



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1435628 A1

(51) 4 C 21 D 9/38, 5/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР  
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4082287/23-02

(22) 02.07.87

(46) 07.11.88. Бюл. № 41

(71) Украинский научно-исследовательский институт металлов и Череповецкий металлургический комбинат им. 50-летия СССР

(72) С.И.Рудюк, Т.С.Скобло, В.Н.Гончаров, В.В.Коробейник, Ю.М.Каракин, В.Я.Тишков, А.В.Суняев, В.В.Кузькин, В.А.Меденков, В.С.Смирнов, Н.Н.Овчинников и В.И.Комляков

(53) 621.785.7(088.8)

(56) Сталь, 1983, № 9, с. 55-57.

Авторское свидетельство СССР  
№ 1268627, кл. С 21 D 9/38, 1985.

(54) СПОСОБ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ  
ЧУГУННЫХ ДВУХСЛОЙНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛ-  
КОВ

(57) Изобретение относится к области черной металлургии, в частности к термической обработке двухслойных чугуновых прокатных валков. Цель изобретения - повышение стойкости валков и уменьшение выкрашивания рабочего слоя. Чугунные двухслойные валки с глубиной отбела более 15 мм нагревают до температуры ниже  $A_{c1}$ , выдерживают и охлаждают, при этом температуру нагрева ниже  $A_{c1}$  определяют по зависимости. Предложенный способ повышает стойкость валков на 29 - 41%.  
2 табл.

(19) SU (11) 1435628 A1

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к термической обработке двухслойных чугуновых прокатных валков.

Цель изобретения - повышение стойкости валков и уменьшение выкрашивания рабочего слоя.

Сущность предлагаемого способа состоит в том, что в процессе отливки рабочего слоя двухслойных валков из чугуна одного и того же химического состава можно в зависимости от скорости охлаждения в процессе кристаллизации получить различную твердость и глубину отбела (глубина отбела рабочего слоя должна составлять 12 - 32 мм) и, следовательно, различный уровень напряженности рабочего слоя, для определения температуры нагрева при термической обработке необходимо учитывать не только значение твердости, степени легирования, но и глубину отбела рабочего слоя.

Основным элементом, влияющим на твердость валков, является никель, в то же время никель придает вязкость рабочему слою и уменьшает его выкрашивание. Экспериментально установлено, что с повышением величины отношения твердости к содержанию никеля

$\left(\frac{\text{HSD}}{\text{Ni}}\right)$  более 20 ед/% и увеличением глубины отбела рабочего слоя ( $h$ ) более 15 мм резко возрастает уровень остаточных напряжений, возникающих в рабочем слое валка после его охлаждения. Это приводит к выкрашиванию рабочего слоя при эксплуатации его в стане и снижает стойкость валков.

Предлагаемый способ включает термическую обработку чугуновых двухслойных прокатных валков, преимущественно с глубиной отбела рабочего слоя более 15 мм, нагрев до температуры ниже  $A_{c1}$ , выдержку и охлаждение, валки нагревают до температуры, определяемой по зависимости

$$T = T_{н.с.т} + K_T \left[ \frac{\text{HSD}}{\text{Ni}} - \left( K_M - \frac{h_{ср} - h_{мин}}{K_{отб}} \right) \right],$$

где  $T_{н.с.т}$  - температура начала снижения твердости рабочего слоя двухслойных валков, 320-330°С;

$K_T$  - коэффициент, учитывающий интенсивность снижения отношения

$\text{HSD}/\text{Ni}$  при нагреве выше  $T_{н.с.т}$ , 90-100°С /ед/%;

$\text{HSD}$  - значение твердости рабочего слоя валка в литом состоянии по Шору, ед.;

$\text{Ni}$  - содержание никеля в рабочем слое, %;

$K_M$  - максимально допустимое значение отношения при средней глубине отбела рабочего слоя, равной 15 мм, 20 ед/%;

$h_{ср}$  - среднее фактическое значение глубины отбела рабочего слоя, мм;

$h_{мин}$  - минимально допустимое среднее значение глубины отбела рабочего слоя при отношении  $\text{HSD}/\text{Ni} = 20$  ед/%, 15 мм;

$K_{отб}$  - коэффициент, учитывающий величину допустимого изменения глубины отбела рабочего слоя при изменении значения отношения  $\text{HSD}/\text{Ni}$  на единицу 2,9-3,1 мм/ед./%.

