal correspond to high values of crack resistance parameters and vice versa.

Table 6

Average values of crack resistance parameters of two types of specimens at similar cooling rates

Crack resistance parameter	Average value for specimens in Figure 3	Average value for specimens in Figure 2	Error
	Concentrator application area: FL	Heat treatment conditions No. 2 from the Table 1	
K_{Ic}	126.74	170.31	-25.6%
$Lg(C)$	-7.95	-7.80	-1.9%
n	3.107	2.924	+6.2%
	Concentrator application area: FL+2	Heat treatment conditions No. 3 from the Table 1	
K_{Ic}	172.11	185.36	-7.15%
$Lg(C)$	-7.92	-7.91	+0.1%
n	3.071	3.054	+0.1%
	Concentrator application area: FL+5	Heat treatment conditions No. 11 from the Table 1	
K_{Ic}	160.42	182.33	-12.01%
$Lg(C)$	-7.88	-7.95	-0.9%
n	3.018	3.108	-2.9%

Based on this pattern, an attempt was made to obtain an empirical expression linking these characteristics.

The analysis showed that the key basic properties that should be used to achieve this goal are tensile elongation δ , impact strength KCV_{-20} and the ratio of yield strength to ultimate tensile strength σ_t/σ_v . The KCV values obtained at a temperature of $-20\text{ }^\circ\text{C}$ are

used due to their greater sensitivity to changes in the metal. Moreover, in order to achieve the best correlation between the above properties and the crack resistance parameters K_{Ic} , C and n , the former should be considered together, through the proposed "complex coefficient of metal durability" K_Σ , calculated as:

$$K_\Sigma = \frac{27,5(1 - e^{-\frac{\delta}{0,225}}) \cdot 0,11(KCV_{-20})}{2,37e^{1,74(\sigma_t/\sigma_v)}} \tag{6}$$

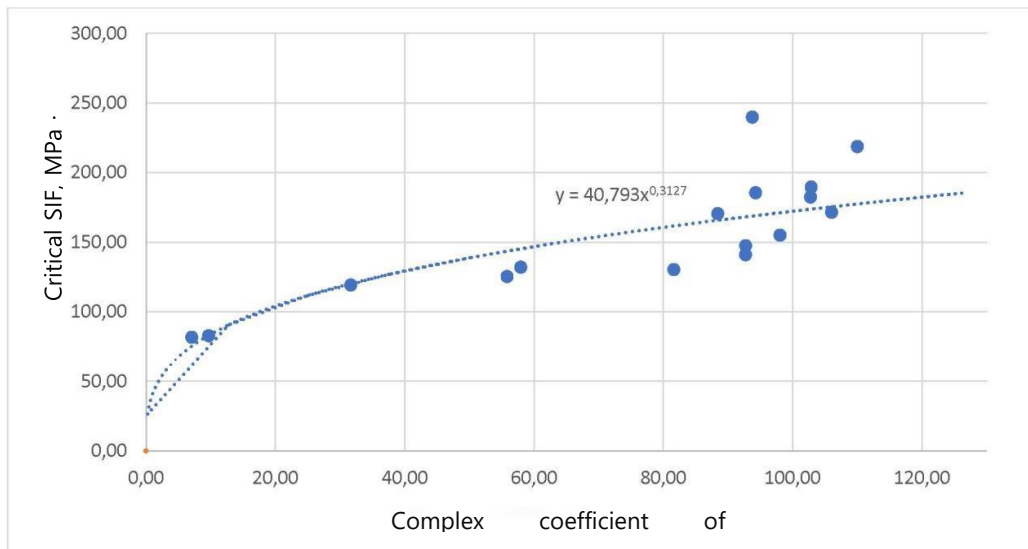
In this case, the relationship between the values of the complex coefficient of metal durability K_Σ and the crack resistance parameters K_{Ic} , C and n has the form

shown in Figure 6, and can be described by the expressions:

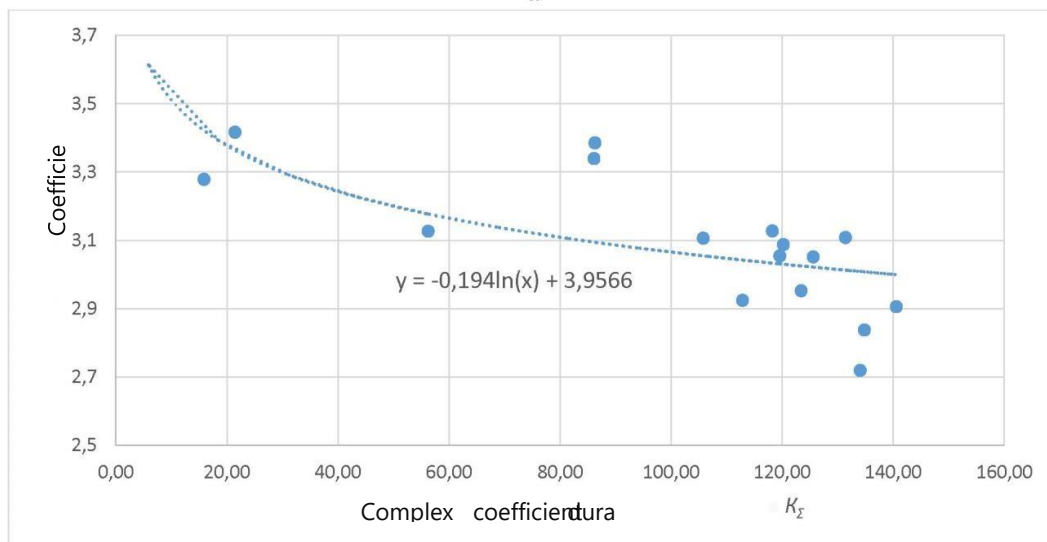
$$K_{Ic} = 40,793K_\Sigma^{0,313} \tag{7}$$

$$n = -0,194 \ln(K_{\Sigma}) + 3,957 \quad (8)$$

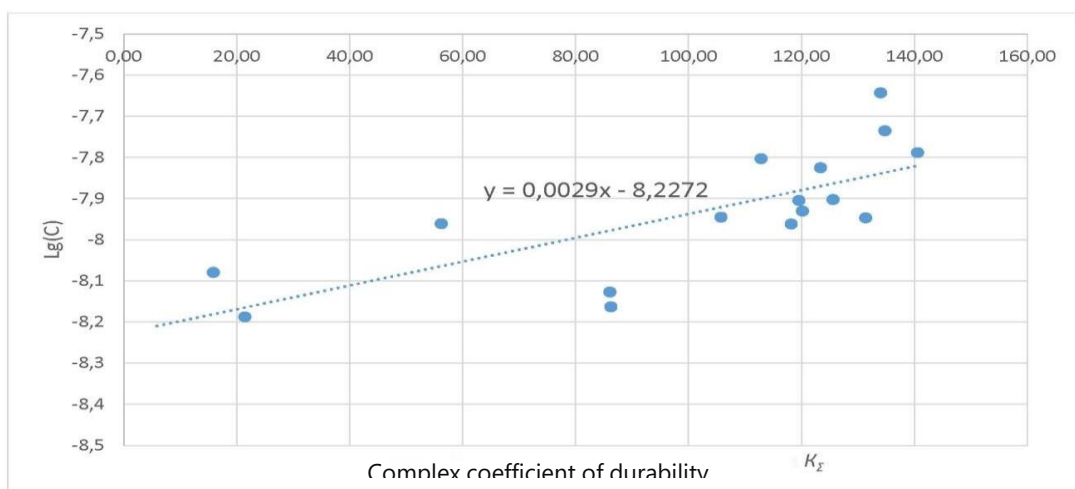
$$Lg(C) = 0,0029K_{\Sigma} - 8,227 \quad (9)$$



