

УСТАНОВКА ДВУХЧАСТОТНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ ЗАКАЛКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

В.И. Лузгин, А.Ю. Петров, С.М. Фаткуллин
(ООО "РЭЛТЕК", г. Екатеринбург)

И.Е. Лопатин, А.С. Коптяков
(УрФУ, г. Екатеринбург)

Прокатные валки являются основным расходуемым инструментом станов холодной и горячей прокатки, эксплуатационные свойства которого существенно влияют на качество и себестоимость проката. Долговечность валков определяется, прежде всего, их твердостью и глубиной активного поверхностного слоя. Вторым по важности фактором является уровень остаточных напряжений, поскольку если он превышает резерв трещиностойкости металла, то валки выходят из строя преждевременно из-за поломок. Оба этих фактора формируются при окончательной термообработке валков. Для обеспечения требуемых эксплуатационных свойств важную роль также играет марка стали и чистота металла валков.

Существует несколько способов термообработки валков:

- объемная закалка в масле;
- газопламенная закалка с использованием газокислородных линейных горелок для нагрева валка с последующим охлаждением спрейером;
- индукционная закалка с использованием токов средней частоты для нагрева закаливаемого слоя поверхности валка с последующим охлаждением спрейером.

Наиболее эффективными с точки зрения к.п.д. установок являются многочастотные установки индукционной закалки. Как правило, используется двухчастотный нагрев: первым индуктором на низкой частоте поверхность валка нагревается до температуры аустенизации на глубину до 100 мм, а вторым индуктором осуществляется подогрев и выравнивание температуры у поверхности валка на средней частоте. Правильным выбором мощности и частоты тока индукторов при определенной скорости их перемешивания обеспечивается требуемый профиль распределения температуры и устраняется перегрев внутренних слоев валка по отношению к температуре его поверхности.

Закалка валка осуществляется наиболее эффективным методом высокоскоростной спрейерной закалки с управляемой кинетикой температуры в слоях валка и прогнозируемой металлоструктурой по сечению валка с требуемой последовательностью (мартенсит – бейнит - тростит - сорбит) [1].

Двухчастотная установка индукционной закалки прокатных валков обеспечивает эффективное управление технологическим процессом закалки и высокое качество термообработки прокатных валков, а также позволяет повысить производительность установки и сократить капитальные и эксплуатационные затраты.

Важным условием, определяющим требуемое качество закалки прокатного валка, является обеспечение необходимого температурного профиля нагрева поверхности валка на глубину закаливаемого слоя.

Метод индукционного двухчастотного нагрева поверхности валка позволяет гибко управлять распределением температуры нагрева при заданной производительности процесса закалки путем оптимального выбора частоты тока и активной мощности в индукторах первой и второй зоны нагрева.

Моделирование процесса индукционного нагрева поверхности валков двухсекционным индуктором производилось в программном пакете UNIVERSAL2D, реализующий метод конечных элементов [2]. На рис. 1 приведена модель индукционной установки для нагрева прокатного валка диаметром 1600 мм. Предварительно нагретый валок до температуры $T_{\text{нач.}} = 350^\circ\text{C}$ вращается вокруг своей оси и нагревается двумя одновитковыми индукторами, через которые протекают токи с частотой $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 250$ Гц. Индукторы перемещаются вдоль поверхности валка со скоростью $V = (0.2 - 1)$ мм/с.