Нагрев двухслойных чугуновых валков с глубиной отбела рабочего слоя более 15 мм до температуры, величина которой рассчитывается по предлагаемой зависимости, позволяет снизить твердость рабочего слоя и, следовательно, отношение  $\frac{\text{HSD}}{\text{Ni}}$  до оптималь-

ной величины, определяемой фактической глубиной его отбела. Это снижает величину остаточных линейных напряжений до безопасного уровня, уменьшает выкрашивание рабочего слоя и повышает стойкость валков.

Проведенными лабораторными и промышленными исследованиями установлено, что температура начала снижения твердости ( $T_{н.с.т}$ ) рабочего слоя двухслойных чугуновых валков ЛПХНд-70 и ЛПХНд-71 равна 320-330°С и, следовательно, для того, чтобы снизить твердость рабочего слоя валков и

уменьшить отношение  $\frac{\text{HSD}}{\text{Ni}}$ , необходимо

нагревать валки выше  $T_{н.с.т}$ . ЛПХНд-70 - листопрокатный валок с пластинчатым графитом из легированного хрома и никелем чугуна, двух-

слойный, с пределом твердости по бочке не менее 70 ед. Шора (HSD); ЛПХНд-71 - то же, с пределом твердости по бочке не менее 71 HSD.

Коэффициент  $K_T$ . Значение  $K_T$ , учитывающего интенсивность снижения величины HSD/Ni и корректирующего искомую температуру термообработки валков исполнений ЛПХНд-70 и ЛПХНд-71 определяют следующим образом.

Весь массив находящийся в эксплуатации валков на основе обработки HSD/Ni на группы, отличающиеся по значению этого отношения на одну единицу. На практике оказывается, что все валки в основном разделяются на пять групп с величиной отношения 17 - 21. От каждой группировки отбирают восемь валков с одинаковыми значениями твердости и содержанием никеля.

Каждую партию из восьми равнозначных валков помещают в печь на термообработку. После достижения садкой валков температуры  $300^\circ\text{C}$  через каждые  $50^\circ\text{C}$  в интервале их нагрева до  $650^\circ\text{C}$  включительно выгружают после соответствующей выдержки по одному валку. После охлаждения измеряют твердость, определяют текущее значение отношения HSD/Ni и строят график зависимости величины данного отношения от температуры термообработки.

Используя полученные графики, определяют коэффициент  $K_T$  из соотношения

$$K_T = \frac{\Delta T}{\text{HSD} : \text{Ni}} \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{ед.}\%} \right],$$

где  $\Delta T = T_{\text{нагрева}} - 320^\circ\text{C}$

- величина температуры перегрева валков выше  $320^\circ\text{C}$ , необходимого для снижения отношения HSD/Ni на единицу,  $^\circ\text{C}$ .

Результаты определения значений коэффициента  $K_T$  приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что интервал значений коэффициента  $K_T$  для валков ЛПХНд-70 составляет 90-98, а для ЛПХНд-71 соответственно 93-100.

В общем случае для двухслойных валков ЛПХНд значения  $K_T$  находятся в интервале 90-100. Однако для нахождения температуры обработки каж-

дого конкретного валка в предлагаемом способе необходимо использовать только конкретные значения  $K_T$ , определяемые по предлагаемой зависимости на основе характерных валку твердости и величины отношения HSD/Ni.

Коэффициент  $K_{отб}$ . В связи с тем, что повышение наработки двухслойных валков ЛПХНд в реальных условиях зависит не столько от простого увеличения твердости, глубины отбела и содержания никеля, сколько от оптимальности сочетания этих характеристик (напряженное состояние валка изменяется от различного сочетания этих параметров), температура термообработки прокатных валков в предлагаемом способе определяется с учетом проведения согласования (оптимизации) указанных характеристик за счет изменения на определенную величину твердости (и напряженного состояния) путем введения в расчет определяемой температуры обработки коэффициента  $K_{отб}$ .