a



b



c

Figure 6 – The correlation between the parameters of the crack resistance of the metal and the complex coefficient of metal durability K_{Σ}
 a – dependence of K_{Ic} on K_{Σ} ; b - dependence of n on K_{Σ} ; c - dependence of $Lg(C)$ on K_{Σ}

Thus, the results obtained make it possible to predict its mechanical properties using data from the thermal cycle of welding and/or information on the structural condition of the metal of the welded joint, and from them, the parameters of crack resistance used within the force criterion of fracture mechanics. However, it should be noted that the dependences shown in Figure 4 are valid only for the weld-affected zone with the original ferrite-perlite structure of the base metal. In the case when there is an initial

intermediate or quenched structure of the base metal, the data from Tables 4 and 5 can be used, which should be proportionally corrected when the corresponding structure disappears.

For forecasting of the properties of the weld metal using the diagrams from Figure 4, it is necessary to evaluate its initial properties. The values of these properties can be obtained by calculation, based on the chemical composition [15]: *The tensile strength of the welded seam metal, kg/mm²:*

$$\sigma_{vs} = 4.8 + 50C + 25.2Mn + 17.5Si + 23.9Cr + 7.7Ni + 8W + 70Ti + 17.6Cu + 2.9Al + 16.8Mo \quad (10)$$

Yield strength of the welded seam metal, kg/mm²:

$$\sigma_{ts} = 0.73\sigma_{vsh} \quad (11)$$

Percentage of elongation of the welded seam metal, %:

$$\delta_s = 50.4 - (21.8C + 15Mn + 4.9Si + 5.8Cr + 2.4Ni + 2.2W + 6.6Ti + 6.2Cu) + 17.1Al + 2.7Mo, \quad (12)$$

*Impact strength of the welded seam metal, kgf * m/cm²:*

$$n_s = 23.3 - (25.7C + 6.4Mn + 8.4Si + 2.4Cr + 1.6Ni + 0.5W + 15.4Ti + 4Cu + 18Al + 1.4Mo), \quad (13)$$

The validity of relations (10) – (13) was confirmed at the concentration of chemical elements in accordance with Table 7.

Table 7

The content of chemical elements in steel, at which relations (10) – (13) are valid

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	W
≤ 0.3%	≤ 1.0%	≤ 2.5%	≤ 3.0%	≤ 3.0%	≤ 1.0%	≤ 3.0%	≤ 0.75%	≤ 0.35%	≤ 2.0%

Determination of the chemical composition of the welded seam metal can be performed both by direct measurements and analytically, using the expression [16]:

$$[C]_s = [C]_o + [C]_e(1 - \gamma) \quad (14)$$

where $[C]_s$ is a mass fraction of the element in the welded seam metal, wt. %; $[C]_s$ – mass fraction of the element in the weld metal, mass. %; $[C]_e$ is a mass fraction of the element in the filler metal, wt. %; $[C]_s$ – mass fraction of the element in the weld metal, mass. %; $[C]_e$ – mass fraction of an element in the filler metal, mass. %; $[C]_o$ is a mass fraction of the element in the base metal, wt. %; $[C]_s$ – mass fraction of the element in the weld metal, mass. %; $[C]_e$ – mass fraction of an element in the filler metal, mass. %; $[C]_o$ – mass fraction of an element in the base metal, mass. %; γ is the share of the base metal in the welded seam metal:

$$Fo$$

$$\gamma = F \frac{F_o}{F_e} + F_0 \quad (15)$$

F_o, F_e are the areas occupied, respectively, by the base and filler metal in the welded seam.

The correctness of the correlations and relations presented above was confirmed during tests and studies of welded joints of pipes and tanks (see Table 3). Determination of the mechanical properties of the welded seam metal based on its chemical composition and data on the thermal cycle of welding gave the following root-mean-square error:

- tensile strength σ_v is 7%;
- yield strength σ_t is 12%;
- impact strength KCV₋₂₀ is 14%;
- tensile elongation δ is 7%.

Cyclic tests made it possible to confirm the relation of the complex coefficient of metal durability K_Σ with the metal fatigue crack life (Figure 7).

Conclusions

Based on the results obtained, various levels of initial data can be distinguished, which make it possible

to predict the durability of the welded joint with varying degrees of accuracy. At the same time, the more informative the level of the initial data is, the lower the assurance factor established at the calculations can be. The composition of the initial data levels, the procedure for their application and the proposed values of the coefficients correcting the assurance factor used when performing calculations for the strength and durability of welded joints of oil pipelines are shown in Table 8.

Table 8 shows that the most informative level of initial data is the one that includes information about the structural features of the welded joint. The reason for this is that the characteristics included in this level (actual chemical composition and actual structural features of the metal) can be determined during the operation of a particular welded joint using non-destructive testing. As a result, the durability of the welded joint predicted on the basis of the indicated data

will be more reliable than in the case of using for this purpose the mechanical characteristics obtained on similar welded joints that have their own welding characteristics and operating history.

It should be noted that during the development of the presented model, factors such as the content of non-metallic inclusions; the course of diffusion processes (separation of the carbide network along grain boundaries, structures breakdown); residual welding stresses; embrittlement (including microcracking) were not taken into account.

Therefore, a separate direction of the development of the presented model, in addition to its further verification, will be the detection of the influence of these factors on the durability of welded joints, as well as the creation of techniques, technologies and approaches that allow to assess (quantitatively or qualitatively) their presence in each analyzed case.

