

УДК 669.715.621.43

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО ВТУЛОК ЦИЛИНДРОВ
ТЕПЛОВОЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**

Скобло Т.С. д.т.н., проф.; Марченко М.В. к.т.н., доц.; Ровный Е.В. аспир.
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко)

Выполнен статистический анализ качества втулок цилиндров тепловозных двигателей из высокопрочного чугуна. Рассмотрены причины выявленных отклонений и предложен метод неразрушающего контроля по коэрцитивной силе.

Постоянный рост производства изделий из чугуна, в условиях действующей конкуренции заставляет производителей по новому смотреть на качество изготавливаемой продукции, предъявляя ей все более и более высокие требования. Стандартные локальные испытания механических свойств чугуна не удовлетворяют производство. В большей мере это касается литых деталей. Результаты лабораторных исследований по оценке качества на основе анализа микроструктуры в полной мере также не удовлетворяют производство и от этого востребованность изделий снижается. При этом исследования, проводимые в лабораториях, не дают полной картины о качестве всей выпускаемой продукции, так как о ней судят по исследованиям отдельных образцов (колец, отрезаемых от верхней части отливой втулки – одной от всей партии). При производстве большой партии деталей в процессе выдержки металла в ковше или подогреваемом миксере некоторые химические элементы выгорают и первая партия деталей отличается по химическому составу от последней. Содержание химических элементов в значительной мере определяют физико-механические свойства и структуру металла, и, как следствие, это неблагоприятно влияет на их работу в узлах и механизмах.

Как альтернативу к существующим методам контроля качества необходимо вводить новые неразрушающие методы, позволяющие осуществлять сдаточные испытания каждой единицы продукции по её длине и периметру. Одним из перспективных направлений неразрушающего контроля физико-механических характеристик чугуна может быть магнитный метод, основанный на использовании коэрцитивной силы, который особенно чувствителен к изменению структуры металла и уровню напряжений.

Согласно действующего регламента после отливки втулки цилиндров подвергают нормализации, а затем упрочнению рабочей поверхности – дополнительным азотированием.

Целью данной работы является определение качества втулок цилиндров тепловозных двигателей с оценкой зависимости между коэрцитивной силой и твёрдостью, напряжениями и структурой, формирующихся при центробежном литье из высокопрочного чугуна до и после нормализации.

Для выполнения поставленной цели провели статистический анализ качества 58 втулок цилиндров от различных плавок и этапов их производства. В задачи исследований также входила оценка возможных отклонений в качестве этих изделий в процессе производства, что позволит провести корректировку параметров литья и термической обработки. К числу используемых методов оценки качества привлекли метод неразрушающего контроля по коэрцитивной силе, поскольку он чувствителен к изменению структуры.

Это особенно важно, т.к. отливку осуществляют в металлические формы, которые отличаются по сечению от её низа к верху (используется такое конструктивное решение в центробежной машине для обеспечения быстрого и удобного извлечения изложницы с отливкой после завершения технологического процесса литья), что изменяет структуру металла за счёт различной скорости кристаллизации по её высоте.

Согласно требованиям ТУ приёмка втулок цилиндров после нормализации и отпуска производится по механическим свойствам и структуре чугуна пробы, которая проходит обработку совместно с изделием. После азотирования оценивают толщину упрочнённого слоя, его твёрдость и хрупкость. Механические свойства чугуна втулок цилиндров тепловозных двигателей после их нормализации и отпуска должны быть в таких пределах: временное сопротивление разрыву $\sigma_b \geq 539$ МПа, относительное удлинение $\delta \geq 1,5\%$, твёрдость 229-285 НВ; толщина азотированного слоя $\geq 0,60$ мкм и его твёрдость ≥ 460 НВ, а хрупкость – групп I и II.

Структура должна соответствовать ГОСТ 3443:

а) по перлиту:

– перлит пластинчатый – ПТ1, высокоотпущенный бейнит (сорбит);

– по площади, занятой перлитом (шкала 6Г) – П, П96, П92, П85;

– по площади, занятой высокоотпущенным бейнитом (сорбитом) – до 30% (от площади, занятой перлитом);

б) по фосфидной эвтектике:

– по площади включений эвтектики (шкала 9Г) – ФЭп2000, ФЭп6000;

– по строению включений эвтектики (шкала 9А) – ФЭ1, ФЭ2, ФЭ3, ФЭ4, ФЭ5;

– по распределению включений эвтектики (шкала 9Б) – ФЭр1;

в) по графиту:

– по форме включений графита (шкала 3А) – ШГф3, ШГф4, ШГф5;

г) структурно-свободный цементит не допускается.

