

УДК 536.242  
ББК 22.37

**ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА  
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ИЗ  
АЛЮМИНИЯ МАРКИ А5 НА ВРЕМЯ И  
СКОРОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ**

*Турахасанов Исфандиёр Турахасанович – старший преподаватель кафедры теоретические основы радио и электротехники Таджикского технического Университета имени М.С.Осими. 734042, Республика Таджикистан, г.Душанбе, улица академиков Раджабовых 10, e-mail: [ruintanis@bk.ru](mailto:ruintanis@bk.ru)*

**ТАЪСИРИ АНДОЗАИ НАМУНАҲОИ  
СИЛИНДРӢ АЗ АЛЮМИНИЙИ  
МАРКАИ А5 БА ВАҚТ ВА СУРЪАТИ  
ХУНУКШАВӢ**

*Турахасанов Исфандиёр Турахасанович – муаллими калони кафедраи асосҳои назарияи радио ва электротехникаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С.Осимӣ. 734042, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кучаи академикҳои Раҷабовҳо 10, e-mail: [ruintanis@bk.ru](mailto:ruintanis@bk.ru).*

**INFLUENCE OF THE SIZE OF  
CYLINDRICAL SAMPLES FROM  
ALUMINUM GRADE A5 ON THE TIME  
AND RATE OF COOLING**

*Turahasanov Isfandiyor Turahasanovich – Senior Lecturer of the Department of Theoretical Foundations of Radio and Electrical Engineering of Tajik Technical University named after M.S. Osimi. 734042, Tajikistan, Dushanbe, academicians Rajabovs street 10, e-mail: [ruintanis@bk.ru](mailto:ruintanis@bk.ru)*

**Ключевые слова:** алюминий марки А5, охлаждение, конвекция, тепловое излучение, влияние размера, температурная зависимость.

В работе приведены результаты исследования влияния размера цилиндрических образцов из алюминия марки А5 на время и скорость охлаждения. Выявлено, что образцы охлаждаются за счет конвективного теплообмена и теплового излучения. Характерное время охлаждения за счет лучеиспускания меньше, чем характерное время охлаждения за счет конвекции. Установлено, что характерные времена охлаждения за счет лучеиспускания и конвекции с ростом диаметра образца увеличиваются.

**Вожаҳои калидӣ:** алюминийи маркаи А5, хунукишавӣ, конвексия, афканишоти ҳароратӣ, таъсири андоза, вобастагӣ аз температура.

Дар мақола натиҷаҳои омӯзиши таъсири андозаи намунаҳои цилиндрӣ аз алюминийи нави А5 ба вақт ва суръати хунукишавӣ оварда шудаанд. Муайян карда шудааст, ки намунаҳо аз ҳисоби интиқоли конвективии гармӣ ва афканишоти ҳароратӣ хунук мешаванд. Вақти хунукишавии ҳос аз ҳисоби афканишот назар ба вақти хунукишавии ҳоси конвексия камтар аст. Муайян карда шудааст, ки вақтҳои хунукишавӣ аз ҳисоби афканишот ва конвексия бо зиёдшавии диаметри намуна меафзоянд.

**Key words:** aluminum grade A5, cooling, convection, thermal radiation, influence of size, temperature dependence.

The paper presents the results of a study of the influence of the size of cylindrical samples made of aluminum grade A5 on the time and rate of cooling. It was revealed that the samples are cooled due to convective heat transfer and thermal radiation. The characteristic cooling time due to radiation is shorter than the characteristic cooling time due to convection. It was found that the characteristic cooling times due to radiation and convection increase with increasing sample diameter.

Ранее были исследованы теплофизические свойства чистых металлов [1], сплавов алюминия с кремнием, медью и легированными редкоземельными металлами сплава АК1М2 [2], сплавов цинка с алюминием, легированными редкоземельными [3] и щелочноземельными [4] металлами, а также различные марки алюминия и технического алюминия различной степени чистоты [5]. Во всех этих

работах цилиндрические образцы имели постоянный размер (диаметром  $d=1,6$  см и высотой  $h=3,0$  см). В научной литературе практически отсутствуют работы посвящённые влиянию масштаба образца на кинетику его охлаждения. Целью настоящей работы является выяснение влияния диаметра цилиндрических образцов на кинетику их охлаждения.

