

Министерство образования Украины  
Донецкий государственный технический университет

На правах рукописи

Шашко Александр Я. Свлевич

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ВАЛКОВЫХ СТАЛЕЙ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Специальность 05.16.01 "Металловедение и термическая  
обработка металлов"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк - 1995

669.014

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00761463 (R)

Министерство образования Украины  
Донецкий государственный технический университет

На правах рукописи

Шашко Александр Яковлевич

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ВАЛКОВЫХ СТАЛей И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ВАЛКОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Специальность 05.16.01 "Металловедение и термическая  
обработка металлов"

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Донецк - 1995

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Донбасской государственной машиностроительной академии.

Научный руководитель - Лауреат Государственной премии Украины, доктор технических наук, профессор М.Я.Белкин

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Алимов В.И., кандидат технических наук Антонов В.В.

Ведущее предприятие - ЗАО "Ново-Крематорский машиностроительный завод" (г.Крематорск)


Защита диссертация состоится "23 ноября 1995 г., в 12 час. в аудитории 353 пятого учебного корпуса на заседании специализированного совета Д 06.04.03 при Донецком государственном техническом университете.

Адрес: 340000, Украина, г. Донецк, ул. Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в технической библиотеке Донецкого государственного технического университета.

Автореферат разослан "23 октября 1995 г.

Ученый секретарь специализированного совета Д 06.04.03, доктор технических наук, профессор

  
С.Л.Яршевская

ЛНБ ім. В. Стефанишина  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Валки холодной прокатки работают в сложных условиях нагружения, подвергается значительным контактным нагрузкам, истиранию с одновременным действием больших крутящих моментов. Повышение стойкости валков является сложной научно-технической проблемой и может быть решено только на основе комплексного подхода к проблеме.

Производство валков связано с использованием легированных сталей и весьма энергоемких технологических процессов, с большим расходом газа и электроэнергии. В условиях современной Украины это приобретает особую значимость: возникает серьезная проблема снижения энергопотребления при производстве валков.

В связи с этим является актуальной разработка новых материалов для валков холодной прокатки, реализация курса на энергосбережение за счет сокращения цикла термической обработки, обеспечение валкам комплекса высоких служебных свойств.

Работа является составной частью исследований, выполняемых по Комплексной целевой программе "Валок", утвержденной в свое время ГКНТ СССР. Работа выполнялась по плану НИР КИИ (ДГМА), проводилась со Старо-Краматорским машиностроительным заводом.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** повышение стойкости валков холодной прокатки за счет разработки и внедрения микрولهгирующей стали и регламентации целесообразных параметров макро- и микроструктуры, а также снижение энергозатрат при производстве валков путем совершенствования технологии термической обработки.

**НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** 1. Микродобавки азота и бора в валковные стальные сплавы повышает поверхностную твердость прокатных валков. При введении азота возрастает структура, состоящая из азотистого мартенсита с повышенной тетрагональностью. Такая структура обеспечивает повышенную твердость после закалки. Микродобавки бора повышают эффективность благоприятного влияния азота.

2. Предложена и экспериментально обоснована зависимость (в критериальной форме) между мощностью подводимого электрического тока  $P$ , размером между поверхностью валка и внутренней поверхностью индуктора  $a$ , диаметром валка  $d$ , скоростью перемещения индуктора  $V$  и глубиной закаленной зоны, а также поверхностной твер-

достью при закалке с индукционного нагрева непрерывно-последовательным способом; установлены числовые значения критерия  $\frac{P^2}{a \cdot d \cdot T}$  при соблюдении которых достигается максимальная поверхностная твердость и глубина закаленной зоны.

3. Предложен научный подход для выбора целесообразной про. э.к.тельности изотермической выдержки при отпуске валков. Уточнены структурные превращения, происходящие при низкотемпературном отпуске валковых хромистых сталей.

4. Предложены зависимости в виде номограмм, позволяющие выбирать целесообразные параметры технологии низкотемпературного отпуска валков холодной прокатки диаметром до 450 мм.

