

УДК 338.43;631.3.004

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ

Л.М. КОЖУРО, д.т.н., профессор (БАТУ); А.П. РАКОМСИН, (ГП МАЗ);  
Б.Н. ШТОМПЕЛЬ, д.э.н., профессор; В.И. ГАЛЬГО, к.т.н., доцент;  
Д.Н. ХИЛЬКО, аспирант (БАТУ)

Технико-экономическая характеристика любого метода наплавки включает оценку долговечности наплавленного изделия, стоимостные показатели наплавки и параметры, характеризующие технологичность применения рассматриваемого метода к конкретной номенклатуре изделий.

Долговечность восстанавливаемых и упрочняемых наплавкой деталей определяется особенностями структуры и свойств наплавленного и основного металла, в частности твердостью и износостойкостью, пористостью, усталостной прочностью и др.

Под технологичностью методов наплавки понимают возможность их применения для большей или меньшей номенклатуры изделий, возможность и степень механизации и автоматизации процесса наплавки, наличие и степень сложности технологической оснастки.

Обычно для определения технико-экономической эффективности методов восстановления изделий наплавкой рассматриваются три группы деталей в зависимости от величины износа [1]. К первой группе относят детали с износом до 0,1 мм, второй – от 0,1 до 0,6 мм, третьей – свыше 0,6мм.

Известно [2...5], что выбор метода наплавки, как правило, зависит от минимально возможной при данном методе толщины наплавленного слоя. Так электромагнитной наплавкой не удается получить покрытия толщиной менее 0,2 мм, вибродуговой наплавкой и наплавкой в защитных газах – менее 2 мм, под слоем флюса – менее 3 мм.

Технико-экономическая эффективность любого метода наплавки должна рассматриваться в связи с условиями его применения.

Эффективность метода электромагнитной наплавки (ЭМН) – метода формирования тонких слоев покрытий – может сравниваться только с эффективностью других методов наплавки тонких слоев покрытий.

Ниже приведена методика экономической эффективности восстановления деталей второй группы электромагнитной наплавкой.

*1. Экономическая эффективность восстановления изношенных деталей наплавкой*

В условиях высоких цен и дефицита материально-энергетических ресурсов особую значимость приобретают технологии восстановления изношенных деталей и узлов машин. В связи с этим технологии восстановле-

ния требуют всестороннего технико-экономического обоснования и сравнительной оценки их с технологиями изготовления аналогичных деталей в серийном производстве.

Экономическая целесообразность наплавки очевидна, если затраты на восстановление детали оправдываются увеличением продолжительности срока ее службы, а также, если относительная себестоимость восстановления детали меньше или равна относительной себестоимости изготовления новой детали, т. е. при следующем условии:

$$C_v / T_v \leq C_n / T_n, \quad (1)$$

где  $C_v$  — относительная себестоимость восстановления детали, руб.;  $C_n$  — относительная себестоимость изготовления новой детали, руб.;  $T_v$ ,  $T_n$  — средняя продолжительность службы (ресурс работы) соответственно восстановленной и новой детали, ч.

Так как срок службы детали определяется эксплуатационными свойствами покрытия, то выражение (1) можно записать следующим образом:

$$C_v \leq C_n \cdot \epsilon,$$

где  $\epsilon$  — относительная износостойкость восстановленной детали. При выборе технологического процесса наплавки изношенных деталей и оценки целесообразности ее восстановления определяется коэффициент ресурсной эффективности, равный

$$K_z = \frac{C_n}{C_v} \cdot \epsilon \geq 1.$$

Расчет показателя  $K_z$  необходимо проделать для каждого выбранного способа наплавки. Наиболее рациональным будет тот, для которого значение показателя  $K_z$  будет наибольшим. Если  $K_z < 1$ , то применение данного способа экономически нецелесообразно по сравнению с новыми деталями. При  $K_z = 1$  способ наплавки деталей с экономической точки зрения равноценен применению новых деталей. Когда  $K_z \geq 1$ , применение способа наплавки экономически целесообразно. В отдельных случаях, если изготовление детали связано с большим расходом металла или длительными простоями машин при ремонте, то допускается  $K_z \leq 1$ .

Необходимо отметить, что за счет применения при наплавке высоколегированных износостойких материалов иногда восстановленная деталь по себестоимости может быть дороже новой. Однако учитывая, что срок ее служ-

бы в 1,5...2 раза больше новой, наплавку стоит применять.