Исследования микроструктуры проводили на двух уровнях по сечению заготовки: 1-2 мм от наружной поверхности, и на расстоянии 4-5 мм. При этом производили замер коэрцитивной силы в зонах, где анализировали структуру.

Статистические исследования большой выборки втулок цилиндров из высокопрочного чугуна показали, что пробы, отобранные от различных отливок существенно отличаются как по форме графита, так и по структуре (фазовому составу и соотношению составляющих). Выявлена разница и по одной пробе. Для установления отличий в структуре обработали данные по

нескольким полям зрения для каждого уровня измерения твёрдости и коэрцитивной силы.

При более детальном анализе общей выборки втулок как до- и после термической обработки было определено, что только 28% соответствуют всем параметрам ТУ (твёрдость, прочность, структура и химический состав). По значениям твёрдости 43% втулок не соответствуют требованиям, при этом их значения колеблются в пределах от 187 до 293 НВ при норме 229-285 НВ (рис. 1).

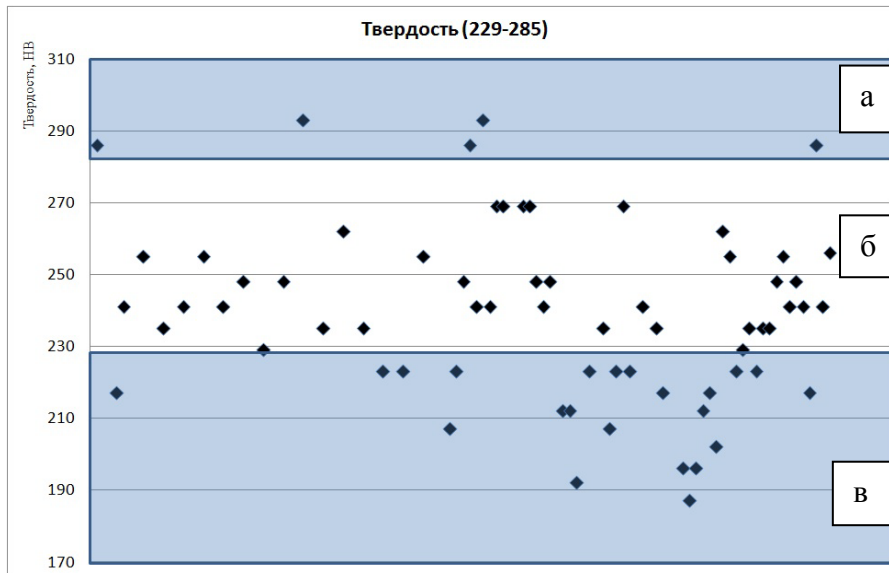


Рис. 1 – Показания твёрдости исследуемых втулок цилиндров:
а – выше верхнего предела значений по ТУ; б – соответствует требованиям;
в – ниже нижнего предела требований.

При этом значения коэрцитивной силы находятся в диапазоне от 3,9 до 13,9 А/см (рис. 2), где чётко нельзя выявить области отличающейся твёрдости, что свидетельствует о разном уровне их напряженного состояния. Именно на этот фактор сильно влияют и показания коэрцитивной силы.

