

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971  
ISI (Dubai, UAE) = 0.829  
GIF (Australia) = 0.564  
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912  
PIHHI (Russia) = 0.126  
ESJI (KZ) = 8.716  
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630  
PIF (India) = 1.940  
IBI (India) = 4.260  
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](http://s-o-i.org/1.1/TAS) DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)

## International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2019 Issue: 10 Volume: 78

Published: 23.10.2019 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



### Denis Chemezov

Vladimir Industrial College  
M.Sc.Eng., Corresponding Member of International Academy of  
Theoretical and Applied Sciences, Lecturer, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0002-2747-552X>  
[chemezov-da@yandex.ru](mailto:chemezov-da@yandex.ru)

### Lyubov Suvorova

Vladimir Industrial College  
Student, Russian Federation

### Alexey Kuzin

Vladimir Industrial College  
Student, Russian Federation

### Emil Akhmetov

Vladimir Industrial College  
Student, Russian Federation

### Nematullo Karimov

Vladimir Industrial College  
Student, Russian Federation

### Ivan Mochalov

Vladimir Industrial College  
Lecturer, Russian Federation

### Elena Kiseleva

Vladimir Industrial College  
Master of Industrial Training, Russian Federation

## INFLUENCE OF A MOLD MATERIAL AND PERCENTAGE OF CHEMICAL ELEMENTS IN MELT ON SHRINKAGE OF STEEL AND CAST IRON CASTINGS

**Abstract:** The analysis of calculated shrinkage of steel and cast iron cylindrical castings made in steel, ceramic and sand molds was carried out in the article.

**Key words:** steel, cast iron, carbon, shrinkage, a crystallization time, a mold.

**Language:** Russian

**Citation:** Chemezov, D., et al. (2019). Influence of a mold material and percentage of chemical elements in melt on shrinkage of steel and cast iron castings. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (78), 301-306.

**Soi:** <http://s-o-i.org/1.1/TAS-10-78-54> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.10.78.54>

**Scopus ASCC:** 2506.

## Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.126	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 8.716	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 5.667	ОАЖ (USA) = 0.350

### ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ И ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСПЛАВЕ НА ВЕЛИЧИНУ УСАДКИ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК

**Аннотация:** В статье проведен анализ расчетной величины усадки стальных и чугуновых цилиндрических отливок, изготовленных в стальной, керамической и песчано-глинистой литейных формах.

**Ключевые слова:** сталь, чугун, углерод, усадка, время кристаллизации, литейная форма.

#### Введение

Кристаллизация металлического расплава в литейной форме приводит к возникновению различных литейных дефектов в отливке, в том числе и к усадке материала. В работах [1-10] представлены расчетные значения усадки некоторых металлических сплавов при гравитационном литье, литье под давлением и литье в кокиль. На величину усадки материала отливки влияют ряд химических элементов и их процентное содержание, способ литья и материал литейной формы. Чаще всего отливки изготавливают из чугунов, реже из сталей. Чугуны и стали в основном льют гравитационными методами в литейную форму. В зависимости от габаритов и сплава отливки выбирают способ литья и материал формы. Так как материалы литейных форм обладают разной теплопроводностью, то рассмотрению подлежит и время литья.

#### Материалы и методы исследования

Значения усадки стальных и чугуновых отливок во время процесса кристаллизации определялись по неравновесной модели расчета. Кристаллизуемая отливка имела форму цилиндра радиусом 10 мм. В качестве материалов отливок были приняты:

- углеродистые стали (3СП, 5СП, 15Л, 16MnCr5, 20, 20Л, 25, 25Л, 30, 30Л, 35, 35Л, 35ГЛ, 45, 45ГЛ, 45Л, 10848, IC1020, SS1306, SS1505, SS1606, SS2172);

- легированные стали (4X5МФС, 5ХНМ, 06X12НЗДЛ, 08ГДНФЛ, 10ХНЗМЛ, 14X17Н2, 150ХНМЛ, 15ГТЛ, 15ГФЛ, 15X2НМФАА, 15ХМЛ, 15ХМФЛ, 20ГЛ, 20ГСЛ, 20ГТЛ, 20ГФЛ, 20X5МЛ III, 20ХН4А, 20ХНГЛ, 25X1М1Ф, 25ХНЗМФА, 30ГСЛ, 30X13, 30ХГ2СТЛ, 30ХМЛ,