**Объект исследования.** Алюминий марки А5. Образцы имели цилиндрическую форму высотой 3,368 см и диаметры 1,5 см; 2,0 см; 2,5 см; 3,0 см; 3,5 см и 4,0 см.

#### ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования кинетики был выбран метод охлаждения. Данный метод основан на измерении температуры образца в зависимости от времени охлаждения и закона внешней теплопроводности Ньютона- Кирхгофа.

Измерения кинетики охлаждения производились на установке, подробно описанной в работах [1,6]. Согласно паспорту термопары ошибка измерения температуры составляет  $\pm 1\%$ , а точность регистрации  $0,1$  °С. Из величины измеренной температуры образца вычитаем комнатную температуру  $\Delta T = T - T_0$ . Построим график зависимости  $\Delta T = f(\tau)$ . Графики строили и обрабатывали с помощью программы Sigma Plot 10. Коэффициент регрессии при статистической обработке составляло 99,8%.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Экспериментально полученные зависимости разности температуры от времени описываются уравнением вида [2]:

$$\Delta T = \Delta T_1 e^{-\tau/\tau_1} + \Delta T_2 e^{-\tau/\tau_2} \quad (1)$$

где  $\Delta T_1, \Delta T_2$  - разность температур в момент  $\tau = 0$ ,  $\tau_1$  и  $\tau_2$  - постоянные охлаждения.

Полученные зависимости позволяют, заключить, что в процессе теплоотдачи участвуют два механизма. Экспоненциальные зависимости в кинетике охлаждения свидетельствуют о том, что количество передаваемого окружающую среду тепла пропорционально площади поверхности образца, разности температур, и соответствующему коэффициенту теплоотдачи для данного процесса при конвекции, теплопроводности или лучеиспускание.

Для скорости охлаждения получим следующую формулу:

$$\frac{dT}{d\tau} = -\frac{\Delta T_1}{\tau_1} e^{-\tau/\tau_1} - \frac{\Delta T_2}{\tau_2} e^{-\tau/\tau_2} . \quad (2)$$

На рисунке 1 приведена зависимость  $\Delta T = f(\tau)$  для образца из алюминия марки А5 диаметром 1,5 см.

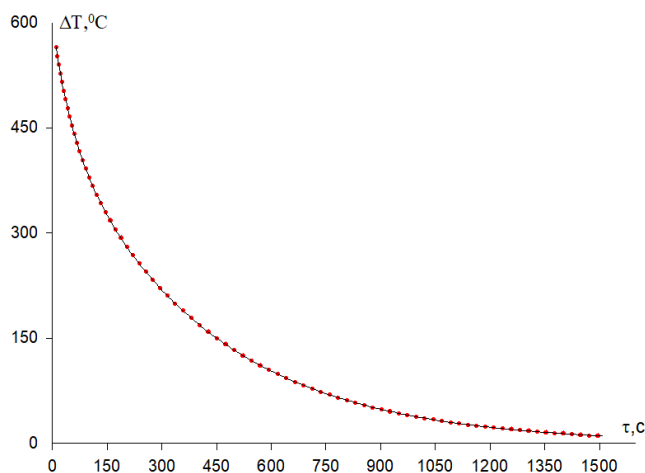


Рис. 1. Временная зависимость разности температуры цилиндрического образца алюминия марки А5 диаметром 1,5 см и окружающей среды

На рис. 2 и 3 приведены зависимости  $\Delta T = f(\tau)$  для образцов из алюминия марки А5 диаметрами 1,5 см и 3,5 см для процессов конвективного теплообмена  $\Delta T_1(\tau)$  и лучеиспускания  $\Delta T_2(\tau)$ . Там же, приведена общая кривая охлаждения  $\Delta T(\tau)$ .

