

УДК669.17

Ю. В. Ощепкова

УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук Ю. В. Юдин

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РЕГУЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ (ЗАКАЛКИ) ВАЛКОВ ИЗ СТАЛИ 9ХФ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Исследованы служебные свойства вала при закалке в масло. На основе регрессионных моделей проведен поиск оптимального режима охлаждения водокапельным методом с помощью симплекс-метода.

Ключевые слова: закалка, математическое программирование, водокапельное охлаждение

ABSTRACT

The service properties of roll during quenching in oil were studied. The optimal regime cooling water-drop method was searched using the simplex method based on regression models.

Keywords: training, mathematical programming, water drop cooling

Осуществлен поиск оптимального режима водокапельного регулируемого охлаждения вала диаметром 600 мм в специализированной установке, обеспечивающей прерывистое охлаждение с помощью периодического включения - выключения форсунок [1].

Регулируемые параметры охлаждения:

- время работы охлаждающей установки до первого отключения $\tau_{\text{перв}}$ 0,17...0,33 ч (10...20 мин);
- суммарное время отключений $\tau_{\text{отогр}}$ 0,05...0,67 ч (3...40 мин), во время которых происходит отогрев поверхностных слоев вала;
- суммарное время циклических отключений $\tau_{\text{цикл. охл}}$ 0,08...0,5 ч (5...30 мин), обеспечивающих охлаждение поверхности;
- время последнего охлаждения $\tau_{\text{послед}}$ 0,11...1,00 ч (7...60 мин);
- количество циклов отогрева $n_{\text{цикл}}$ 3...9.

Для того, чтобы определить оптимальный режим регулируемой закалки, необходимо ориентироваться на свойства валков из стали 9ХФ, получаемые при закалке в масло: глубина закаленного слоя изменяется в интервале 35...55 мм в зависимости от параметров градиентного нагрева, максимальные растягивающие осевые напряжения в конце закалки

480...570 МПа, максимальная величина отношения интенсивности напряжений к пределу текучести изменяется в диапазоне 0,84...0,96.

На рисунке 1 показаны напряжения в валке закаленного в масле (предварительный подогрев 450 °С, время нагрева 2 ч до температуры закалки 850 °С (рисунок 1). Валок охлаждался в масле до температуры поверхности бочки 120 °С, далее охлаждение на воздухе 1ч.

В приповерхностном слое на глубине 7,5 мм в валке образуется 15 % мартенсита 63 % бейнита, на глубине 22,5 мм – 4 % мартенсита и 73 % бейнита. Отсюда следует малая глубина закаленного слоя – 41 мм.

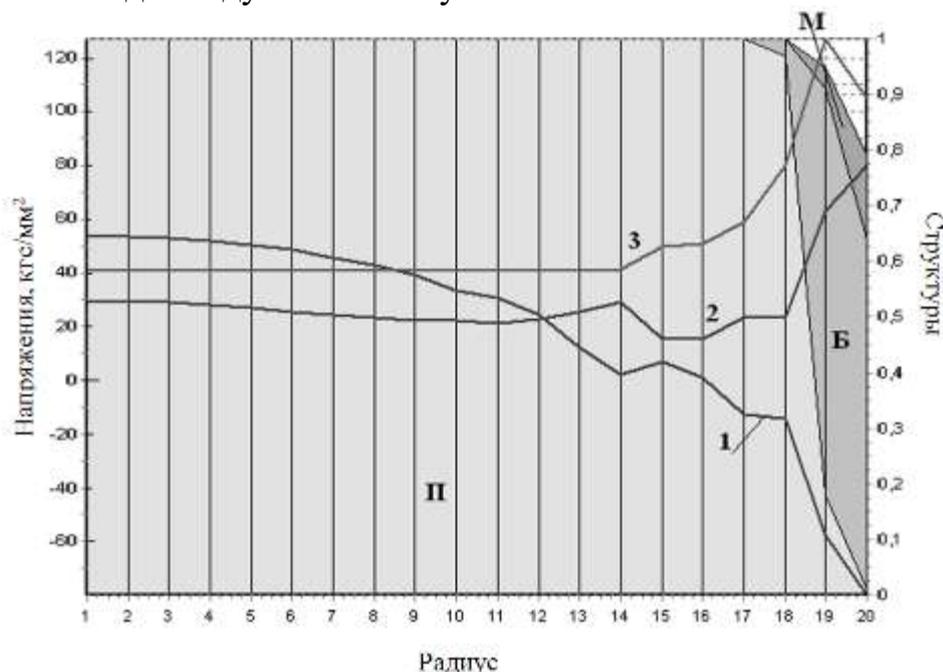


Рис. 1. Структурная диаграмма и напряжения при закалке валка Ø 600 мм из стали 9ХФ от номера слоя по радиусу: 1 – осевые напряжения, 2 – интенсивность напряжений, 3 – предел текучести

Осевые растягивающие напряжения в центре валка достигают значения 540 МПа (на рисунке 1 напряжения приведены в кгс/мм²). Условие по критерию Губера-Мизеса выполняется – интенсивность напряжений не превышает предела текучести и составляет максимально $\sigma_i/\sigma_T = 0,96$.

Для выбора оптимального режима водокапельного охлаждения использовался симплекс-метод [2; 3], реализованный с помощью модуля «поиск решения», реализованного в программе MS EXCEL 2010.

