

УДК 669.046.516.2:338.45

©Рассохин Д.А.<sup>1</sup>, Чигарев В.В.<sup>2</sup>, Лоза А.В.<sup>3</sup>, Шишкин В.В.<sup>4</sup>ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНОГО  
ЛЕГИРОВАНИЯ ОТЛИВОК

В статье приведен сравнительный анализ основных технологических операций производства упрочненных отливок для металлургического оборудования, полученных способом локального легирования и способом наплавки. Приведены результаты расчета себестоимости изготовления конуса засыпного аппарата. Как наиболее перспективный вариант технологии изготовления крупногабаритных отливок предложен способ локального легирования с использованием порошковой проволоки.

**Ключевые слова:** металлургическое оборудование, отливка, легирование, порошковая проволока, структура металла, механическая обработка, себестоимость изготовления.

**Рассохін Д.О., Чигарьов В.В., Лоза А.В., Шишкін В.В. Про економічну ефективність локального легування виливків.** У статті наведено порівняльний аналіз основних технологічних операцій виробництва зміцнених виливків для металургійного устаткування, отриманих способом локального легування і способом наплавлення. Наведено результати розрахунку собівартості виготовлення конуса засипного апарату. Як найбільш перспективний варіант технології виготовлення великогабаритних виливків запропонований спосіб локального легування з використанням порошкового дроту.

**Ключові слова:** металургійне обладнання, виливки, легування, порошковий дріт, структура металу, механічна обробка, собівартість виготовлення.

**D.O. Rassokhin, V.V. Chigarev, A.V. Loza, V.V. Shishkin. About economic efficiency of the local alloying castings.** The article presents the comparative analysis of basic technological operations of the manufacturing of hardened cast products for metallurgical equipment, produced by point alloying and weld deposition. The results of the prime cost calculation of the charging equipment cone manufacturing are presented. As the most promising option in the technology of large-size cast products manufacturing the method of point alloying with the usage of flux-cored wire is introduced.

**Keywords:** metallurgical equipment, casting, alloying, cored wire, metal structure, machining, manufacturing cost.

**Постановка проблемы.** В последнее время в металлургическом производстве наметилась устойчивая тенденция к снижению затрат на всех переделах. Для получения деталей с улучшенными характеристиками и длительным сроком эксплуатации могут применяться различные технологические способы. Легирование является известным методом изменения структуры и свойств металлов и сплавов. В современных условиях упрочнение деталей дорогостоящими компонентами сдерживается из-за их высокой стоимости. Решение этой проблемы возможно за счет применения способа локального легирования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Значительное место вопросам легирования металлов и сплавов уделено в работах, которые выполняли Г.Ф. Баландин, В.А. Белевтин, С.И. Переборщиков, А.Н. Хабаров, О.В. Мартынов, Е.И. Астров, Ю.И. Комаров, М.И. Логанов, Г.М. Ицкович, Г.Г. Крушенко и др.

<sup>1</sup> аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> старший преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>4</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Анализ исследований различных авторов [1-5] показывает, что в большинстве случаев стойкость деталей падает вследствие износа их рабочих поверхностей и необратимой деформации детали. Рост деформации во времени приводит к постепенному изменению начальных параметров изделия, что при высоких требованиях к точности изготовления современных машин совершенно недопустимо. При этом отказ детали может наступить значительно раньше, чем будет исчерпана несущая способность детали [6]. Это необходимо учитывать при проектировании, изготовлении и совершенствовании металлургических деталей и узлов ответственного назначения. На современном этапе развития металлургии одним из важнейших показателей является экономическая эффективность применения и самих деталей, и технологии их изготовления. Выбор более оптимального варианта технологии изготовления крупных деталей металлургического оборудования можно проанализировать на примере анализа экономики изготовления отдельных элементов доменной печи.

**Цель статьи** – на основе сравнения различных способов изготовления упрочненных отливок обосновать наиболее экономичное направление технологии легирования. Это позволяет принимать технические решения по изготовлению и конструктивному исполнению узлов оборудования с минимальными расходом материалов и производственными затратами.