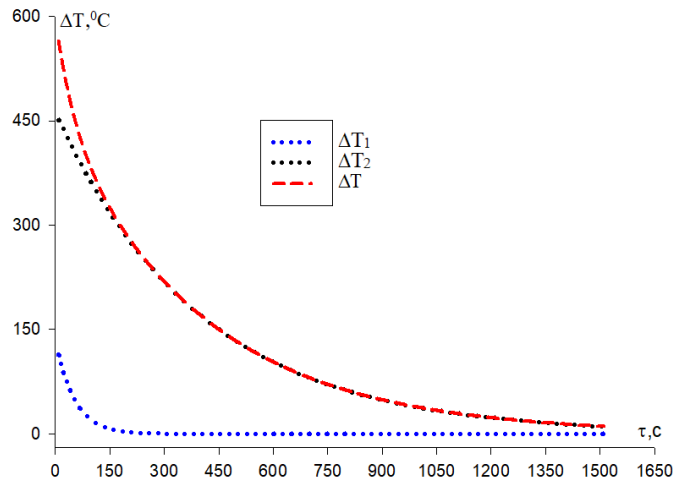


Рис.2. Зависимость  $\Delta T = f(\tau)$  для образцов из алюминия марки А5 диаметром 1,5 см.

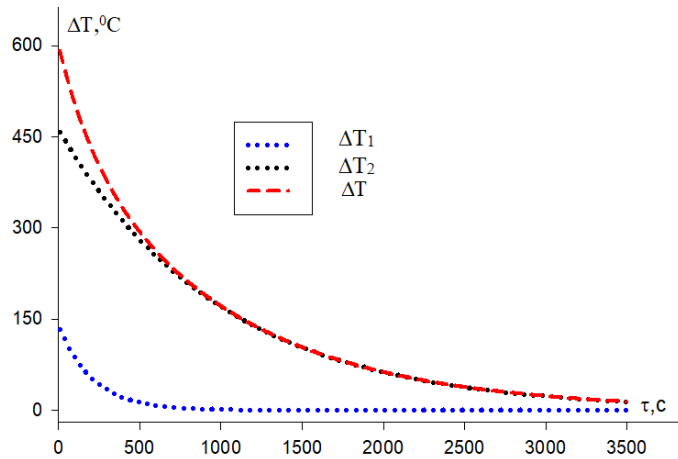


Рис.3. Зависимость  $\Delta T = f(\tau)$  для образцов из алюминия марки А5 диаметром 3,5 см.

Как видно из рис. 2 и 3 охлаждение образцов за счет лучеиспускания протекает быстрее, чем при охлаждении конвекцией. Вклад теплового излучения в охлаждение заметен только при высоких температурах.

На рис. 4 в качестве примера приведена временная зависимость скорости охлаждения для образца с диаметром 4,0 см.

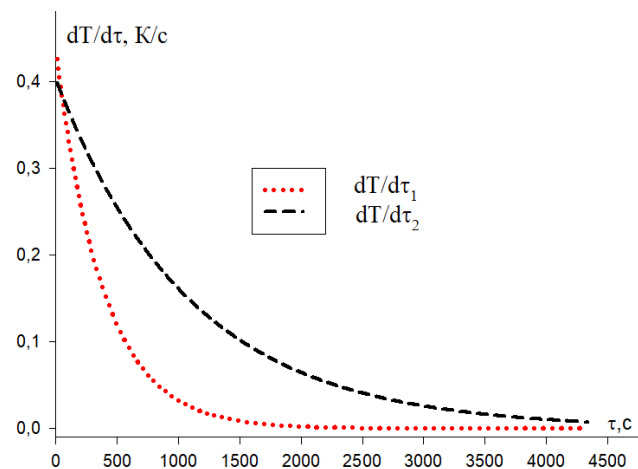


Рис.4. Временная зависимость скорости охлаждения образца диаметром 4,0 см.

В таблице 1 приведены найденные значения постоянных в уравнении временной зависимости разности температуры для образцов из алюминия марки А5 и окружающей среды, а также скорость охлаждения.

Таблица 1.