34ХН1МА, 34ХН3МА, 35ГТЛ, 35ГТРЛ, 35ГФЛ, 35ХГСЛ, 35ХМ, 35ХМЛ, 35ХМФЛ, 35ХН2ВЛ, 35ХН2МЛ, 35ХНЛ, 35ХНМЛ, 38ХГН, 40НМЛ, 40Х, 40Х2Н2МА, 40Х13, 40ХН, 45Х2ТЛ, 45Х2ФЛ, 50Г2Л, 110Г10Л, 110Г13Л, 120Г18Х2МНЛ, нихард, У8, 130Г18Х2МЛ);

- нержавеющие стали (Gx3CrNiMo18-12, 20X20H14C2Л, 40X24H12СЛ, 10X18H9БЛ, 12X18H9Т, 15X23H18Л);

- хромистые стали (SIS.2301, SIS.2302, SIS.2303, SIS.2304, SIS.2324, SIS.2333, SIS.2343, SIS.2353);

- серые чугуны (EN-GJL-100, EN-GJL-150, EN-GJL-180, EN-GJL-200, EN-GJL-250, EN-GJL-300, EN-GJL-350, для изложниц, специальный);

- ковкие чугуны (EN-GJS-400, EN-GJS-450, EN-GJS-500, EN-GJS-600, EN-GJS-700, SS0727, А-ХНМД);

- белые чугуны (ЧХ-1, ИЧ210Х33НЗСЛ, ИЧ300Х18Г2, ИЧ320Х20Н, ИЧХ28Н2, КЧ33-8, КЧ35-10, Malleable).

Процесс литья отливок осуществлялся в металлической (4X5МФС), керамической и песчано-глинистой литейных формах. Все литейные формы имели следующие свойства: степень черноты – 0.93, газопроницаемость –  $1.53 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{Па} \times \text{с}$ , жесткость – 1. Теплоперенос на границе выполнялся воздушным зазором. Противопригарное покрытие литейных форм отсутствовало. Температура литейных форм до выполнения процесса литья составляла 20°C.

#### Результаты и их обсуждение

Результаты расчетов представлены минимальными и максимальными значениями времени кристаллизации и усадки стальных и чугуновых отливок.

Таблица 1. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки углеродистых сталей.

Параметр	Материал литейной формы		
	4X5МФС	Кварцевый песок	Керамика
Мин. время кристаллизации, с	5.160 (10848)	33.487 (16MnCr5)	8.796 (10848)
Макс. время кристаллизации, с	13.504 (45ГЛ)	59.050 (45ГЛ)	19.856 (45ГЛ)
Мин. усадка, %	6.7253 (35)	5.1882 (30Л)	5.7644 (35)
Макс. усадка, %	8.0152 (10848)	5.7977 (10848)	6.6505 (10848)

В скобках в таблице указана марка сплава.

**Impact Factor:**

<b>ISRA (India)</b> = 4.971	<b>SIS (USA)</b> = 0.912	<b>ICV (Poland)</b> = 6.630
<b>ISI (Dubai, UAE)</b> = 0.829	<b>РИИЦ (Russia)</b> = 0.126	<b>PIF (India)</b> = 1.940
<b>GIF (Australia)</b> = 0.564	<b>ESJI (KZ)</b> = 8.716	<b>IBI (India)</b> = 4.260
<b>JIF</b> = 1.500	<b>SJIF (Morocco)</b> = 5.667	<b>OAJI (USA)</b> = 0.350

**Таблица 2. Химический состав углеродистых сталей.**

Марка	Химический элемент, %											
	Fe	C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni	Mo	Al	Ti
<b>10848</b>	99.16	0.04	0.5	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>16MnCr5</b>	98	0.15	0.45	0.9	0.15	0.03	0.03	0.23	0.01	0.05	-	-
<b>45ГЛ</b>	98	0.42	0.36	1	0.08	0.01	0.01	0.05	0.07	-	-	-
<b>35</b>	97.875	0.36	0.27	0.65	0.25	0.035	0.04	0.25	0.25	-	0.02	-
<b>30Л</b>	97.97	0.31	0.28	0.65	0.25	0.01	0.01	0.25	0.25	-	0.02	-

**Таблица 3. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки легированных сталей.**

Параметр	Материал литейной формы		
	4Х5МФС	Кварцевый песок	Керамика
Мин. время кристаллизации, с	5.13 (30X13)	35.63 (20X5МЛ)	9.172 (30X13)
Макс. время кристаллизации, с	12.923 (нихард)	103.925 (нихард)	25.734 (нихард)
Мин. усадка, %	4.2954 (06X12НЗДЛ)	3.118 (06X12НЗДЛ)	3.476 (06X12НЗДЛ)
Макс. усадка, %	8.8722 (нихард)	7.9546 (08ГДНФЛ)	8.2403 (08ГДНФЛ)

