

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74.041:669.15

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВКИ «ЗУБ КОВША ЭКСКАВАТОРА»*

Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Сеницкий Е.В., Феоктистов Н.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе проведен анализ эксплуатационной стойкости отливки «Зуб ковша экскаватора». Показано, что износ зуба ковша экскаватора происходит преимущественно по двум механизмам – это микрорезание при абразивном воздействии грунтов и усталостное разрушение в результате циклического воздействия при ударно-абразивном износе. Проведено моделирование условий формирования отливки, выявлены зоны с повышенной вероятностью образования литейных дефектов в виде скрытых усадочных раковин, микропористости и ликвации. Показано, что для дальнейшего повышения эксплуатационных характеристик необходим комплексный подход с изменением конструкции детали, совершенствования литейной технологии и дополнительном легировании и модифицировании стали.

Ключевые слова: сталь Гадфильда, зуб ковша, моделирование, абразивный износ, ударно-абразивный износ, литейная технология, литейная форма.

Введение

Базой интенсификации современных производств и сокращения издержек предприятий может являться повышение требований в аспекте эксплуатационной стойкости деталей, узлов и агрегатов. Это напрямую связано с необходимостью повышения качества литых деталей и увеличением срока их службы. Это наиболее характерно для отливок, предназначенных для работы в условиях воздействия интенсивных нагрузок, агрессивных и абразивных сред. Примером может служить отливка «Зуб ковша экскаватора».

Основная часть

Для повышения стойкости зуба ковша экскаватора можно выделить три направления работы:

- разработка сплавов новых составов с заданными свойствами;
- изменение конструкции деталей;
- совершенствование технологии изготовления деталей (заготовок) из существующих сплавов.

Первое направление отличается длительным циклом разработки сплава нового состава и

внедрением его в производство. Также следует отметить, что высокие свойства достигаются при создании высоко- и комплексно-легированных сплавов. Подобные сплавы обладают высокой ценой, сложностью в производстве, специальными требованиями к технологическому и обрабатываемому оборудованию.

Изменение конструкции (конфигурации) зуба ковша путем моделирования условий их работы и оценки областей интенсивного разрушения (**рис. 1**) для многих типов заготовок уже выполнено. Кроме того, интенсивность разрушения зависит в большой степени от типа грунтов и кинематики движения ковша экскаватора. Полный износ зубьев, как отмечал Ю.А. Ветров, происходит после выработки 30–35 тыс. м³ песчано-щебеночных грунтов. При этом угол заострения зуба увеличивается в 2–2,5 раза, достигая 65–70° вместо 26° у нового зуба, а рабочая длина уменьшается в 3–4 раза (**рис. 1, 2**) [1].

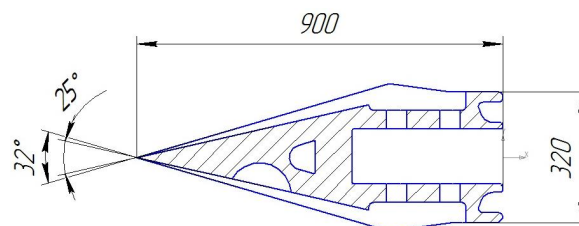


Рис. 1. Зуб ковша экскаватора

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №15-19-10020.

© Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Сеницкий Е.В., Феоктистов Н.А., 2015

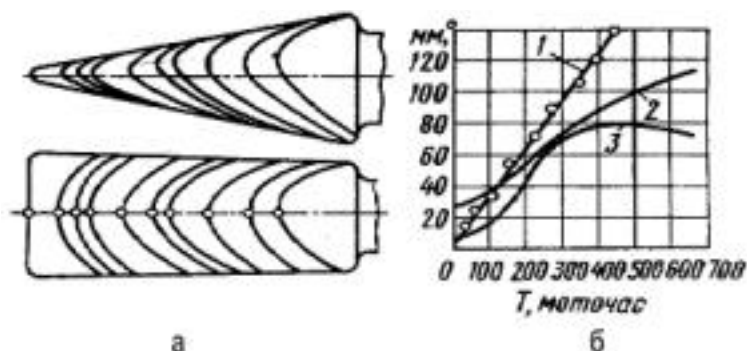


Рис. 2. Износ зуба ковша экскаватора (а) и изменение его параметров (б): 1 – длина; 2 – угол заострения; 3 – длина площадки износа

