

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВТУЛОК ЦИЛИНДРОВ МАЛЫХ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНОГО ФАКТОРА

Марченко М. В.

(Харьковский Национальный технический университет сельского хозяйства)

В статье рассмотрен анализ качества втулок цилиндров малых судовых двигателей на основе структурного фактора.

Как было показано в более ранних публикациях [1, 2] существенное влияние на уровень твердости отливок из чугуна оказывают: химический состав и формируемая структура (доля феррита и карбидной фазы). Соотношение фаз существенным образом зависит от скорости кристаллизации.

Оценивая структуру металла по сечению отливки можно установить не только его фазовый состав, но и скорость кристаллизации отдельных зон заготовки. Одним из основных критериев качества втулок цилиндров и сдаточной характеристикой является уровень твердости, соответствующий значениям 217-269НВ.

При стабильной структуре можно ожидать получение близких значений (малога разброса) как коэрцитивной силы, так и твердости. С отклонениями количества и формы графита, а так же содержанием карбидной фазы, будут изменяться значения твердости и коэрцитивной силы.

Целью работы является установление связи между сдаточной характеристикой, твердости, коэрцитивной силой и структурными составляющими для втулок цилиндров малых судовых двигателей из низколегированного чугуна. При наличии достаточно полной связи можно будет перейти к оценке этого показателя по коэрцитивной силе.

Задачи исследований состоят в том, чтобы показать какой вид связи является наиболее достоверным для оценки сдаточной характеристики. Установление зависимостей позволит на каждой детали выяснить причины и области отклонения свойств с использованием неразрушающего контроля.

Результаты анализа микроструктуры низколегированного чугуна втулки цилиндров показали, что помимо графита имеют место следующие фазы: цементит, фосфидная эвтектика, перлит, троостит, феррит.

Автоматизированный подсчет фаз, произведенный по специальной методике [3] показал, что доля феррита не превышает 2%, поэтому её из анализа исключили.

Фосфидную эвтектику при автоматизированной обработке данных трудно отделить от цементита при данном методе анализа. Учитывая, что в фосфидной эвтектике содержится цементит, и она имеет высокую микротвердость, отнесли её к карбидной фазе.

Фосфидная эвтектика в исследуемых отливках имеет микротвердость равную Н-50-699-800, а цементит Н-50-893-1267.

Для определения полноты связи твердость - коэрцитивная сила было

проведено 504 измерения твердости и свыше 80 измерений коэрцитивной силы каждому измерению коэрцитивной силы соответствовало 8-10 замеров твердости. Замеры производили на различных предприятиях. При этом были выявлены отклонения по значениям твердости. По ТУ они соответствуют диапазону 217 – 269 НВ. Уровень значений твердости изменяется в пределах 7,0 – 12,0 % по месту оценки H_c , в ряде случаев колебания достигают 16,0 – 57,0 %. Изменение интервала по ТУ между минимальным и максимальным значением составляет 23%.

Проанализированы при помощи компьютерной программы и построены различные варианты линии тренда. А также вычислена точность аппроксимации зависимостей структурная составляющая – коэрцитивная сила, а так же твердость коэрцитивная сила.

При автоматическом вычислении линии тренда использовали пять типов зависимостей.

1. Линейная.

Используется для аппроксимации данных по методу наименьших квадратов в соответствии с уравнением:

$$y = mx + b, \quad (1)$$

где m - угол наклона и b - координата пересечения оси абсцисс.

2. Полиномиальная.

Используется для аппроксимации данных по методу наименьших квадратов в соответствии с уравнением:

$$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_6x^6, \quad (2)$$

где b и $c_1 \dots c_6$ - константы.

3. Логарифмическая.

Используется для аппроксимации данных по методу наименьших квадратов в соответствии с уравнением:

$$y = c \ln x + b, \quad (3)$$

где c и b - константы, \ln - функция натурального логарифма.

4. Экспоненциальная.

Используется для аппроксимации данных по методу наименьших квадратов в соответствии с уравнением:

$$y = ce^{bx}, \quad (4)$$

где c и b - константы, e - основание натурального логарифма.

5. Степенная.

Используется для аппроксимации данных по методу наименьших квадратов в соответствии с уравнением:

$$y = cx^b, \quad (5)$$

где c и b - константы.