**Изложение основного материала.** Одной из наиболее нагруженных деталей оборудования доменной печи является конус загрузочного устройства. Загрузочное устройство предназначено для подачи шихтовых материалов в рабочее пространство доменной печи и предупреждения при этом выхода газа в атмосферу. Малый конус засыпного аппарата доменной печи массой 2050 кг изготавливают методом литья из стали 35Л (0,32-0,40% С, 0,50-0,90% Мп, 0,20 – 0,52 % Si). Контактный пояс конуса шириной 240 мм и массой 90 кг изготавливают из высоколегированного материала, содержащего 4,5-5,0% С, 35,0-45,0% Cr, 28,0-35,0% Ni, 1,0-2,0% Мп и 0,20-0,80% В, и получают путем наплавки лентой ПЛ АН-111 [7]. Такой способ изготовления конуса позволяет сочетать высокую износостойкость хромоникелевого сплава с низкой стоимостью углеродистой стали.

В связи с применением повышенного давления газа на колошнике стойкость засыпных аппаратов значительно снизилась [1]. Это приводит к тому, что при удовлетворительном состоянии других механизмов печь вынужденно останавливают на ремонт. Основной причиной низкой стойкости засыпного аппарата типовой конструкции является образование несплошностей по линии контакта конуса с чашей засыпного аппарата, через которые устремляется с большой скоростью загрязненный колошниковый газ, что способствует абразивному износу конуса и его чаши. Этот износ находится в прямой зависимости от качества и точности сопрягаемых поверхностей [1].

Детали засыпного устройства доменной печи работают в условиях совместного действия постоянных или переменных механических и термических напряжений. В результате многократного повторения нагрева и охлаждения, термические напряжения увеличиваются. В тех случаях, когда они начинают превосходить предел текучести, развиваются пластические деформации, и на поверхности детали может возникать сетка трещин, ухудшаются условия теплообмена между деталью и окружающей средой. Количество тепла, аккумулируемое деталью, увеличивается, размер дефектов растет, что приводит к уменьшению механической прочности детали и снижению надежности работы всей конструкции [8]. Интенсивность образования дефектов зависит от сопротивления материала развитию термической усталости и коэффициента линейного расширения материала детали. Дальнейшее развитие дефектов под действием переменных механических и термических напряжений возможно в различных направлениях.

Для уменьшения деформации конуса и увеличения его срока службы применяют упрочнение. Естественно, что при выборе конструкционного материала учитываются его эксплуатационные, технологические и экономические свойства. Однако достичь упрочнения возможно разными способами, и каждый из способов характеризуется своими технологическими особенностями и различной экономической эффективностью.

Крупногабаритные детали металлургического оборудования (в том числе и конус засыпного аппарата) изготавливают в основном методом литья. Опыт эксплуатации металлургического оборудования показал, что долговечность детали зависит от скорости износа ее наиболее нагруженных участков. На сегодняшний день упрочнение таких областей выполняют методом наплавки с последующей механической обработкой. Объемное легирование крупногабаритных

деталей економічно нецелесообразно. Поєтому перспективним являється застосування методу локального легірування, при допомозі якого можна забезпечити прочностні властивості в заданих областях деталі на такому ж рівні, як і при виконанні наплавки. При цьому можна отримати локальне легірування изделия як внаперед заданному об'ємі, так і на визначеній площині. Цей метод легірування може бути використаний, наприклад, при виготовленні конуса засипного апарату доменної печі.

Проведемо порівняльний аналіз двох методів виготовлення однієї деталі в формі конуса засипного апарату, особливістю якої є значительна маса (більше 2000 кг) і складна просторова конфігурація. В розрахунок використані дані однієї з українських металургічних підприємств.

По укрупненому методу розрахунок [9, 10] собівартість виготовлення методом лиття малого конуса загрузочного пристрою доменної печі з застосуванням локального легірування ( $C_{дет.1}$ ) можна визначити наступним чином:

$$C_{дет.1} = C_{заг.1} + C_{лег.} + C_{мех.} - C_{лом} + V_n,$$

- де  $C_{заг.1}$  - вартість литої заготовки;  
 $C_{лег.}$  - вартість легіруючих елементів, яка становить орієнтовно 800 грн. на одну деталь;  
 $C_{мех.}$  - вартість механічної обробки;  
 $C_{лом.}$  - вартість матеріалу, який піде на стружку;  
 $V_n$  - величина додаткових витрат.

Вартість заготовки, отриманої методом лиття, визначаємо з виразу:

$$C_{заг.1} = (C_{1т.}/1000) * M_{заг.1} = 7500/1000 * 2000 = 15000 \text{ грн.},$$

- де  $C_{1т.}$  - вартість однієї тонни заготовки, отриманої методом лиття, згідно 3-го класу складності;  
 $M_{заг.1}$  - маса литої деталі.

