

# ПРОДЛЕНИЕ РЕСУРСА МЕТАЛЛА РАБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

ДЕМИДОВ А.Н., КАРИМБЕКОВ М.А.  
[demidovan@mpei.ru](mailto:demidovan@mpei.ru)

*Московский энергетический институт (технический университет), Москва, Россия*

## PROLONGATION OF METAL RESOURCE OF STEAM TURBINES WORKING SHOVELS

DEMIDOV A.N., KARIMBEKOV M.A.  
[demidovan@mpei.ru](mailto:demidovan@mpei.ru)

*The Moscow power engineering institute (technical university), Москва, Россия*

В работе проведены экспериментальные исследования поверхностного упрочнения кромок рабочих лопаток электронным лучом. Отработана технология поверхностного упрочнения электронным лучом на образцах из стали 20Х13. Определены режимы электроннолучевой поверхностной обработки и методы контроля микроструктуры и свойств обработанной поверхности.

### 1. Введение

Интенсификация технологических процессов поверхностной обработки материалов в значительной мере связана с применением мощных концентрированных потоков энергии – плазмы, ионных потоков, лазерного и электронного излучения. Актуальность методов поверхностной обработки электронным лучом определяется тем, что около 80% рабочих лопаток выходят из строя при их эксплуатации из-за повреждения поверхности материала в результате развития эрозии.

Среди методов поверхностной электроннолучевой обработки (ПЭЛО) наиболее активно разрабатывается и исследуется поверхностная электронно-лучевая закалка (ПЭЛЗ). Это обусловлено такими ее достоинствами, как возможность изменения структуры, свойств и глубины обработки, как локальных участков, так и требуемых поверхностей; высокая скорость процесса, минимальное коробление и сведение к минимуму последующей механической обработки; отсутствие закалочных охлаждающих сред. Такой недостаток ПЭЛЗ, как необходимость использования вакуумной техники? компенсируется преимуществами вакуумной защиты обрабатываемых материалов.

ПЭЛЗ из твердого состояния подвергаются преимущественно стали, чугуны и титановые сплавы, т.е. материалы, закалывающиеся на мартенсит и поэтому в наибольшей степени реагирующие на эту обработку. Глубина и степень упрочнения ПЭЛЗ зависят от энергетических и временных характеристик электронно-лучевого воздействия, структурного состояния, теплофизических свойств и геометрических особенностей объекта обработки.

Закалка с помощью электронных пучков характеризуется высокими скоростями нагрева и охлаждения, а также и изменением распределения температур по сечению облучаемой зоны и по глубине. На эти обстоятельства накладываются многофазность конструкционных сплавов и конечные скорости диффузии основных компонентов и миграции межфазных границ. Отсюда очевидно большое разнообразие возможных фазово-структурных состояний сплавов после ПЭЛЗ. Типичным структурным отличием сталей, подвергнутых ПЭЛЗ, являются: уменьшение размеров зерен и карбидной фазы; образование мелкокристаллического мартенсита; повышение плотности дислокаций и в ряде случаев остаточного аустенита; формирование на поверхности изделия остаточных напряжений сжатия. В результате ПЭЛЗ повышаются: износостойкость, разрушающее напряжение, контактная выносливость поверхностных упрочненных слоев материала [1 – 3].

## **2. Разработка технологии поверхностного упрочнения и контроля рабочих лопаток паровых турбин**

### **2.1. Оборудование для электроннолучевой закалки рабочих лопаток**

Термообработку электронным лучом, как правило, производят на оборудовании для электроннолучевой сварки. Современное оборудование позволяет обрабатывать различные детали разнообразных типоразмеров. Созданное до настоящего времени электронно-лучевое сварочное оборудование располагает вакуумными рабочими камерами с объемом от десятых долей до десятков м<sup>3</sup>, вакуум в которых обеспечивают мощные откачные системы.

Если объем вакуумной рабочей камеры определяет допустимые габариты деталей, подвергающихся термообработке, и в значительной степени производительность технологического процесса, то мощность электроннолучевой пушки и источника питания влияет на величину обрабатываемой площади и глубину закалки. Для стабильной и устойчивой работы оборудования желательно иметь энергокомплекс, мощность которого значительно превышает необходимую вкладываемую мощность для ПЭЛЗ. Таким требованиям отвечает энергокомплекс для электроннолучевой сварки ЭЛА 60 (мощность – 60 кВт, ускоряющее напряжение – 60 кВ и ток пучка – 1 А).

Для осуществления поверхностной закалки на заданной площади необходимо создать равномерный поток электронов, охватывающий эту площадь. Получение потока электронов необходимой площади и конфигурации можно осуществить с помощью специального блока развертки электронного пучка в виде раstra с необходимыми временными и энергетическими характеристиками. В качестве отклоняющей системы используется стандартная катушка ОС-70. Она обеспечивает размер раstra 100×100 мм на расстоянии 150 мм от центра катушки до плоскости обработки.

### **2.2. Выбор режимов электроннолучевой термообработки**

Термообработка рабочих лопаток производится за один проход. Для получения в поверхностном слое максимальной твердости необходимо кратковременное включение электронного пучка с заданными параметрами до достижения на поверхности образца необходимого температурного поля. Равномерность температуры по всей площади раstra обеспечит равномерность твердости закаленного слоя на всей площади обработки.

