

ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ЧУГУННЫХ ГИЛЬЗ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНО- ДОРОЖНЫХ МАШИН

к.т.н. **Овсянников В.Е.**¹, к.т.н. **Шпитко Г.Н.**¹, к.т.н. **Некрасов Р.Ю.**², **Васьков Д.Е.**²

¹Курганский государственный университет, Курган, Россия
vik9800@mail.ru

²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
syncler@mail.ru

В конструкциях двигателей строительно-дорожных машин довольно широкое распространение получили гильзы цилиндров, которые изготавливаются из серого чугуна. Среди негативных свойств данного конструкционного материала можно отметить сравнительно низкую прочность и высокую хрупкость. Это повышает вероятность возникновения как производственных, так и эксплуатационных дефектов. Поэтому повышение эксплуатационных характеристик рассматриваемых деталей является актуальной проблемой. Перспективным направлением в данном случае является использование химико-термической обработки. Целью работы является исследование влияния химико-термической обработки серого чугуна на прочность. В работе исследуется прочность чугуна, подвергнутого химико-термической обработке (термодиффузионному поверхностному легированию). На основе экспериментальных исследований изучено влияние толщины упрочненного слоя на прочность. Создана численная модель в пакете Ansys и исследовано влияние упрочненного слоя на прочность гильз цилиндров двигателей строительно-дорожных машин.

Ключевые слова: строительно-дорожные машины, гильзы, чугун, прочность, конечные элементы.

Для цитирования: Овсянников В.Е., Шпитко Г.Н., Некрасов Р.Ю., Васьков Д.Е. Повышение прочности чугунных гильз цилиндров двигателей строительно-дорожных машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. № 3 (45). С. 36–0. DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-36-40.

Введение

В конструкциях строительно-дорожных машин достаточно широкое применение получил серый чугун (доля чугунных деталей в общей массе некоторых машин достигает 60 %). Из данного материала изготавливаются блоки цилиндров, детали тормозных систем, маховики, головки цилиндров, гильзы, распределительные и карданные валы, корпусные детали и т.д. Также чугуны используются и для изготовления деталей навесного оборудования (рабочие тела шаровых и стержневых мельниц, износостойкие накладки на отвалы и ковши, армирующие вставки для зубьев ковшей и т.д.). В зависимости от условий работы детали к материалу могут предъявляться различные требования, например, для кулачков и высоконагруженных валов чугуны легируют молибденом, хромом или никелем, что дает возможность произвести закалку детали. В случае интенсивного тепловыделения или больших перепадов температур (барабаны, тормозные диски и т.д.), поверхностный слой чугунных деталей склонен к появлению поверхностных трещин, поэтому структура

поверхностного слоя должна быть перлитной с шаровидным графитом.

Довольно распространенным решением, которое используется в двигателях строительно-дорожных машин, являются гильзы цилиндров из серого чугуна (например, 7406.1002021 или 7406.1002021-20). Среди негативных свойств данного конструкционного материала можно отметить сравнительно низкую прочность и высокую хрупкость. Это повышает вероятность возникновения как производственных, так и эксплуатационных дефектов.

Поэтому повышение эксплуатационных характеристик рассматриваемых деталей является актуальной проблемой. Перспективным направлением в данном случае является использование химико-термической обработки. Однако традиционные методы упрочнения [1–13] не позволяют эффективно увеличивать прочность чугуна. Способ термодиффузионного поверхностного легирования [14] позволяет получать на поверхности чугуна слой толщиной до 3 мм (см. рис. 1).

Наличие слоя с такой толщиной уже может оказывать значимое влияние на прочность деталей из чугуна. При этом широкие возможно-

сти дает использование метода конечных элементов для изучения механических свойств. Однако с учетом неравномерность свойств упрочненного слоя и обратный характер распределения твердости [14]: твердость по глубине упрочненного слоя возрастает возникает необходимость в проведении экспериментальных исследований для получения исходной информации при построении конечно-элементных моделей.

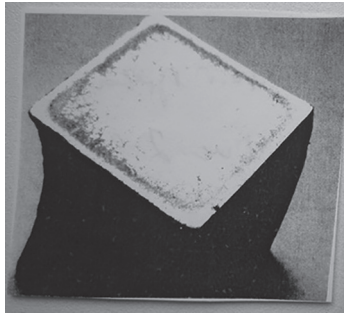


Рис. 1. Образец с упрочненным слоем

Целью работы является исследование влияния химико-термической обработки серого чугуна на прочность.