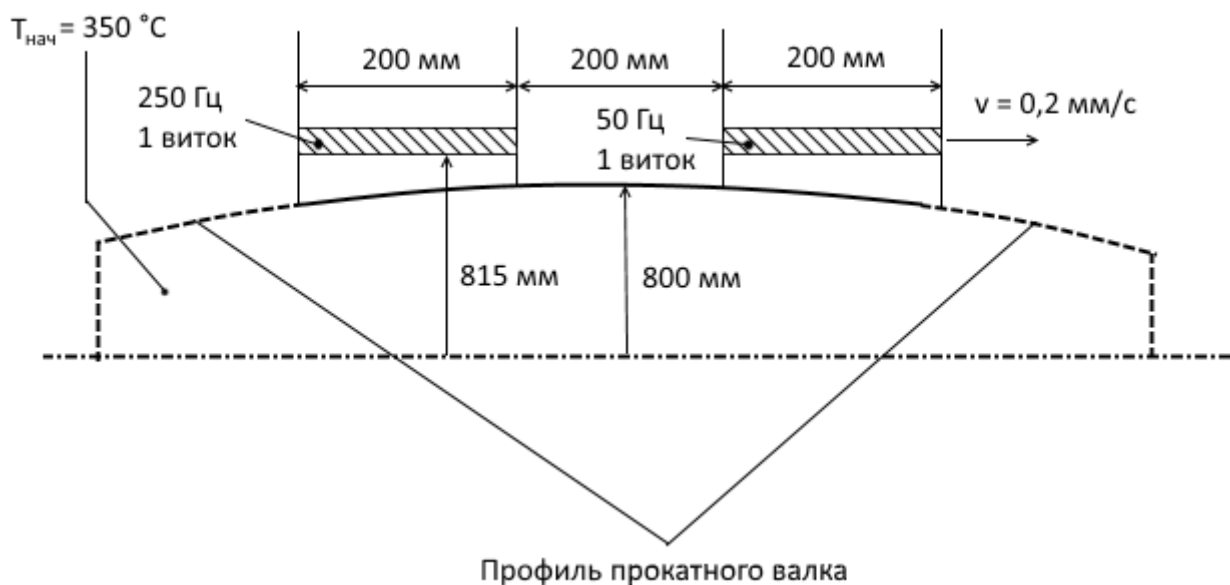


Рис. 1 Модель нагревательной установки

Расчет процесса нагрева поверхности валка производился при скорости перемещения индукторов $V = 0.2$ мм/с и заданной активной мощности первого индуктора $P_1 = 650$ кВт и второго индуктора $P_2 = 300$ кВт. На рис. 2 приведены графики распределения температуры нагрева по радиусу валка для трех сечений: 1 – на выходе из первого индуктора; 2 – на входе во второй индуктор; 3 – на выходе из второго индуктора. График распределения температуры по радиусу валка после первого индуктора показывает, что максимальная температура нагрева металла достигается на глубине 27 мм, а перепад температуры на поверхности к максимальной температуре составляет $\Delta T = 67^\circ\text{C}$. Это приводит к тому, что при спрейной закалке самый твердый мартенситный слой формируется на глубине 15 – 30 мм, а более мягкий мартенситный слой образуется у поверхности валка. В эксплуатации это приводит к появлению трещин внутри тела валка и повышенному износу его поверхности, что снижает срок службы прокатного валка.

