

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА ДВС

Н.Т. Карева, Д.Т. Чунгаков, Н.А. Заварцев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Конечный комплекс свойств выпускного клапана формируется в ходе всей совокупности процессов: электровысадки, термообработки, наплавки, механообработки и гальваники, – важнейшим из которых является наплавка рабочей фаски клапана. Рабочая фаска клапана подвергается постоянному воздействию высоких температур, воздействию потока газа и термоциклическим нагрузкам, поэтому необходимо строгое соблюдение всего комплекса свойств, иначе дефект рабочей фаски приведет к ее разрушению, что неизбежно повлечет за собой нарушение работы ДВС и необходимости его ремонта.

В работе проведено исследование деформируемой части основного материала (сталь марки 40X10C2M) и наплавочного (сплава ЭП616А), применяемых для изготовления выпускного клапана двигателя внутреннего сгорания. Отбраковка по поверхностным дефектам проводится на готовых изделиях методом люминесцентного контроля. Однако, как показывает практика, не все детали, прошедшие визуальный контроль, являются годными. Разрушающие методы исследования сплошности материала позволяют обнаружить недопустимые внутренние дефекты (раковины, трещины).

Методами оптической и электронной микроскопии были изучены структурные составляющие материала: размер и форма зерна, включений, характер их распределения, местоположение усадочной раковины, ее протяженность, размерные характеристики наплавляемого жаропрочного слоя, переходной зоны, способ распространения трещины. Исследование было выполнено на разных стадиях изготовления клапана: после электровысадки при формировании головки клапана из прутка, последующей термообработки (закалка + высокий отпуск), наплавки кольца из жаропрочного сплава.

В настоящей работе методом микрорентгеноспектрального анализа определены химические составы фаз, включений, участков сплава ЭП616А вокруг усадочной раковины. Полученные результаты свидетельствуют о недостаточности визуального контроля, а проведение выборочного разрушающего метода не обеспечивает полной вероятности обнаружения внутренних дефектов. Целесообразно вместо разрушающего контроля ввести ультразвуковую дефектоскопию.

Ключевые слова: клапан выпускной, жаропрочность, жаростойкость, усадочная раковина, трещина, наплавка, контроль визуальный, никелевый сплав, внутренние остаточные напряжения.

Введение

Выпускной клапан является одной из важнейших и ответственных деталей двигателя внутреннего сгорания. Он работает в сложных условиях одновременного воздействия высоких температур, ударных нагрузок и агрессивной среды продуктов сгорания топлива [1–3]. Эта деталь может иметь разную конструкцию в зависимости от мощности двигателя [4].

В настоящей работе рассматривается цельный клапан, головка которого формируется из цилиндрического стержня электровысадкой [5]. Для увеличения рабочего ресурса клапана посадочная фаска тарелки, испытывающая ударную нагрузку о седло при закры-

тии клапана, наплавляется жаропрочным никелевым сплавом методом намораживания [6].

В процессе изготовления детали предусмотрено несколько термообработок, цель которых облегчить технологические операции механической обработки и обеспечить требуемый комплекс свойств. Проводимая после электровысадки закалка ($t = 1050$ °С, $\tau = 30$ мин) выравняет структуру и твердость деформированного материала по сечению клапана до 53–54 HRC, а последующий высокий отпуск ($t = 650$ °С, $\tau = 30$ мин) необходим в том числе и для механообработки при подготовке ванночки под наплавку. Для закаленного основного металла (после наплавки) в зоне термического влияния требуется вновь

высокий отпуск ($t = 650\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 40$ мин) для снижения твердости до необходимого уровня 32–42 HRC.

При этом поверхностные дефекты и трещины недопустимы: головка клапана омывается горячими газами в камере сгорания и в периоды выпуска их скорости движения составляют 400–600 м/с при температурах 600–1200 °С [7]. В результате происходит снижение механической прочности материала клапана, развивается газовая коррозия и газовая эрозия поверхностей выпускных клапанов, особенно посадочных фасок. Любая несплошность на поверхности фаски будет промываться газом, что приведет к потере герметичности камеры сгорания; по внутренним дефектам пройдет трещина из-за термомеханических нагрузок.

В заводских условиях брак составляет ~ 12 %. Дефекты могут быть и внутренними не выявляемыми визуальным контролем.