Значение величины достоверности аппроксимации (R-квадрат). величины

отображающей близость значений линий тренда к фактическим данным, оценивали как:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}, \quad (6)$$

где

$$SSE = \sum (Y_j - \hat{Y}_j)^2, \quad (7)$$

и

$$SST = \left(\sum Y_j^2 \right) - \frac{(\sum Y_j)^2}{n}. \quad (8)$$

Рассматривали всю выборку целиком, а также по отдельности: втулки, в которых разброс значений твердости не превышал требований ТУ и втулки со значениями, выпадающими за пределы ТУ.

Анализируя полученные зависимости следует отметить, что общая выборка показала стабильные значения аппроксимации. При этом в зависимости твердость – коэрцитивная сила она колебалась от 0,52 до 0,56. Максимальные значения соответствуют линейной и полиномиальной зависимостям.

Втулки с уровнем твердости соответствующим ТУ значения аппроксимации изменяются от 0,34 до 0,58. Максимальное значение соответствует линейной (0,53) и полиномиальной моделям (0,58), а минимальные – степенной (0,34).

Во втулках со значениями твердости, выходящим за пределы требований ТУ значения аппроксимации находятся в пределах 0,63 ÷ 0,73. При этом максимальное значение соответствует полиномиальной (0,73), а минимум – экспоненциальной (0,63).

Поэтому целесообразно для оценки полноты связи исследуемых втулок цилиндров использовать полиномиальную модель для втулок различного качества.

Рассмотрев зависимость коэрцитивная сила – твердость, было принято решение проанализировать влияние каждой структурной составляющей матрицы на уровень коэрцитивной силы и твердости.

Для этого были проанализированы графические зависимости и просчитана линия тренда с уровнем аппроксимации. По полученным данным можно заключить, что во втулках соответствующих требованиям ТУ по твердости основное влияние на H_c оказывает доля перлита. Это связано с тем, что количество этой структурной составляющей в матрице составляет основу и достигает 50,8 %. Эта структурная составляющая характеризуется более высокими значениями аппроксимации согласно логарифмической и степенной моделям (0,33 и 0,34).

При анализе влияние структурных составляющих на уровень H_c наибольшая полнота связи получено при использовании линейной модели для: перлита (0,33), троостита (0,38), графита (0,69), цементита (0,89). По данной зависимости можно заключить, что при увеличении доли троостита и цементита, и при уменьшении количества структурных составляющих перлита от 37 до 28% и

графита от 22 до 18% уровень коэрцитивной силы снижается от 14,0 до 29,8 А/см.

Наиболее тесная связь отмечается при использовании логарифмической модели по оценке доли графита (0,69), цементита (0,65).

Достаточно высокая полнота связи при использовании и других моделей:

- при полиномиальной: перлит (0,37), троостит (0,38), графит (0,69), цементит (0,93);
- при степенной: графит (0,68), цементит (0,67);
- при экспоненциальной: перлит (0,36), троостит (0,34), графит (0,715), цементит (0,9).

Из анализа совокупной выборки учитывающей фазовый состав чугуна видно, что на уровень твердости и коэрцитивной силы наибольшее влияние оказывают доля графита и цементита.

Выше было рассмотрено влияние каждой структурной составляющей на уровень коэрцитивной силы и твердости. Представляет интерес оценить их совместный вклад в изменение анализируемых свойств. Было проанализировано влияние металлической матрицы (перлит + троостит + цементит и перлит + троостит) на показания твердости и коэрцитивной силы. В таблице 1 приведены данные по общей доли структурных составляющих для втулок, соответствующих требованиям ТУ.

Для определения достоверности расчетов было оценено среднеквадратическое отклонение. Отклонения оценивали по выборке и производили в соответствии с ГОСТ 27.202 по формуле:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (9)$$

Из полученных зависимостей можно заключить, что при увеличении доли цементита от 6 до 9 %, троостита от 22 до 51 %, так и при увеличении перлит + троостит от 67 до 74% характерно повышение уровня коэрцитивной силы от 14,2 до 29,6 А/см. Однако, уровень аппроксимации при всех вариантах значительно ниже допустимых значений и не превышает 0,04. Следовательно можно заключить, что вклад данных структурных составляющих на уровень коэрцитивной силы и твердости не значим.

Что же касается влияния доли фаз, то здесь также при увеличении содержания цементита, троостита, и перлит + троостит повышается уровень твердости от 207 до 302 НВ.

При оценке логарифмической и полиномиальной моделями теснота связи существенно возрастает для цементита (0,93), перлита (0,37) и троостита (0,78), перлит + троостит (0,45). Из проанализированных связей наиболее рационально использовать полиномиальную модель.