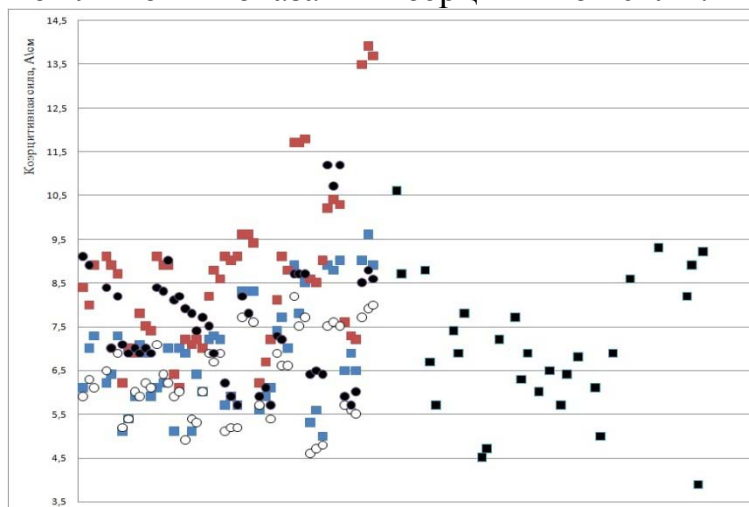


Рис. 2 – Значения коэрцитивной силы исследуемых втулок цилиндров:
○● – на втулке, ■□ – на кольце

Для определения факторов, влияющих на такой большой разброс значений твёрдости и коэрцитивной силы, был проведен анализ микроструктуры. Анализом установлено, что после нормализации качество втулок цилиндров в ряде случаев даже ухудшилось, что связано с расположением отливок в печи при обработке и последующим неравномерным их охлаждением. Результаты показали наличие следующих фаз и составляющих: графита, цементита, фосфидной эвтектики, перлита, троостита, бейнита, сорбита, феррита и ледебурита, что в полной мере не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

На основании проведенного анализа микроструктуры установлено, что 65% из всего количества втулок цилиндров соответствуют требованиям ТУ, а 35% – выходят за их пределы. Более детальному анализу подвергли часть наиболее характерных отливок, которые отличаются структурой, твёрдостью и коэрцитивной силой или, наоборот, имеют близкие характеристики по какому-либо показателю свойств.

На основании проведенных исследований было проанализировано влияние каждой из структурных составляющих.

Основной фазой во втулках цилиндров является пластинчатый перлит. Его доля в такой комбинации структуры матрицы составляет 60-90% (рис. 3), а сорбита 5-88% при коэрцитивной силе $H_c = 5,7-13,4$ А/см (рис. 4). При минимальной доле перлита H_c соответствует 3,6-5,1 А/см. Относительно доли сорбита, следует отметить, что эта структурная составляющая существенно не влияет на показания коэрцитивной силы, поскольку при минимальной её доле $H_c = 13,4$ А/см.

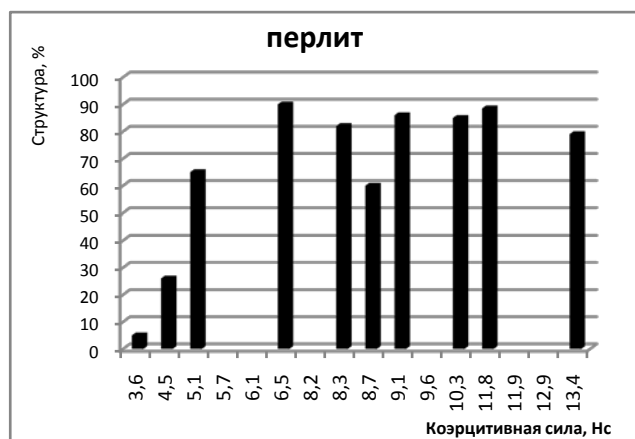


Рис. 3 – Зависимость перлит-коэрцитивная сила в исследуемых втулках цилиндров



Рис. 4 – Зависимость сорбит-коэрцитивная сила в исследуемых втулках цилиндров

Цементит выявлен во всех анализируемых образцах в количестве от 1 до 1,5% и эта структурная составляющая также не влияет на показания коэрцитивной силы. Однако при его доле 5% она повышается до 12,9-13,4 А/см (рис. 5). Ледебурит выявлен в интервале 3,5-15% и повышает коэрцитивную силу H_c до 8,2-12,9 А/см (рис. 6).