Материал и методика исследования

Выпускные клапаны, изготовленные из жаростойкого силхрома марки 40X10C2M, характеризуются благодаря хрому и кремнию хорошей окислительной стойкостью (до 800 °С) в горячих газах, повышенными прочностью и сопротивлением износу [8, 9]. Присутствие молибдена делает эту сталь мало чувствительной к обратимой отпускной хрупкости, что весьма важно при термоциклических условиях работы выпускного клапана [8].

Рабочая фаска головки клапана дополнительно наплавляется литым кольцом из жаропрочного хромоникелевого сплава ЭП616А, в состав которого входят кремний и бор, пони-

жающие температуру плавления сплава до 980–1080 °С [10]. Последний увеличивает также жидкотекучесть, обеспечивает низкий уровень пористости наплавки [10]. Химический состав названных материалов приведен в табл. 1, 2.

Изучение структуры и твердости выполнялось на каждом этапе изготовления клапана: после электровысадки при формировании головки клапана из прутка, последующей термообработки (закалка + высокий отпуск), наплавки кольца из жаропрочного сплава. Для этого из поперечных срезов тарелки клапанов изготавливались микрошлифы, производилось травление в реактиве Морбле (4 г медного купороса, 20 мл соляной кислоты, 20 мл воды).

Особенности структур, строение и химический состав их отдельных составляющих оценивались при увеличении, кратных 100–5000 раз с помощью электронного сканирующего микроскопа JSM-7001F фирмы JEOL, снабженного специальной приставкой – энергодисперсионным анализатором Oxford INCA X-max 80 для проведения микрорентгено-спектрального анализа.

Твердость измерялась на приборе Роквелла и микротвердомере FuturTech FM-800 с использованием компьютерной программы Thixomet.

Результаты исследования

Все приведенные в настоящей работе структуры изучались в наиболее уязвимых частях клапана. Они связаны с его головкой, где возникают чаще всего трещины, и может происходить разрушение материала при дальнейшей эксплуатации. На рис. 1 показаны

Химический состав стали 40X10C2M

Таблица 1

Элемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Cu
Содержание, мас. %	0,35–0,45	1,9–2,6	до 0,8	до 0,6	< 0,025	< 0,03	9–10,5	0,7–0,9	< 0,2	< 0,3

Химический состав наплавочного сплава ЭП616А

Таблица 2

Элемент	C	Mn	Si	S	Cr	B	Fe	Ni
ГОСТ 21448–75								
Содержание, мас. %	0,7–1,2	< 0,4	2,2–2,7	< 0,015	24–28	1,2–1,8	< 3	Основа
Сертификат								
Содержание, мас. %	1,02	0,15	2,38	0,006	27,20	1,48	1,69	Основа

Металловедение и термическая обработка

места вырезки образцов в тарелке клапана, отмеченные цифрами 1, 2, 3.

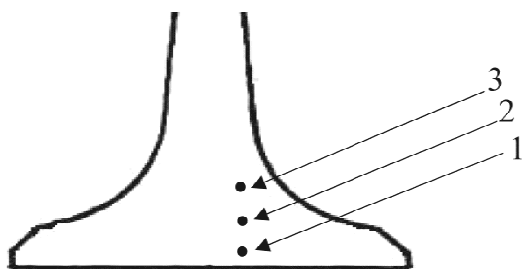


Рис. 1. Схема тарелки клапана с отметками мест, просмотренных на микроскопе

В стали 40X10C2M при электровысадке ($t = 1000\text{--}1100\text{ }^\circ\text{C}$), как следует из рис. 2, формируется волокнистая структура деформированного с большими степенями материала. При этом нужно отметить характерное для высокотемпературного деформирования зуб-

чатое строение границ зерен аустенита, затем унаследованное низкотемпературной структурой при комнатной температуре [11, 12]. Это свидетельствует об отсутствии последовательной рекристаллизации, т. е. в образцах из точек 1 и 3 (см. рис. 1, 2) скорость охлаждения после электровысадки была достаточна для подавления рекристаллизации. В образце из точки 2 отмечаются некрупные равноосные зерна (6–9 мкм), зубчатость на границах зерен практически исчезла в результате рекристаллизации. Эта часть материала, расположенная в более глубоких слоях головки клапана, охлаждалась, очевидно, после деформации медленнее.

В структуре образцов из точек 1 и 3 можно наблюдать серые пятна (см. рис. 1, 2). Рентгеновская съемка показывает, что это оксиды сложного состава (табл. 3).