Методы и материалы

Определение граничных условий выпол-

нялось экспериментально на прессе П-150М с максимальным усилием сжатия 15 тонн. Использовались образцы из серого чугуна марки СЧ-20 ГОСТ 1412-85 без упрочнения и с упрочнением в контакте с оксидами железа, хрома и молибдена. Использовались образцы цилиндрической формы диаметром 15 мм. Пример разрушенного образца приведен на рис. 2.



Рис. 2. Разрушенный образец

Для исследования влияния толщины слоя на прочность образца использовался программный пакет *Ansys* [15, 16]. Пример модели приведен на рис. 3.

Был выполнен полный факторный эксперимент [17, 18]. В качестве факторов рассматриваются диаметр образца и толщина упрочненного слоя (см. таблицы 1 и 2).

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Уровень	Кодированные значения факторов	Натуральные значения факторов	
		d , мм	g , мм
Нижний	-1	10	1
Верхний	+1	40	3
Основной	0	25	2
Интервал варьирования	1	15	1

Таблица 2

Значения толщины упрочненного слоя при взаимодействии основы чугуна с оксидами легирующих элементов

Номер опыта	y	σ_b , МПа
1	y_1	977
2	y_2	378
3	y_3	630
4	y_4	132
5	y_5	735
6	y_6	305
7	y_7	924
8	y_8	3519
3519	y_9	536

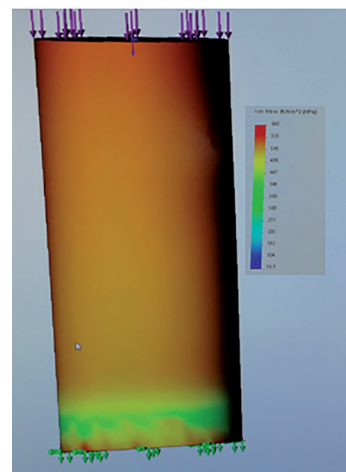


Рис. 3. Расчетная модель

Результаты и их обсуждение

В результате экспериментальных исследований была получена зависимость предела прочности образцов с упрочненным слоем, представленная на рис. 4.

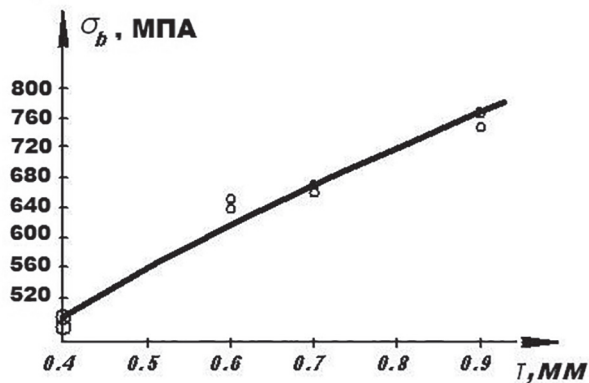


Рис. 4. Зависимость предела прочности образца

В результате расчетов были получены следующие зависимости для определения предела прочности в зависимости от диаметра образца и толщины упрочненного слоя:

$$\sigma_b = 0,23 \cdot d^2 - 0,42 \cdot d \cdot g - 21,5 \cdot d - 9,92 \cdot g^2 + 80,18 \cdot g + 1016,16.$$

На рис. 5 приведен пример исследования прочности и жесткости гильз цилиндров, изготовленных из серого чугуна без упрочнения и с упрочнением. В качестве нагрузки рассматривается усилие запрессовки гильзы, которое определяли согласно рекомендациям технической литературы [19, 20].

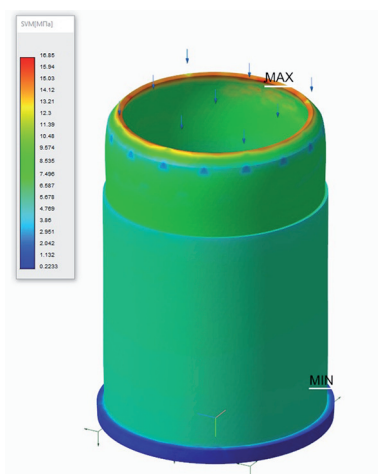


Рис. 5. Результат определения напряжений в гильзе из серого СЧ20 чугуна с упрочнением

Заключение

Анализируя данные на рис. 4, можно сделать вывод, что использование термодиффузионного поверхностного легирования дает возможность повысить прочность образцов более чем в 2 раза. В результате планирования была получена зависимость предела прочности от диаметра детали и толщины упрочненного слоя, которая в дальнейшем может быть использована при конструировании изделий. Исследования прочности и жесткости гильз из серого чугуна СЧ-20 с упрочненным слоем показали, что имеется возможность повысить их прочность более чем на 60 % и жесткость более чем на 40 %.

