

СТАТЬИ

УДК 630*321

МЕТОД АНАЛИЗА ПРОЦЕССА НАПЛАВКИ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ И ПРИМЕНЯЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

¹Тимохова О.М., ¹Кручинин И.Н., ²Тимохов Р.С.

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, e-mail: chonochka@mail.ru;

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта

Научные исследования и передовая практика ремонтных предприятий располагают в настоящее время значительным количеством изученных способов наращивания изношенных деталей в процессе восстановления. Однако разработка прогрессивных способов восстановления, отвечающих одновременно всем требованиям к нему, в том числе размерное наращивание и совмещение упрочнения с наращиванием, продолжает оставаться проблемой. Основные требования к восстановленной детали: 1) качество восстановленной поверхности должно быть не ниже, чем у вновь изготавливаемых деталей; 2) себестоимость восстановления детали должна быть ниже стоимости новой; 3) процесс восстановления должен быть высокопроизводительным. Требование обеспечения высокой производительности операции наращивания является актуальным и важным. Рассматриваться этот критерий должен совместно с расходом энергии на операции. Энергозатраты существенно влияют на себестоимость восстановления детали. Известно, что «внутренние» потери преобразователей в зависимости от коэффициента использования мощности могут меняться до 1,5 раза, поэтому надо рассматривать энергозатраты установки дифференцированно, в зависимости от коэффициента загрузки K_z . Данные по энергоёмкости (МДж/кг) разных авторов имеют большие расхождения, что можно объяснить различием методики оценки этой величины, характеризующей наплавочный процесс. Снижение действительной удельной энергоёмкости процесса наплавки в углекислом газе достигается уменьшением часовой действительной энергоёмкости (за счет сокращения потерь энергии на холостые ходы источника питания, на переходные процессы), увеличением удельной производительности, что, в свою очередь, связано с использованием «технологической» мощности источника питания в области максимальным КПД.

Ключевые слова: энергоёмкость, энергозатраты, износостойкость, восстановление, наплавка

METHOD OF ANALYSIS OF THE PROCESS OF FILLING IN CARBON DIFFERENT GAS AND APPLICABLE EQUIPMENT IN RESTORING DETAILS OF FOREST PREPARATORY MACHINES

¹Timokhova O.M., ¹Kruchinin I.N., ²Timokhov R.S.

¹Ural State Forestry University, Yekaterinburg, e-mail: chonochka@mail.ru;

²Ukhta State Technical University, Ukhta

Scientific research and best practices of repair companies currently have a significant number of studied ways to build worn parts in the recovery process. However, the development of progressive recovery methods that simultaneously meet all the requirements for it, including dimensional buildup and the combination of hardening and buildup, continues to be a problem. The main requirements for the restored part: 1) the quality of the restored surface should not be lower than that of newly manufactured parts; 2) the cost of repairing the part must be lower than the cost of the new one; 3) the recovery process should be high-performance. The requirement of ensuring high performance of the expansion operation is relevant and important. This criterion should be considered together with the energy consumption for the operation. Energy costs significantly affect the cost of restoring parts. It is known that the «internal» losses of the converters, depending on the power utilization factor, can vary up to 1.5 times; therefore, the power consumption of the installation should be considered differentially, depending on the load factor K_z . The data on energy intensity (MJ/kg) of different authors have large discrepancies, which can be explained by the difference in the method for estimating this value, which characterizes the surfacing process. The reduction of the actual specific energy consumption of the surfacing process in carbon dioxide is achieved by reducing the actual hourly energy consumption (by reducing energy losses at idle power supply, transient processes), increasing the specific performance, which, in turn, is associated with the use of «technological» power power supply in the field of maximum KPD.

Keywords: energy intensity, energy consumption, wear resistance, restoration, surfacing

Одна из основных задач развития ремонтного производства, постоянное и значительное увеличение производительности технологических процессов, в том числе на восстановительных операциях. Без учета сравнительной производительности нельзя правильно осуществить технико-эконо-

мическую оценку способа восстановления [1, 2].

Производительность труда на выполняемых операциях технологического процесса не может рассматриваться по достигаемым значениям, а должна оцениваться системой показателей, характеризующих, помимо за-

трат живого труда, затраты общественного, прошлого труда.

Такие системы, или комплексы технических показателей, разработаны в некоторых отраслях промышленности. Эффективность производимого процесса с достаточной полнотой можно определять показателями: производительность оборудования, трудоемкостью, энергоемкостью и металлоемкостью процесса.

Цель исследования – анализ влияния энергозатрат на качественное восстановление деталей лесозаготовительных машин методом наплавки.