Подготовленные клапаны затем наплавля-

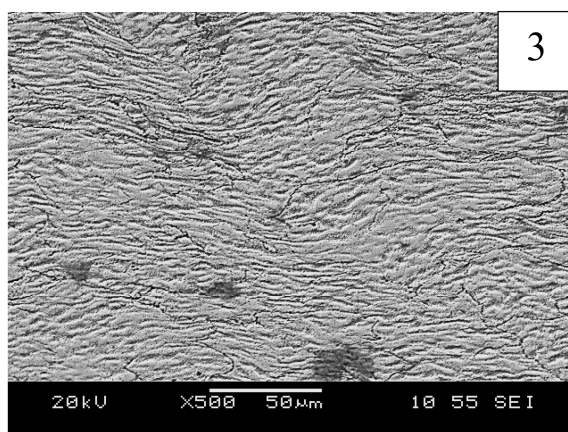
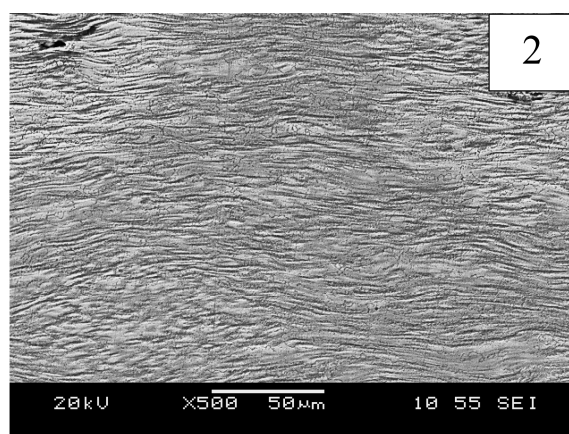
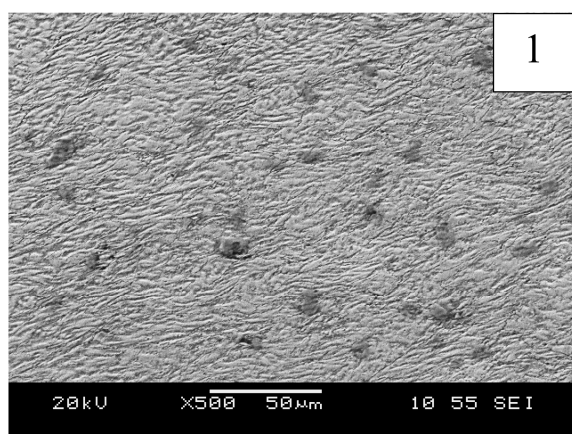


Рис. 2. Структуры стали 40X10C2M после электровысадки от торца тарелки клапана к стержню: точки 1; 2; 3 (см. рис. 1)

Таблица 3

Химический состав «серых пятен»

Элемент	O	Si	Fe	Cr	Cu	Mo
Содержание, мас. %	13,93	1,98	72,33	9,58	0,85	1,33

лись кольцом из сплава ЭП616А по рабочей фаске головки. Использование скоростного нагрева токами высокой частоты ($t_n = 1090\text{ }^\circ\text{C}$) резко сокращает продолжительность процесса расплавления этого кольца и соответственно зону термического влияния (ЗТВ) прилегающего основного материала тарелки клапана. Во избежание появления в наплавке при ее последующем затвердевании несплошностей металлургического характера (усадочная раковина, газовые пузыри и т. п.) используется направленная кристаллизация. Для чего тарелка в месте наплавки снизу охлаждается водой под давлением, интенсивно продувается аргоном; а верхняя часть наплавки еще

некоторое время до окончания затвердевания подогревается индуктором, но при меньшей интенсивности теплового потока. В результате дефекты выталкиваются на поверхность наплавки и затем удаляются механической обработкой.

Структура никелевого жаропрочного сплава, согласно [13] и нашим наблюдениям, представлена следующими фазами: γ -твердый раствор на основе никеля; карбиды Cr_3C_2 , SiC ; бориды Me_3B_2 ; неметаллические включения (рис. 3).

С названных фаз (см. рис. 3) были сняты спектры, которые приведены на рис. 4. Количественный химический состав приведен в табл. 4.