Значительный вклад в долговечность и надёжность литых деталей в процессе эксплуатации вносит технология производства отливки. При создании литейных технологий необходимо учитывать рациональное и оптимальное использование материалов и энергии.

Это касается и технологии изготовления литых изделий из высокомарганцовистой стали 110Г13Л (сталь Гадфильда). Большинство отливок из марганцовистой стали работают в условиях интенсивного ударно-абразивного износа в различных агрегатах и установках горно-металлургического комплекса. Износ зуба ковша экскаватора происходит преимущественно по двум механизмам – это микрорезание при абразивном воздействии грунтов и усталостное разрушение в результате циклического воздействия при ударно-абразивном износе. Этот вывод подтверждает характер поверхности износа: нижняя часть зуба имеет зоны с явно направленным рельефом износа, а верхняя часть зоны – с матовым рельефом и без выраженного направления. Характер износа в большей степени зависит от угла атаки абразивной среды – при увеличении угла атаки абразивный износ происходит в большей мере по усталостному типу.

Марганцовистые стали отличаются трудностями и особенностями её литья, которые необходимо учитывать при разработке литейных технологий [2, 3]. Преимущество стали 110Г13Л связано с её способностью к упрочнению поверхности путем наклёпа при воздействии внешних нагрузок [3]. В процессе работы при высоких контактных нагрузках в образцах стали зуба и выявляется аустенит с частичным мартенситным превращением. В зонах с явно выраженным абразивным износом по механизму микрорезания преобладает деформированный аустенит с незначительным мартенситом [4, 5]. В зонах с преобладающим усталостным выкашиванием в структуре пре-

обладает мартенсит со следами хрупкого разрушения.

Повышение требований к надёжности оборудования, которая определяется эксплуатационной стойкостью, приводит к необходимости комплексного подхода к рассматриваемым вопросам. Часто эксплуатационная стойкость запасных (сменных, расходных) частей, получаемых от производителей, колеблется в широких интервалах (табл. 1). В процессе эксплуатации зубьев ковша экскаватора из стали марки 110Г13Л фиксировалось количество породы до наступления момента критического изнашивания.

Таблица 1
Стойкость зуба ковша экскаватора одного производителя

Экскаватор	Средняя стойкость, т
18	27651
37	26850
38	15940
52	24411
101	27882
102	39680
103	25059
104	23963
105	33311
106	23368
107	20557
108	33059
109	26099

Анализ данных показал, что для эксплуатации в «стандартных» условиях возможно изменение стойкости в более чем 2 раза. Так, для экскаватора № 102 минимальная стойкость составила 14414 т, а максимальная – 40409 т. Подобная картина наблюдается для всех экскаваторов, а средняя стойкость отличается в 2,49 раза.

При сравнении стойкости зуба ковша экскаваторов, работающих в одинаковых условиях, от разных производителей также выявлено существенное различие эксплуатационной стойкости (табл. 2).

Таблица 2
Стойкость зуба ковша экскаватора разных производителей

№	Экскаватор	Стойкость, т	Примечание
1	38	16946	производитель 1
2		11179	производитель 1
3		20282	производитель 1
4		15350	производитель 1
5		7311	производитель 2
6		8354	производитель 2
7		8997	производитель 2
8	107	20557	производитель 1
9		4529	производитель 2

Технологический процесс производства зуба ковша экскаватора в условиях различных производств представляет собой формовку в песчано-глинистых смесях, отверстия и полости формируются при помощи стержней из холоднотвердеющих смесей, применяются боковые прибыли (рис. 3).