Осуществляя термообработку валков по предлагаемому способу, в одних случаях повышают исходную твердость, в других - понижают ее. Но в обоих случаях обеспечивают валкам необходимое сочетание твердости, глубины отбела, химсостава за счет присутствия в расчетах  $K_{отб}$ .

Экспериментально установлено, что наилучшее сочетание твердости, глубины отбела, содержания никеля и максимальная наработка характерны валкам, температуру термообработки которых определяют при численном значении  $K_{отб}$  в интервале 2,9-3,1 мм/ед./% или в среднем при  $K_{отб} = 3$  мм/ед./%.

Уменьшение значения  $K_{отб}$  ниже 2,9 или увеличение более 3,1 приводит к расчету температуры термообработки, при которой не обеспечивается оптимального сочетания твердости, глубины отбела и химсостава. Процент выроек таких валков повышается, наработка падает.

Коэффициент  $K_M$ . Предлагаемый способ термообработки 2-слойных валков обеспечивает наибольшую эффективность валкам с глубиной отбеленного рабочего слоя 15 мм и более. Доля производства таких валков в общем объеме выпуска составляет более 65%.

В связи с тем, что более половины рассматриваемого массива валков имеют

среднюю глубину отбела 15 мм, они наиболее чувствительны к назначаемой температуре обработки, поскольку находятся на нижнем пределе области эффективного применения предлагаемого способа.

Чтобы избежать назначения неэффективных температур термической обработки, обусловленных существенной колеблемостью учитываемых параметров твердости, химсостава и глубины отбела валков, вводится в ее расчет коэффициент  $K_M$ .

Численное значение  $K_M = 20$  ед./% экспериментально установлено в результате анализа эксплуатационной стойкости более 300 термообработанных валков. Его величина ограничивает максимально допустимое значение отношения  $HSD/Ni$ , которое для данной категории валков во всех случаях должно быть равным 20 ед./%.

Для получения таких сведений по данным эксплуатации валков на стане строят график. По оси ординат откладывают значение отношения  $HSD/Ni$ , а по оси абсцисс — величину отбела рабочего слоя. На пересечении перпендикуляров, восстановленных из точек на осях с конкретными значениями отбела и отношения  $HSD/Ni$  по каждому валку, отмечают вид выхода валков из строя: по естественному износу или по выкрошканию рабочего слоя.

В результате использования такого метода устанавливают, что максимально допустимое значение  $HSD/Ni$ , при котором отсутствуют выкрошки и повышается наработка валков с глубиной отбела 15 мм, составляет 20 ед./%.

Из построенных графиков также видно, что валки с отношением  $HSD/Ni$ , равным 20, но с глубиной отбела более 10 мм, подвержены выкрошканию рабочего слоя. Для их предотвращения необходима термообработка, снижающая твердость, величину данного отношения и уровень внутренних напряжений. Температура обработки таких валков также определяется присутствием  $K_M$ . Определение температур обработки валков данного вида без учета коэффициента  $K_M$  не обеспечивает валкам стабильного повышения качества и наработки.

По предлагаемому способу термической обработки чугуновых двухслойных валков целесообразной представляется

следующая последовательность действия: из имеющегося на предприятии парка новых валков, используя паспортные сведения о твердости, средней глубине отбела и содержании никеля в рабочем слое валков, а также предлагаемую зависимость, определяют температуру нагрева для каждого валака. Валки с одинаковой ( $\pm 10^\circ C$ ) оптимальной температурой нагрева комплектуют в партии для последующей термообработки. Каждую партию валков нагревают до температуры

$$T = T_{н.с.г} + K_T \left[ \frac{HSD}{Ni} - \left( K_M - \frac{h_{ср} - h_{мин}}{K} \right) \right], \quad ^\circ C$$

и выдерживают при этой температуре 6-10 ч, в зависимости от размеров валков, а затем охлаждают с печью до  $90-100^\circ C$ . Дальнейшее охлаждение до температуры цеха проводят на воздухе.