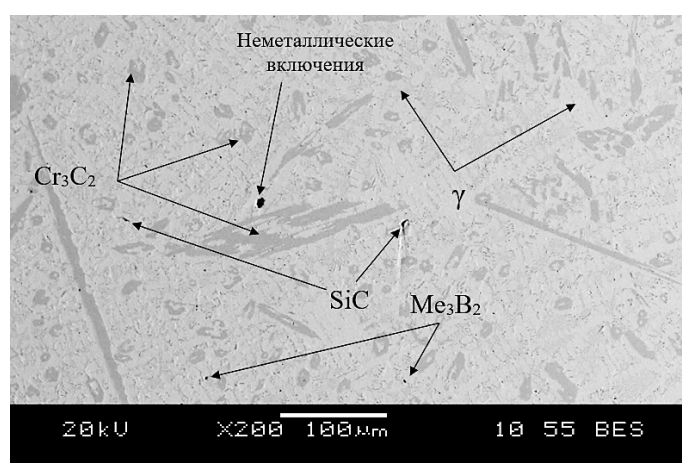
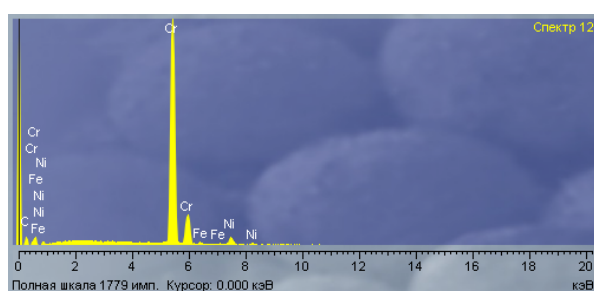
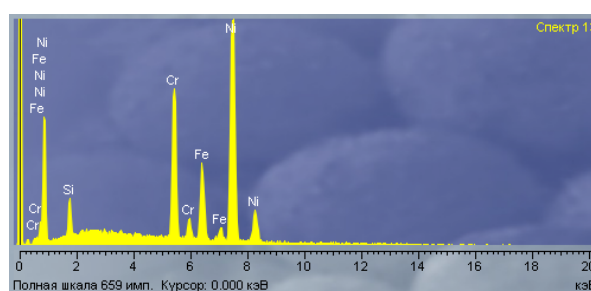


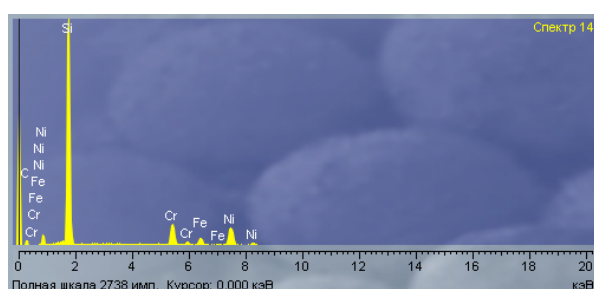
Рис. 3. Структура ЭП616А



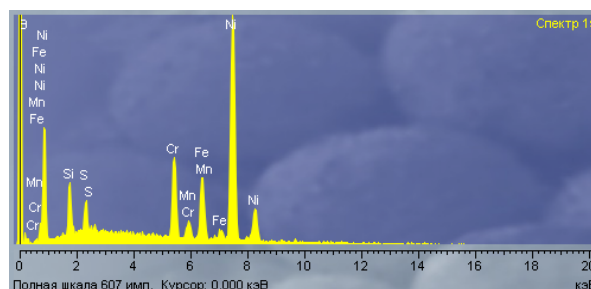
Cr_3C_2



γ



SiC



Me_3B_2

Рис. 4. Спектры структурных элементов (Cr_3C_2 , γ , SiC , Me_3B_2) наплавочного сплава ЭП616А

Химический состав фаз сплава ЭП616А

Название фазы	№ спектра на рис. 4	Мас. %						
		B	C	Si	Cr	Mn	Fe	Ni
Карбид хрома	12		7,61		85,92		0,76	5,72
Основной γ -тв. р-р	13			3,41	19,86		11,67	65,06
Карбид кремния	14		15,02	49,95	10,49		4,29	20,25
Бориды	15	18,04		3,67	9,04	1,04	9,28	57,38

Как показывает данное исследование, после разрезки головки одного из годных согласно визуальному осмотру клапанов в наплавленном слое обнаруживается раковина глубиной до 854 мкм и протяженностью 95 мкм при общей толщине сплава ЭП616А ~ 2135 мкм (рис. 5). В процессе дальнейшей

полировки шлифа возникает трещина, которая распространилась от раковины по границам зерен с переходом в основной металл (рис. 6).

По результатам микрорентгеноструктурного анализа вблизи трещин в жаропрочном никелевом сплаве залегают твердые карбиды хрома (табл. 5).