**Таблица 4. Химический состав легированных сталей.**

Марка	Химический элемент, %												
	Fe	C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni	Mo	Ti	V	Al
<b>30X13</b>	83.66	0.3	0.8	0.65	13	0.03	0.03	0.28	0.6	0.25	0.18	0.18	0.04
<b>20X5МЛ</b>	92.38	0.15	0.7	0.5	5.25	0.01	0.01	-	0.5	0.5	-	-	-
<b>Нихард</b>	92.28	1.3	0.5	0.5	1.4	0.01	0.01	-	4	-	-	-	-
<b>06X12НЗДЛ</b>	83.42	0.6	0.4	0.4	11.9	0.01	0.01	0.8	3	-	-	-	-
<b>08ГДНФЛ</b>	96.12	0.1	0.27	-	0.2	0.03	0.03	1	1.35	-	-	0.1	-

**Таблица 5. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки нержавеющей сталей.**

Параметр	Материал литейной формы		
	4Х5МФС	Кварцевый песок	Керамика
Мин. время кристаллизации, с	10.709 (10X18Н9БЛ)	52.671 (10X18Н9БЛ)	15.472 (10X18Н9БЛ)
Макс. время кристаллизации, с	14.252 (15X23Н18Л)	69.386 (Gx3CrNiMo18-12)	21.597 (Gx3CrNiMo18-12)
Мин. усадка, %	5.9205 (Gx3CrNiMo18-12)	4.7355 (15X23Н18Л)	5.2109 (Gx3CrNiMo18-12)
Макс. усадка, %	6.5774 (20X20Н14С2Л)	5.0246 (20X20Н14С2Л)	5.6661 (20X20Н14С2Л)

**Таблица 6. Химический состав нержавеющей сталей.**

Марка	Химический элемент, %										
	Fe	Ni	Cr	Si	Mn	C	Cu	P	S	Ti	Al
<b>10X18Н9БЛ</b>	69.54	10	18	0.6	1.5	0.1	0.2	0.03	0.02	-	-
<b>15X23Н18Л</b>	96.04	18	24	0.6	1	0.1	0.2	0.03	0.03	-	-
<b>Gx3CrNiMo18-12</b>	72.37	10	16	0.8	0.8	0.03	-	-	-	-	-
<b>20X20Н14С2Л</b>	64.65	12	20	2	1	0.1	0.2	0.03	0.02	-	-

**Таблица 7. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки хромистых сталей.**

Параметр	Материал литейной формы		
	4Х5МФС	Кварцевый песок	Керамика
Мин. время кристаллизации, с	9.755 (SIS.2301)	53.487 (SIS.2301)	16.147 (SIS.2301)

**Impact Factor:**

<b>ISRA (India) = 4.971</b>	<b>SIS (USA) = 0.912</b>	<b>ICV (Poland) = 6.630</b>
<b>ISI (Dubai, UAE) = 0.829</b>	<b>РИИЦ (Russia) = 0.126</b>	<b>PIF (India) = 1.940</b>
<b>GIF (Australia) = 0.564</b>	<b>ESJI (KZ) = 8.716</b>	<b>IBI (India) = 4.260</b>
<b>JIF = 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco) = 5.667</b>	<b>OAJI (USA) = 0.350</b>

Макс. время кристаллизации, с	10.818 (SIS.2343)	58.399 (SIS.2343)	17.075 (SIS.2343)
Мин. усадка, %	4.712 (SIS.2324)	3.3165 (SIS.2324)	3.832 (SIS.2324)
Макс. усадка, %	6.147 (SIS.2333)	4.7179 (SIS.2333)	5.2638 (SIS.2333)

**Таблица 8. Химический состав хромистых сталей.**

Марка	Химический элемент, %									
	<i>Fe</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>C</i>	<i>Cu</i>	<i>Mo</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
<b>SIS.2301</b>	85.74	12.9	0.12	0.54	0.48	0.07	0.1	0.02	0.02	0.01
<b>SIS.2343</b>	63.74	17.7	13.4	0.83	1.65	0.05	0.15	2.68	-	-
<b>SIS.2324</b>	67.21	25.1	4.7	0.88	0.76	0.04	0.08	1.22	0.02	0.01
<b>SIS.2333</b>	67.92	19	10	1	2	0.08	-	-	-	-