Таким образом, определение численного значения относительного показателя эффективности восстановления сводится к расчету себестоимости наплавки деталей и определению коэффициента относительной износостойкости покрытий (или коэффициентов долговечности деталей, наплавленных разными сплавами).

*2. Расчет технологической себестоимости наплавочных работ.*

При расчете технологической себестоимости наплавочных работ, как показала практика, целесообразно за основу принимать технологические затраты восстановления 1дм<sup>2</sup> поверхности детали наплавкой, которые определяются по формуле:

$$C = 3 + O_{\text{сн}} + M + A + P + Z_{\text{пр}}$$

где 3 – заработная плата оператора, руб;  $O_{\text{сн}}$  – отчисления на социальные нужды, руб; М – материальные затраты; А – амортизационные отчисления по оборудованию, руб.; Р – затраты на ремонт и техническое обслуживание;  $Z_{\text{пр}}$  – прочие затраты, руб.

Расходы на оплату труда наплавщиков определяются из выражения:

$$Z = T_{\text{шт}} \cdot C_{\text{т}} \cdot K_{\text{ув}}$$

где  $T_{\text{шт}}$  – штучное время наплавки одной детали, ч;  $C_{\text{т}}$  – часовая тарифная ставка, руб.;  $K_{\text{ув}}$  – коэффициент, учитывающий надбавки к тарифу ( $K_{\text{ув}} = 1,4...2,5$ ).

Часовая тарифная ставка равна

$$C_{\text{т}} = \frac{C_{\text{т1}} \cdot K_{\text{р}}}{\Phi_{\text{м}}}$$

где  $C_{\text{т1}}$  – месячная тарифная ставка 1-го разряда, руб;  $K_{\text{р}}$  – тарифный коэффициент данного разряда работы;  $\Phi_{\text{м}}$  – месячный фонд рабочего времени, ч.

Штучное время наплавки определяется из выражения:

$$T_{\text{шт}} = (T_0 + T_в) \cdot K_{\text{от}}$$

где  $T_0$  – основное время наплавки детали (время горения дуги), ч;  $T_в$  – вспомогательное время на наплавку детали, ч ( $T_в = 0,1...0,22$ );  $K_{\text{от}}$  – коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места и отдых, равный 1,1...1,25.

Отчисления на социальные нужды включают социальное страхование, пенсионный фонд, фонд занятости населения и производятся от всех видов оплаты труда:

$$O_{\text{сн}} = (3 \cdot R) / 100\%$$

где R – процент отчислений на социальные нужды, равный 30%.

Материальные затраты складываются из стоимости расхода электроэнергии Э и стоимости наплавочных материалов Н:

$$M = Э + Н.$$

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$Э = \left[ \frac{UI \cdot T_0}{1000 \cdot \eta} + N_{\text{хх}} (T_{\text{п}} - T_0) \right] C_{\text{w}}$$

где U – напряжение дуги, В; I – сила тока, А; h – к.п.д.

трансформатора, равный 0,6...0,8;  $N_{\text{хх}}$  – мощность холостого хода сварочного трансформатора, равная 0,2...0,4 кВт;  $T_{\text{п}}$  – полное время наплавки с учетом холостого хода, ч;  $C_{\text{w}}$  – действующий тариф на электроэнергию, руб/(кВт ч).

Затраты на наплавочный материал рассчитываются из выражения:

$$H = m_{\text{н}} \cdot f \cdot C_{\text{пр}}$$

где  $m_{\text{н}}$  – масса наплавленного металла, кг; f – коэффициент, учитывающий потери на разбрызгивание и равный: для автоматической наплавки и полуавтоматической наплавки под слоем флюса 1,03; для вибродуговой наплавки 1,25; для наплавки порошков 1,25; для стержневых электродов 1,5;  $C_{\text{пр}}$  – цена 1кг наплавочного материала.

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$A = (T_0 \cdot Б \cdot а) / (100 \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot k_з)$$

где а – годовая норма амортизационных отчислений, %; Б – балансовая стоимость наплавочного оборудования, руб;  $\Phi_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы, ч;  $k_з$  – коэффициент использования оборудования по времени.

Затраты на ремонт и техническое обслуживание определяются из выражения:

$$P = (T_0 \cdot k_{\text{р}} \cdot Б) / (100 \cdot \Phi_{\text{д}})$$

где р – годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования, %.

Прочие затраты принимаются в размере 3% от ( $3 + O_{\text{сн}} + M + A + P$ ).