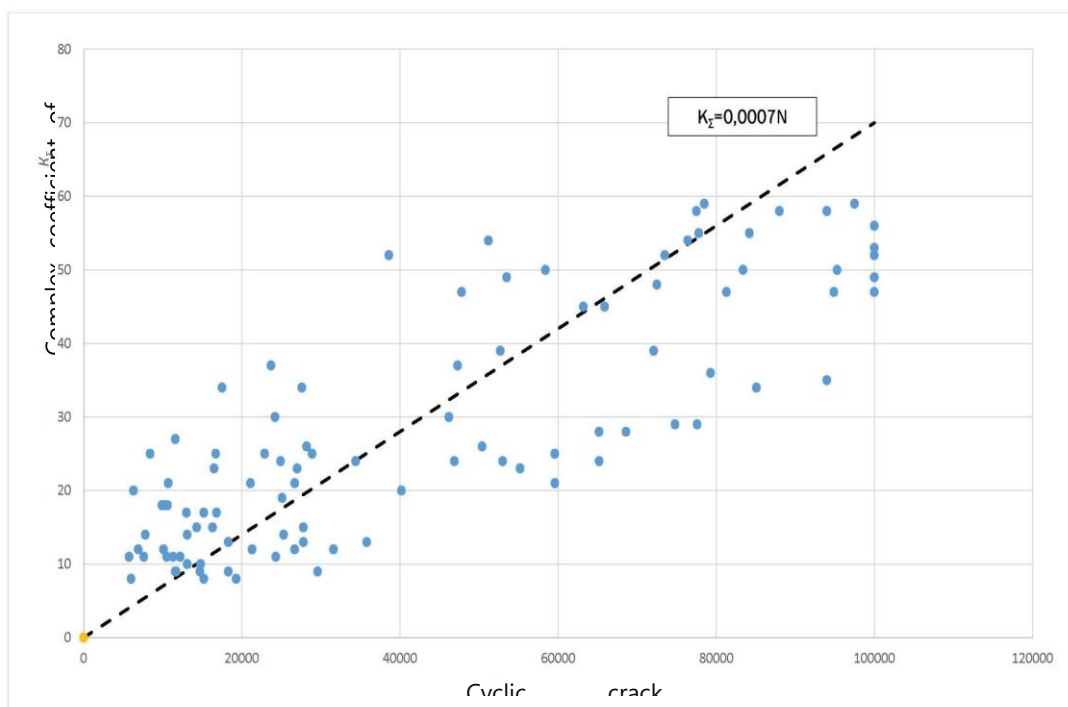


Figure 7 – Correlation between the values of the cyclic crack resistance of different zones of the welded joint and the complex coefficient of metal durability K_{Σ} (for circular welded joints of pipes)

Table 8

Data levels on the welded joint of the oil pipeline used to predict its durability

No. pos.	Data level	Content of initial data	Adjustment factor value	Sequence of actions when specifying mechanical characteristics
1	Level 1	Certification chemical composition of steel; Certification properties of steel; Welding conditions; Certification chemical composition of welding consumables.	$K = 1.00$	Calculation of the chemical composition of the metal in accordance with expressions (14) – (15) *. Calculation of the basic properties of the metal in accordance with the expressions (10) – (13)**. Correction of the basic properties of the metal, taking into account the thermal cycle of welding in accordance with Figure 4. Forecasting of metal crack resistance characteristics in accordance with expressions (6) – (9).

2	Level 2	Basic mechanical characteristics of the welded joint.	$K = 0.95$	1. Forecasting of metal crack resistance characteristics in accordance with expressions (6) – (9).
3	Level 3	Basic mechanical characteristics of the welded joint. Characteristics of static and cyclic crack resistance.	$K = 0.95$ when calculating the load-bearing capacity	Clarification of mechanical characteristics is not required
			$K = 0.92$ when calculating crack resistance	
4	Level 4	Actual parameters of the welded joint metal structure; Actual chemical composition of the metal of the welded joint.	$K = 0.87$	Calculation of the basic properties of the metal in accordance with the expressions (10) – (13)**. Correction of the basic properties of the metal in accordance with Tables 4 and 5 (and expressions (4) – (5) for the metal of the weld-affected zone). Forecasting of metal crack resistance characteristics in accordance with expressions (6) – (9).

* Applicable for welded seam metal. For the weld-affected zone, the chemical composition of the metal is taken to the corresponding certification values for the base metal.

** Applicable for welded seam metal. For the weld-affected zone, the basic properties are assumed to correspond to the certification values for the base metal.

References

Idrisov, R.Kh. Analysis of the accident rate of the main pipelines of Russia / R.Kh. Idrisov, K.R. Idrisova, D.S. Kormakova // Transport and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials. - 2019. - No. 2. - pp. 44-46.

Aladinsky, V.V. Formation of requirements for the geometry and properties of welded joints of pipes, ensuring the reliability of pipelines / V.V. Aladinsky, A.V. Melnikova // Science and technology in the gas industry. - 2009. - No. 4 (40). - pp. 43-48.

Golikov, N.I. Strength of welded joints of tanks and pipelines operating in the conditions of the North / N.I. Golikov, A.P. Ammosov. - Yakutsk: Publishing house of the North-Eastern Federal University, 2012. - 232 pages.

Makarov, E.L. Theory of weldability of steels and alloys / E.L. Makarov, B.F. Yakushin. - M.: Publishing house of the Moscow State Technical University named after N. E. Bauman, 2014, 487 pages.

Savkin, A.N. Methods for determining the coefficients of the equation for the growth rate of a crack under cyclic loading / A.N. Savkin, A.V. Andronik, R. Koraddi // Factory laboratory. Diagnostics of materials.- 2016.- Volume 82.- No. 1.- pp. 57-63.

Mamontov, V.A. Construction of a diagram of fatigue destruction of ship shaft models / V.A. Mamontov, T.A. Kuzhakhmetov, R.U. Iksanov, Doan Van Tin // Bulletin of ASTU.- 2008.- No. 5 (46) - pp.44-49.

Stress Intensity Factors Handbook: In 2 volumes. Volume 1: Translated from English/ Eds. Yu. Murakami. - M.: Mir, 1990.- 448 pages.

Terentyev, V.F. Fatigue of metallic materials / V.F. Terentyev.- M.: Nauka, 2003.- 254 pages.

Zorin, A.E. Analysis of structural and thermal processes during welding (to optimize the technology of cutting out circular welded joints of pipelines) / A.E. Zorin // Oil, Gas and Business.- 2011.- No. 6.- pp. 67-70.

Zorin, A.E. Development of coupon structure for conducting mechanical tests of metal pipes / A.E. Zorin // The territory of "NEFTEGAZ".- 2015.- No. 3.- pp. 124-128.

Zorin, A.E. Scientific and methodological support of the system for maintaining the operability of long-term operated gas pipelines: dis. ... of DEng: 25.00.19 / Zorin Alexander Evgenievich. - Moscow, 2016. - 332 pages.

Belchenko, G.I. Fundamentals of metallography and plastic deformation of steel / G.I. Belchenko, S.I. Gubenko. - Kiev: Vishcha shkola, 1987. - 240 pages.

Bidulya, P. Steel foundry practice, 1968.- 319 p.

Geller, Yu. Tool steels, 1978.- 659 p.

Ockerblom, N.O. Design of technology for the production of welded structures / N.O. Ockerblom, V.P. Demyantsevich, I.P. Baikova. - Leningrad:

Sudprom GIZ, 1963. - 602 pages.