5. Установлена количественная оценка влияния макро- и микро-структуры на сопротивляемость валковой стали крупному разрушению, на основе чего регламентировано нормирование параметров структуры.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ.** 1. Разработаны и внедрены новые валковые стали 9ХАР ( А.с. N 990863 ) и 90ХАР, микролегированные азотом и бором. Применение этих сталей для валков позволяет увеличить стойкость валков в эксплуатации в 1,5...2 раза.

2. Внедрены критериальные подходы к выбору энерго-геометрических параметров индукционного нагрева при поверхностной закалке валков холодной прокатки. Способ выбора режима непрерывно-последовательного индукционного нагрева под поверхностную закалку защищен авторским свидетельством N 1521781.

3. Разработаны и внедрены сокращенные режимы низкотемпературного отпуска поверхностно закаленных валков холодной прокатки диаметром до 450 мм при сохранении высокого качества валков.

4. Реализована возможность увеличения сопротивления крупному разрушению валковой стали за счет контроля качества заготовок по разработанным критериям макро- и микроструктуры, что обеспечило на этой основе значительное снижение брака по трещинам.

**НА ЗАЩИТУ ВЫНОСЯТСЯ:**

- состав новой валковой стали, содержащей микродобавки азота и бора;

- энерго-геометрические параметры индукционного нагрева при поверхностной закалке валков холодной прокатки, обеспечивающие экономию электроэнергии при высоком качестве валков;

- нормы параметров макро- и микроструктуры, обеспечивающие высокое сопротивление валковой стали крупному разрушению;

- режимы низкотемпературного отпуска валков холодной про-

катки, обеспечивающие экономично энергоресурсов при сохранении высокого качества валков холодной прокатки.

**АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ.** Материалы диссертации доложены и обсуждены на IV Всесоюзном симпозиуме "Малоцикловая усталость, механика разрушения, жвучесть и материалоемкость конструкций", -г. Краснодэр, 1983 г.; Республиканской конференции по повышению надежности и долговечности машин и сооружений, г. Киев, 1982 г.; Всесоюзной научно-технической конференции "Экономия металла и энергии на основе прогрессивных процессов термической и химико-термической обработки, г. Пенза, 1984 г.; Республиканск а семинаре "Термическая обработка стали и сплавов", г. Киев, 1983 г.; Региональной (Донецкой) научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, г. Донецк, 1983 г.; научно-технических конференциях Краматорского индустриального института (1982, 1984, 1986, 1988, 1992 г.).

**ПУБЛИКАЦИИ.** Основные положения работы опубликованы в 16 научных трудах, в том числе 2 авторских свидетельствах.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов и 10 приложений, изложена на 131 странице машинописного текста, включает 35 иллюстраций, 30 таблиц и 146 наименований литературных источников.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Р<sup>о</sup> В<sup>о</sup>Д<sup>е</sup>Н<sup>е</sup>Н<sup>и</sup>И отмечено, что на территории независимой Украины функционирует небольшое число предприятий, производящих холоднокатаный тонколистовой металл. В этих условиях увеличение производства холоднокатаного тонкого листа неразрывно связано с увеличением производительности действующих прокатных стенов и стойкости основного инструмента - прокатных валков. при производстве валков возникает также серьезная проблема снижения энергопотребления.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ рассмотрены условия эксплуатации рабочих валков холодной прокатки и критерии их стойкости. В разработке вопроса повышения стойкости валков холодной прокатки большую роль сыграли работы В.П.Полухина, В.А.Николаева, М.Я.Балкина, Д.А.Бешнича, М.В.Гедвонга и др. Показано, что срок службы валков определяется в основном контактной прочностью рабочего слоя. Максимально возможная контактная прочность валков достигается при мнфроструктуре активного слоя, состоящей из бесструктурного мартенсита и мелких, равномерно распределенных карбидов. Одним из

важнейших свойств, которое определяет работоспособность и стойкость валков в эксплуатации является твердость рабочей поверхности. Вместе с тем, использование предприятиями металла с неблагоприятными параметрами макро- и микроструктуры ведет к значительному браку валков на стадиях их изготовления и снижает стойкость валков в эксплуатации. Нормы, регламентирующие макро- и микроструктуру недостаточно обоснованы и не увязаны с сопротивлением валковой стали хрупкому разрушению.