Используя экспериментальные данные, были проанализированы зависимости для втулок, не соответствующих техническим условиям по уровню твердости (выше и ниже требований ТУ).

Соотношение фаз во втулке и их влияние на уровень твердости,
соответствующие требованиям ТУ

№ Обр.	Зона	НВ	H _c , А/см	Графит, %	Карбид, %	Троостит, %	Перлит, %	П+Т, %	П+Т+Ц, %	Г/Ц, %
2-1	1	302	28,9	16,5	10,7	28,5	44,3	72,8	83,5	1,5
	2	269	24,4	21,2	12,3	36,1	30,2	66,3	78,6	1,7
2-2	1	302	29,7	18,0	8,3	27,0	40,8	67,8	76,0	2,2
	2	269	24,4	19,5	6,5	27,9	46,1	73,9	80,5	2,9
7-1	1	269	18,0	19,9	5,4	23,8	50,8	74,6	80,0	3,7
	2	241	17,1	23,8	4,9	27,6	43,7	71,4	76,3	4,9
7-2	1	255	18,8	21,9	6,4	33,4	38,2	71,6	78,1	3,4
	2	241	17,1	21,3	3,9	29,8	45,0	74,8	78,7	5,5
53-2	2	217	15,3	20,5	5,4	46,2	22,0	68,2	73,6	3,8
55-1	1	241	15,7	18,2	8,2	37,6	35,9	73,5	81,7	2,2
	2	207	15,0	25,4	5,9	34,5	34,2	68,7	74,6	4,3
55-2	1	241	15,3	22,0	8,8	37,6	31,5	69,2	78,0	2,5
	2	207	15,2	25,3	5,6	28,5	40,6	69,1	74,7	4,5
75-1	1	269	14,4	17,7	7,9	38,2	36,2	74,4	82,3	2,2
	2	241	14,8	19,1	6,5	39,5	34,9	74,4	80,9	2,9
75-2	1	269	14,6	19,8	8,8	41,9	29,6	71,5	80,2	2,3
	2	241	14,9	22,8	5,6	30,6	40,9	71,6	77,2	4,1
min		207	14,4	16,5	3,9	23,8	22,0	66,3	73,6	1,5
max		302	29,7	25,4	12,3	46,2	50,8	74,8	83,5	5,5
Ср.		252	18,5	20,8	7,1	33,5	37,9	71,4	78,5	3,2
σ		27,9	5,1	2,6	2,2	6,1	7,2	2,7	2,8	1,15
2σ		55,8	10,2	5,2	4,4	12,2	14,4	5,4	5,6	2,3

Примечание: зона 1 – внешняя сторона отливки; зона 2 – внутренняя сторона отливки.

Помимо влияния матрицы определяли соотношение матрицы к графитовым включениям ($\frac{П+Т+Ц}{Г}$ и $\frac{П+Т}{Г}$).

В данных втулках выявлено незначительное содержание цементита от 3,3 до 8,3% и соотношение фаз П/Ц+Т от 1,8 до 3,6% и Ц+Т/П от 0,28 до 0,55%. Анализе данных позволяет заключить, что в таких пределах эти структурные составляющие не влияют на измерения твердости. Что касается коэрцитивной силы, то уменьшение количества Ц от 8,3 до 3,3 %, а П/Ц+Т от 3,6 до 1,8% влечет увеличение значений H_c от 13,2 до 26,5 А/см. При этом незначительное колебание зависимости Ц+Т/П от 0,28 до 0,55% сопровождается изменением коэрцитивной силы в тех же пределах. Из этого можно заключить, что в данных втулках на коэрцитивную силу влияют другие факторы, например ликвация химических элементов, наследственные свойства сплавов.

Анализ данных показал, что нестабильным значениям коэрцитивной силы и твердости соответствуют большой разброс по содержанию фаз. Они изменя-

ются в более широких пределах, чем во втулках со стабильными свойствами. Так, например, при рассмотрении зависимости влияния доли фаз на твердость, в полиномиальной модели видно, что при уменьшении $\Pi + T$ и Π , и при этом с увеличением соотношения $\frac{\Pi + T + Ц}{Г}$ и T значения твердости возрастают.

Анализ зависимостей дефектных втулок показал, что существенное влияние на показания коэрцитивной силы оказывает доля перлита. Так, уменьшение его количества от 71,5 до 47,8% повышает значения коэрцитивной силы от 13,2 до 26,0 А/см. При этом значение аппроксимации колеблется от 0,66 до 0,86.