Welding in machine engineering: Handbook in 4 volumes / Eds. N.A. Olshansky.- M.: Mashinostroenie, 1978.- Vol. 1.- 504 pages.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Full names	Position, place of work
Neganov Dmitry Alexandrovich	D.Eng.Sc., First Deputy General Director Transneft R&D, LLC 8(495)950-8295 add. 2100
Makhutov Nikolay Andreevich	Associate member of the RAS, Chief Researcher, Transneft Research Institute LLC 8(495)950-8295 add. 2650
Zorin Alexander Evgenievich (corresponding author)	D.Eng.Sc., Leading Researcher of the Welding Laboratory of the Welding Department and Tanks of the Steel and Welding, Strength Calculations Center of the Scientific Research Institute Transneft LLC, 8(495)950-8295 add. 4823
Studenov Evgeny Pavlovich	Head of the Steel and Welding, Strength Calculations Center, Scientific Research Institute Transneft LLC, 8(495)950-8295 add. 2830
Kolesnikov Oleg Igorevich	Head of the Welding and Tanks Department of the Steel and Welding, Strength Calculations Center, Scientific Research Institute Transneft LLC, 8(495)950-8295 add. 2880

УДК 621.039 : 539.17

WAYS TO IMPROVE THE HEAT GENERATOR A. ROSSI

Tertyshnik E.G.

Independent researcher, Obninsk Kaluga region

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.98.1652

ABSTRACT

Based on the test report of the heat generator by A. Rossi (2011, Lugano), the authors calculated that the summa of nuclear energy had been generated by the heat generator for 30 days exceeded 2900 MJ. To improve the operational characteristics of the device, it is proposed to use a high-frequency generator to heat the reacting mixture. The use of titanium instead of nickel in the heat generator can also be useful. An experiment was carried out in during which a nuclear reaction in a mixture of 5 g of nickel and 0.5 g of lithium aluminum hydride was initiated by heating in a household microwave oven. Gamma analysis of the mixture after it had cooled revealed the presence of a number of short-lived nuclides including ^{46}K (half-life 1.75 min.), $^{91\text{m}}\text{Mo}$ (half-life 1.077 min.), $^{168\text{m}}\text{Lu}$ (half-life 6.70 min.). At the moment of start of measurements, the activity of these nuclides ranged from 0.5 to 1 Bq.

Key words: low energy nuclear reaction; termogenerator A. Rossi; gamma spectrometry; nickel; titanium; high frequency heating

Introduction. The production of electricity at nuclear power plants and the processing of spent nuclear fuel are associated with the risks of man-made pollution of the environment. Therefore, the problem of searching for sources of environmentally friendly energy and conducting experiments on energy production based on low-temperature nuclear reactions is relevant. The idea of using cold transmutation of atoms (nuclei) to obtain clean and cheap energy was successfully implemented by Italian researchers S. Focardi and A. Rossi and became widely known [1]. At the same time, the achievements of the Russian inventor A.V. Vachaev, who created in 1994 an industrial installation in which a water flow was passed through the region of a high-frequency plasma discharge, and as a result, energy was created and new elements were synthesized at a rate of their formation of the order of kg/min [2], did not attract attention and went unnoticed by the world scientific public. This is probably due to the fact that after the death of A.V.

Vachaev in 2000, his employees could not put the unit into operation, while the prototypes of Rossi's heat generator operate in many countries [3].

Analysis of the operation of the Rossi thermogenerator

As reported in [4,5], the heat generator is a ceramic tube, inside which contains a fuel - mixture of 1 g of nickel powder and 0.1 g of lithium aluminum hydride (LiAlH_4), with a heating coil wound on its surface. With the help of this spiral, the tube with fuel was heated up to 1260-1400°C. During testing, the amount of energy spent on heating, and the amount of thermal energy generated by the installation. It is indicated that during the 32 days of testing, the E-cat device produced 5800 MJ of heat, which is more than 3 times the energy used for electric heating. The spent fuel was subjected to mass spectrometric analysis, which revealed significant changes in the isotopic composition of the fuel, unambiguously indicating the origin of nuclear energy (Table 1).

Table 1.

Isotopic composition of the original and spent fuel (%) determined using an inductively coupled plasma mass spectrometer [1,3]

Nuclide	Initial fuel	Spent fuel
Li-6	6	58
Li-7	94	43
Ni-58	66	0.3
Ni-60	28	0.3
Ni-61	1.3	0
Ni-62	4	99

Let us calculate the nuclear energy obtained during the transmutation of 66% of ⁵⁸Ni nuclei into ⁶²Ni nuclei according to the (1)

$$E(62 - 58) = p N_A (\epsilon_{62} A_{62} - \epsilon_{58} A_{58}) / A_{58}(1)$$

where $E(62-58)$ is the energy obtained during the transformation of ⁵⁸Ni nuclei into ⁶²Ni nuclei;

p - the fraction of ⁵⁸Ni nuclei in the original fuel converted into ⁶²Ni (0.66 according to Tab.1);

N_A / A_{58} - the number of ⁵⁸Ni nuclei in 1 g of initial fuel; N_A is Avogadro's number;

$A_{58} = 58, A_{62} = 62$ - mass number for ⁵⁸Ni and ⁶²Ni, respectively;

$\epsilon_{58}, \epsilon_{62}$ - the binding energy per nucleon in ⁵⁸Ni and ⁶²Ni nuclei, respectively [6].

When substituting into (1) $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$ 1/mol; $\epsilon_{58} = 8732$ keV, $\epsilon_{62} = 8795$ keV we get $E(62 - 58) = 0.154 \cdot 10^{26}$ keV.

Similarly, we get $E(62 - 60) = 0.031 \cdot 10^{26}$ keV, given that for ⁶⁰Ni p = 0.28 ; $\epsilon_{60} = 8781$ keV. The total energy from the transmutation of ⁵⁸Ni and ⁶⁰Ni will be $0.185 \cdot 10^{26}$ keV.

Taking into account the fact that 1 eV = 1.602 * 10⁻¹⁹ J, this will amount to 2960 MJ. The total energy obtained by us is approximately two times lower than the test data (5800 MJ). Probably, the authors of the report [4] gave too narrow the uncertainty interval when estimating the excess energy (±10%).

Note that additional energy could be released during the transmutation of the elements that make up the ceramic tube (Al, K, O). Table 2 illustrates this possibility.

Table 2.

Possibility of energy release during neutron capture by aluminum and potassium nuclei

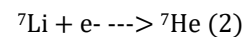
Nucleus	Binding energy per nucleon, keV	Half life	Content in natural mixture
Al - 27	8332	Stable	100,00%
Al - 28	8310	2.245 min.	-
Si - 28	8448	Stable	92.2 %
K - 41	8576	Stable	6.73 %
K - 42	8551	12.36 hour	-
Ca - 42	8617	Stable	0.647 %

The authors of [7] found, by means of emission analysis, the appearance in fragments of the ceramic tube (in which nickel powder saturated with hydrogen was located) of significant amounts of calcium after the operation of the heat generator for 7 months. When a neutron is captured by the ⁴¹K nucleus, ⁴²K is formed, which, due to beta decay, turns into ⁴²Ca. The beta decay of ⁴²K is accompanied by the emission of a 1525-keV gamma-ray (yield 0.181), which can be detected [8]. From Table 2 shows that the process of transmutation of potassium into calcium is accompanied by the release of energy.