Эффективность предлагаемого способа проводят на чугуновых двухслойных валках ЛПХНд-71 с размерами бочки  $\phi 800 \times 2000$  мм, отношением твердости рабочего слоя к содержанию никеля 20-21 ед./% и глубиной отбеленного слоя 12 - 21 мм.

Химический состав рабочего слоя, %: углерод 2,65 - 2,80; кремний 0,38 - 0,50; марганец 0,60 - 0,70; фосфор 0,46 - 0,50; сера 0,09 - 0,10; хром 0,65 - 0,72; никель 3,60 - 3,80, железо остальное.

Валки подвергают термической обработке по следующему режиму: нагрев со скоростью  $25^\circ C/ч$  до температуры

$$T_{н.с.г} + K_T \left[ \frac{HSD}{Ni} - \left( K_M - \frac{h_{ср} - h_{мин}}{K_{отб}} \right) \right], \quad ^\circ C,$$

выдержка при этой температуре в течение 8 ч, охлаждение в печи со скоростью  $15^\circ C/ч$  до  $100^\circ C$ , после чего валки охлаждают на воздухе до температуры цеха.

Для определения оптимального значения коэффициента  $K_{отб}$ , учитывающего допустимые изменения значения глубины отбела рабочего слоя  $h$  при изменении величины отношения  $HSD/Ni$ , валки до термообработки выбирают с одинаковым значением отношения  $HSD/Ni = 20$  ед./% и глубиной отбела  $h = 21$  мм, а величину  $K_{отб}$  изменя-

ют в интервале 2,7 - 3,2 мм/ед.%. Для определения влияния глубины отбела на напряженность рабочего слоя валки с примерно одинаковым соотношением HSD/Ni и HSD/0,5 Mn + Ni выбирают с глубиной отбела h = 12, 15, 18 и 21 мм.

На основании выбора данных параметров, определяют температуру нагрева каждого из валков и после термообработки сравнивают их эксплуатационную стойкость при работе в стане. Одну партию валков испытывают после обработки по известному способу.

Характеристика свойств чугуновых двухслойных валков в зависимости от режимов термообработки приведена в табл. 2.

Как видно из табл. 2, наибольшая стойкость валков при обработке по предлагаемому способу достигается при величине  $K_{отб} = 3,0$  (пример 4). Поэтому при определении температуры нагрева валков в зависимости от глубины отбела по предлагаемому выражению (примеры 7 - 10) значение  $K_{отб}$  принимают равным 3,0.

Из табл. 2 также видно, что термообработка валков по предлагаемому способу более эффективна при глубине отбела рабочего слоя больше 15 мм (примеры 9 и 10), а по известному - при глубине отбела до 15 мм включи-

тельно (примеры 11, 12 и 14). Учитывая, что большинство двухслойных валков изготавливается с глубиной отбела более 15 мм, предлагаемый способ может найти более широкое применение.

В результате использования предлагаемого способа стойкость валков, имеющих глубину отбела рабочего слоя более 15 мм, повышается на 29 - 41% (250 - 290 тыс. т прокатного металла против 194 - 205 тыс. т) и устраняются выкрошки рабочего слоя.

Согласно данным проведенных эксплуатационных испытаний предлагаемый способ в сравнении с известным обладает следующими преимуществами: стойкость валков возрастает на 29 - 41%, устраняются выкрошки рабочего слоя при глубине его отбела более 15 мм.

#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ термической обработки чугуновых двухслойных прокатных валков, включающий нагрев до температуры ниже  $A_{с4}$ , выдержку и охлаждение, с целью повышения стойкости валков с глубиной отбела рабочего слоя более 15 мм и уменьшения их выкрашивания, нагрев ведут до температуры

$$T = T_{н.с.т} + K_T \left[ \frac{HSD}{Ni} - (K_M - \frac{h_{ср} - h_{мин}}{K_{отб}}) \right]; \text{ } ^\circ\text{C}$$