В качестве окончательной термической обработки валков холодной прокатки, как правило, применяется поверхностная индукционная закалка с нагрева ТВЧ и ТПЧ с последующим низкотемпературным отпуском. В практике работы заводов и в литературе отсутствуют достаточно надежные методики для определения целесообразных энерго-геометрических параметров режимов поверхностной закалки валков. Продолжительность отпуска валков холодной прокатки определяется расчетным путем по эмпирическим зависимостям без достаточного обоснования. Эти зависимости не учитывают температуру отпуска.

Анализ состава валковых сталей показывает, что большинство из них содержат Cr, V, W, Mo, дефицит которых на Украине и в странах СНГ постоянно возрастает. В связи с этим все больший интерес вызывает микролегирование, в частности микролегирование азотом и бором.

Таким образом анализ опубликованных данных свидетельствует об актуальности установления зависимости сопротивления валковой стали хрупкому разрушению от параметров макро- и микроструктуры, совершенствования технологии окончательной термической обработки, обеспечения сокращения энергопотребления при производстве валков холодной прокатки и изыскания новых составов сталей.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена методике экспериментальных исследований. Исследование влияния микролегирования валковой стали 9Х азотом проводили на металле лабораторных плавок. Легирование азотом проводили двумя способами; комплексной легатурой на основе цианмида кальция ( $\text{CaCN}_2$ ) или азотированным феррохромом. Микролегирование бором осуществляли ферробором. Ковку слитков опытных плавок производили по технологии, принятой для стали 9Х. После предварительной термообработки изучали механические свойства, закаляемость и прокаливаемость, склонность чугуна к росту зерна, контактную прочность.

Испытания на контактную прочность проводились на трехроликовой машине конструкции Института механики АН УССР в зоне ограниченной долговечности до появления очагов выкрашиваний.

Экспериментальные исследования оптимальных параметров технологии индукционной закалки ТВЧ проводились на прскате валковой стали 90ХФ. После температурного улучшения или нормализации с отпуском, Варировали следующими параметрами: мощностью, подводимой к индуктору (3,3...75 кВт), скоростью поступательного перемещения индуктора (140, 160 и 200 мм/мин), диаметром индуктора (60, 70 мм - для валков диаметром 50 мм, 93 и 103 мм - для валков диаметром 80 мм). Частота тока составляла 2500 Гц. После закалки и низкого отпуска исследовали поверхностную твердость, глубину закаленной зоны, сопротивление скалыванию закаленного слоя.

Сопротивление скалыванию закаленного слоя определяли на цилиндрических образцах диаметром 50 мм, толщиной 7 мм, вырезанных из валков, закаленных по разным режимам. Прошлифованные образцы подвергали цилиндрическому сжатию на машине МУП-50, оснащенной гидродатчиком усилием 250 кН. Число циклов нагружения - 600 в минуту, максимальное усилие сжатия - 160 кН, минимальное - 80 кН. Испытания проводили до появления трещины (разрушения).

Методика оценки продолжительности выдержки при низком отпуске предусматривала определение времени, необходимого для прогрева валков из сталей 30ХФ, 90ХФАР и 9ХАР диаметром 60, 80, 125, 150, 200, 320 и 450 мм по всему сечению. Использовали метод зачеканки термопар в тело валков. Нагрев выполнялся при 125, 150, 200 и 250°C.