Интерес представляет оценить влияние высокоуглеродосодержащих фаз: цементита и графита. Для определения их влияния на твердость и коэрцитивную силу были построены дополнительные зависимости, как для втулок соответствующих требованиям ТУ, так и отбракованным.

При соответствии втулки ТУ соотношения «графит – цементит» ведут себя не стабильно, это хорошо описывает полиномиальная модель (0,29). Так, первоначально при росте концентрации ГЦ от 3,2 до 3,8% наблюдается увеличение коэрцитивной силы от 14,2 до 19,8 А/см. Однако после достижения верхнего предела соотношения ГЦ начинает падать до 1,5%, а коэрцитивная сила растет до 29,8А/см.

При рассмотрении влияния ГЦ на твердость четко просматривается тенденция, при которой с уменьшением этого соотношения от 4,4 до 1,8 % происходит рост твердости с 205 до 304НВ.

Проанализировав втулки с несоответствующими требованиями ТУ по твердости, наблюдается другая тенденция, описанная полиномиальной моделью. Так при снижении ГЦ от 4,7 до 3,1% повышается твердость с 190 до 240НВ. В дальнейшем твердость продолжает расти до 294НВ, при этом растет и соотношение ГЦ до 6,9%. Однако уровень аппроксимации при этом не превышает 0,12.

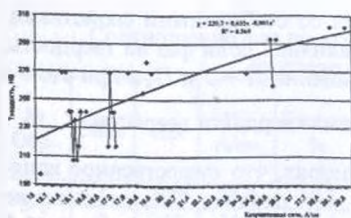
По влиянию ГЦ, во втулках не соответствующих требованиям ТУ, на значение коэрцитивной силы наиболее тесная связь описывает полиномиальной моделью (0,52). При этом наблюдается тенденция роста коэрцитивной силы от 13,0 до 18,2 А/см, при снижении соотношения ГЦ от 4,5 до 2,8%, после этого отмечается рост коэрцитивной силы до 26,2 А/см.

Из проведенного исследования по влиянию высокоуглеродосодержащих фаз на показания твердости и коэрцитивной силы можно заключить, что наиболее эффективной моделью является полиномиальная, так как именно она наиболее полно, во всех случаях, описывает полноту связи рис. 1.

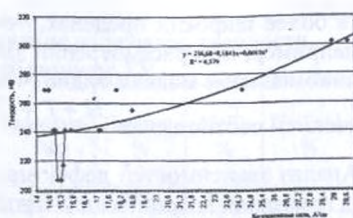
Уравнения и результаты, полученные при расчете величины аппроксимации были сведены в табл. 2. Для определения взаимосвязи между двумя характеристиками (твердость – коэрцитивная сила) просчитали коэффициент корреляции. Расчет производили по формуле:

$$\rho_{xy} = \frac{C_{ov}(X, Y)}{\sigma_H \cdot \sigma_y}, \quad (10)$$

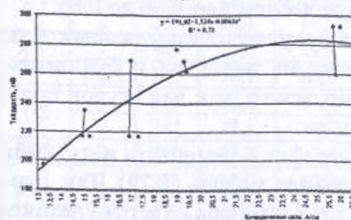
где x и y - средние значения показателей.