Материалы и методы исследования

В настоящее время для выражения количества выполненной работы применяются различные показатели. Так, в металлообработке выполненную работу определяют и количеством изготовленных деталей, и объемом снятого слоя, и площадью обработанной поверхности. Для определенной детали производительность может быть выражена площадью, обработанной в единицу времени поверхности, однако этот показатель же является универсальным. Такое разнообразие создаст значительные трудности в оценке показателей оборудования и процессов [2, 3].

Отсутствует четкий, универсальный показатель производительности, всесторонне, объективно и глубоко раскрывающий объем выполненной работы по нанесению покрытия за единицу времени.

Требование обеспечения высокой производительности операции наращивания является актуальным и важным. Рассматривая этот критерий должен совместно с расходом энергии на операции. Наиболее высокопроизводительными способами являются металлизация, заливка металлом, электроконтактный, наплавка.

Для выделения влияния различных факторов на производительность рассматривается производительность технологическая, цикловая, действительная. Технологическая производительность есть производительность возможной, «чистой» работы оборудования, или производительность непрерывной технологической работы, без каких-либо затрат времени на вспомогательные операции, холостые ходы, подготовительно-заключительные операции [3].

В общем виде

$$P_T = A \cdot V = K \cdot N_C, \quad (1)$$

где A – показатель нагрузки; V – показатель скорости процессора; K – технологическая работа на единицу израсходованной энер-

гии (удельная производительность); N_C – затрачиваемая мощность.

Цикловая производительность рассматривается с учетом потерь времени в цикле

$$P_{Ц} = P_T \cdot \eta_{t_p}, \quad (2)$$

где η_{t_p} – коэффициент использования времени цикла.

Действительная производительность рассматривается с учетом всех потерь времени, в том числе внецикловых:

$$P_{\partial} = P_T \cdot \eta_t = \eta_t \cdot K \cdot N_C, \quad (3)$$

где η_t – общий коэффициент использования времени.

Результаты исследования и их обсуждение

Любой производственный процесс направлен на преодоление сил сопротивления, при этом выполняется определенная работа. Удельные показатели сил сопротивления, работы и производительности имеют взаимосвязь, и удельная производительность может быть выражена через удельные силы сопротивления. Преодоление сил сопротивления процессу осуществляется через рабочий орган машины, у наплавочной установки таким органом можно считать дугу, где происходит явление плавления электродного материала и перенос расплавленного металла в ванну. Для определения удельной работы (и производительности) через удельные силы сопротивления рассматриваем основные составляющие их. К ним относятся: силы сопротивления плавлению электродного материала; силы сопротивления переносу расплавленного металла; силы сопротивления воздействию окружающей среды [3–5].

На преодоление всех вышеназванных сил расходуется энергия дуги, равная по величине за единицу времени мощности дуги. Основная часть мощности дуги расходуется на преодоление сопротивления плавлению. Перенос металла – явление сложное, с участием многих сил (тяжести, поверхностного натяжения, реактивного давления паров электрода, давления нейтрализующихся у катода ионов, электромагнитных). Изучению этих сил посвящено много трудов, однако их анализ в реальных условиях плавления электрода крайне затруднителен.

Часть мощности дуги расходуется на нагрев окружающей дугу атмосферы, проплавление основного металла. Доля этой мощности приблизительно характеризуется величиной эффективного КПД дуги, которая при наплавке в среде углекислого газа составляет 0,75–0,78.

Можно сделать заключение, что определение сил сопротивления по расплавлению, переносу и формообразованию электродного металла расчетным путем представляет большие трудности, в этом направлении выполнено много отдельных работ, но отсутствует единая методика.

Удельные затраты энергии при наплавке рассматривали как отношение затраченной дугой энергии к количеству наплавленного за тот же промежуток времени металла:

$$g = \frac{\mathcal{E}_{dt}}{V_t} \quad (4)$$

Величина обратной удельной затрате энергии определяет удельную производительность установки K_O .

$$K_O = \frac{1}{g} = \frac{V_t}{\mathcal{E}_{dt}} \quad (5)$$

За один час работы расходуемая дугой энергия численно равна мощности, а объем наплавленного металла можно выразить через сечение F_{np} , скорость подачи V_{np} и коэффициент перехода металла проволоки в шов η_n . Тогда

$$K_O = \frac{F_{np} \cdot V_{np} \cdot \eta_n}{N_\delta} \quad (6)$$

В данном выражении рассматриваются затраты энергии дугой, общие затраты энергии из сети будут значительно больше. Обозначив через η коэффициент полезного использования энергии установкой, действительную удельную производительность можно представить

$$K_G = C \cdot \eta \cdot \eta_n \cdot \frac{F_{np} \cdot V_{np}}{N_\delta} \cdot \frac{1}{\gamma} \quad (7)$$