The number of neutrons required to produce excess energy during testing [4, 5] $0.33 \cdot 10^{23}$ neutrons or $0.127 \cdot 10^{17}$ neutrons/s.

One of the sources of neutrons required for the transmutation of ⁵⁸Ni to ⁶²Ni is the conversion of ⁷Li to ⁶Li. Let's consider a possible way of such transformation. The energy of free electrons in lithium increases with an increase in the temperature of the

metal, and at a certain temperature, the energy of a part of the electrons (on the "tail" of the distribution curve) becomes sufficient to overcome the electron shells of lithium atoms. Such electrons are accelerated by the positive charge field of the nucleus and enter the nucleus.



The binding energy of nucleons in the ⁷Li nucleus is higher (by 10 MeV) than in the ⁷He nucleus, and this excess can be compensated by the rest energy of the electron (511 keV), its kinetic energy, and the energy of the electron acquired during acceleration in the field of the nucleus.

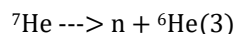
Reaction (2) can be initiated due to the presence of muons in cosmic rays (CR), whose flux near the earth's surface [9] is $1.5 \cdot 10^{-2}$ muons/cm²·s. When muons hit a substance, they are captured by atoms and gradually descend to the K-orbital with the emission of photons.

The radius of this orbital is 200 times smaller than that of the corresponding electron orbital, so the muon spends a considerable time directly in the nucleus. Therefore, the muon is quickly captured by the nucleus, interacting with the proton according to the scheme: $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$ [10],

for the interaction of a muon with lithium $\mu^- + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^7\text{He} + \nu_\mu$

The ${}^7\text{He}$ nucleus turns out to be in a highly excited state (more than 100 MeV) and its decay can occur through many channels.

When ${}^7\text{Li}$ interacts with an electron (2), the formed ${}^7\text{He}$ nucleus, according to [6], ejects a neutron and turns into ${}^6\text{He}$:



Which in turn, passes through beta decay (half-life 0.807 s and the boundary energy of the beta particle is 3507 keV) into stable ${}^6\text{Li}$: ${}^6\text{Li} \rightarrow \beta^- + \bar{\nu}_e + {}^6\text{Li}$, where $\bar{\nu}_e$ is an electron antineutrino.

The calculation showed that when a nuclear reaction proceeds according to (2) and (3), the probability of the formation of high-energy particles (average energy 1568 keV) would be $3.09 \cdot 10^{14}$ particles per second. The beta particle detector did not detect any beta activity when testing the heat generator. This was probably due to the fact that a certain number of beta particles swallowed by the walls of ceramic tubes and protective fittings, and some of them interacted with ${}^7\text{Li}$ nuclei according to reaction (2).

Possible ways to improve the heat generator A. Rossi

The use of a high-frequency (HF) generator for heating the reacting mixture ($\text{Ni} + \text{LiAlH}_4$), in our opinion, will improve the performance characteristics of the heat generator, since the thermal effect of the HF generator is not inertial and is easily controlled by changing the characteristics of the modulating voltage.

In addition, by changing the frequency of HF radiation, it is possible to optimize the process of transmutation of nickel nuclei.

The author of this work used radiation from a household microwave oven to initiate the transmutation process in a nickel-hydrogen heat generator. A mixture of nickel powder (PNK-UT3 brand) weighing 5 g and LiAlH_4 powder weighing 0.5 g was placed in a crucible, which, in turn, was placed in another larger crucible. The crucibles with the drug were exposed to microwave radiation at a power level of 700 W. A minute later, the mixture was heated to a temperature of approximately 1000 °C, then the effect of HF radiation was stopped by opening the furnace door, but the reaction probably continued, because the temperature of the preparation remained high for another 3 minutes. After the mixture has cooled to room temperature, which lasted 7 minutes, the preparation was transferred into a standard cuvette with a diameter of 46 mm and placed on the end face of a GEM-30185 gamma detector, EG@Ortec, USA. The detector was placed inside a protective chamber - a lead shield to reduce the external background from external radiation. The thickness of the lead walls of the protective chamber was 10 cm. The registration of pulses from the detector was carried out using a single-board amplitude analyzer of the SBS-75 brand, Green Star Instruments, Russia.

Identification of the detected gamma emitters was carried out by the energy of gamma lines and the half-life by the method described in [11]. In table 3 shows the activities of short-lived nuclides found in the preparation (at the start of measurements), as well as their half-lives, quantum yields, and energy of characteristic gamma lines. The activity of the identified nuclides did not exceed 1 Bq, and the uncertainty of the results was 50–70% and it was due to a small number of pulses recorded during gamma analysis.

Table 3.

Results of the identification and calculation of the activity of nuclides in the nickel preparation after exposure to RF heating. The cooling time of the preparation before the start of measurement is 7 minutes

Nuclide	Type decay	Period half-life, minutes	Energy of the used gamma	Quantum. output	Activity at the moment start of measurements, Bq
P-35	β^- 100%*	0.788	1572	0.995	0.2
K-46	β^- 100%	0.750	1345	1.000	0.5
Fe-61	β^- 100%	5.980	1205	0.420	0.4
As-68	ϵ 100%**	2.530	1016	0.774	0.4
Mo-91m	ϵ 50%	1.077	1508 1208	0.242 0.186	1.0
Cd-102	ϵ 50%	5.500	481 1036	0.600 0.138	0.2
Sb-133	β^- 100%	2.340	979	0.582	0.4
Tb-148m	ϵ 100%	2.200	785 395	0.995 0.96	0.2
Lu-168m	ϵ 100%	6.700	979 984	0.21 0.13	0.5

* beta decay; ** – K capture

The use of titanium instead of nickel as a fuel in the development of heat generators, in our opinion, is promising. From Table 4, built on the data of [6,8], it

can be seen that the addition of a neutron to the nucleus for most titanium isotopes leads to the release of

nuclear energy. In addition, the melting point of titanium

1668 ° C is higher than the melting point of nickel + 1452 ° C, therefore, the titanium crystal lattice, which

plays a significant role in the transformation of protons into neutrons, is more stable at high temperature.

Table 4.

Content of titanium isotopes in a natural mixture and energy nuclear bonds

Nuclide	Content in natural mixes, %	The bond energy on one nucleon, keV
Ti-46	8.25	8656
Ti-47	7.44	8661
Ti-48	73.72	8723
Ti-49	5.41	8711
Ti-50	5.18	8755

Conclusion

Using the data from the report on the test of the A. Rossi heat generator in March 2011, the author calculated the nuclear energy obtained by transmuting nickel nuclei, which amounted to 2960 MJ, which is two times lower than the test data (5800 MJ). The author believe that electrons play an essential role in the process of the nuclear transmutation.