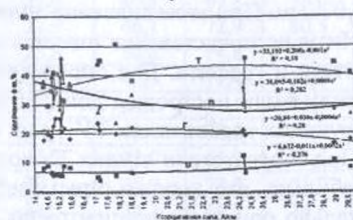
а



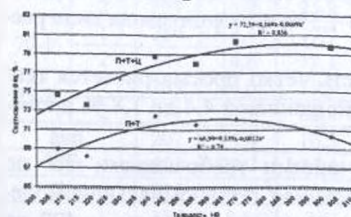
б



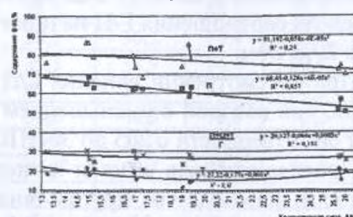
в



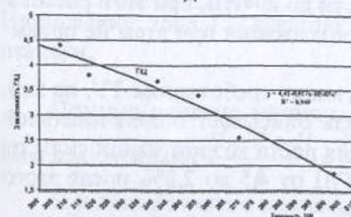
г



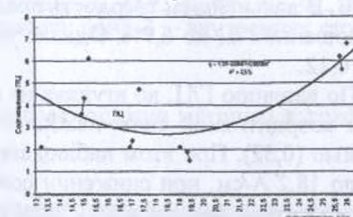
д



е



ж



з

Рис.1. Полиномиальная модель для различных зависимостях: а) зависимость твердость – коэрцитивная сила. Общая выборка; б) зависимость твердость – коэрцитивная сила для втулок соответствующих требованиям ТУ; в) зависимость твердость – коэрцитивная сила для втулок с отклонениями по твердости; г) влияние доли каждой структурной составляющей чугуна на уровень коэрцитивной силы, оцененные во втулках; д) совместное влияние структурных составляющих на уровень твердости втулок, соответствующих требованиям ТУ; е) Совместное влияние структурных составляющих на уровень коэрцитивной силы во втулках, не соответствующих требованиям ТУ; ж) влияние соотношения графит/цементит на уровень твердости; з) Влияние соотношения графит/цементит на уровень коэрцитивной силы во втулках имеющих отклонения от ТУ.

Таблица 2

Сводная таблица уравнений линии тренда, величины аппроксимации и корреляционных зависимостей всей выборки

Зависимость	Тип											
	Линейная		Логарифмическая		Полиномиальная		Степенная		Экспоненциальная		Корреляция по входу	
	Уравнение	Полнота связи, R ²	Уравнение	Полнота связи, R ²	Уравнение	Полнота связи, R ²	Уравнение	Полнота связи, R ²	Уравнение	Полнота связи, R ²	Уравнение	Полнота связи, R ²
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H _t к H _B	$y=0,4648x+224,81$	R ² =0,57	$y=23,951Ln(x)+163$	R ² =0,53	$y=-0,001x^2+0,6353x+220,7$	R ² =0,57	$y=175,06x^{0,002}$	R ² =0,53	$y=225,01e^{0,001x}$	R ² =0,53	0,764	0,764
Общая выборка												
Вручка соответствующая ТУ												
H _t к H _B	$y=0,4276x+232,84$	R ² =0,57	$y=16,016Ln(x)+200$	R ² =0,37	$y=0,0015x^2+0,1843x+236,68$	R ² =0,58	$y=205,09x^{0,0017}$	R ² =0,34	$y=232,76e^{0,001x}$	R ² =0,53	0,759	0,759
I _t +I _{t+1} к H _t	$y=0,0111x+78,009$	R ² =0,04	$y=0,2815Ln(x)+77,60$	R ² =0,01	$y=-2E-05x^2+0,0136x+77,97$	R ² =0,04	$y=77,544x^{0,0036}$	R ² =0,01	$y=77,964e^{0,001x}$	R ² =0,04	0,195	0,195
II _t +T к H _t	$y=0,0034x+71,163$	R ² =0,003	$y=0,3146Ln(x)+70,29$	R ² =0,02	$y=-0,0001x^2+0,0263x+70,78$	R ² =0,013	$y=70,241x^{0,0044}$	R ² =0,02	$y=71,711e^{0,001x}$	R ² =0,003	0,192	0,192
III _t +T к H _B	$y=0,0677x+74,168$	R ² =0,73	$y=2,5849Ln(x)+68,21$	R ² =0,79	$y=-0,0009x^2+0,1686x+72,39$	R ² =0,86	$y=68,645x^{0,0038}$	R ² =0,78	$y=74,177e^{0,0001x}$	R ² =0,25	0,605	0,605
IV _t +T к H _B	$y=0,0253x+69,353$	R ² =0,25	$y=1,0256Ln(x)+66,1$	R ² =0,45	$y=-0,0012x^2+0,1597x+66,98$	R ² =0,79	$y=66,17x^{0,0179}$	R ² =0,46	$y=69,33e^{0,0006x}$	R ² =0,57	0,179	0,179
V к H _t	$y=0,0474x+35,767$	R ² =0,11	$y=2,8459Ln(x)+28,68$	R ² =0,19	$y=-0,001x^2+0,2075x+33,19$	R ² =0,18	$y=29,085x^{0,0078}$	R ² =0,17	$y=35,07e^{0,0017x}$	R ² =0,11	0,479	0,479
VI к H _t	$y=0,0577x+36,09$	R ² =0,23	$y=3,222Ln(x)+43,92$	R ² =0,33	$y=-0,0008x^2+0,1824x+38,095$	R ² =0,28	$y=45,006x^{0,0046}$	R ² =0,34	$y=35,614e^{0,0017x}$	R ² =0,23	0,334	0,334
VII к H _t	$y=0,0229x+21,79$	R ² =0,21	$y=-0,6695Ln(x)+22,9$	R ² =0,08	$y=-0,0004x^2+0,0336x+20,83$	R ² =0,28	$y=22,881x^{1,0033}$	R ² =0,084	$y=21,691e^{0,001x}$	R ² =0,22	0,457	0,457
VIII к H _t	$y=0,0212x+6,148$	R ² =0,25	$y=0,646Ln(x)+5,018$	R ² =0,11	$y=0,0002x^2+0,0114x+6,672$	R ² =0,28	$y=5,411x^{0,0714}$	R ² =0,07	$y=6,0429e^{0,0017x}$	R ² =0,21	0,497	0,497
IX к H _B	$y=0,1276x+29,904$	R ² =0,38	$y=3,894Ln(x)+22,23$	R ² =0,26	$y=7E-05x^2+0,1357x+29,76$	R ² =0,38	$y=22,974x^{0,1288}$	R ² =0,23	$y=29,171e^{0,0004x}$	R ² =0,34	0,311	0,311
X к H _B	$y=0,103x+39,476$	R ² =0,33	$y=2,654Ln(x)+43,94$	R ² =0,16	$y=-0,0012x^2+0,023x+37,26$	R ² =0,37	$y=4,325x^{0,0071}$	R ² =0,17	$y=39,218e^{0,001x}$	R ² =0,37	0,333	0,333
XI к H _B	$y=0,0638x+24,12$	R ² =0,69	$y=2,358Ln(x)+29,46$	R ² =0,69	$y=-5E-05x^2+0,0581x+24,02$	R ² =0,69	$y=30,999x^{0,1184}$	R ² =0,68	$y=24,25e^{0,0001x}$	R ² =0,72	0,761	0,761
XII к H _B	$y=0,0425x+4,81$	R ² =0,89	$y=1,328Ln(x)+2,129$	R ² =0,65	$y=0,0003x^2+0,0089x+5,4$	R ² =0,94	$y=3,455x^{0,1871}$	R ² =0,68	$y=5,0694e^{0,0001x}$	R ² =0,90	0,569	0,569