и

$$K_v = C \cdot \eta \cdot \eta_n \cdot \frac{F_{np} \cdot V_{np}}{N_\delta} \cdot \frac{1}{\gamma} \quad (8)$$

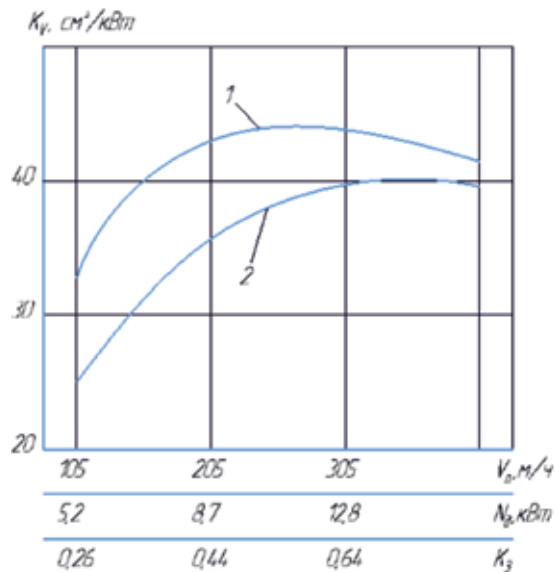
где C – коэффициент пропорциональности для получения нужной размерности; η – КПД установки; γ – удельная масса металла наплавки. В свою очередь

$$\eta = \frac{N_\delta}{N_c} \quad (9)$$

где N_c – суммарная используемая из сети энергия (за 1 час работы численно равная мощности).

Повышение значения мощности дуги при $F_{np} \cdot V_{np} = Const$ уменьшает удельную производительность установки. Необходимо пользоваться минимальной мощностью дуги, обеспечивающей удовлетворительное расплавление подаваемой проволоки.

Зависимость $K_v = f(N_\delta)$ представлена на рисунке (диаметр проволоки 2 мм).



Действительная удельная производительность наплавочной установки K_v с различными источниками питания: 1 – с Источником питания «А» 1, 2 – с Источником питания «В»

Низкие значения K_v при небольших значениях коэффициента загрузки K_3 объясняются значительными потерями энергии в наплавочной установке.

Энергозатраты существенно влияют на себестоимость восстановления детали. Известно, что «внутренние» потери преобразователей в зависимости от коэффициента использования мощности могут меняться до 1,5 раза, поэтому надо рассматривать энергозатраты установки дифференцированно, в зависимости от коэффициента загрузки K_3 . Данные по энергоёмкости (МДж/кг) разных авторов имеют большие расхождения, что можно объяснить различием методики оценки этой величины, характеризующей наплавочный процесс.

При наплавке в углекислом газе потребителями энергии является: источник питания ($\mathcal{E}_{ипп}$), подающий механизм ($\mathcal{E}_{пм}$), привод станка ($\mathcal{E}_{кр}$), подогреватель газа ($\mathcal{E}_{пл}$), катушка запорного клапана ($\mathcal{E}_{зк}$), также следует учитывать потери энергии при холостых ходах источника питания ($\mathcal{E}_{хх}$). Выражая энергоёмкость через средние значения мощности за период T , можно записать

$$\mathcal{E}_{cp} = N_{cp} \cdot T \quad (10)$$

Тогда часовая энергоёмкость

$$\mathcal{E}_ч = N_{cp} \cdot I = N_{cp} \quad (11)$$

Для периода выполнения технологической работы часовая технологическая энергоёмкость

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{III} + \mathcal{E}_{IIII} + \mathcal{E}_{III} + \mathcal{E}_{IIII} \quad (12)$$

Удельная технологическая энергоёмкость определится:

$$g_{\mathcal{E}T} = \frac{\mathcal{E}_T}{P_T} = \frac{1}{K_V} \quad (13)$$

т.е. удельная технологическая энергоёмкость есть величина обратная удельной производительности оборудования.

Часовая энергоёмкость цикла обуславливается, кроме расхода энергии на выполнение технологической работы, расходами энергии на холостой ход \mathcal{E}_{XX} , установку наплавочной головки, работу подогревателя, запорного клапана.

Расход энергии за один час цикловой работы на отдельный режим цикла можно записать

$$\mathcal{E}_{Ц_i} = N_{CP_i} \cdot t_i \quad (14)$$

где N_{CP_i} – среднее значение мощности, использованной потребителем; t_i – часть часа, падающая па режим.