To improve the performance characteristics of A. Rossi's heat generator, it was proposed to use the heating of the reacting mixture with the help of an HF generator. It was proposed to use titanium instead of nickel as fuel.

For the first time, it was found that during the operation of the Rossi heat generator, radionuclides appear, which are characterized by short half-lives (minutes) and low activity.

The author is grateful to A.O. Epifanov for conducting gamma analyzes

References

1. Focardi S. Rossi A. A new energy source from nuclear fusion. [electronic resource] <http://www.journal-of-nuclear-physics.com/?m=201002>, February 2010. (17.07.2022)
2. Vachaev A.V., Ivanov N.I., Ivanov A.N., Pavlova G.A. A method for obtaining elements and a device for its implementation. RF patent No. 2096846, MKI G21 G1 / 100, H05 H1 / 24. Appl. 05/31/94 // Inventions, 1997. No. 32. P. 369.
3. Parkhomov A.G. Nickel-hydrogen reactors created after the publication of the report on the experiment in Lugano / International Journal of Unconventional Science. 2016. Issue No. 11. P. 58-62 <http://www.unconv-science.org/pdf/11/parkhomov-ru.pdf> (17.07.2022)
4. Levi G., Foschi E., Hoistad B. Observation of abundant heat production from a reactor device and of

isotopic changes in the fuel. [electronic resource] <http://amsacta.unibo.it/4084/1/LuganoReportSubmit.pdf>. (17.07.2022)

5. Parkhomov A.G. Report of international committee about Rossi high temperature heat generator testing / International Journal of Unconventional Science. 2014. Issue no. 6. P. 57-61

<http://www.unconv-science.org/pdf/6/parkhomov2-ru.pdf> (17.07.2022)

6. Atomic Mass Evaluation – AME2016 [electronic resource] <http://www.nds.iaea.org/amdc/ame2012/mass.mas12> (17.07.2022)

7. Parkhomov A.G., Zhigalov V.A., ZabavinS.N., Sobolev A.G., TimerbulatovT.R. Nickel-Hydrogen Heat Generator, continuously worked 7 months // International Journal of Unconventional Science. 2019. Issue 23 — 24. P. 57-63

<http://www.unconv-science.org/en/n23/parkhomov2/> (17.07.2022)

8. National Nuclear Data Center, Chart of Nuclides [electronic resource] <http://www.nndc.bnl.gov/nudat3/99> (17.07.2022)

9. Murzin V.S. Astrophysics of Cosmic Rays: Textbook for High Schools. M.: University book; Logos, 2007. 488 p. ISBN 978-5-98704-171-6

10. Knecht, A. Study of nuclear hroperties with muonic atoms / The European Physical Journal Plus. 2020. 135 (10). DOI:10.1140/epjp/s13360-020-00777-y.

11. Tertyshnik E.G., Epifanova I.E. A method for identifying and calculating the activity of short-lived cosmogenic gamma emitters // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2021. no. 8. P.44-52. DOI: 10.17513/mjpf.13261. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13261> (17.07.2022)

621.742.4

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕСЧАНО-МАСЛЯНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ
ОТВЕРЖДЕНИИ НАГРЕТЫМ ВОЗДУХОМ**

Фирстов А.П.

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Металлургических технологий»
Нижнетагильский технологический институт (филиал)
Уральского Федерального Университета
Россия, 622031, Нижний Тагил, Красногвардейская, 59

STUDIES OF SAND-OIL MIXTURES WHEN CURING WITH HEATED AIR**A.P. Firstov**

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies
Nizhny Tagil Institute of Technology (branch)
Ural Federal University
Russia, 622031, Nizhny Tagil, Krasnogvardeyskaya, 59

АННОТАЦИЯ

Помимо положительных физико-химических характеристик песчано-масляных смесей, высокой прочности на разрыв формовочной смеси после сушки, не гигроскопичностью, хорошей выбиваемостью, растительные масла все-таки исключены из литейной технологии. Основным фактором исключения растительных масел из литейного производства являлся запрет или снижение их использования в промышленности, с их передачей в пищевую промышленность.

ABSTRACT

In addition to the positive physico-chemical characteristics of sand-oil mixtures, high tensile strength of the molding mixture after drying, non-hygroscopicity, good knockability, vegetable oils are still excluded from the casting technology. The main factor in the exclusion of vegetable oils from foundry production was the prohibition or reduction of their use in industry, with their transfer to the food industry.

Ключевые слова: песчано-масляная смесь, отверждение, горячий воздух.

Keywords: sand-oil mixture, curing, hot air.

В основном в литейном производстве растительные масла нашли применение как связующий компонент песчано-масляных смесей в начале XX^{-го} века. В это время появляется много источников по песчано-масляным смесям, как связующий материал для стержней и как добавки к формовочным смесям: Косовский П.А. [1], Евангулов М.Г. [2], Карлов К.Н. [3], Кузелев М.Я. [4], Воронин Г.Н. [5], Прегер Э. [6], Гавриленко А.П. [7], Юшкин В.П. [8] и т.д.

Более полные составы формовочных и стержневых смесей описаны в книгах, как справочный материал, начала сороковых и середина шестидесятых годов XX^{-го} века, следующих авторов: Берг П.П. [9], Попилов Л.Я. [10], Сварика А.А. [11], Аксёнов П.Н. [12], Куманин И.Б. [13], Головин С.Я. [14], Рубцов Н.Н. [15], Гиршович Н.Г. [16] и т.д.

Для технических целей применяли масло тунга, рыжика, льна, конопли [1, 17]. Эти масла не нашли широкого применения в пищевой промышленности, а тунговое масло даже токсично [18].

В начале 30-х годов XX века встает вопрос о замене растительных масел применяющихся в технических производствах, на искусственные или синтетические вещества, а высвободившиеся

пищевые продукты применять по назначению. Этот вопрос был поднят Сталиным И.В. на XVII съезде партии ЦК ВКП(б): «Тратить жиры и масла на технические цели, когда не хватает его на питание ... В настоящее время еще не налажено производство заменителей жиров ..., ускоренного развития технических культур...» [19]. Эти заявления коснулись и литейного производства. По этой причине использование песчано-масляных смесей утратило свое значение как связующее вещество в литейном производстве. По этой причине велись работы по замене традиционных масел (льняное, хлопковое, тунговое) на другие масла (, подсолнечное 4ГУ [20], клещевины, рыжика, рапсовое [2], кукурузное и соевое [21], горчичное [22]), на их снижение в составе смесей (4ГУ [20], БМ [23], Союзформолитье» [20], «Бифталь» [4, 20], масло «С» [4] и масло «Ц» [9]), и на замену растительных масел смолами, с определенной их доводкой (ОХМ [10], СКТ [10], хлопковый soapstock [24] и хлопковый гудрон [25]). Данные примеры не привели к широкому распространению их в литейном производстве.