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Gamma/\Pi \times H_c$	$y = -0,011x + 3,7$	$R^2 = -0,22$	$y = -0,2681 \ln(x) + 4,082$	$R^2 = -0,06$	$0,0002x^2 + 0,0182x + 3,336$	$R^2 = -0,29$	$y = 4,281x^{-0,1888}$	$R^2 = -0,09$	$y = 3,956e^{-0,0037x}$	$R^2 = -0,28$	0,460
$\Gamma/\Pi \times H_{IB}$	$y = -0,026x + 4,55$	$R^2 = -0,94$	$y = -0,4681 \ln(x) + 6,409$	$R^2 = -0,79$	$y = -8E-05x^2 - 0,0173x + 4,41$	$R^2 = -0,95$	$y = 8,7334x^{0,32}$	$R^2 = -0,71$	$y = 4,8635e^{0,0087x}$	$R^2 = -0,92$	0,667
Не соответствующая ТУ											
$\Pi + T \times H_B$	$y = -0,064x + 81,24$	$R^2 = -0,12$	$y = -1,6551 \ln(x) + 83,82$	$R^2 = -0,04$	$0,0003x^2 + 0,0336x + 72,88$	$R^2 = -0,33$	$y = 83,889x^{0,0215}$	$R^2 = -0,04$	$y = 81,065e^{0,0008x}$	$R^2 = -0,12$	0,354
$\Pi \times H_B$	$y = -0,083x + 65,29$	$R^2 = -0,13$	$y = -3,431 \ln(x) + 73,66$	$R^2 = -0,12$	$0,0025x^2 + 0,2034x + 59,31$	$R^2 = -0,19$	$y = 74,619x^{0,0200}$	$R^2 = -0,11$	$y = 65,04e^{-0,0014x}$	$R^2 = -0,12$	0,198
$\Pi + T + \Pi/T \times H_B$	$y = -0,035x + 29,24$	$R^2 = -0,32$	$y = -1,571 \ln(x) + 33,23$	$R^2 = -0,33$	$y = 0,0003x^2 - 0,0709x + 29,97$	$R^2 = -0,33$	$y = 33,777x^{0,0447}$	$R^2 = -0,32$	$y = 29,204e^{0,0013x}$	$R^2 = -0,30$	0,565
$T \times H_B$	$y = -0,0406x + 20,16$	$R^2 = -0,17$	$y = -1,781 \ln(x) + 24,66$	$R^2 = -0,18$	$y = 0,0018x^2 - 9,2521x + 24,57$	$R^2 = -0,38$	$y = 26,728x^{0,1096}$	$R^2 = -0,18$	$y = 20,259e^{0,0021x}$	$R^2 = -0,18$	0,296
$\Pi \times H_c$	$y = -0,0124x + 6,18$	$R^2 = -0,08$	$y = -0,3951 \ln(x) + 6,92$	$R^2 = -0,05$	$0,0006x^2 + 0,0752x + 4,13$	$R^2 = -0,31$	$y = 6,6092x^{0,0672}$	$R^2 = -0,04$	$y = 5,853e^{-0,0072x}$	$R^2 = -0,07$	0,289
$\Pi(\Pi + T) \times H_c$	$y = -0,0052x + 2,96$	$R^2 = -0,18$	$y = -0,1343 \ln(x) + 3,15$	$R^2 = -0,06$	$y = -0,0001x^2 + 0,01x + 2,6$	$R^2 = -0,26$	$y = 3,2086x^{0,0687}$	$R^2 = -0,08$	$y = 2,9327e^{0,0021x}$	$R^2 = -0,19$	0,293
$(\Pi + T)/\Pi \times H_c$	$y = -0,0009x + 0,339$	$R^2 = -0,24$	$y = -0,0261 \ln(x) + 0,294$	$R^2 = -0,12$	$y = 1E-05x^2 + 0,0009x + 0,38$	$R^2 = -0,30$	$y = 0,3052x^{0,0222}$	$R^2 = -0,10$	$y = 0,3377e^{0,0013x}$	$R^2 = -0,23$	0,338