где  $T_{н.с.т}$  - температура начала снижения твердости рабочего слоя двухслойных валков, 320 - 330 $^\circ\text{C}$ ;  
 $K_T$  - коэффициент, учитывающий интенсивность снижения отношения HSD/Ni при нагреве выше  $T_{н.с.т}$ , 90 - 100 $^\circ\text{C}/\text{ед}/\%$ ;  
 HSD - значение твердости рабочего слоя валка в литом состоянии по Шору, ед.;  
 Ni - содержание никеля в рабочем слое, %;  
 $K_M$  - максимально допустимое значение отношения HSD/Ni при средней гл-

слоя, равной 15 мм, 20 ед./%;  
 $h_{ср}$  - среднее фактическое значение глубины отбела рабочего слоя, мм;  
 $h_{мин}$  - минимально допустимое среднее значение глубины отбела рабочего слоя при отношении HSD/Ni - 20 ед./%, 15 мм;  
 $K_{отб}$  - коэффициент, учитывающий величину допустимого изменения глубины отбела рабочего слоя при изменении значения отношения HSD/Ni на единицу, 2,9-3,1 мм/ед./%.

Т а б л и ц а 1

Валок	Значение коэффициента $K_T$ , °C/ед./%, при отношении HSD/Ni, ед./%				
	17	18	19	20	21
ЛШХНд-70	90	92	94	96	98
ЛШХНд-71	93	95	97	98	100

Т а б л и ц а 2

Способ термообработки по примеру	Твердость рабочего слоя по Шору HSD, ед.	Отношение HSD Ni, ед./%	Отношение HSD 0,5Mn+Ni, ед./%	Средняя глубина отбела рабочего слоя $h_{cp}$ , мм	Коэффициент $K_{отб}$ , мм/ед./%	Температура нагрева $T$ , °C	Стойкость валков, тыс.т	Причина выхода из эксплуатации
1	73/64	20/17,5	18,5/16,2	21	2,7	540	262	Естественный износ
2	74/65	20/17,5	18,5/16,2	21	2,8	533	274	То же
3	72/63	20/17,7	18,4/16,1	21	2,9	525	285	"-
Предлагаемый								
4	74/66	20/17,8	18,5/16,5	21	3,0	520	298	"-
5	73/65	20/17,8	18,5/16,4	21	3,1	515	280	"-
6	72/64	20/17,7	18,4/16,4	21	3,2	507	256	"-
7	76/76	21/21	19,4/19,4	12	3,0	320	215	Выкрошка
8	76/72	21/20	19,4/18,3	15	3,0	420	227	"-
9	76/68	21/18,8	19,4/17,3	18	3,0	520	290	Естественный износ
10	76/64	21/16,8	19,4/16,3	21	3,0	620	252	То же
11	74/70	20/18,9	18,5/17,5	12	-	420	285	"-
12	74/67	21/19	19,4/17,5	12	-	495	252	"-
13	75/71	20/18,9	18,5/17,5	15	-	420	235	Выкрошка
Известный								
14	75/68	21/19	19,4/17,5	15	-	495	258	Естественный износ

Продолжение табл. 2

Способ термообработки по примеру	Твердость рабочего слоя по Вору HSD, ед.	Отношение $\frac{HSD}{Ni}$ , ед./%	Отношение $\frac{HSD}{0,5Mn+Ni}$ , ед./%	Средняя глубина отбела рабочего слоя $h_{cp}$ , мм	Коэффициент Котэ, мм/ед./%	Температура нагрева T, °C	Стойкость валков, тыс. т	Причина выхода из эксплуатации
15	76/72	20/18,9	18,5/17,5	18	-	420	195	Выкрошка
16	76/69	21/19	19,4/17,5	18	-	495	205	" "
17	76/72	20/18,9	18,5/17,5	21	-	420	183	" "
18	76/69	21/19	19,4/17,5	21	-	495	194	" "

Примечание. Слева от косой черты - значения характеристик до термической обработки, справа - после термической обработки.

Составитель Т. Бердышевская  
 Редактор Н. Яцола      Техред М. Дидык      Корректор В. Романенко

Заказ 5612/24      Тираж 545      Подписное  
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
 по делам изобретений и открытий  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4.