Рис. 5 – Зависимость цементит-коерцитивная сила в исследуемых втулках цилиндров

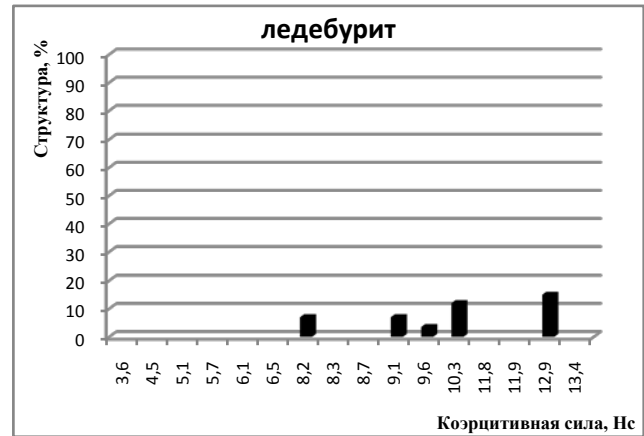


Рис. 6 – Зависимость ледебурит-коерцитивная сила в исследуемых втулках цилиндров

Известно, что основной фазой, влияющей на уровень как твёрдости, так и коэрцитивной силы является графит. В анализируемых образцах были выявлены различные формы графита, начиная от точечного и укороченных пластинок до крупного шаровидного и утолщенного пластинчатого. Наличие графита в пределах 9-37% снижает уровень коэрцитивной силы до 6,1 А/см. При доле графита 8-12% и наличии ледебурида показания коэрцитивной силы возрастают до 13,4 А/см, что связано с повышением уровня напряженного состояния.

На неоднородность формирования структуры могут влиять два фактора: скорость охлаждения и химический состав сплава. Для определения влияния химического состава были проведены дополнительные исследования распределения компонентов во втулках цилиндров. По ТУ чугун для втулок цилиндров должен содержать следующую концентрацию компонентов:

C	Si	P	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo	Mg
3,4-3,6	1,8-2,3	≤0,08	≤0,01	≤0,08	0,4-0,7	≤0,5	0,40-0,60	0,25-0,45	0,04-0,08

Однако, как показали исследования, химические элементы неравномерно распределяются по сечению втулки цилиндров. Имеют место ликвационные явления. Так, содержание Cr, Mn, Cu, Mo и Mg в 90% случаев соответствует требованиям ТУ, а C и S – в 75%. При этом концентрация C ниже требований, а S в 29% случаев выше допустимого уровня; одновременно Si почти в половине случаев 47% не соответствует нормам (чаще всего находится выше допустимой концентрации). Скорее всего это связано с тем, что после ввода модификатора в ковш металл оставался неоднородным.

Для повышения качества втулок цилиндров, обеспечения однородности их структуры и свойств, соответствующих требованиям нормативно-технической документации необходимо:

– осуществлять регламентированное модифицирование металла, при котором будет обеспечиваться однородное распределение компонентов. Это может достигаться использованием вторичного модифицирования при наполнении 1/2

ковша с добавкой современных модификаторов со стронцием [1], что обеспечит стабильность свойств расплава, исключит склонность его к демодификации при длительной выдержке и заливке значительного количества втулок;

- обеспечить однородную кристаллизацию втулок цилиндров по высоте за счёт равномерного охлаждения их в разнотолщинной форме;
- повысить равномерность нагрева и охлаждения втулок цилиндров при нормализации для исключения формирования неоднородной структуры и высокого уровня напряжений.

Эти рекомендации могут являться основой для направлений дальнейших исследований по повышению качества и эксплуатационной стойкости втулок цилиндров тепловозных двигателей.

Список литературы:

1. Пат. 45858 Україна, МПК (2009) С22С 37/00. Спосіб виробництва високоміцного чавуну / Т.С. Скобло, А.І. Сідашенко А.И., В.М. Власовец, С.А. Бурцев [та ін.]. – ХНТУСГ (Україна). - № у 200906843; заявл. 30.06.2009. Бюл. 2009, №22. – 5 с.

Анотація

Фактори, що впливають на якість втулок циліндрів тепловозних двигунів з високоміцного чавуну

Скобло Т.С., Марченко М.В., Рівний Є.В.

Виконано статистичний аналіз якості втулок циліндрів тепловозних двигунів з високоміцного чавуну. Розглянуто причини виявлених відхилень і запропоновано метод неруйнівного контролю за коерцитивною силою.

Abstract

Factors affecting the quality of the liner cylinder diesel engines from high-strength cast iron

Skoblo T.S., Marchenko M.V., Rivniy E.V.

Performed a statistical analysis of the quality of the sleeves of cylinder diesel engines from high-strength cast iron. The reasons of the revealed deviations and the method of non-destructive testing according to the coercive force and installed.