**Таблица 9. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки серых чугунов.**

Параметр	Материал литейной формы		
	<i>4X5MΦC</i>	<i>Кварцевый песок</i>	<i>Керамика</i>
Мин. время кристаллизации, с	8.272 (EN-GJL-150)	79.729 (EN-GJL-150)	19.581 (EN-GJL-150)
Макс. время кристаллизации, с	10.991 (EN-GJL-350)	96.398 (EN-GJL-350)	24.53 (EN-GJL-350)
Мин. усадка, %	6.7794 (Для изложниц)	5.5907 (EN-GJL-150)	5.8372 (EN-GJL-150)
Макс. усадка, %	8.2728 (EN-GJL-150)	7.2471 (EN-GJL-150)	7.7051 (EN-GJL-150)

**Таблица 10. Химический состав серых чугунов.**

Марка	Химический элемент, %										
	<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Ti</i>	
<b>EN-GJL-150</b>	93.22	3.55	2.35	0.65	0.15	0.08	-	-	-	-	
<b>EN-GJL-350</b>	94.7	3	1.3	0.9	0.05	-	-	-	-	-	
Для изложниц	93.2	3.5	2	0.7	0.2	0.2	0.1	0.1	-	-	

**Таблица 11. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки ковких чугунов.**

Параметр	Материал литейной формы		
	<i>4X5MΦC</i>	<i>Кварцевый песок</i>	<i>Керамика</i>
Мин. время кристаллизации, с	9.755 (EN-GJS-400)	85.715 (EN-GJS-400)	22.256 (EN-GJS-400)
Макс. время кристаллизации, с	11.108 (SS0727)	101.269 (А-ХНМД)	24.779 (А-ХНМД)
Мин. усадка, %	7.3504 (EN-GJS-400)	6.1739 (EN-GJS-400)	6.6714 (EN-GJS-400)
Макс. усадка, %	9.0085 (А-ХНМД)	8.1494 (А-ХНМД)	8.4191 (А-ХНМД)

**Таблица 12. Химический состав ковких чугунов.**

Марка	Химический элемент, %											
	<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Mg</i>	<i>Mo</i>	<i>V</i>
<b>EN-GJS-400</b>	93.58	3.6	2.5	0.1	-	0.02	0.01	0.15	-	0.04	-	-
<b>SS0727</b>	93.83	3.4	2.4	0.3	-	0.02	0.01	-	-	0.04	-	-
<b>А-ХНМД</b>	91.92	3	1.4	1	0.5	0.1	0.08	0.2	1.3	-	0.5	-

**Таблица 13. Минимальные и максимальные значения времени кристаллизации и усадки белых чугунов.**

Параметр	Материал литейной формы		
	<i>4X5MΦC</i>	<i>Кварцевый песок</i>	<i>Керамика</i>
Мин. время кристаллизации, с	10.799 (ИЧ210Х33НЗСЛ)	74.071 (ИЧ320Х20Н)	21.146 (ИЧ320Х20Н)
Макс. время кристаллизации, с	11.915 (ЧХ-1)	110.297 (КЧ35-10)	27.831 (КЧ35-10)
Мин. усадка, %	5.1052 (ИЧ320Х20Н)	4.4365 (ИЧ320Х20Н)	4.5947 (ИЧ320Х20Н)
Макс. усадка, %	7.2159 (Malleable)	6.5021 (Malleable)	6.6681 (Malleable)

**Impact Factor:**

<b>ISRA (India)</b> = 4.971	<b>SIS (USA)</b> = 0.912	<b>ICV (Poland)</b> = 6.630
<b>ISI (Dubai, UAE)</b> = 0.829	<b>РИИЦ (Russia)</b> = 0.126	<b>PIF (India)</b> = 1.940
<b>GIF (Australia)</b> = 0.564	<b>ESJI (KZ)</b> = 8.716	<b>IBI (India)</b> = 4.260
<b>JIF</b> = 1.500	<b>SJIF (Morocco)</b> = 5.667	<b>OAJI (USA)</b> = 0.350