$\Pi \times H_B$	$y = 3E-05x^2 - 0,0038x + 5,52$	$R^2 = -0,01$	$y = -0,2431 \ln(x) + 6,38$	$R^2 = -0,01$	$y = 3E-05x^2 - 0,0038x + 5,52$	$R^2 = -0,0602$	$y = 6,282x^{0,0611}$	$R^2 = -0,01$	$y = 5,1957e^{0,0008x}$	$R^2 = -0,0002$	0,015
$\Pi/(\Pi + T) \times H_B$	$y = 0,0017x + 2,47$	$R^2 = -0,01$	$y = 0,15451 \ln(x) + 1,98$	$R^2 = -0,05$	$y = 0,0004x^2 + 0,0444x + 1,59$	$R^2 = -0,32$	$y = 2,0294x^{0,0568}$	$R^2 = -0,04$	$y = 2,4422e^{0,0006x}$	$R^2 = -0,009$	0,103
$(\Pi + T)/\Pi \times H_B$	$y = -0,0002x + 0,41$	$R^2 = -0,006$	$y = -0,0191 \ln(x) + 0,48$	$R^2 = -0,04$	$y = 5E-05x^2 - 0,0063x + 0,54$	$R^2 = -0,29$	$y = 0,4844x^{0,092}$	$R^2 = -0,04$	$y = 0,4072e^{0,0002x}$	$R^2 = -0,007$	0,077
$\Pi + T \times H_c$	$y = -0,0676x + 81,41$	$R^2 = -0,24$	$y = -2,0891 \ln(x) + 85,2$	$R^2 = -0,13$	$y = -6E-05x^2 - 0,0593x + 81,19$	$R^2 = -0,24$	$y = 85,41x^{0,0271}$	$R^2 = -0,13$	$y = 81,262e^{0,0001x}$	$R^2 = -0,24$	0,492
$\Pi \times H_c$	$y = -0,1185x + 68,24$	$R^2 = -0,86$	$y = -4,5331 \ln(x) + 48,12$	$R^2 = -0,68$	$y = 6E-05x^2 - 0,128x + 68,45$	$R^2 = -0,86$	$y = 80,69x^{0,0371}$	$R^2 = -0,66$	$y = 68,66e^{-0,0021x}$	$R^2 = -0,86$	0,523
$(\Pi + T) + T/\Pi \times H_c$	$y = -0,0134x + 27,95$	$R^2 = -0,08$	$y = -0,7891 \ln(x) + 30,1$	$R^2 = -0,16$	$y = 0,0003x^2 - 0,0639x + 29,13$	$R^2 = -0,15$	$y = 30,08x^{0,0281}$	$R^2 = -0,15$	$y = 27,85e^{-0,0002x}$	$R^2 = -0,08$	0,291
$T \times H_c$	$y = -0,009x + 18,29$	$R^2 = -0,02$	$y = -0,6991 \ln(x) + 20,37$	$R^2 = -0,05$	$y = 0,0011x^2 - 0,1772x + 22,2$	$R^2 = -0,32$	$y = 20,587x^{0,03}$	$R^2 = -0,06$	$y = 18,041e^{0,0002x}$	$R^2 = -0,02$	0,196
$H_c \times H_B$	$y = -0,5937x + 212,76$	$R^2 = -0,64$	$y = -25,6941 \ln(x) + 152,1$	$R^2 = -0,66$	$y = 0,0063x^2 - 1,524x + 191,02$	$R^2 = -0,73$	$y = 165,25x^{0,1066}$	$R^2 = -0,68$	$y = 213,27e^{0,0016x}$	$R^2 = -0,63$	0,801
$\Gamma/\Pi \times H_c$	$y = 0,02227x + 2,458$	$R^2 = -0,27$	$y = 0,6891 \ln(x) + 1,229$	$R^2 = -0,14$	$y = 0,0006x^2 - 0,0687x + 4,59$	$R^2 = -0,52$	$y = 1,86x^{0,1576}$	$R^2 = -0,09$	$y = 2,4467e^{0,0001x}$	$R^2 = -0,19$	0,531
$\Gamma/\Pi \times H_B$	$y = 0,0127x + 3,048$	$R^2 = -0,05$	$y = -0,5467 \ln(x) + 1,6812$	$R^2 = -0,05$	$y = 0,0007x^2 - 0,0654x + 4,68$	$R^2 = -0,12$	$y = 2,222x^{0,1058}$	$R^2 = -0,02$	$y = 2,945e^{0,0002x}$	$R^2 = -0,02$	0,213