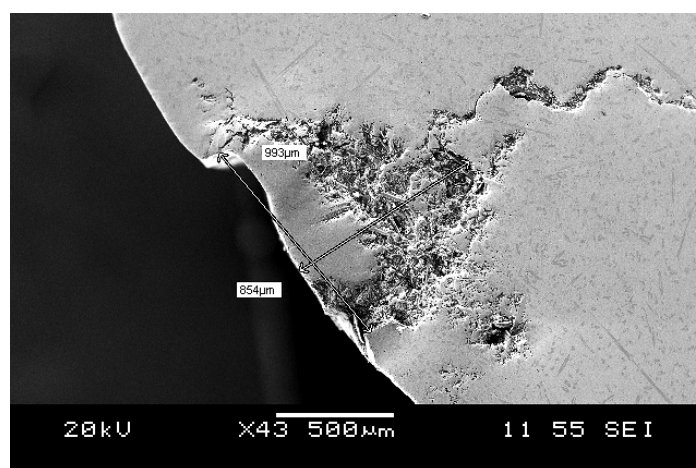


Рис. 5. Размер раковины

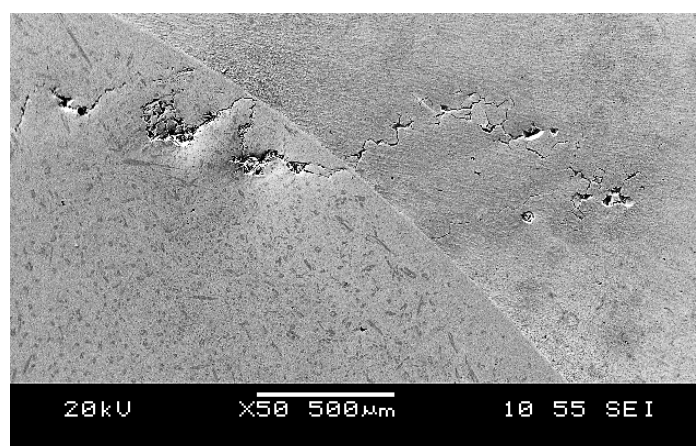


Рис. 6. Переход трещины в основной металл

Таблица 5

Химический состав участков сплава вблизи трещины, мас. %

C	Cr	Fe	Ni
7,44	84,83	1,89	5,85

Трещина, достигнув светлой границы сплавления, «разворачивается» и проходит в материал головки позже (рис. 7).

Граница сплавления шириной 7–13 мкм (рис. 8), естественно, имеет поэлементный химический состав (табл. 6), отличающийся как

от исходного состава наплавки (см. табл. 2), так и от силхрома (см. табл. 1).

Преодолев светлую зону сплавления, трещина начинает распространяться в основном материале головки клапана в области термического влияния (рис. 9) и тоже по границе