Таким образом, технология теплового отверждения песчано-масляных смесей, с конвективной сушкой стержней или форм, была преобладающей вплоть до конца 50^{-х} годов XX века, пока ей на смену не пришли связующие

химического отверждения, пытающиеся заменить растительные масла.

Но возможен еще один путь возрождения песчано-масляных связующих. Такой путь может являться сокращение ввода растительных масел в литейную смесь под действием нагретого воздуха.

Сейчас, когда широко освоен процесс химического и теплового отверждения стержней непосредственно в стержневом ящике введение других компонентов в смесь можно избежать. Достичь стабильности результатов и придания повышенной прочности смеси возможно продувкой оснастки нагретым атмосферным воздухом.

Для ускорения процесса окисления (высыхания) подсолнечное масло подвергают обработке, заключающейся в продолжительном нагревании в интервале температур - $140 \div 180^{\circ}\text{C}$. С ростом температуры увеличивается скорость большинства реакций. И это справедливо для процесса отверждения, однако рост температуры приводит к неравномерному отверждению связующего по всему объему смеси. Использование нагрева для ускорения сушки не должно превышать температуры 200°C [26]. При сушке, помимо удаления влаги, происходят окисление и полимеризация, с укрупнение молекул. При окислении масло из жидкого состояния переходит в густую клейкую массу (линоксин). При более высокой температуре резко падают связующие свойства масляной плёнки, которая начинает гореть [20].

Активность образующихся аллильных свободных радикалов

($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$), если ее сравнивать с активностью большинства других свободных радикалов, не очень велика, но она гораздо больше реакционной способности гидроперекисей ($-\text{C}-\text{O}-\text{O}-$). Свободный аллильный радикал может реагировать со многими компонентами смеси, однако при встрече с другой двойной связью он образует новый свободный радикал большего

размера, который, в свою очередь, может продолжить стадию роста цепи в реакции окислительной полимеризации [27, 28].

Реакция полимеризации протекает достаточно медленно из-за невысокой реакционной способности компонентов растительного масла. Для ускорения протекания процесса отверждения необходимо затратить дополнительную энергию. Взаимодействие компонентов масла с кислородом воздуха должно происходить по всему объёму смеси равномерно. Для более интенсивного протекания процесса отверждения по всему объёму стержневой смеси необходимо добиться оптимального режима отверждения, принимая во внимание некоторые физические особенности:

- невысокая температура протекания процесса;
- доступ воздуха в полном объеме по всему стержню и быстрый вывод его и продуктов реакции из смеси, при минимальном его объеме.

Для реализации поставленной задачи на кафедре «Автоматизация и технология литейного производства» НТИ (филиал) УрФУ была разработана экспериментальная установка для продувки стержней подогретым воздухом.

Принцип работы заключается в следующем: из стационарного компрессора 1 (с максимальным давлением воздуха 3 атм.) воздух по трубопроводу 2 поступает в нагреватель 3, где при помощи электрических тэнов воздух нагревается до требуемой температуры.

Температура регулируется с помощью резистора сопротивления 6, который соединен с тэнами. Контроль температуры воздуха на выходе из нагревателя осуществляется термопарой 5. Далее воздух также по трубопроводу подается в стержневой ящик 4 со смесью. Для вывода воздуха в дне стержневого ящика установлены венты по периметру нижней части всего стержня.

Схема установки продувки стержней подогретым воздухом изображена на рисунке 1.



Рис. 1. Установка для продувки песчано-масляной смеси на подсолнечном масле в нагретом воздухе: 1. – компрессор; 2. – воздухонагреватель; 3. – стержневой ящик; 4. – регулятор температуры (резистор); 5. – термопара

Для исследования песчано-масляных смесей в нагретом воздухе введем следующие переменные:

независимые переменные:

x_1 – температура горячего воздуха при продувке образца, $^{\circ}\text{C}$;

x_2 – время продувки образца, мин;

x_3 – содержание подсолнечного масла, %, зависимая переменная:

y – прочность смеси на разрыв, МПа.

Результаты исследований приведены в таблице 1

Таблица 1

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Время продувки, мин.	Содержание масла, %	Предел прочности в сухом состоянии, МПа
140	8	1,5	1,9
140	8	2	1,85
140	8	2,5	1,8
140	10	1,5	1,88
140	10	2	1,84
140	10	2,5	1,78
140	12	1,5	1,86
140	12	2	1,82
140	12	2,5	1,75
160	8	1,5	2
160	8	2	1,96
160	8	2,5	1,94
160	10	1,5	1,98
160	10	2	1,94
160	10	2,5	1,91
160	12	1,5	1,94
160	12	2	1,91
160	12	2,5	1,88
180	8	1,5	2,2
180	8	2	2,1
180	8	2,5	1,97
180	10	1,5	2,05
180	10	2	1,95
180	10	2,5	1,92
180	12	1,5	2,3
180	12	2	2,05
180	12	2,5	1,97

Методом множественной регрессии в статистические показатели, представленные в программе Statistic v.10.0.RU получены таблице 2:

Таблица 2

Статистические показатели множественной регрессии при продувке песчано-масляной смеси и уравнение регрессии:

Итоги регрессии для зависимой переменной: Прочность смеси на разрыв, МПа. (Таблица1) R= ,89789519 R2= ,80621577 Скоррект. R2= ,78093957 F(3,23)=31,896 p						
	БЕТА	Ст.Ош. - БЕТА	В	Ст.Ош. - В	t(23)	p-знач.
Св.член			1,371481	0,138086	1,93206	0,000000
Температура, $^{\circ}\text{C}$	0,770614	0,091790	0,005639	0,000672	-1,39541	0,000000
Время продувки, мин	-0,091107	0,091790	-0,006667	0,006717	-0,99256	0,331252
Содержание масла,%	-0,451740	0,091790	-0,132222	0,026867	-0,92145	0,000057

$$y = 1,37 + 0,0056x_1 - 0,007x_2 - 0,13x_3 \quad (1)$$

Анализируя найденное уравнение, получаем, что при повышении температуры и со снижением времени продувки, а так же со снижением содержания связующего песчано-масляная смесь приобретает высокую прочность.

Используя полученное уравнение (1) можно прийти к абсурду: это высокая температура (при

температуре выше 200°C масло выгорает), минимальное время продувки (зачем установка?) и «отсутствие» связующего, поэтому должны быть разумные и оптимальные пределы по использованию данного уравнения.

Дополнительные опыты: Для получения оптимальных пределов необходимо определить значения параметров путём нахождения минимальных значений температуры продуваемого

воздуха и времени продувки при которых испытываемый стержень будет иметь повышенную прочность, максимальные представлены в таблице 1. Для этого были проведены ряд дополнительных опытов, с содержанием в смеси растительного

подсолнечного масла – 1,0%. Содержание растительного подсолнечного масла выше 1,0% описано подробно в технической литературе многими авторами [13, 26, 29, 30, 31].

