УДК 669.1

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ И ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ФОРМЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА

¹Акрамов М.Б., ¹Хаитов А.Ш.,
²Умурзоков А.Р., ³Умурзоков Р.М.

¹ Душанбинский Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет» «МИСиС».

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
Институт эко технологий и инжиниринга.

³ ОАНО ВО Московский открытый институт

RESEARCH OF THE RATE OF COOLING AND SELECTION OF THE MATERIAL FORM FOR THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CAST IRON CASTINGS

¹Akramov M.B., ¹Khaitov A.Sh.,
²Umurzokov A.R., ³Umurzokov R.M.

¹ Dushanbinskiy Filial federal'nogo gosudarstvennogo avtonomnogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego obrazovaniya «Natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnologicheskii universitet» «MISiS».

² Natsional'nyy issledovatel'skiy tekhnologicheskii universitet «MISiS»,
Institut eko tekhnologii i inzhiniringa.

³ OANO VO Moskovskiy otkrytyy institut

Аннотация. Структура и свойства отливок из чугунов зависит не только от химического состава жидкого расплава чугуна и технологии его выплавки, но и от много других условий как охлаждения и кристаллизации отливок, особенно от дальнейшего затвердевания отливок в литейных формах. В статье приводятся установленные зависимости влияния скорости охлаждения отливок на механические свойства полученных деталей, исследованные микроструктуры экспериментальных образцов от подобранных формовочных материалов и установлено что, теплопроводность материалов влияют на структуры графита в отливках чугуна.

Предложены компьютерные модели зависимостей и регрессионные уравнения процессов.

Abstract. The structure and properties of cast iron castings depends not only on the chemical composition of molten cast iron and the technology of its smelting, but also on many other conditions such as cooling and crystallization of castings, especially on further solidification of castings in casting molds. The article presents the established dependences of the influence of the cooling rate of castings on the mechanical properties of the obtained parts, the investigated microstructures of experimental samples from the selected molding materials and it is established that the thermal conductivity of materials affects the structure of graphite in cast iron castings.

Computer models of dependencies and regression equations of the processes are proposed.

Ключевые слова: чугун, расплав, кристаллизация, литейные формы, деталь, микроструктура, формовочные материалы, теплопроводность, модель, регрессионные уравнения.

Keywords: cast iron, melt, crystallization, casting molds, detail, microstructure, molding materials, thermal conductivity, model, regression equations.

Структура и свойства отливок из чугунов зависит не только от химического состава жидкого расплава чугуна и технологии его выплавки, но и от много других условий как охлаждения и кристаллизации отливок, особенно от дальнейшего затвердевания отливок в литейных формах. Для подбора материала нами изучены работы ученых по процессам кристаллизации и затвердевания чугунов как Э. Б. Тен, В. Д. Белова, Д.К. Чернова, А.С. Лаврова, Г.Ф. Баландина, В.С. Шумихина, и многих других [1 – 4].

В реальных сплавах чугуна, применяемых в теплоэнергетических оборудовании, универсальной формой кристаллов являются дендриты, природы которых изучены многими учеными.

Современные представления о структуре жидких сплавов основываются на теории Я. И. Френкеля для расплавов. Можно объяснить, силы связи и соответствие координации частиц в твердой и жидкой фазах, вблизи температуры ликвидуса.

Эксперименты проводились в институте геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ, ТНУ и ДФ НИТУ «МИСиС». Заранее благодарим заведующего лабораториями института геологии Миракова Миракшох, что он помогал нам в выборе оборудования и проведение экспериментов.

Исследование микроструктуры, скорость охлаждения отливок в форме, твердость полученных отливок от выбранных условий и характеристик выбранного материала формы показал, что перечисленные характеристики зависят от подобранных условий эксперимента.

На рисунке 1 приведена зависимость твердость охлаждённых в различных формах образцов от их коэффициента относительного удлинения.

Из графика видно, что выбранная форма сильно влияет на коэффициент относительного удлинения образцов. Как видно из графика коэффициент твердости по Виккесу имеет корреляционную зависимость от коэффициента относительного удлинения. Твердость отливок увеличивается, когда деталь отливается в металлическую форму и на последнем месте находится песчано-глинистая форма. Это, скорее всего зависит от тепловых характеристик форм, особенно от коэффициентов теплоотдачи и теплопроводности. Значит меняется структура образцов.