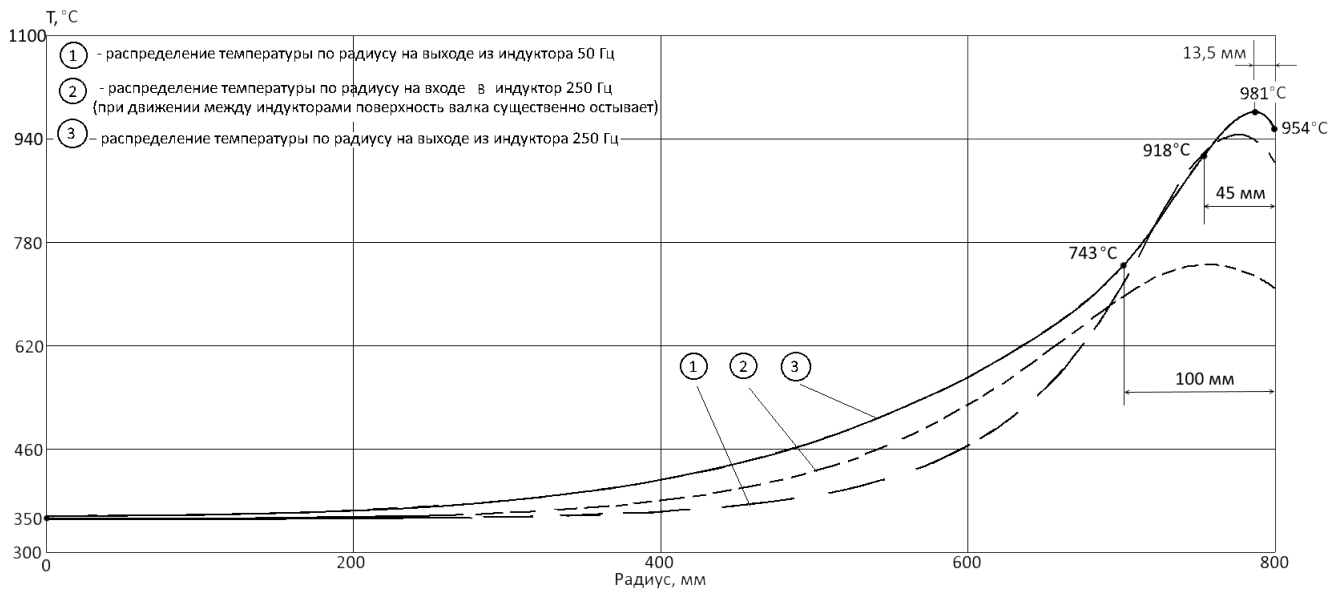


Рис. 2. Распределение температуры по радиусу вала при скорости движения индуктора 0,2 мм/с

Если осуществить подогрев поверхности вала на высокой частоте, то перепад температуры может быть уменьшен. На третьем графике распределения температуры по радиусу вала в сечении на выходе из второго индуктора видно, что перепад температуры составляет $\Delta T = 27^\circ\text{C}$, что почти в три раза меньше, чем при одночастотном нагреве, а максимальная температура нагрева металла достигается на глубине 13,5 мм.

В этом случае твердый износостойкий мартенситный слой будет формироваться при закалке на поверхности вала, что обеспечивает уменьшение его износа и уменьшение трещинообразования при формировании более мелких слоев металлоструктуры на глубине тела вала.

Глубина закаленного слоя опорного вала должна достигать 100 – 120 мм, а температура нагрева металла на этой глубине должна быть больше температуры аустенизации ($T_{\text{аус.}} > 750^\circ\text{C}$). При скорости перемещения индукторов 0,2 мм/с это условие соблюдается, но производительность закалки остается низкой.

Если скорости перемещения индукторов увеличивать с целью повышения производительности установки, то условие нагрева глубинных слоев металла до требуемой температуры аустенизации трудно выполнить, т.к. при этом необходимо увеличивать активную мощность индукторов, что приводит к перегреву поверхности вала.

На рис.3 приведены графики распределения температуры нагрева вала по радиусу при скорости перемещения индукторов $V = 1$ мм/с для различных сечений: 1 – на выходе из первого индуктора; 2 – на входе во второй индуктор; 3 – на выходе из второго индуктора. Активная мощность на индукторах составляла $P_1 = 1200$ кВт; $P_2 = 650$ кВт при частоте тока $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 250$ Гц. График распределения температуры на выходе из второго индуктора показывает, что максимальная температура нагрева металла достигается вблизи поверхности вала на глубине 7 мм с небольшим перепадом температуры по отношению

к поверхности валка $\Delta T = 14^\circ\text{C}$. Однако температура нагрева металла на глубине 100 мм составляет 523°C , что значительно ниже температуры аустенизации. Достаточный нагрев обеспечивается лишь на глубине 45-50 мм, поэтому и глубина закалки валка не будет превышать данного уровня. Следовательно, при скорости движения индукторов $V = 1 \text{ мм/с}$ целесообразно производить закалку рабочих прокатных валков, для которых требуемая глубина закаливаемого слоя составляет 45 мм.