Таблица 3

Определение параметров в смеси с содержанием растительного подсолнечного масла – 1,0%. по уравнению1

№ опыта	t ⁰ C	τ, мин	у, МПа
1	180	6	1,1
2	160	6	0,88
3	140	6	0,55
4	180	4	0,6
5	160	4	0,44
6	140	4	0,25
7	180	2	0,16
8	160	2	-

Из проведённых дополнительных опытов видно, что понижение связующего, ниже 1,5% резко снижает предел прочности в сухом состоянии, нижний уровень по времени продувки не может быть ниже четырех минут, а по температуре продуваемого воздуха температура будет достаточной в пределах 180⁰C, (таблица 1 и таблица 3).

Таким образом, оптимальные значения факторов по продувке воздухом песчано-масляных смесей следующие:

- температура продуваемого воздуха = 170 ÷ 180⁰C;
- время продувки = 6 ÷ 8 мин.;
- содержание масла = 1,5%.

Литература

1. Косовский П.А. Рабочий справочник по чугуно-литейному и модельному делу. Общая ред. К.Ф. Неймайера М. изд. ЦК ВСРМ. 1926.-162с.
2. Евангулов М. Г. Литейное дело. М.: Вопросы труда, (Л.: тип. Ленингр. правда), 1928. - 97 с.
3. Карлов Техминимум шишечника (стерженщика). 4-е изд., испр. и доп. М.; Л.: ОНТИ. Глав. ред. лит-ры по черной металлургии, 1937. - 182 с.
4. Кузелев М. Я. Скворцов А.А. Смеляков Н.Н. Справочник рабочего-литейщика. 3-е изд. М.; Свердловск: Машгиз, Урало-Сибирское отделение, 1961. - 584 с.
5. Воронин Г. Н. Литейное дело. Т.1. Л.; М.: Госмашметиздат, тип. "Красный печатник", 1932. - 140 с.
6. Евангулов М.Г. Технология металлов. Литейное дело. 4-ое изд. Л.-М.: Гос. издательство Ленинград-Москва, 1925. - 238 с.
7. Гавриленко А. П. Механическая технология металлов. Ч. 1: Общие свойства металлов, Ч.2. Литейное дело. Полное руководство к устройству литейных и ведению в них работ. М.: Типография Русского товарищества. Чистые пруды. Мельников, 1913. - 775 с.

8. Юшкин В. П. Литейное дело. Л.: Ленингр. машиностроит. ин-т., полиграф-лаборатория ЛМИ, 1932 - 38 с.

9. Берг П. П. Формовочные материалы и смеси. Для мастеров чугунолитейных цехов. М.; Свердловск: Машгиз, 1944. - 156 с.

10. Попилов Л.Я. Советы заводскому технологу. Справочное пособие. Л.: Лениздат, 1975. С. 7-51.

11. Сварика А.А. Формовочные материалы и смеси. Киев. Техника, 1983. - 144 с.

12. Аксенов П. Н. Формовочное дело. 2-е изд., перераб. и доп. М.: изд-во и 1-я тип. Машгиза, 1949. - 250 с.

13. Куманин И. Б. Лясс А. М. Связующие материалы для стержней. М.: Оборонгиз, 1949. - 272 с.

14. Краткий справочник литейщика. / Головин С.Я. — М.: Машгиз, 1960. -375 с.

15. Справочник литейщика. Общие сведения по литью. [Ред. Н.Н. Рубцова] М.: Изд-во: Машгиз, 1962. – 527 с.

16. Справочник по чугуноному литью / Под ред. д-ра техн. наук Н. Г. Гиршовича.—3-е изд., перераб. и доп.—Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. - 758 с.

17. Арутюнян Н. С. Корнена Е.П. Нестерова Е.А. Рафинация масел и жиров. Теорет. основы, практика, технология, оборудование. СПб.: ГИОРД, 2004. - 282 с.

18. Богородицкий Н.П. Пасынков В.В. Тареев Б.М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов. 7-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. - 304 с.

19. Отчетный доклад XVII съезду партии о работе ЦК ВКП(б) 26 января 1934 г. / И.В. Сталин. Сочинения / И.В.Сталин, т.13, июль 1933 – январь 1934, Гос. издательство политической литературы. М., 1953 год, 282. - 379 с.

20. Чудаков Е.А. Машиностроение. Энциклопедический справочник:

В 15-^{ти} т. Технология литейного производства т. III. 6. М.: МАШГИЗ, 1947. - 574 с.

21. Кукуй Д.М. . Скворцов В.А. Андрианов Н.В. Теория и технология литейного производства. Минск, М.: ИНФРА-М, 2011. - 383 с.
22. Патент RU 2449855, В22С 1/24. Связующее для стержней теплового отверждения литейного производства. Кидалов Н. А. и др. 9 с. – 2011106525/02; Заяв. 21.02.2011; Оpubл. 10.05.2012. Бюл. №13.
23. А.С. 67921 СССР, Класс 22h. 2. Способ получения заменителя тунгового масла. Варламов В.С. 2 с. – 338765; Заяв. 14.06.45; Оpubл.27.02.47г.
24. А.С. 128981 СССР, Класс 31с, 103. Крепитель для стержней литейного производства. Замышляева А.М. Слозина Г.З. Платонов П.Н. 1 с. – 627011/22; Заяв. 05.05.59; Оpubл. за 1960 г. Бюл. №11.
25. А.С. 84820 СССР, Класс 31с. 101. Безмасляный крепитель для стержней. Дадашев Х.К Виткинд Л.М. 2 с. – 388800; Заяв. 15.12.48.
26. Бречко А.А., Великанов Г.Ф. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами. Л.: Машиностроение, 1982. - 216 с.
27. Степанов А.Е., Краснопольский Ю.М. Физиологически активные липиды. М.. Наука. 1991. - 378 с.
28. Головкин Н. А., Перкель Р.Л. Анализ свободных жирных кислот в природных жирах методом газо-жидкостной хроматографии / «Труды ВНИИЖ» выпуск 27, 1970, С. 85 – 92.
29. Гуляев Б. Б., Корнюшкин О.А., Кузин А.В. Формовочные процессы. Л: Машиностроение, Лен. отд., 1987. - 264 с.
30. Илларионов И. Е. Васин Ю.П. Формовочные материалы и смеси. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1992. - 223 с.
31. Мамина Л.И. Кулаков Б.А. Формовочные материалы: Учебное пособие. Красноярск: Сиб федер. ун.-т, 2011. - 344 с.

Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал
№ 5 (98)/2022 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Штерензон Вера Анатольевна

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

Синьковский Антон Владимирович

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

Штерензон Владимир Александрович

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

Зыков Сергей Арленович

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

Дронсейко Виталий Витальевич

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.