Литература

1. Майоров В.С., Майоров С.В. Закалка чугуновых деталей излучением твердотелого лазера // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. № 3. С. 6–8.
2. Кристал М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М.: Металлургия, 1972. 400 с.
3. Поветкин В.В., Ковенский И.М. Структура электролитических покрытий. М.: Металлургия, 1989. 136 с.
4. Эдигаров В.Р., Алимбаева Б.Ш., Перков П.С. Комбинированная обработка электромеханолультразвуковая поверхностных слоев деталей машин // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». 2017. № 7. С. 42–47.
5. Коротаев Д.Н., Иванова Е.В. Особенности формирования функциональных покрытий при электроискровом модифицировании металлических материалов // Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ». 2017. № 3. С. 62–68.
6. Nisitani H., Tanaka S., Todaka T. Relation between microcrack and coxing effect of aged 0,15% C steels after quenching at low temperatures // J. Soc. Mat. Sei Japan. 1980. No 26. P. 317.
7. Cooper R.E., Rowland W.D., Beasley D. Atom. Weapons Res Estable // Atom Energy Auth Rept. 1971. P. 32–36.
8. Plenard E. Cast iron damping capacity, structure and property relation // Modern Castings. 1962. Vol. 41. P. 14–26.
9. Gilbert G.N. Variation of the microstructure of flake graphite cast iron after stressing in tension and compression // BCJRA Journal. 1964. No 1. P. 18–25.
10. S. Lampman. Introduction to surface hardening of steels // ASM Handbook. 1997. Vol. 4. P. 259–267.

11. Ruglic T. Flame hardening // ASM Handbook. 1997. Vol. 4. P. 268–285.
12. John C. Ion. Laser processing of Engineering Materials // Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. Vol. 2. P. 263–296.
13. Rana J., Goswami G.L., Jha S.K., Mishra P.K., Prasad B.V. Experimental studies on the micro structure and hardness of laser – treated steel specimens // Optics and Laser Technology. 2007. No 39. P. 385–393.
14. Гуревич Ю.Г., Овсянников В.Е., Фролов В.А. Влияние катализатора (железа) на взаимодействие оксидов с основой феррито-перлитного серого чугуна, обеспечивающее закалку и диффузионное легирование: монография. Курган. 2013. 102 с.
15. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство. М.: Едиториал УРСС, 2003. 272 с.
16. ANSYS. Commands Reference. Rel. 11 / ANSYS Inc. Houston, 2006.
17. Некрасов В.И., Шпитко Г.Н., Иванов И.А. Одно- и многофакторные эксперименты. Планирование и обработка результатов: учебное пособие. Курган, изд-во КГУ, 2012. 232 с.
18. Некрасов В.И. Многофакторный эксперимент: Планирование и обработка результатов: учебное пособие. Курган, изд-во КГУ, 1998. 146 с.
19. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей. М.: Академия, 2002. 496 с.
20. Зорин В.А. Технология машиностроения, производство и ремонт подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. М.: Академия, 2010. 187 с.
1. Mayorov V.S., Mayorov S.V. Hardening of cast iron parts by solid-state laser radiation. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov*. 2009. No 3, pp. 6–8. (in Russ.).
2. Krishtal M.A. *Mekhanizm diffuzii v zheleznykh splavakh* [Diffusion mechanism in iron alloys]. М.: Metallurgiya, 1972. 400 p.
3. Povetkin V.V., Kovenskiy I.M. *Struktura elektroliticheskikh pokrytiy* [Electrolytic coating structure]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1989. 136 p.
4. Edigarov V.R., Alimbayeva B.Sh., Perkov P.S. Combined electro-mechanical ultrasonic treatment of surface layers of vehicle parts. *Nauchnyy retsenziryemyy zhurnal " Vestnik SiBADI"*. 2017. No 7, pp. 42–47. (in Russ.).
5. Korotayev D.N., Ivanova Ye.V. Features of the formation of functional coatings during electro-spark modification of metallic materials. *Nauchnyy retsenziryemyy zhurnal " Vestnik SiBADI"*. 2017. No 3, pp. 62–68. (in Russ.).
6. Nisitani H., Tanaka S., Todaka T. Relation between microcrack and coxing effect of aged 0,15% S steels after quenching at low temperatures // J. Soc. Mat. Sei Japan. 1980. No 26. P. 317.
7. Cooper R.E., Rowland W.D., Beasley D. Atom. Weapons Res Estable // Atom Energy Auth Rept. 1971. P. 32–36.
8. Plenard Ye. Cast iron domping capacity, structure and property relation // *Modern Castings*. 1962. Vol. 41. P. 14–26.
9. Gilbert G.N. Variation of the microstructure of flake graphite cast iron after stressing in tension and compression // *BCJRA Journal*. 1964. No 1. P. 18–25.
10. S. Lampman. Introduction to surface hardening of steels // ASM Handbook. 1997. Vol. 4. P. 259–267.
11. Ruglic T. Flame hardening // ASM Handbook. 1997. Vol. 4. P. 268–285.
12. John C. Ion. Laser processing of Engineering Materials // Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. Vol. 2. P. 263–296.
13. Rana J., Goswami G.L., Jha S.K., Mishra P.K., Prasad B.V. Experimental studies on the micro structure and hardness of laser – treated steel specimens // Optics and Laser Technology. 2007. No 39. P. 385–393.
14. Gurevich Yu.G., Ovsyannikov V.E., Frolov V.A. *Vliyanie katalizatora (zheleza) na vzaimodeystviye oksidov s osnovoy ferrito-perlitnogo serogo chuguna, obespechivayushcheye zakalku i diffuzionnoye legirovaniye* [Influence of the catalyst (iron) on the interaction of oxides with the base of ferrite-pearlite gray cast iron, providing hardening and diffusion alloying: monograph]: monografiya. Kurgan. 2013. 102 p.
15. Kaplun A.B., Morozov Ye.M., Olfer'yeva M.A. *ANSYS v rukakh inzhenera: prakticheskoye rukovodstvo* [ANSYS in the hands of an engineer: a practical guide]. Moscow: Yeditorial URSS Publ., 2003. 272 p.
16. ANSYS. Commands Reference. Rel. 11 / ANSYS Inc. Houston, 2006.
17. Nekrasov V.I., Shpitko G.N., Ivanov I.A. *Odno- i mnogofaktornyye eksperimenty. Planirovaniye i obrabotka rezul'tatov* [Single and multivariate experiments. Planning and processing results]: uchebnoye posobiye. Kurgan, izd-vo KGU Publ., 2012. 232 p.
18. Nekrasov V.I. *Mnogofaktornyy eksperiment: Planirovaniye i obrabotka rezul'tatov* [Multivariate ex-