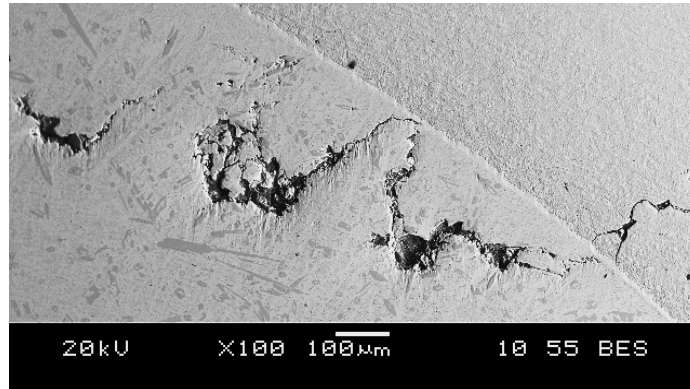


Рис. 7. Распространение трещины из наплавки в основной сплав

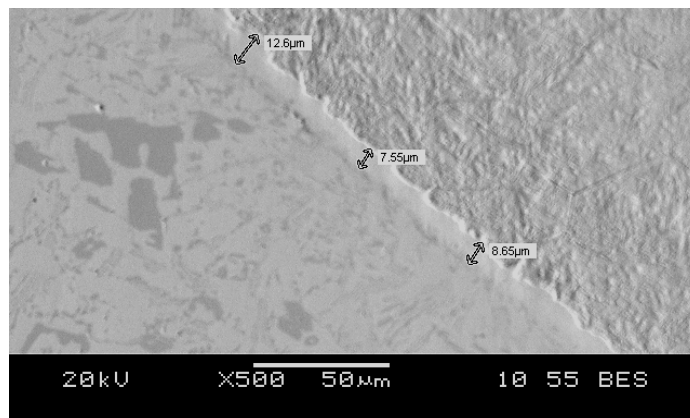


Рис. 8. Толщина границы сплавления

Таблица 6

Химический состав границы сплавления 40X10C2M и ЭП616А, мас. %

Si	Cr	Fe	Ni	Cu
2,87	13,58	32,76	48,30	2,49

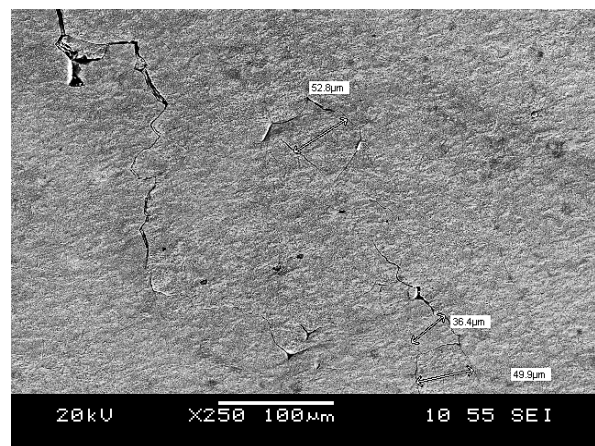
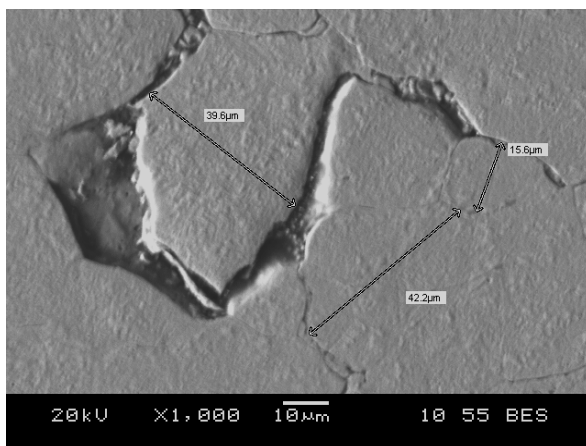


Рис. 9. Распространение трещины в основной металл тарелки клапана

зерна (его размер можно оценить 5–6 баллами).

Приближенной мерой оценки характеристик жаростойкости и жаропрочности рабочей фаски и клапана в целом может служить горячая твердость наплавленного слоя при температуре 800 °С, близкой к рабочей температуре выпускного клапана. Для ее расчета в работе [14] предлагается линейное уравнение

$$y = -2,81x + 201,76,$$

где y – твердость сплава ЭП616А, кг/мм²; x – концентрация железа, мас. %. Согласно приведенному выражению, падение горячей твердости при 800 °С в данном случае может достигать 70 и более единиц НВ.

Таким образом, формирование трещин возможно на любой стадии изготовления клапана, особенно в процессе наплавки. При визуальном контроле деталей можно пропустить наличие в наплавочном слое сосредоточенной усадочной раковины достаточно существенных размеров, простирающейся почти на половину толщины кольца. Она выявляется лишь при выборочном разрушающем контроле, когда деталь разрезается при изготовлении образцов для исследования. Раковина в таком случае инициирует трещину в наплавке, переходящую затем в основной металл. Трещина и в наплавке, и в стали распространяется по границе зерна, где нередко располагаются частицы неметаллических включений, которые облегчают ее передвижение [15]. Для обнаружения раковин, трещин и других дефектов, нарушающих сплошность материала клапана, очевидно, необходима ультразвуковая дефектоскопия. Кроме того, нужно учитывать остаточные внутренние напряжения, возникающие на всех этапах изготовления клапана, тем более, что деталь состоит из материалов, имеющих различающиеся теплофизические свойства.

Присутствие усадочной раковины в наплавке клапана может быть обусловлено несколькими причинами. Возможно, выбранная температура для расплавления кольца из никелевого сплава недостаточна. Проведение ДТА сплава ЭП616А может показать истинный интервал кристаллизации. Вероятно, температура расплавления недостаточна, что и повышает вероятность возникновения данных дефектов.

Литература

1. *Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность порш-*

невых и комбинированных двигателей: учеб. для студентов вузов / Д.Н. Вырубов [и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.