**Таблица 14. Химический состав белых чугунов.**

Марка	Химический элемент, %							
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
<b>ИЧ210Х33НЗСЛ</b>	63.2	2	1	0.7	0.1	0.1	30	2.9
<b>ИЧ320Х20Н</b>	63.25	3	0.7	0.6	0.1	0.1	31	1.25
<b>ЧХ-1</b>	93.85	3	2	1	0.1	0.05	-	-
<b>КЧ35-10</b>	95.35	2.45	1.45	0.5	0.1	0.1	0.05	-
<b>Malleable</b>	95.94	2.6	1	0.3	0.08	0.08	-	-

Кристаллизация стальных и чугуновых отливок происходит медленнее в литейной форме, изготовленной из кварцевого песка. Стали кристаллизуются быстрее, чем чугуны (за исключением нихарда низкоуглеродистого). Наибольшее время кристаллизации определено для белого чугуна КЧ35-10 при охлаждении в форме, изготовленной из кварцевого песка. Время кристаллизации стальных и чугуновых отливок в керамической литейной форме составляет примерно в два раза больше, чем время кристаллизации в металлической литейной форме.

При быстрой кристаллизации отливки в металлической форме происходит большая усадка материала. Например, ковкий чугун А-ХНМД после охлаждения подвергается усадке на 9% от изначального объема расплава. При кристаллизации сталей и чугунов в песчано-глинистой форме усадка уменьшается на 10-15%. Разница между усадками сталей и чугунов в песчано-глинистой и керамической литейных формах составляет не более 5%. На увеличение усадки углеродистых сталей влияет высокое процентное содержание железа и кремния, легированных сталей – высокое содержание

углерода, нержавеющей сталей – низкое содержание железа и высокое содержание кремния, хромистых сталей – высокое содержание кремния и марганца. На увеличение усадки серых чугунов влияет высокое содержание кремния, ковких чугунов – низкое содержание железа, углерода, кремния и высокое содержание марганца, белых чугунов – высокое содержание железа и низкое содержание марганца.

**Заключение**

Уменьшение продолжительности процесса кристаллизации цилиндрических стальных и чугуновых отливок в металлической литейной форме приводит к увеличению усадки материала. Увеличение продолжительности процесса кристаллизации отливок в песчано-глинистой форме приводит к уменьшению усадки материала. Средние значения исследуемых параметров можно получить при кристаллизации сталей и чугунов в литейной форме, изготовленной из керамики. На усадку сталей и чугунов в основном влияет процентное содержание железа, кремния, углерода и марганца.

**References:**

1. Chemezov, D., Pavluhina, I., Komissarov, A., & Kanishchev, I. (2019). Properties research of grey cast iron in condition of gravity casting into a metal mold. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (75), 1-4.
2. Chemezov, D. (2018). Condition of a casting material of a cylinder block of a car after crystallization in a sand mold. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (63), 145-147.
3. Chemezov, D., Smirnova, L., & Bogomolova, E. (2018). Metal mold casting of cast iron and aluminium pistons. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (61), 132-141.
4. Chemezov, D., Bayakina, A., & Lukyanova, T. (2017). Residual stresses in silumin after high-pressure die casting. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 11 (55), 1-8.
5. Chemezov, D. (2017). Convective heat transfer when cooling of metallic melts. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 09 (53), 1-7.
6. Chemezov, D. (2017). The mathematical models of shrinkage formation in metallic alloys. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 09 (53), 23-42.
7. Chemezov, D. (2017). The degree of shrinkage porosity in the castings after solidification. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (51), 1-6.

<b>Impact Factor:</b>	<b>ISRA (India) = 4.971</b>	<b>SIS (USA) = 0.912</b>	<b>ICV (Poland) = 6.630</b>
	<b>ISI (Dubai, UAE) = 0.829</b>	<b>PIHHI (Russia) = 0.126</b>	<b>PIF (India) = 1.940</b>
	<b>GIF (Australia) = 0.564</b>	<b>ESJI (KZ) = 8.716</b>	<b>IBI (India) = 4.260</b>
	<b>JIF = 1.500</b>	<b>SJIF (Morocco) = 5.667</b>	<b>OAJI (USA) = 0.350</b>

---

8. Chemezov, D., Bakhmeteva, M., Bayakina, A., Polushin, V., Lukyanova, T., & Igumentseva, A. (2017). Analysis of the manufacturing process of the case-shaped casting in the sand mould. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 06 (50), 14-52.
9. Chemezov, D. (2017). Shrinkage of some metal alloys after solidification. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 06 (50), 87-89.
10. Chemezov, D. (2017). Stress fields in a steel casting. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 05 (49), 165-172.