При необходимой вкладываемой удельной мощности электронных пучков для поверхностной закалки, равной 1,5 кВт/см<sup>2</sup>, максимальный растр может достигать 40 см<sup>2</sup>. Если учесть, что для получения глубины закалки 0,5 мм время должно составлять 1 с, что достигается при ширине раstra 25 мм и скорости перемещения пучка 10 мм/с, то длина обрабатываемого участка поверхности составит 160 мм. Для получения необходимой глубины поверхностной закалки надо исходить из того положения, что скорость перемещения пучка электронов (раstra) должна быть не менее 8 мм/с. Величина скорости перемещения раstra находится в прямой зависимости от массы обрабатываемой детали. Чем меньше масса, тем необходима большая скорость перемещения раstra для обеспечения необходимого градиента температуры от поверхности к центру рабочей лопатки и тем самым получить эффект закалки.

Подбор режимов ПЭЛЗ целесообразно производить на образцах из марок сталей, аналогичных изделию.

Исследования показали, что при нагреве до температур, близких к температуре плавления в вакууме и последующей выдержки 5 – 7 минут, не образуется окалина на обрабатываемой поверхности. Таким образом, это дает возможность подготовить деталь под поверхностную обработку с припуском на обработку шлифованием.

Следует отметить, что отклонение от режимов термообработки может привести к неполной закалке или к оплавлению обрабатываемой поверхности, что недопустимо. Причем пространственное положение детали и электронной пушки не оказывают никакого влияния на качество термообработки.

В процессе выполнения работы были отработаны режимы термообработки на образцах из стали 20X13 (рис. 1).



Рис. 1. Образец из стали 20X13  
что в каждом случае (в зависимости от длины обрабатываемой поверхности) требует корректировки режима обработки.

Так для раstra размером 80×20 ток пучка составляет 520 мА при ускоряющем напряжении 60 кВ и токе фокусировки 780 мА.

Эксперименты показали, что возможно применение двух основных модификаций термообработки с оплавлением поверхностного слоя и без оплавления.

Параметры режимов термообработки без оплавления: ускоряющее напряжение –  $U_y=60$  кВ; ток луча –  $I_l=430$  мА; ток фокусировки –  $I_f=665$  мА.

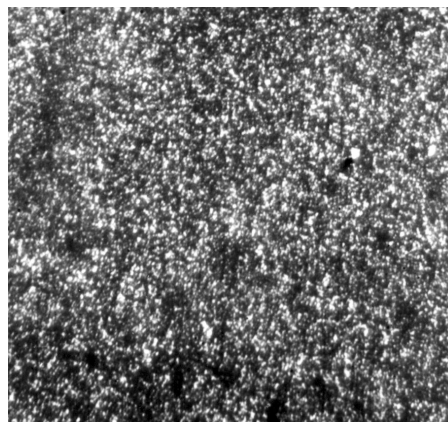
### 2.3. Микроструктура исследуемых образцов из стали 20X13 до и после ПЭЛЗ

Контроль микроструктуры металла непосредственно на образцах из стали 20X13 выполнялся с помощью микроскопа ( $\times 500$ ), в качестве подготовки поверхности использовался метод электрополирования.

Сталь 20X13 до поверхностной электронно-лучевой закалки (ПЭЛЗ) имеет мелкозернистую тросто-сорбитную структуру с номером зерна 10 по шкале ГОСТ 5638-62. После поверхностного упрочнения ПЭЛЗ микроструктура состоит из мартенсита, карбидов и остаточного аустенита (рисунок 2.2).



а)



б)

Рис. 2.2. Микроструктура стали 20X13 до (а) и после (б) проведения поверхностного упрочнения ( $\times 500$ )

#### 2.4. Определение механических свойств исследуемых образцов из стали 20X13

Измерение механических свойств проводилось на приборе МЭИ Т7 при диаметре индентора, равным 1 мм и нагрузке 30 кгс.

Таблица 2.1

Результаты измерения механических свойств образца из стали 20X13

Механические свойства образца из стали 20X13			
До ПЭЛЗ		После ПЭЛЗ	
$\sigma_b$ , МПа	НВ, кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma_b$ , МПа	НВ, кгс/мм <sup>2</sup>
810	240	1430	430

Из таблицы видно, что результаты измерения твердости и предела прочности после ПЭЛЗ повысились в 1,7 раза. Таким образом, показана возможность термического упрочнения электронным лучом стали 20X13.

### 3. Заключение

1. Преимущество электроннолучевой закалки позволяет рекомендовать ее как эффективный способ поверхностного упрочнения различных изделий.

2. Разработана и опробована в лабораторных условиях технология поверхностной электронно-лучевой упрочняющей термообработки на образцах из стали 20X13.

3. Выявлено, что твердость и предел прочности обработанной поверхности после ПЭЛЗ возрастает в 1,7 раза.

4. В результате исследований появилась необходимость проведения обработки на самом изделии и эксплуатационных испытаний. Если в результате испытаний возрастет стойкость к эрозионному износу, то можно рекомендовать технологию в качестве альтернативной приварки защитных стеллитовых пластин.

### Литература

1. Зуев И.В. Обработка материалов концентрированными потоками энергии. – М: МЭИ, 1998. – 162 с.
2. Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан Н.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электроннолучевого нагрева. – Минск: Наука и техника, 1995. – 280 с.
3. Матюнин В.М. Механико-технологические испытания материалов. – М: МЭИ, 2005. – 140 с.