2. *Алексеев, В.П. Двигатели внутреннего сгорания. Рабочие процессы в двигателях и их агрегатах: учеб. для студентов вузов: в 2 т. / В.П. Алексеев, В.Ф. Вронин; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.*

3. *Холдерман, Д.Д. Автомобильные двигатели. Теория и техническое обслуживание / Д.Д. Холдерман, Ч.Д. Митчел. – 4-е изд. – М.; СПб.; Киев, 2006. – 595 с.*

4. *ГОСТ Р 53810–2010. Двигатели автомобильные. Клапаны. Технические требования и методы испытаний. – Введ. 2010-09-15 – М.: Стандартиформ, 2010. – 14 с.*

5. *Игнатъев, А. Новые и передовые технологические процессы и оборудование для кузнечных и прессовых цехов: завод тракторного и сельскохозяйственного машиностроения / А. Игнатъев. – М.: Лаборатория офсетной печати ОНТЭИ, 1968. – 271 с.*

6. *Проектирование сварных конструкций в машиностроении: книга для инженеров-конструкторов машиностроительных заводов / С.В. Вершинский [и др.]; под ред. С.А. Куркина. – М.: Машиностроение, 1975. – 376 с.*

7. *Milbach, R. Ventilschaden und ihre Ursachen / R. Milbach // TRW Thompson GmbH. – 1987. – P. 52.*

8. *Машиностроение: энциклопедия: в 40 т. / К.В. Фролов; под ред. О.А. Банных, Н.Н. Александрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2, ч. 1. – 780 с.*

9. *Гольдштейн, М.И. Специальные стали / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 408 с.*

10. *Переpletчиков, Е.Ф. Плазменная наплавка хромоникелевых сплавов, легированных кремнием и бором / Е.Ф. Переpletчиков, П.В. Гладкий, И.И. Фрулин // Автоматическая сварка. – 1968. – № 9. – С. 58–62.*

11. *Соколов, Е.Н. Высокотемпературная термомеханическая обработка металлов и сплавов / Е.Н. Соколов, В.Д. Садовский. – ФИИМ, 1968. – Т. 9, № 2. – С. 226–240.*

12. *Садовский, В.Д. Структурная наследственность в стали / В.Д. Садовский; под ред. М.Л. Бернштейна, И.И. Новикова. – М.: Металлургия, 1973. – 208 с.*

13. Сидоров, В.В. *Металлургия литейных жаропрочных сплавов: технология и оборудование* / В.В. Сидоров, Д.Е. Каблов, В.Е. Ригин; под ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2016. – 368 с.

14. Аманов, С.Р. *Плазменная наплавка выпускных клапанов двигателей внутреннего*

сгорания порошковыми сплавами: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / С.Р. Аманов. – М., 2000. – 160 с.

15. ГОСТ 1778–70. *Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений.* – Введ. 1972-01-01 – М.: Стандартиформ, 2011 – 25 с.

Карева Надежда Титовна, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; karevant@susu.ru.

Чунгаков Джоми Тавакалович, студент кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; Chdz69@mail.ru.

Заварцев Никита Андреевич, студент кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; shaxx96@mail.ru.

Поступила в редакцию 20 апреля 2019 г.

DOI: 10.14529/met190205

THE RESEARCH OF CRACKING IN THE FABRICATION OF THE INTERNAL-COMBUSTION ENGINE EXHAUST VALVE

N.T. Kareva, karevant@susu.ru,

D.T. Chungakov, Chdz69@mail.ru,

N.A. Zavartsev, shaxx96@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The final set of properties of the exhaust valve is formed in the course of the entire set of processes: electro-forging, heat treatment, surfacing, machining and electroplating, the most important of which is the build-up of the valve chamfer which is subjected to constant high temperatures, gas flow and thermal cycling, therefore strict adherence to the whole complex of properties is necessary, otherwise a defect of the working chamfer will lead to its destruction, which will inevitably lead to the violation of the engine and the need to repair it.

In the study two materials were investigated: the deformable part of the base material (steel grade 40X10C2M (EN steel grade X40CrSiMo10)) and surfacing (alloy EP616A), used to manufacture the exhaust valve of the internal-combustion engine. The rejection of surface defects is carried out on finished products by the method of luminescent control. However, as practice shows, not all details that passed a visual inspection are suitable. Destructive methods for studying the continuity of the material can detect unacceptable internal defects (shrink-holes, cracks).

The structural components of the material such as the size and shape of the grain and inclusions, the nature of their distribution, the location of the shrink-hole, its length, the dimensional characteristics of the heat-resistant layer, the transition zone, the method of crack propagation were studied with optical electron microscopy. The study was carried out at different stages of valve manufacturing: after electro-forging during the formation of a valve head from a rod, subsequent heat treatment (quenching + high tempering), after surfacing a ring with the heat-resistant alloy.