*3. Расчет годового дохода и эффективности капиталовложений.*

Годовой доход от использования восстановленных наплавкой деталей основывается на сопоставлении затрат по базовому и проектируемому вариантам:

$$D_{\text{р}} = (C_1 - C_2) \Pi \pm \Delta A$$

где  $C_1, C_2$  – соответственно удельные себестоимости базового и проектируемого способов наплавки, руб/дм<sup>2</sup>;  $\Pi$  – программа по восстановлению деталей в год проектируемого варианта, дм<sup>2</sup>;  $\Delta A$  – разность между амортизационными отчислениями базового и проектируемого вариантов.

На основании годового дохода определяется сравнительная дисконтированная стоимость за срок службы предлагаемого оборудования [6]:

$$\Delta Э = (D_{\text{р}} / (R + E)) - \Delta K,$$

где E – процентная ставка за кредит с учетом уровня инфляции; R – амортизационная составляющая капиталовложений дисконтирования разновременных затрат, определяемая из выражения:

$$R = \frac{E}{(1 + E)^{t_c} - 1}$$

где  $t_c$  – срок службы до списания предлагаемого для замены оборудования, лет.

**1. Техничко-экономические показатели электромагнитной наплавки**

Показатели	Варианты	
	Базовый	Проектируемый
Капиталовложения, млн.руб	300	500
Годовая программа восстановления, дм <sup>2</sup>	1415	1840
Затраты времени на восстановление 1 дм <sup>2</sup> поверхности детали, ч	0,65	0,5
Технологическая себестоимость восстановления 1 дм <sup>2</sup> поверхности, руб:		
- Всего,	3610688	3073982
- в т.ч. - заработная плата	27170	20900
- отчисления на социальные нужды	8151	6270
- материальные затраты	3446829	2927314
- амортизационные отчисления	16276	20867
- затраты на ремонт и ТО	7096	9098
- прочие затраты	105166	89533
Годовой экономический эффект, млн.руб	-	920,7
Сравнительная дисконтированная стоимость, млн.руб	-	4106
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	-	0,2

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле :

$$\Delta T = \Delta K / D_r,$$

где  $\Delta K$  – дополнительные капиталовложения.

4. Расчет технико-экономической эффективности электромагнитной наплавки.

Рассмотрим конкретный пример ремонта цилиндрических деталей типа тел вращения с износом 0,25 мм на сторону по предлагаемой методике. Техничко-экономическую эффективность восстановления деталей оценим, сравнивая показатели наплавки проволокой Нп-30ХГСА в среде углекислого газа (базовый вариант) и электромагнитной наплавкой ферропорошка Р6М5К5 (проектируемый вариант).

Наплавка в среде углекислого газа включает операции предварительной обработки, наплавки, закалки токами высокой частоты и последующих шлифования и полирования. Новый вариант восстановления деталей требует выполнения следующих операций: предварительной обработки по удалению дефектного слоя поверхности, ЭМН порошка из быстрорежущей стали Р6М5К5, шлифования и полирования в номинальный размер до рекомендуемой в эксплуатации шероховатости поверхности.

При определении эффективности новой технологии подсчет затрат осуществлялся только для операций, претерпевших изменения после замены базового варианта предлагаемым. Поэтому в расчет не входили затраты на предварительную механическую обработку и операции шлифования и полирования.

При расчете экономической эффективности за основу расчетов принимались технологические затраты по восстановлению 1 дм<sup>2</sup> цилиндрической

поверхности деталей. Все расчеты выполнялись в ценах на 01.10. 99г и сведены в таблицу.

Разработанная выше методика определения годового экономического эффекта и себестоимости восстановления наплавкой изношенных деталей позволяет выбрать наиболее рациональный способ наплавки и может быть использована для расчетов в практической деятельности ремонтных предприятий.

## Литература

1. Клименко Ю.В. Электроконтактная наплавка. – М.: Металлургия, 1978. – 128с.
2. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. – Мн.:ФТИ НАН Беларуси, 1997. – 416 с.
3. Витязь П.А., Ивашко В.С., Манойло Е.Д. и др. Теория и практика газопламенного напыления. – Мн.: Наука і тэхніка, 1993. – 295 с.
4. Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильющенко А.Ф. и др. Теория и практика нанесения защитных покрытий. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с.
5. Бориллов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л. и др. Газотермические покрытия из порошковых материалов. – Киев: Наукова думка, 1987. – 544с.
6. Штомпель Б.Н. Использование показателя приведенных затрат для оценки эффективности капитальных вложений в условиях рынка. //Агропанорама, №2, 1997.С. 24 – 25.