Микроструктурный анализ проводился с применением микроскопа JEOL 35 CF. На электронном микроскопе нами сняты фотографии структуры образцов до травления химикатами. На рисунке 2 приведена микроструктура образцов при различных условиях.

Рисунок 1 - Зависимость твердости охлаждённых в различных формах образцов от их коэффициента относительного удлинения.

Рисунок 2 - Микроструктура образцов при различных условиях.

Были подготовлены образцы для механических испытаний. Предел прочности образцов измеряли на универсальной разрывной машине 20тн/200кН.

Измеренные значения относительного удлинения образцов от их скорости охлаждения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Относительное удлинения образцов от скорости охлаждения									
V (°C/c)	5	10	15	20	25	30	5	40	45
$\Delta\delta$ (%)	22	15	9	8	7	6	5	4	4

Применяя результаты экспериментов и анализируя полученные численные значения определили зависимости предела прочности экспериментальных образцов от скорости охлаждения отливок в форме.

Зависимость предела прочности образца от скорости охлаждения образцов на рисунке 3.

Рисунок 3 - Зависимость предела прочности от скорости охлаждения образца

Изученные процессы смоделированы с помощью компьютерной программы «Сигма плот» и определены регрессионные уравнения модели согласно методикам представленные [5-6].

Черные точки соответствуют результатам эксперимента, а сплошная кривая соответствует рассчитанным значениям согласно предложенной модели. Корреляционная регрессионное уравнение имеет логарифмический вид

$$F_{\text{m}} = C_0 + 119,5 \ln c$$

где c_0 и c регрессионные коэффициенты скорости охлаждения.

Компьютерный расчет регрессионных коэффициентов

Nonlinear Regression Fpp=F(c) Akramov Muchammad

Data Source: Data 1 in 04.06.2021

Equation: Logarithm; 2 Parameter I

$f = \text{if}(x > 0; y_0 + a * \ln(\text{abs}(x)); 0)$

R	Rsqr	Adj Rsqr	Standard Error of Estimate
0,9915	0,9830	0,9813	12,4462

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
y0	323,883816,6525	19,4496	<0,0001	21,4817<	
a	119,49974,9649	24,0688	<0,0001	21,4817<	

Analysis of Variance: MYXAMMAД

Uncorrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS
Regression	2	6228729,9275	3114364,9638
Residual	10	1549,0725	154,9072
Total	126230279,0000	519189,9167	

Corrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	89739,1775	89739,1775	579,3091	<0,0001
Residual	10	1549,0725	154,9072		
Total	1191288,25008298,9318				

Statistical Tests:

PRESS 2934,5354

Durbin-Watson Statistic 1,1249 Failed

Normality Test Passed (P = 0,6008)

K-S Statistic = 0,2118 Significance Level = 0,6008

Constant Variance Test Passed (P = 0,1502)

Power of performed test with alpha = <0,0001: 0,0000

The power of the performed test (0,0000) is below the desired power of 0,8000.

You should interpret the negative findings cautiously.

Regression Diagnostics:

Row	Std. Res.	Stud. Res.	Stud. Del. Res.
1	-1,3025	-1,8895	-2,2354<
2	-0,7265	-0,8300	-0,8160
3	2,1296<	2,2891<	3,1475<
4	1,1351	1,1936	1,2228
5	0,1978	0,2066	0,1964
6	0,2952	0,3088	0,2943
7	-0,0600	-0,0631	-0,0599
8	0,0238	0,0252	0,0239
9	0,1785	0,1911	0,1817
10	-0,1100	-0,1192	-0,1132
11	-0,5431	-0,5956	-0,5753

Influence Diagnostics:

Row	Cook's Dist	Leverage	DFFITS
1	1,9713	0,5248	-2,3492
2	0,1051	0,2338	-0,4508
3	0,4071	0,1345	1,2407
4	0,0754	0,0957	0,3979
5	0,0020	0,0838	0,0594
6	0,0045	0,0859	0,0902
7	0,0002	0,0958	-0,0195
8	3,9589E-0050	0,1106	0,0084
9	0,0027	0,1283	0,0697
10	0,0012	0,1479	-0,0471
11	0,0360	0,1687	-0,2591

95% Confidence:

Row	Predicted	95% Conf-L	95% Conf-U	95% Pred-L	95% Pred-U
1	516,2112496	1215	536,3008	481,9672	550,4551
2	599,0420585	6324	612,4517	568,2383	629,8458
3	647,4950637	3250	657,6650	617,9572	677,0328
4	681,8729673	2918	690,4540	652,8438	710,9020
5	708,5385700	5089	716,5681	679,6676	737,4094
6	730,3259722	1996	738,4521	701,4280	759,2238
7	748,7468740	1618	757,3319	719,7166	777,7771
8	764,7038755	4817	773,9259	735,4788	793,9288
9	778,7788768	8453	788,7124	749,3216	808,2361
10	791,3694780	7043	802,0344	761,6575	821,0813
11	802,7589791	3697	814,1481	772,7795	832,7384

Fit Equation Description:

[Variables]

x = col(22)

y = col(23)

reciprocal_y = 1/abs(y)

reciprocal_ysquare = 1/y^2

'Automatic Initial Parameter Estimate Functions

F(q)=ape(ln(abs(x));y;1;0;1)

[Parameters]

y0 = F(0)[1] "Auto {{previous: 323,884}}

a = F(0)[2] "Auto {{previous: 119,5}}

[Equation]

f=if(x>0; y0+a*ln(abs(x)); 0)

fit f to y

"fit f to y with weight reciprocal_y

"fit f to y with weight reciprocal_ysquare

[Constraints]
[Options]
tolerance=1e-10
stepsize=1
iterations=200
Number of Iterations Performed = 1,0

Как видно из регрессионного анализа коэффициенты регрессии на исследованном участке кривой превышает 0,98 (0,9915. 0,9830. 0,9813)

Поэтому можно рекомендовать производителям согласно регламентируемым характеристикам деталей выбрать ту или иную форму для отливок деталей с необходимыми коэффициентами теплоотдачи и теплопроводности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Э. Б. Тен, В. Д. Белов. Разработки в области стального и чугунного литья. ж. Литьё и Металлургия. 3 (72), 2013. Стр. 50-53.
2. Колокольцев В.М., Перроченко Е.В. Металлургические и металловедческие аспекты повышения функциональных свойств литых изделий из белых чугунов. Вестник МГТУ им. Г.И. Носова 2014. №4. Стр. 87-94.
3. Справочник по чугунному литью / А. А. Жуков [и др.] ; под ред. Н. Г. Гиршовича. – Ленинград : Машиностроение ; Ленингр. отд-ние, 1978. – 758 с.
4. Высококачественные чугуны для отливок / В. С. Шумихин [и др.]; под ред. Н. Н. Александрова. – М. : Машиностроение, 1982. – 222 с.
5. Низомов З., Мирзоев Ф., Акрамов М.Б. Монография Теплофизические свойства алюминия различной степени чистоты и сплавов системы Al-Si. Душанбе: Сино, 2020. 96 с
6. Акрамов М.Б., Суюндиков М.М. Учебное пособие Основы физико-химических методов анализа для экспериментаторов. Душанбе. «Ирфон» 2014г 238 стр.

REFERENCES

1. E. B. Ten, V. D. Belov. Razrabotki v oblasti stal'nogo i chugunnogo lit'ya. zh. Lit'yo i Metallurgiya. 3 (72), 2013. pp. 50-53.
2. Kolokol'tsev V.M., Perrochenko Ye.V. Metallurgicheskiye i metallovedcheskiye aspekty povysheniya funktsional'nykh svoystv litykh izdeliy iz belykh chugunov. Vestnik MGTU im. G.I. Nosova 2014. №4. pp. 87-94.
3. Spravochnik po chugunnomu lit'yu / A. A. Zhukov [and others] ; ed. N. G. Girshovicha. – Leningrad : Mashinostroyeniye ; Leningr. otd-niye, 1978. – 758 p.
4. Vysokokachestvennyye chuguny dlya otlivok / V. S. Shumikhin [i dr.]; pod red. N. N. Aleksandrova. – M. : Mashinostroyeniye, 1982. – 222 p.
5. Nizomov Z., Mirzoyev F., Akramov M.B. Monografiya Teplofizicheskiye svoystva alyuminiya razlichnoy stepeni chistoty i splavov sistemy Al-Si. Dushanbe: Sino, 2020. 96 p
6. Akramov M.B., Suyundikov M.M. Uchebnoye posobiye Osnovy fiziko-khimicheskikh metodov analiza dlya eksperimentatorov. Dushanbe. «Irfon» 2014 njhb238 p.