In the present work, the chemical composition of phases, inclusions, and sections of EP616A alloy around the shrink-hole were determined by the method of micro-X-ray analysis. The results indicate a shortage of visual inspection, and that conducting a selective destructive method does not ensure

the full probability of detecting internal defects. It is advisable instead of destructive control to introduce ultrasonic flaw detection.

Keywords: exhaust valve, high temperature strength, high-temperature oxidation resistance, shrink-hole, cracks, surfacing, visual inspection, nickel alloy, internal residual stresses.

References

1. Vyubov D.N. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Konstruirovaniye i raschet na prochnost' porshnevnykh i kombinirovannykh dvigateley* [Internal-Combustion engines. Design and Strength Calculation of Piston and Combined Engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 384 p.
2. Alekseev V.P. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Rabochie protsessy v dvigatelyakh i ikh agregatakh* [Internal-Combustion Engines. Work processes in Engines and Their Units]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1990. 288 p.
3. James D. Halderman. *Automotive Engines: Theory and Servicing*. 4th Edition. Prentice Hall, 2000. 559 p.
4. GOST R 53810–2010. *Dvigateli avtomobil'nye. Klapany. Tekhnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy* [State Standard R 53810–2010. Automobile Engines. Valves. Technical Requirements and Test Methods]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 14 p.
5. Ignat'ev A. *Novye i peredovye tekhnologicheskie protsessy i oborudovaniye dlya kuznechnykh i pressovykh tsekhov* [New and Advanced Technological Processes and Equipment for Forging and Pressing Shops]. Moscow, Laboratory Offset Printing ONTEI Publ., 1968. 271 p.
6. Vershinskiy S.V. *Proektirovaniye svarnykh konstruksiy v mashinostroenii* [Design of Welded Structures in Mechanical Engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 376 p.
7. Milbach R. Ventilschaden und Ihre Ursachen. *TRW Thompson GmbH*, 1987, p. 52.
8. Frolov K.V. *Entsiklopediya Mashinostroenie. Tom 2. Chast 1* [The Encyclopedia: Mechanical Engineering. Vol. 2. Part 1]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 780 p.
9. Gol'dshteyn M.I., Grachev S.V., Veksler Yu.G. *Spetsial'nye stali* [Special Steels]. Moscow, MISiS Publ., 1999. 408 p.
10. Perepletchikov E.F. [Laser Cladding of Chromium-Nickel Alloys Alloyed with Silicon and Boron]. *Automatic Welding*, 1968, no. 9. pp. 58–62. (in Russ.)
11. Sokolov E.N., Sadovskiy V.D. [High-Temperature Thermomechanical Processing of Metals and Alloys]. *FIM*, 1968, vol. 9, no. 2, pp. 226–240. (in Russ.)
12. Sadovskiy V.D. *Strukturnaya nasledstvennost' v stali* [Structural Heredity in Steel]. Bernshteyn M.L. (Ed.). Moscow, Metallurgiya Publ., 1973. 208 p.
13. Sidorov V.V. *Metallurgiya liteynykh zharoprochnykh splavov* [Metallurgy of Foundry Heat Proof alloys]. Kablova E.N. (Ed.). Moscow, All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials, 2016. 368 p.
14. Amanov S.R. *Plazmennaya naplavka vypusknykh klapanov dvigateley vnutrennego sgoraniya poroshkovymi splavami: dis. kand. tekhn. nauk* [Plasma Surfacing of Exhaust Valves of Internal-Combustion Engines with Powder Alloys. Cand. Sci. Diss.]. Moscow, 2000. 160 p.
15. GOST 1778–70. *Stal'. Metallograficheskie metody opredeleniya nemetallicheskiikh vklyucheniy* [State Standard 1778–70. Steel. Metallographic Methods for the Determination of Nonmetallic Inclusions]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 25 p.

Received 20 April 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Карева, Н.Т. Исследование трещинообразования при изготовлении выпускного клапана ДВС / Н.Т. Карева, Д.Т. Чунгаков, Н.А. Заварцев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2019. – Т. 19, № 2. – С. 44–52. DOI: 10.14529/met190205

FOR CITATION

Kareva N.T., Chungakov D.T., Zavartsev N.A. The Research of Cracking in the Fabrication of the Internal-Combustion Engine Exhaust Valve. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 44–52. (in Russ.) DOI: 10.14529/met190205