Тогда часовую энергоёмкость цикла можно записать

$$\mathcal{E}_{Ц} = \mathcal{E}_T + N_{XX} \cdot t_{XX} + N_{IIII} \cdot t_{IIII} + N_{III} \cdot t_{III} \quad (15)$$

Удельная цикловая энергоёмкость

$$g_{\mathcal{E}_{Ц}} = \frac{\mathcal{E}_{Ц}}{P_{Ц}} \quad (16)$$

при $t_{Ц} = 1$ час, имеем

$$g_{\mathcal{E}_{Ц}} = \frac{\mathcal{E}_{Ц}}{K_V \cdot N_C \cdot t_T} \quad (17)$$

отношение

$$\eta_{Ц} = \frac{N_C \cdot t_T}{\mathcal{E}_{Ц}} \quad (18)$$

представляет цикловой коэффициент использования энергии на выполнение наплавочного процесса.

Можно записать

$$g_{\mathcal{E}_{Ц}} = \frac{1}{K_V \cdot \eta_{Ц}} \quad (19)$$

Уменьшение цикловой удельной энергоёмкости наплавочного процесса достигается увеличением удельной производительности оборудование и сокращением расхода энергии на вспомогательные операции цикла.

Действительная энергоёмкость процесса обуславливается всеми расходами энер-

гии, часовую действительную энергоёмкость можно записать

$$\mathcal{E}_D = \mathcal{E}_{Ц} + \mathcal{E}_{III} \quad (20)$$

где \mathcal{E}_{III} – энергоёмкость переходных процессов.

$$g_{\mathcal{E}_D} = \frac{\mathcal{E}_D}{K_V \cdot N_C \cdot \eta_t} \quad (21)$$

Тогда действительная удельная энергоёмкость

За время, равное 1 часу, $\eta_t = t_T$ поэтому можно записать

$$g_{\mathcal{E}_D} = \frac{\mathcal{E}_D}{K_V \cdot \eta_{\mathcal{E}}} \quad (22)$$

где $\eta_{\mathcal{E}} = \frac{N_C \cdot t_T}{\mathcal{E}_D}$ – общий коэффициент использования энергии.

Снижение действительной удельной энергоёмкости процесса наплавки в углекислом газе достигается уменьшением часовой действительной энергоёмкости (за счет сокращения потерь энергии на холостые ходы источника питания, на переходные процессы), увеличением удельной производительности, что, в свою очередь, связано с использованием «технологической» мощности источника питания в области максимальным КПД.

Заключение

1. Показатели действительной удельной производительности оборудования K_V , K_3 являются одной из основных величин, характеризующих энергетическое совершенство наплавочного оборудования и указывающих область рациональных режимов наплавки (по коэффициенту загрузки K_3).

2. С точки зрения обеспечения максимальной производительности наплавочной установки на единицу израсходованной энергии нужно применять минимальную мощность дуги, обеспечивающей расплавление подаваемой электродной проволоки.

3. Повысить действительную удельную производительность наплавочного оборудования можно использованием рациональных областей загрузки источника питания (для источника питания «А» – 0,3–0,9), увеличением КПД установки и уменьшением разбрызгивания металла.

4. По действительной удельной производительности наплавочные установки с Источником питания «В» превосходят установки с преобразователем ПСГ-500 при $K_3 = 0,2–0,7$ (что часто имеет место при наплавке деталей лесотранспортных машин) на 15–30%.

Список литературы

1. Тимохова О.М., Бурмирова О.Н. Анализ влияния режимов наплавки на структуру металла // *Естественные и технические науки*. 2018. № 11 (125). С. 313–317.

2. Щицын Ю.Д., Белинин Д.С., Кучева П.С., Неулыбин С.Д. Восстановительная наплавка малогабаритных изделий // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12629> (дата обращения: 11.06.2021).

3. Макеев Д.Н., Захаров О.В., Виноградов А.Н. Восстановление ресурса деталей машин путем наплавки поверхностных слоев // *Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования*. 2014. С. 36–40.

4. Collins P.C., Brice D.A., Samimi P., Ghamarian I., Fraser H.L. Microstructural Control of Additively Manufactured Metallic Materials. *Annual Rev. of Materials Res.* 2016. Vol. 46. P. 63–91.

5. Fuchs J., Schneider C., Enzinger N. Wire-based additive manufacturing using an electron beam as heat source. *Weld. in the World*. 2018. Vol. 62. No. 2. P. 267–275.