О завершенности структурных превращений судили по изменению твердости, коэрцитивной силы, электросопротивления, ударной вязкости и ширине рентгеновского интерференционной линии. Определение этих показателей производили на образцах размером 10x10x55 мм из стали 90ХФ. Закалка проходила от температуры 860±10°C в масле. Отпуск выполнялся при 120, 150, 180, 200 и 250°C в течение 0,5; 1,5; 3,0; 6,0 и 12,0 ч. Удельное электросопротивление определяли по методу двойного моста с использованием моста Р-329. Коэрцитивную силу определяли на установке БУ-3, ударную вязкость определяли по ГОСТ 9454-78. Рентгенографические исследования проводились на дифрактометре ДРОН-0,5 в рассеянном излучении. Запись линий (011), (101)-(110) производилась в угловом интервале  $2\theta = 54...59^\circ$  по отдельным точкам с шагом 5.

С целью оценки влияния параметров микро- и микроструктур

на сопротивление хрупкому разрушению определяли вязкость разрушения  $K_{Ic}$  и скорость роста трещин. Трещины выривали при циклическом нагружении на машине МУП-50 с гидродульсатором при частоте 10 Гц и коэффициенте асимметрии цикла 0,1. Скорость роста трещин рассчитывали по уравнению Париса на ЭЭМ по специально разработанной программе.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ приведены результаты исследования влияния микродобавок азота и бора на свойства валковой стали.

Оценка твердости закаленной в масле и изокотпущенной стали позволила установить, что путем микролегирования стали 9Х азотом твердость устойчиво может быть повышена в среднем на 2,5...3,5 HRC ( в среднем на 10 ЧС ). Особенно высокую твердость (62,9 HRC) обнаружила сталь, содержащая одновременно азот и бор. Все стали, содержащие азот, обнаруживают наиболее высокую твердость после закалки от температуры 900°C, безазотистая - от температуры 850°C. Обнаруженное различие в оптимальных температурах закалки азотистых и безазотистой стали определяется необходимостью растворения нитридов (карбонитридов) в исходном аустените, с получением после закалки азотистого мартенсита.

Прокаляемость всех исследованных сталей укладывается в полосу прокаляемости стали 9Х.

Установлено увеличение контактной прочности микролегированной азотом, азотом и бором стали ( в зоне ограниченной долговечности ) в 1,3...1,5 раза.

В результате рентгеноструктурного анализа, показано повышение степени тетрагональности мартенсита стали с азотом после закалки как с 850°C, так и с 900°C. Увеличение степени тетрагональности достигнутое за счет введения в сталь 0,053% N сопоставимо с эффектом, получаемым при повышении содержания углерода на 0,2%.

Металлы всех плавов, содержащих азот, обладают несколько более высоким комплексом свойств, независимо от предварительной термообработки. Особенно высокие механические свойства обнаруживает металл, содержащий 0,063% N и 0,0020% B. После отжига на зернистый перлит  $\sigma_{0,2}$  выше на 14%,  $\delta$  - на 8...9%, KCU - 1,5% по сравнению с контрольной плавкой, не содержащей азот. Повышение механических свойств еще большей степени проявляется после улучшения. Таким образом, азот, как легирующий элемент, расширяет возможности термообработки, стабилизирует аустенит, обесп-

пятивая тем самым рост механических свойств. Высокие механические свойства стали, содержащей азот и бор, обусловлены тем, что бор обеспечивает получение нитридов, весьма устойчивых при нагреве, способствует получению мелкодисперсной структуры.

Структура азотсодержащей стали 9Х после закалки в масле представляет собой мелкоочаговый мартенсит с равномерно распределенными гартитными (карбонитридными) частицами.

Используя план Карти (На<sub>3</sub>) проведен поиск оптимального содержания Сг, N и L с учетом температуры закалки  $t_3$  и температуры отпуска  $t_0$ . Максимум контактной прочности получен при следующих параметрах: Сг -1,40%; N -0,05%; В -0,015%;  $t_3 = 875^\circ\text{C}$ ;  $t_0 = 180^\circ\text{C}$ . Максимальная твердость достигнута при содержании Сг -1,72%; N -0,11%; В -0,026% и  $t_3 = 900^\circ\text{C}$  и  $t_0 = 150^\circ\text{C}$ .