Витрати на механічну обробку включають в себе витрати на наступні операції: фрезерні і шліфувальні, які орієнтовно становлять 10000 і 9500 грн. відповідно. Отже витрати на механічну обробку становлять:

$$C_{мех.} = C_{фрез.} + C_{шлиф.} = 19500 \text{ грн.}$$

Вартість матеріалу, який піде в вигляді стружки, можна визначити з виразу:

$$C_{лом.} = C_{лом1т.}/1000 * M_{лом1} = 350/1000 * 150 = 52,5 \text{ грн.}$$

- де  $C_{лом1т.}$  - вартість однієї тонни стружки;  
 $M_{лом1}$  - маса стружки, отриманої від усіх операцій механічної обробки.

Величина додаткових витрат включає в себе витрати на удосконалення технології і технологічного обладнання, вміст інженерного і допоміжного персоналу і т.д. В зв'язі з цим, технологам необхідно передбачити додаткові технічні і організаційні заходи по введенню легіруючих компонентів (наприклад, в вигляді порошкової проволони), що вимагає спеціальних операцій і відповідно витрат. Враховуючи нескладність технологічних операцій при підготовці лиття з використанням порошкової проволони і незначительні зміни в технічній документації на виготовлення деталі, величина додаткових витрат, як показує експериментальне опробування, може становити не більше 50 % від вартості матеріалу заготовки, що в даному випадку становить приблизно 7,5 тис. грн.

Отже, собівартість виготовлення малого конуса загрузочного пристрою в разі застосування методу локального легірування з використанням порошкової проволони становитиме:

$$C_{дет1} = 15000 + 800 + 19500 - 52,5 + 7500 = 42747,5 \text{ грн.}$$

По укрупненному методу расчета себестоимость изготовления малого конуса, в случае применения наплавочных материалов для его упрочнения ( $C_{дет.2}$ ), можно вычислить из выражения:

$$C_{дет.2} = C_{заг.2} + C_{напл.} + C_{мех.} - C_{лом} + B_n,$$

где  $C_{заг.2}$  - стоимость литой заготовки;  
 $C_{напл.}$  - затраты на наплавку покрытия, которые на одну деталь составляют ориентировочно 1500 грн.;  
 $C_{мех.}$  - стоимость механической обработки;  
 $C_{лом.}$  - стоимость материала, который пойдет на стружку;  
 $B_n$  - величина дополнительных затрат.

Стоимость заготовки, полученной методом литья, для сопоставимости определяем аналогично рассмотренному методу локального легирования, из выражения:

$$C_{заг.2} = (C_{1т.}/1000) * M_{заг.2} = 7500/1000 * 2000 = 15000 \text{ грн.},$$

где  $C_{1т.}$  - стоимость одной тонны заготовки, полученной методом литья, согласно 3-му классу сложности;  
 $M_{заг.2}$  - масса литой детали.

Затраты на механическую обработку в случае выполнения наплавки включают в себя затраты на фрезерные и шлифовальные операции. Качество поверхностного слоя заготовки имеет важное значение как для ее последующей обработки, так и для эксплуатационных свойств. Оно формируется практически на всех стадиях изготовления изделия и фактически зависит от технологии изготовления детали. Несмотря на разницу в технологии двух сравниваемых способов и различную твердость и другие характеристики изделий на стадии полупродукта, условно можно принять затраты по механической обработке одинаковыми. То есть затраты на фрезерные и шлифовальные операции ориентировочно составляют 10000 и 9500 грн. соответственно. Следовательно затраты на механическую обработку конуса, упрочненного наплавкой, составляют:

$$C_{мех.} = C_{фрез.} + C_{шлиф.} = 19500 \text{ грн.}$$

Стоимость материала, который уйдет в виде стружки, определим из выражения:

$$C_{лом.} = C_{лом1т.}/1000 * M_{лом2} = 350/1000 * 150 = 52,5 \text{ грн.}$$

где  $C_{лом1т.}$  - стоимость одной тонны стружки;  
 $M_{лом2}$  - масса стружки, полученной от всех операций механической обработки.