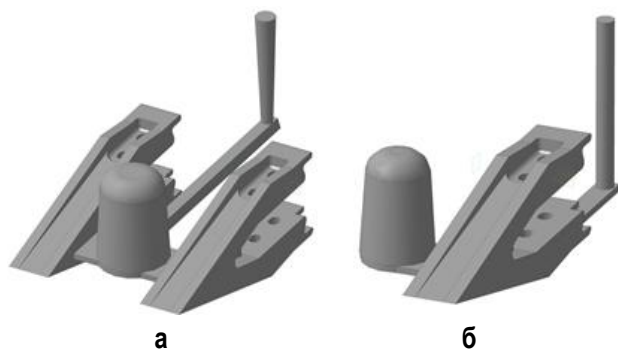


Рис. 3. Отливка «Зуб ковша»: а – вариант 1; б – вариант 2

После вывода зубов ковша из эксплуатации установлено, что отличие в эксплуатационной стойкости в большей степени определяется наличием скрытых усадочных дефектов, микропористости и ликвации снижающих эксплуатационную стойкость. При проведении компьютерного моделирования разных технологий изготовления отливки «Зуб ковша» выявили зоны с повышенной вероятностью образования литейных дефектов в виде скрытых усадочных раковин, микропористости и ликвации (рис. 4).

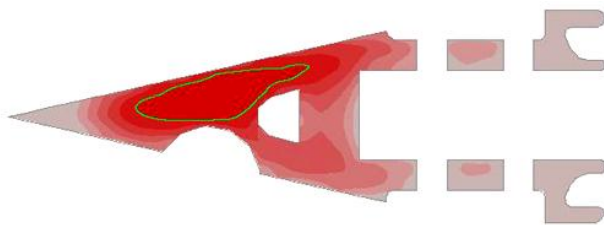


Рис. 4. Зоны возможных дефектов отливки «Зуб ковша»

Заключение

Применяемая при производстве отливки «Зуб ковша» литейная технология оказывает существенное влияние на формирование макро- и микроструктуры сплава, определяет наличие дефектов, таких как скрытые усадочные раковины, пористость, ликвация. Указанные факторы приводят к изменению эксплуатационной стойкости отливок до двух и более раз. В современных условиях применение моделирования и оптимизации литейных технологий позволяет существенно повысить конкурентоспособность продукции за счет снижения издержек, потерь и повышения эксплуатационных характеристик отливок. Для комплексного повышения эксплуатационных свойств отливки «Зуб ковша» необходим комплексный подход с изменением конструкции детали, совершенствованием литейной технологии и дополнительным легированием и модифицированием стали 110Г13Л с целью повышения ее прочностных и износостойких характеристик.

Список литературы

1. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. М.: Машиностроение, 1971. 360 с.
2. Вдовин К.Н., Феоктистов Н.А., Хабибуллин Ш.М. Совершенствование технологии производства литых броней из стали марки 110Г13Л для мельницы МПСИ-70×23 // Литейщик России. 2014. №1. С. 13–15.
3. Производство стальных отливок: учебник для вузов / В.М. Колокольцев, Л.Я. Козлов, К.Н. Вдовин и др. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. 352 с.
4. Абразивная износостойкость литых металлов и сплавов / Колокольцев В.М., Мулявко Н.М., Вдовин К.Н., Синецкий Е.В.; под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: МГТУ, 2004. 228 с.
5. Колокольцев В.М., Долгополова Л.Б., Мулявко Н.М. Взаимосвязь химического состава, структуры и свойств хромомарганцовых аустинитных сталей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. № 2. С. 12–15.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EVALUATION OF SERVICE DURABILITY AND SIMULATION OF A TECHNOLOGY OF "EXCAVATOR BUCKET TOOTH" CASTING

Kolokoltsev Valery Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Vdovin Konstantin Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-30. E-mail: Vdovin@magtu.ru.