Результаты проведенного исследования послужили основанием для разработки нового состава стали, обозначенной маркой 9ХАР, состав которой защищен авторским свидетельством N 990863.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ рассмотрены результаты исследования по оптимизации параметров индукционного нагрева. Установлено, что твердость поверхностного слоя и глубина закаленной зоны хорошо коррелирует с предложенным комплексным показателем режим индук-

закалки  $f = \frac{P^2}{a \cdot d \cdot v}$  (P - мощность, подводимая к индуктору, кВт; a - зазор между деталью и индуктором, мм; d - диаметр вала, мм; v - скорость поступательного перемещения индуктора, мм/мин).

Зависимость твердости HRC от показателя f носит монотонный характер и имеет максимум при определенном значении показателя f (рис. 1). Установлены оптимальные значения показателя f, обеспечивающие максимум твердости валков, подвергнутых индукционной закалке (с последующим низким отпуском). После предварительной термообработки по режиму нормализации с отпуском оптимальное значение  $f = 0,070 \text{ кВт}^2 \cdot \text{мин}/\text{мм}^3$ , после предварительной термообработки по режиму улучшения  $f = 0,055 \text{ кВт}^2 \cdot \text{мин}/\text{мм}^3$ . Для получения максимальной твердости необходима мощность при окончательной закалке рассчитывается по формуле  $P = \sqrt{a \cdot d \cdot v}$ .

Учитывая оптимальное значение f и обозначив  $\sqrt{a \cdot d \cdot v} = k$ , установлено, что  $k_1 = 0,26$  для валков, подвергнутых нормализации с отпуском и  $k_2 = 0,23$  - для валков, подвергнутых улучшению.

Как и для случая поверхностной твердости имеет место монотонный характер изменения глубины закаленного слоя от комп-

лексного показателя  $f$  с вполне определенным числовым значением этого показателя, соответствующим максимуму глубины закаленного слоя (рис. -)

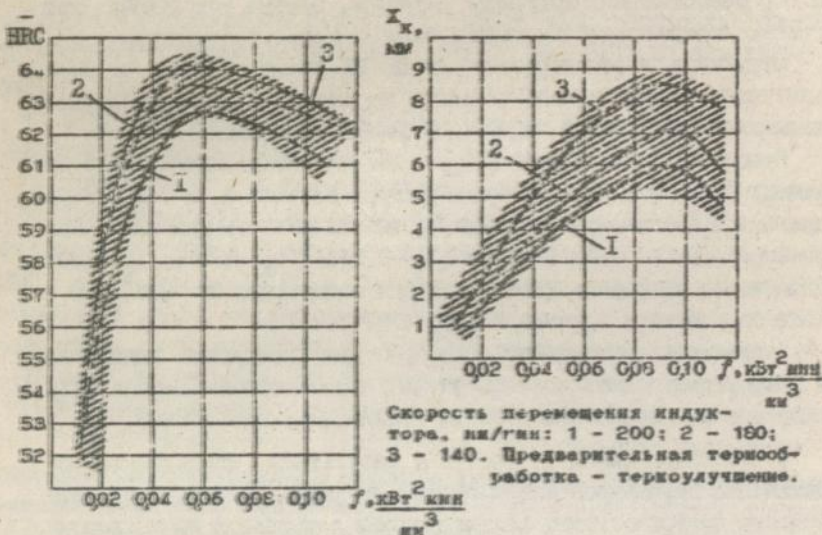


Рис. 1 Зависимость среднего значения твердости поверхности закаленных валков диаметром 50 мм от комплексного показателя режима индукционной закалки.

Рис. 2 Изменяется глубина закаленного слоя поверхности закаленных валков диаметром 50 мм в зависимости от комплексного показателя режима.