- periments. Planning and processing results]: *uchebnoye posobiye*. Kurgan, izd-vo KGU Publ., 1998. 146 p.
19. Karagodin V.I., Mitrokhin N.N. *Remont avtomobiley i dvigateley* [Automobile and engine repair]. Moscow: Akademiya Publ., 2002. 496 p.
20. Zorin V.A. *Tekhnologiya mashinostroyeniya, proizvodstvo i remont pod'yemno-transportnykh, stroitel'nykh i dorozhnykh mashin* [Mechanical engineering technology, production and repair of hoisting-and-transport, construction and road machinery]. Moscow: Akademiya Publ., 2010. 187 p.

INCREASE OF STRENGTH OF CAST-IRON CYLINDER LINERS OF ENGINES OF ROAD CONSTRUCTION VEHICLES

PhD in Engineering **V.E. Ovsyannikov**¹, PhD in Engineering **G.N. Shpitko**¹, PhD in Engineering **R.Yu. Nekrasov**², **D.E. Vas'kov**²

¹Kurgan State University, Kurgan, Russia

vik9800@mail.ru

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Industrial University of Tyumen», Tyumen, Russia

syncler@mail.ru

Cylinder liners made of gray cast iron are quite widespread in the design of engines of road construction vehicles. The negative properties of this structural material include relatively low strength and high fragility. This increases the probability of both manufacturing and operational defects. Therefore, improving the performance of the considered parts is an urgent problem. A promising direction in this case is the use of chemical-and-thermal treatment. The aim of the work is to study the effect of chemical-and-thermal treatment of gray cast iron on strength. The paper investigates the strength of cast iron subjected to chemical-and-thermal treatment (thermal diffusion surface alloying). On the basis of experimental studies, the effect of the thickness of the hardened layer on the strength was studied. A numerical model is created in the Ansys software. The effect of the hardened layer on the strength of cylinder liners of engines of road-building vehicles is investigated.

Keywords: road construction vehicles, liners, cast iron, strength, finite elements.

Cite as: Ovsyannikov V.E., Shpitko G.N., Nekrasov R.Yu., Vas'kov D.E. Increase of strength of cast-iron cylinder liners of engines of road construction vehicles. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020. No 3 (45), pp. 36–40 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-36-40.