Sinitsky Evgeny Valerievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-30.

Feoktistov Nikolay Aleksandrovich – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. Phone: +7 (3519) 29-85-30.

Abstract. The article deals with the analysis of service durability of "excavator bucket tooth" casting. The authors show that excavator bucket tooth wear mainly occurs in two manners - microcutting when exposed to abrasive soils and fatigue failure by cyclical exposure to impact-abrasive wear. Casting forming has been simulated. Areas prone to formation of casting defects in the form of hidden cavities, microporosity and segregation have been identified. The authors also show that further performance improvement requires an integrated approach including detail design modification, improvement of casting technology and additional alloying and modification of steel.

Keywords: Hadfield steel, bucket tooth, simulation, abrasion, impact abrasion, casting technology, casting mold.

References

1. Vetrov Y. *Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami* [Digging

with earthmoving machines]. Moscow: Mechanical Engineering, 1971. 360 p.

2. Vdovin K.N., Feoktistov N.A., Khabibullin S.H. Improvement of production technology of 110G13L steel armor castings for 70×23 SAG mill. *Litejshhik Rossii* [Foundryman of Russia]. 2014, no. 1, pp. 13-15.
3. Kolokoltsev V.M., Kozlov L.Y., Vdovin K.N. and colleagues. *Proizvodstvo stal'nykh otlivok: uchebnik dlya vuzov* [Production of steel castings: Textbook for university students]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, 352 p.
4. Kolokoltsev V.M., Muliavko N.M., Vdovin K.N., Sinitsky E.V. Abrasive wear resistance of cast metals and alloys. Ed. V.M. Kolokoltsev. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2004. 228 p.
5. Kolokoltsev V.M., Dolgoplov L.B., Muliavko N.M. Interrelation of chemical composition, structure and properties of austenite chrome-manganese steels. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2004, no. 2, pp. 12-15.

Оценка эксплуатационной стойкости и моделирование технологии изготовления отливки «Зуб ковша экскаватора» / Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Синицкий Е.В., Феоктистов Н.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №4. С. 61–64.

Kolokoltsev V.M., Vdovin K.N., Sinitsky E.V., Feoktistov N.A. Evaluation of service durability and simulation of a technology of "Excavator bucket tooth" casting. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2015, no. 4, pp. 61–64.

УДК 621.74

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ВНЕДРЕНИИ АСИММЕТРИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАТРУДНЕНИЯ ЛИТОЙ ДЕТАЛИ В СЛОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Савинов А.С.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос возникновения усадочных напряжений упруго-пластического деформирования отливки «Шлаковая чаша», приводящего к нарушению сплошности в стенке отливки и образованию дефекта «горячая трещина». Создана математическая модель и по предложенным автором алгоритмам произведен расчет силового взаимодействия отливки и формы. Определены количественные показатели полного напряженного состояния в стенке отливки в момент образования трещины. Установлено, что наибольшее влияние на образование дефекта оказывает напряжение изгиба, составляющее 96% от значения предела прочности материала отливки. По результатам работы предложены технологические приемы, направленные на уменьшение вероятности образования горячих трещин в теле отливки.

Ключевые слова: отливка, горячая трещина, «Шлаковая чаша», упруго-пластическое деформирование, напряжение изгиба.

Введение

Образование горячей трещины в теле отливки является следствием взаимовлияния различных видов внутренних сил, образующихся под воздействием усадочных процессов при силовом взаимодействии отливки и формы. При этом зачастую какой-то из компонентов напряженного состояния играет более значительную роль, а следовательно, технологическим воздействием на выборочный, наиболее значимый, компонент возможно избежание брака по горячим трещинам в литье. Это в полной мере относится к крупногабаритному стальному литью, одним из представителей которого является «Шлаковая чаша» (рис. 1).