Целевая функция – глубина закаленного слоя (1), которую необходимо максимально увеличить.

$$h_{з,с} = 82,8 + 5,9\tau_{перв} - 1,8\tau_{отогр.} + 0,67\tau_{цикл.охл} + 0,7\tau_{послед} - 0,006n_{цикл}, \text{ мм.} \quad (1)$$

Ограничивающие ее функции: величина осевых напряжений (2), которая не должна превышать 540 МПа и отношение интенсивности напряжений к пределу текучести (3) не более 0,96.

$$\sigma_z = -180 + 1188 \tau_{\text{перв}} - 163 \tau_{\text{отогр}} + 563 \tau_{\text{цикл. охл}} + 451 \tau_{\text{послед}} - 10,8 \cdot n_{\text{цикл}}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

$$\sigma_i / \sigma_T = 0,98 - 0,042 \tau_{\text{перв}} - 0,015 \tau_{\text{отогр}} + 0,016 \tau_{\text{цикл. охл}} + 0,0003 \tau_{\text{послед}}. \quad (3)$$

Также введены ограничения для управляющих параметров времени и количества циклов отогрева, указанные выше.

С помощью симплекс-метода были определены следующие параметры соответствующие оптимальному режиму:

- время первого охлаждения 20 мин,
- суммарное время отогревов 3 мин,
- суммарное время циклических охлаждений 6 мин,
- время последнего охлаждения 7 мин,
- количество отогревов 3.

Работу охлаждающей установки можно представить следующей циклограммой (рис. 2).

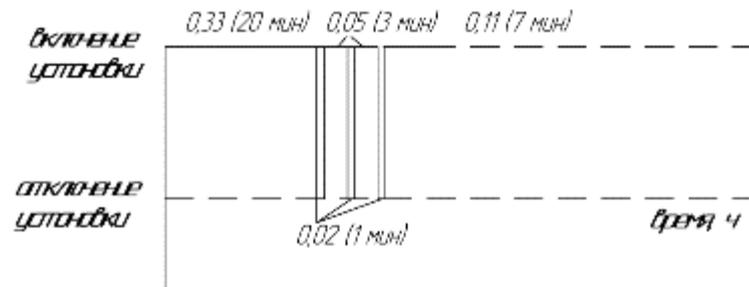


Рис. 2. Циклограмма работы охлаждающей установки при закалке валков с диаметром бочки 600 мм из стали 9ХФ

Глубина закаленного слоя валка из стали 9ХФ составляет 54 мм (рис. 3), осевые напряжения в центре валка по окончании охлаждения 195 МПа (максимальные временные осевые напряжения по сечению достигают 385 МПа), условие критерия Губера-Мизеса выполняется, максимальное значение за весь цикл термообработки 0,96.

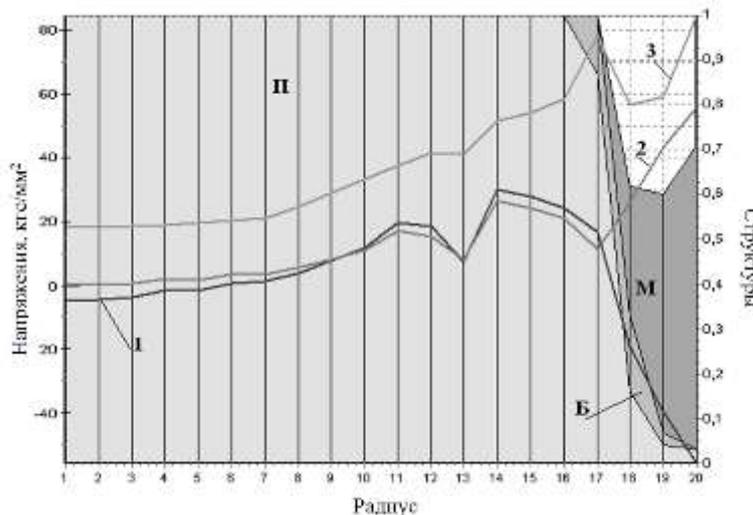


Рис. 3. Структура и напряжения при закалке валка из стали 9ХФ ($\tau_{\text{перв}} = 20$ мин; $\tau_{\text{отогр}} = 3$ мин; $\tau_{\text{цикл.охл.}} = 6$ мин; $\tau_{\text{послед.охл.}} = 7$ мин; $n_{\text{цикл.}} = 3$):

1 — осевые напряжения, 2 — интенсивность напряжений, 3 — предел текучести

В отличие от закалки в масло, позволяющей получить глубину закаленного слоя 41 мм, при охлаждении водокапельным методом достигается большая на 30 % глубина (54 мм) при тех же условиях по ограничению осевых напряжений и отношению интенсивности напряжений к пределу текучести.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдин Ю. В. Разработка конструкции водокапельных охлаждающих устройств для термической обработки валков прокатных станов / Ю. В. Юдин, М. В. Майсурадзе, Н. П. Ануфриев // МиТОМ. 2013. № 3. С. 14–19.
2. Измаилов А. Ф. Численные методы оптимизации / А. Ф. Измаилов, М. В. Солодов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 304 с.
3. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах / И. Л. Акулич. М.: Высш.шк., 1986. 319 с.