Если учесть, что значение корреляции более 0,25 считается достаточно надежным показателем то, по полученным значениям, можно заключить, что большинство из рассматриваемых зависимостей представляются возможным для практического использования. Наиболее тесная корреляция коэрцитивная сила - твердость, оцененная для дефектных втулок ($r = 0,801$). Связь коэрцитивная сила - твердость, оцененная по всей выборке равна $r = 0,764$. Влияние графита на коэрцитивную силу, во втулках соответствующих, требования ТУ имеет парную корреляцию $r = 0,761$. Связь коэрцитивная сила - твердость $r = 0,759$.

Отсутствие корреляции, при которой значения не превышали 0,25, показали следующие зависимости (втулки соответствующие требованиям ТУ): цементит + перлит + троостит к коэрцитивной силе (0,195); перлит + троостит к коэрцитивной силе (0,192); перлит + троостит к твердости (0,179); а так же в дефектных втулках: перлит к твердости (0,198); цементит к твердости (0,015); $\frac{\text{перлит}}{\text{цементит} + \text{троостит}}$ к твердости (0,103); $\frac{\text{цементит} + \text{троостит}}{\text{перлит}}$ к твердости (0,077); Троостит к коэрцитивной силе (0,196); $\frac{\text{графит}}{\text{цементит}}$ к коэрцитивной силе (0,213).

Для выяснения причины отсутствия корреляционных связей для этих зависимостей провели детальные металлографические исследования. Установлено, что отклонения связаны с неоднородным распределением фаз, ликвацией элементов (скоплением неметаллических включений), отсутствием графита, пористостью и др. факторами.

В результате выполненных исследований рекомендовано описывать связь твердость - коэрцитивная сила полиномиальной моделью которая наиболее полно характеризует это соотношение.

Список литературы

1. Т. С. Скобло, М. В. Марченко. Оценка скоплений неметаллических включений в низколегированном чугуна по коэрцитивной силе. Вісник ХДТУСГ. Випуск 22, 2003. с. 137 - 142.
2. Т.С. Скобло, В.М. Власовец, М.В. Марченко Влияние модификатора и легирующих элементов на качество и свойства цилиндров малых судов и оценка их по коэрцитивной силе.// Сб.: Физические и компьютерные технологии, №12, 2005. — С. 115 – 119.
3. Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, В.М. Власовец Методика исследования фазового состава и структуры при восстановлении деталей электродуговой металлизацией. Вісник ХДТУСГ. Випуск 4, 2000. с. 114 - 119

Анотація

Аналіз якості втулок циліндрів малих судових двигунів на основі структурного фактора

У статті розглянутий аналіз якості втулок циліндрів малих судових дви-

гунів на основі структурного фактора.

Abstract

The analysis of quality of cartridges of cylinders of small ship engines on the basis of the structural factor

In clause the analysis of quality of cartridges of cylinders of small ship engines is considered on the basis of the structural factor.