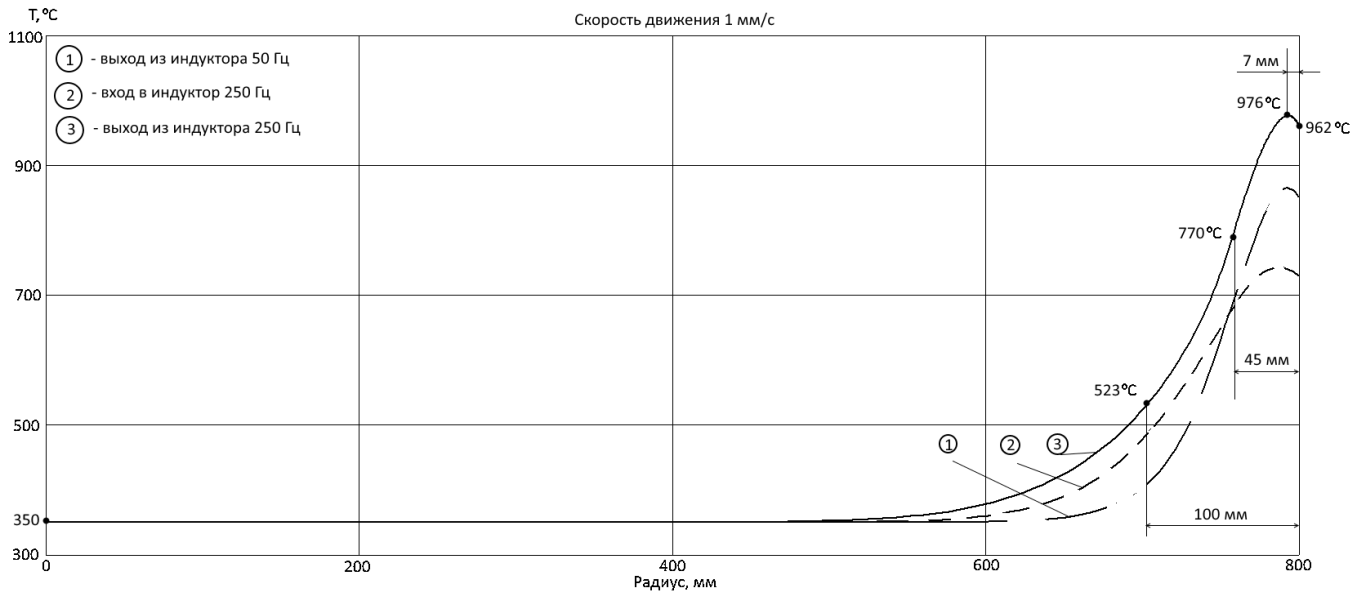


Рис. 3. Распределение температуры по радиусу прокатного валка при скорости движения индукторов 1 мм/с

Система электропитания индукторов токами низкой и высокой частоты, как правило, строится на основе преобразователя промышленной частоты и преобразователя средней частоты. В качестве преобразователя промышленной частоты целесообразно использовать трансформаторно-конденсаторный преобразователь с тиристорным регулятором напряжения. Для электропитания индуктора токами высокой частоты, как правило, используются тиристорные или транзисторные преобразователи частоты с параллельной компенсацией реактивной мощности индуктора через согласующий трансформатор. По такой функциональной схеме строятся два независимо работающих энергоканала, осуществляющих регулирование мощности каждого индуктора по требуемому закону.

Предприятием ООО "РЭЛТЕК" разработан двухэнергоканальный тиристорный преобразователь на основе каскадного инвертора тока, в котором электропитание осуществляется по одному энерготракту, а питание двух индукторов производится от разных каскадов инвертора [3]. В таком преобразователе частоты достигается существенное снижение установленной мощности оборудования (на 40 %) по сравнению с системой электропитания с двумя независимыми энергоканалами, т.к. трансформаторное, дроссельное, коммутационное, выпрямительное оборудование является общим для двухкаскадного инвертора,

осуществляющего разночастотное электропитание индукторов и перераспределение мощности между ними.

Массо-габаритные показатели конденсаторного трансформаторного и дроссельного оборудования системы электропитания индукторов могут быть существенно улучшены (на 30%), если частоту тока индукторов увеличить вдвое.