Значение постоянных в уравнениях (1) и (2)

Диаметр, образца, м	$T_1 - T_0, K$	$\tau_1, c$	$T_2 - T_0, K$	$\tau_2, c$	$\frac{T_1 - T_0}{\tau_1}, K/c$	$\frac{T_2 - T_0}{\tau_2}, K/c$	$T_0, K$
0,015	137,9	51,54	462,8	400,00	2,67	1,16	302,4
0,02	135,3	59,52	462,8	588,23	2,27	0,78	304,3
0,025	152,0	94,34	450,0	760,33	1,61	0,59	309,8
0,03	148,4	140,82	452,7	909,10	1,05	0,49	303,7
0,035	140,0	210,55	462,5	1000,00	0,66	0,46	303,1
0,04	168,2	384,6	440,4	1092,5	0,44	0,4	302,3

На рис. 5 и 6 приведена зависимость характерного времени охлаждения за счет теплового излучения и конвективного теплообмена от отношения объема образца к его площади поверхности (V/S) для алюминия марки А5.

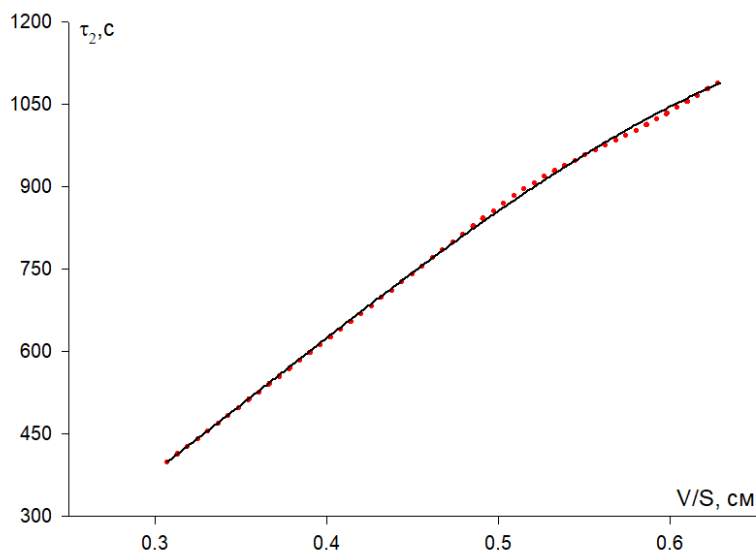


Рис.5. Зависимость характерного времени охдаждения за счет конвективного теплообмена от V/S для образцов из алюминия марки А5

<b>R</b>	<b>Rsqr</b>	<b>Adj Rsqr</b>	<b>Standard Error of Estimate</b>
0,9997	0,9995	0,9987	9,5249
<b>Coefficient</b>	<b>Std. Error t</b>	<b>P</b>	<b>VIF</b>
y <sub>0</sub> -111,5551	422,4239 -0,2641	0,8164	11801,3213<
a 452,9894	2872,27250,1577	0,8892	132152,9718<
b5493,1347	6303,33390,8715	0,4754	182416,3340<
c -5053,3326	4481,5492	-1,1276 0,3766	29326,7788<

Обработка полученных результатов по выявлению зависимости характерного времени охлаждения за счет конвекцией от V/S для образцов из алюминия марки А5 показала, что она подчиняется кубическому уравнению типа (x=V/S, см):

$$y = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$$

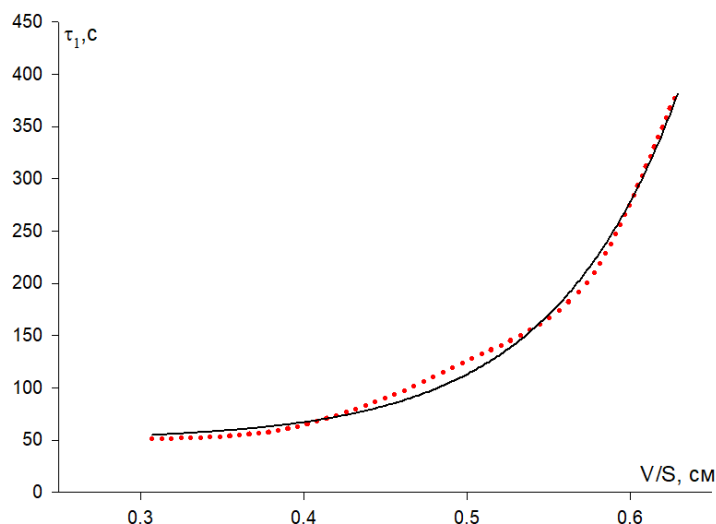


Рис. 6. Зависимость характерного времени охлаждения за счет лучеиспускания от  $V/S$  для образцов из алюминия марки А5