Величина дополнительных затрат включает в себя затраты на содержание и совершенствование технологического оборудования, содержание инженерного и вспомогательного персонала и т.д. Учитывая сложность производства, величина дополнительных затрат [9] может составлять 700-1000% от стоимости материала заготовки, что в данном случае составляет ориентировочно 120 тыс. грн.

Следовательно, себестоимость малого конуса загрузочного устройства с применением наплавочных материалов для его упрочнения составляет:

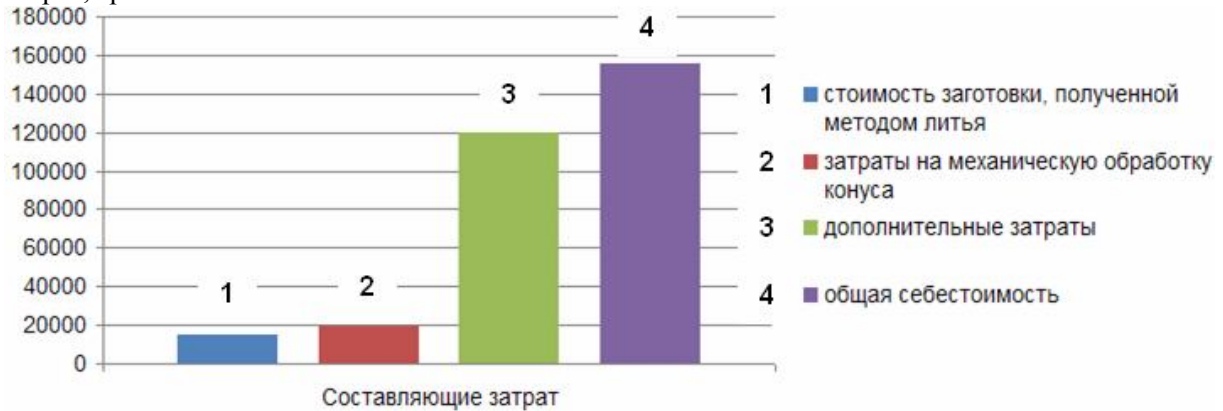
$$C_{дет2} = 15000 + 1500 + 19500 - 52,5 + 120000 = 155947,5 \text{ грн.}$$

Динамика изменения себестоимости конуса для различных технологических схем изготовления (а – с применением наплавки, б – методом локального легирования) представлена на рисунке.

При сопоставлении результатов расчетов видно, что себестоимость изготовления конуса методом локального легирования значительно ниже ( $42747,5 < 155947,5$ ), чем его себестоимость при упрочнении широко применяемым на практике наплавочным способом. Разница в себестоимости деталей будет возрастать при увеличении их габаритов, и очевидно стремится к

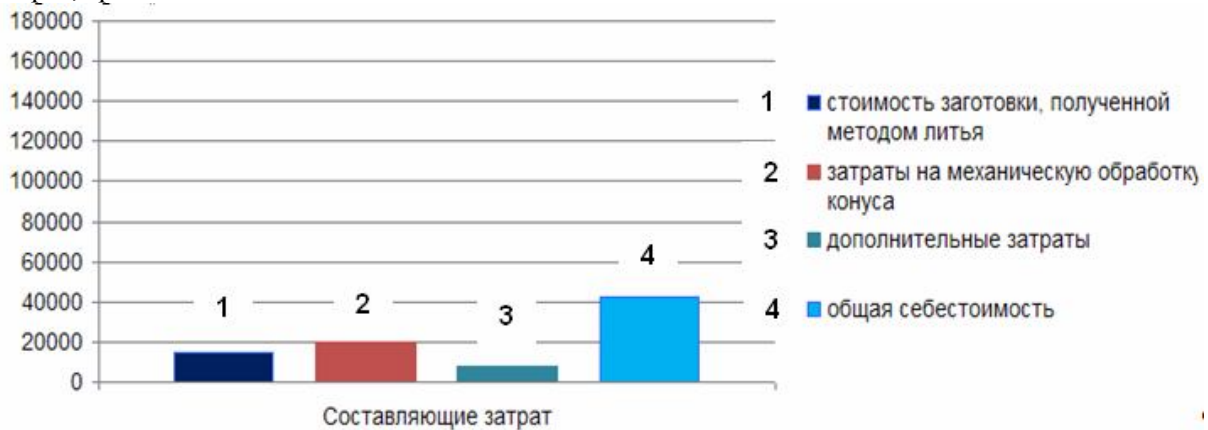
максимуму в случае изготовления деталей значительной массы.