На рис. 4 приведены графики распределения температуры нагрева по радиусу валка для трех сечений: 1 – на выходе из первого индуктора; 2 – на входе во второй индуктор; 3 – на выходе из второго индуктора. Данный режим нагрева получен при мощности на индукторах $P_1 = 600$ кВт; $P_2 = 300$ кВт и частоте тока $f_1 = 100$ Гц и $f_2 = 500$ Гц, на скорости перемещения индукторов $V = 0,2$ мм/с. По третьему графику видно, что перепад температуры у поверхности валка составляет $\Delta T = 20^\circ\text{C}$, что не превышает предельно допустимой величины для получения твердого мартенситного слоя на поверхностях валка. Кроме этого, температура нагрева металла на глубине 100 мм составляет 712°C , что также удовлетворяет условиям закалки по глубине закаливаемого слоя.

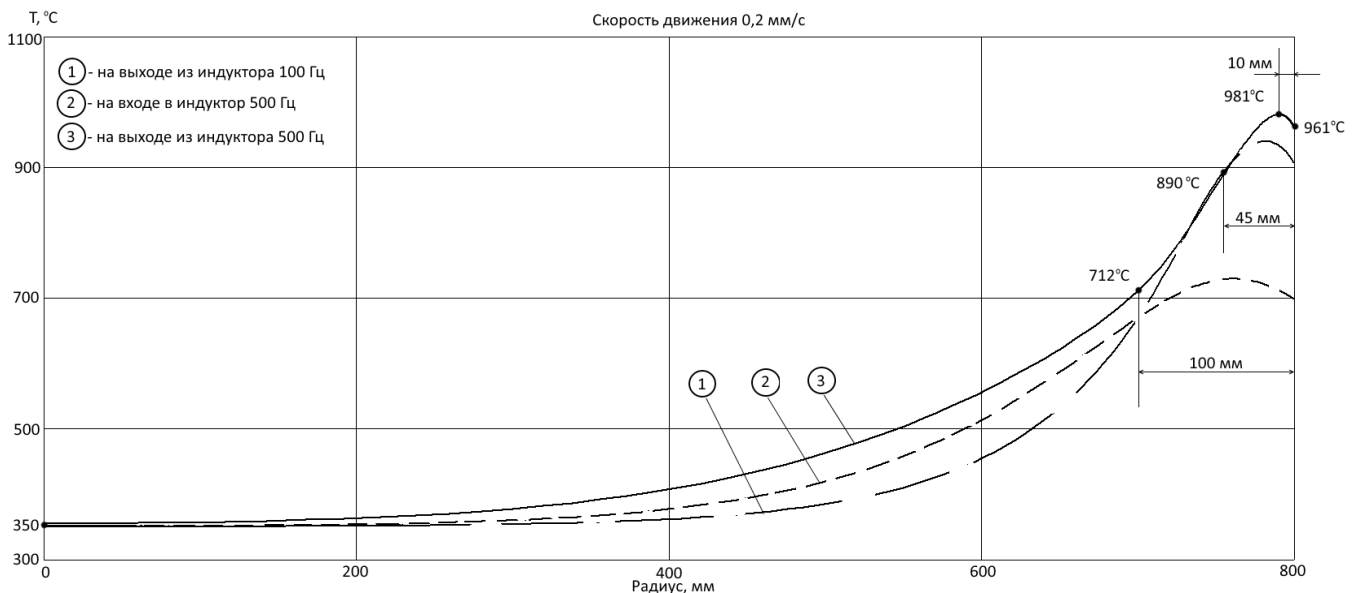


Рис. 4. Распределение температуры по радиусу прокатного валка при скорости движения индукторов 0,2 мм/с

Скоростная закалка валков при $V = 1$ мм/с, $P_1 = 1200$ кВт; $P_2 = 600$ кВт и частоте тока $f_1 = 100$ Гц и $f_2 = 500$ Гц позволяет увеличить производительность установки, однако, график распределения температуры по радиусу валка на выходе из второго индуктора, представленный на рис.5, показывает, что глубина закаленного слоя не превышает 45-50 мм и соответствует показателям распределения температуры, полученным при скоростной закалке на частотах тока в индукторах $f_1 = 50$ Гц и $f_2 = 250$ Гц (см. рис. 3). При этих режимах выполняются условия закалки рабочих прокатных валков.