<b>R</b>	<b>Rsqr</b>	<b>Adj Rsqr</b>	<b>Standard Error of Estimate</b>
0,9980	0,9961	0,9935	10,2005

<b>Coefficient</b>	<b>Std. Error</b>	<b>t</b>	<b>P</b>	<b>VIF</b>
$y_0$ 49,5219	9,1947	5,3859	0,0125	4,8750<
$a$ 0,1050	0,0846	1,2419	0,3025	924,3558<
$b$ 12,8109	1,2637	10,1377	0,0020	854,6212<

Обработка кривых зависимости характерного времени охлаждения за счет лучеиспускания от  $V/S$  для образцов из алюминия марки А5 показала, что она подчиняется уравнению  $\tau_1 = y_0 + ae^{bx}$  ( $x=V/S$ ).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние размера образцов из алюминия марки А5 на время и скорость охлаждения. Выявлено, что образцы охлаждаются за счет конвективного теплообмена и теплового излучения. Характерное время охлаждения за счет лучеиспускания меньше, чем характерное время охлаждения за счет конвекции. Влияние теплового излучения заметно при высоких температурах и при охлаждении резко уменьшается. Установлено, что характерные времена охлаждения за счет лучеиспускания и конвекции с ростом диаметра образца увеличиваются нелинейно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Низомов З., Мирзоев Ф.М. Температурная зависимость теплоемкости и термодинамические функции алюминия, железа, кремния, цинка, меди, магния, марганца и титана // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, 2019. №1. С. 122-128.
2. Низомов З., Гулов Б.Н., Саидов Р.Х. Теплоемкость алюминия марки А5N, его сплавов с кремнием, медью и редкоземельными металлами. -Доклады АН Республики Таджикистан. 2014. Т.57. №11-12. С.615-620.
3. Низомов З., Саидов Р.Х., Шарипов Дж.Г., Гулов Б.Н. Теплофизические свойства сплавов Zn5Al, Zn55Al, легированных редкоземельными металлами.-Доклады Академии наук Республики Таджикистан, 2015. Т.58.-№10. С.916-921.
4. Авезов З.И., Саидов Р.Х., Низомов З. Теплофизические свойства сплавов Zn5Al, Zn55Al с элементами IIА группы. Душанбе: Сино, 2020.136 с.
5. Nizomov Z., Mirzoev F.M. Thermophysical properties of aluminum of different purity. -Scientific research of the SCO countries: synergy and integration- International Conference. Beijing, China, 2019. P.213-223.
6. Низомов З., Гулов Б.Н., Саидов Р.Х., Авезов З. Измерение удельной теплоемкости твердых тел методом охлаждения.-Вестник Таджикского национального университета, 2010. Вып. 3(59). С. 136-141.

REFERENCES

1. Nizomov Z., Mirzoev F.M. Temperature dependence of heat capacity and thermodynamic functions of aluminum, iron, silicon, zinc, copper, magnesium, manganese and titanium // Bulletin of the Tajik National University. Series of natural sciences, 2019. No. 1. P. 122-128.
2. Nizomov Z., Gulov B.N., Saidov R.Kh. Heat capacity of aluminum grade A5N, its alloys with silicon, copper and rare earth metals. - Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. 2014.V.57. No. 11-12. P.615-620.
3. Nizomov Z., Saidov R.Kh., Sharipov J.G., Gulov B.N. Thermophysical properties of alloys Zn5Al, Zn55Al, alloyed with rare earth metals. - Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2015. V.58.-№10. P.916-921.
4. Avezov Z.I., Saidov R.Kh., Nizomov Z. Thermophysical properties of Zn5Al, Zn55Al alloys with IIA group elements. Dushanbe: Sino, 2020, 136 p.
5. Nizomov Z., Mirzoev F.M. Thermophysical properties of aluminum of different purity. -Scientific research of the SCO countries: synergy and integration- International Conference. Beijing, China, 2019. P.213-223.
6. Nizomov Z., Gulov B.N., Saidov R.Kh., Avezov Z. Measurement of the specific heat capacity of solids by the cooling method. -Bulletin of the National University, 2010. Issue. 3 (59). P. 136-141.