Величина  
затрат, грн.



а

Величина  
затрат, грн.



б

Рисунок – Структура составляющих себестоимости изготовления конуса: а – методом наплавки; б – с применением локального легирования

В настоящее время проводятся экспериментальные работы по оптимизации технологии изготовления деталей с упрочнением наиболее нагруженных участков методом локального легирования, основной целью которых является увеличение их сроков эксплуатации, а также сведение к минимуму затрат на производство.

### Выводы

1. Легирование изделия в целом или его отдельных частей направлено на увеличение ресурса работы оборудования и обеспечивает эффективное функционирование производства с минимальными затратами.
2. Многообразие способов легирования должно быть использовано не только для исследования свойств и долговечности деталей. Технология их изготовления должна быть переориентирована таким образом, чтобы структура затрат обеспечивала минимальную потребительскую стоимость.
3. Наиболее экономичным для крупных отливок, по сравнению с другими способами упрочнения легирующими элементами, является метод локального легирования, который позволяет получить рациональное использование легирующих элементов при их минимальном

расходе на единицу продукции. На современном этапе развития металлургии данным способом можно обеспечить максимально возможную долговечность деталей при минимальных финансовых затратах.

**Список использованных источников:**

1. Тарасов В.П. Загрузочные устройства шахтных печей / В.П. Тарасов. – М. : «Металлургия», 1974. – 312 с.
2. Голего Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля. – К. : Техника, 1974. – 296 с.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.
4. Черноиванов В.И. Восстановление деталей машин / В.И. Черноиванов. – М. : ГОСНИТИ, 2003. – 488 с.
5. Молодик М.В. Відновлення деталей машин / М.В. Молодик, Б.А. Лангерт, А.К. Бредун. – К. : Урожай, 1985. – 160 с.
6. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
7. Уманский В.Б. Упрочнение деталей металлургического оборудования / В.Б. Уманский, А.А. Костенко, Ю.Т.Худик - М. : Металлургия, 1991. – 176 с.
8. Касаткин Н.Л. Ремонт и монтаж металлургического оборудования / Н.Л. Касаткин – М. : «Металлургия», 1970. - 310 с.
9. Ткаченко Н.М. Бухгалтерський фінансовий облік на підприємствах України / Н.М. Ткаченко – К. : А.С.К., 2000. – 784 с.
10. Григурко І.О. Технологія машинобудування / І.О. Григурко, М.Ф. Брендюля, С.М. Доценко. – Львів : Новий світ, 2007. – 768 с.

**Bibliography:**

1. Tarasov V.P. Loading devices shaft furnaces / V.P. Tarasov. - M. : "Metallurgy", 1974. - 312 p. (Rus.)
2. Golego N.L. Fretting corrosion of metals / N.L. Golego, A.J. Alyabyev, V.V. Shevely. - K. : Technique, 1974. – 296 p. (Rus.)
3. Matalin A.A. Mechanical Engineering Technology / A.A. Matalin. - L. : Engineering, Leningrad Branch, 1985. – 496 p. (Rus.)
4. Chernoiivanov V.I. Restoration of machine parts / V.I. Chernoiivanov. – Moscow : GOSNITI, 2003. - 488 p. (Rus.)
5. Molodik M.V. Restoration of machine parts / M.V. Molodik, B.A. Langert, A.K. Bredun. - K. : Urogay, 1985. - 160 p. (Ukr.)
6. Pronikov A.S. Reliability of machines / A.S. Pronikov. - Mashinostroenie, 1978. - 592 p. (Rus.)
7. Umansky V.B. Hardening of the metallurgical equipment / V.B. Umansky, A.A. Kostenko Yu.T.Hudik - Moscow, Metallurgy, 1991. – 176 p. (Rus.)
8. Kasatkin N.L. Repair and installation of the metallurgical equipment / N.L. Kasatkin - M. : "Metallurgy", 1970. - 310 p. (Rus.)
9. Tkachenko N.M The accounting financial account at the enterprises of Ukraine / N.M. Tkachenko - K. : ASK, 2000. - 784 p. (Ukr.)
10. Grigurko I.O. Technology of mechanical engineering / I.O. Grigurko, M.F. Brendulya, S.M. Dotsenko. – Lviv : Noviy svit, 2007. - 768 p. (Ukr.)

Рецензент: А.Д. Размышляев  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 21.11.2012