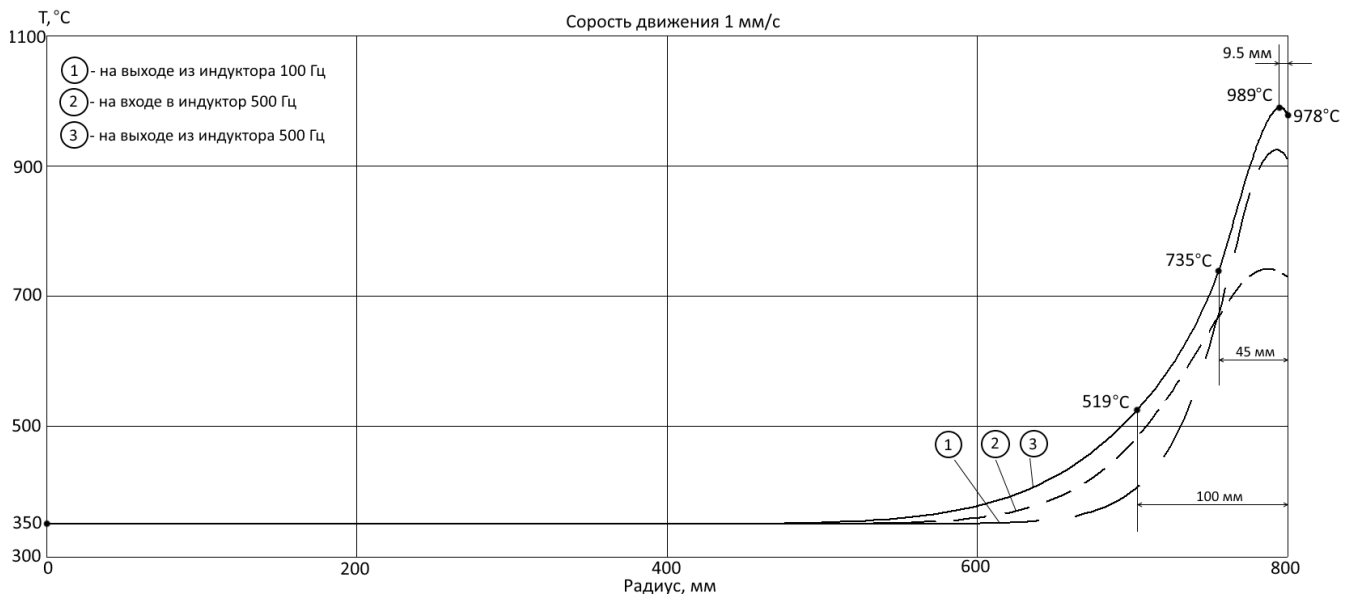


Рис. 5. Распределение температуры по радиусу прокатного вала при скорости движения индуктора 1 мм/с

Для обеспечения условий процесса закалки опорных прокатных валков на скорости перемещения индукторов $V = 1$ мм/с и глубиной закаленного слоя до 100 мм необходимо осуществлять подогрев вала предварительным проходом индукторов на повышенной скорости перед основным проходом индукторов, обеспечивающим требуемый профиль нагрева опорного прокатного вала [4].

Таким образом, разработанная установка двухчастотного индукционного нагрева для закалки прокатных валков позволяет обеспечить высокое качество его нагрева при относительно низкой установленной мощности оборудования преобразователя частоты, конденсаторного и трансформаторного оборудования установки, а также малых массо-габаритных показателей установки в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вафин Р.К., Покровский А.М., Лешковцев В.Г. Прочность термообрабатываемых прокатных валков. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. -264 с.
2. Модульные индукционные установки в кузнечном производстве / Демидович В.Б., Оленин В.А., Григорьев Е.А., Ситко П.А. // Индукционный нагрев. -2013. – выпуск № 4(26). С. 9-12.
3. Патент РФ № 2394400. Преобразовательное устройство для индукционного нагрева и его варианты / Лузгин В.И., Петров А.Ю., Черных И.В. и др. Опубликовано 10.07.2010 г. Бюл № 19.
4. Покровский А.М., Бочектаева Е.Б. Расчет температурно-структурного и напряженного состояния в опорных прокатных валках при индукционной закалке // Проблемы механики современных машин. 2012, Т 4.