Максимум глубины закаленного слоя соответствует значениям комплексного показателя  $f_{max}$  для предварительно нормализованных валков 0,105...0,113; для предварительно термоулучшенных валков - 0,084...0,095.

Практически выбор режимов индукционной закалки для обеспечения максимальной глубины закаленного слоя  $X_k$  следует осуществлять на основании зависимости  $X_k^2 = \sqrt{f} + B\sqrt{f} + C$ . (A, B, C - коэффициенты). Для валков предварительно нормализованных  $\sqrt{f} = k_1 = 0,32$ , для валков предварительно улучшенных  $k_1 = 0,30$ .

Результаты определения долговечности образцов до разрушения поверхности характеризующей соотношение закаленных валков сколам от циклически нагруженных свидетельствуют о том что здесь место весьма широкой (по показателю  $f$ ) оптимальной области, где образцы достигают уровня неограниченной долговечности (более 1 млн. циклов). При этом указанная область охватывает значения  $f$ .

обеспечиваемые максимальную твердость и глубину закаленного слоя.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ приведены результаты определения целесообразной продолжительности изотермической отпуски.

Продолжительность выдержки при отпуске валков по базовой технологии во много раз превращает фактическое время, необходимое для прогрева валка по всему сечению, причем, чем больше диаметр валка и ниже температура отпуски, тем больше это различие. Сопоставление экспериментальных данных для валковой стали без азота и бора и стали, микролегированной этими элементами показывает, что различие во времени прогрева незначительно и находится в пределах точности эксперимента.

Уточнили, что продолжительность изотермической выдержки при отпуске складывается из времени на прогрев валка и времени для завершения структурных превращений. О последнем судили по изменению ширины рентгеновских интерференционных линий (011), (101)-(110) мартенсита, изменению электросопротивления, коэрцитивной силы и твердости.

В результате проведенных экспериментов установлено, что ширина рентгеновских линий для валковых сталей интенсивно уменьшается в течение самого начального периода изотермической выдержки, а затем, при дальнейшей выдержке, интенсивность уменьшения ширины линий снижается и спустя некоторое определенное время, в пределах 2,0...2,5 ч изменение ширины линии практически прекращается. При этом, при каждой температуре изотермической выдержки, ширина рентгеновской интерференционной линии остается постоянной и определенной величины. Это дает основание полагать, что превращение в закаленной валковой стали при отпуске развивается сначала интенсивно в течение первого периода выдержки (за 2,0...2,5 ч), а затем превращения прекращаются. Дальнейшая выдержка сверх указанного времени теряет практический смысл: никаких превращений больше не происходит. Эти данные согласуются с результатами исследований Г.В. Курдюмова для углеродистых инструментальных сталей.

Аналогично регистрируется превращение при отпуске закаленных сталей, содержащих микродобавки азота и бора о чем свидетельствуют рентгенографические исследования превращений при отпуске закаленных сталей, разработанного состава ЭКА1 и ЭОХФУ.

Удельное электрическое сопротивление закаленной стали ЭОХФ составляет в среднем 0,420 Ом·м. При выдержке при отпуске уже в

течение первых 30...40 мин происходит резкое снижение электро-сопротивления, в дальнейшем, при продолжении выдержки при данной температуре отпуск электросопротивление снижается незначительно.

Ковричная сила  $H_c$  закаленной стали 90Аб составляет 3459 А/м. После получасовой выдержки при температуре 180°C  $H_c$  снижается на 21%. Выдержка еще в течение 2,5 ч снижает  $H_c$  всего на 5%. Удлинение выдержки с 3 до 6 ч приводит к снижению  $H_c$  только на 3%, т.е. практически это изменение находится на уровне точности измерения. Такая же закономерность изменения интенсивности снижения  $H_c$  наблюдается и при других исследованных температурах.

Твердость наиболее интенсивно при всех температурах отпуска снижается в течение первых 2...3 ч, далее это снижение замедляется и в пределах точности измерения твердости можно считать неизменной эту величину. Исключение составляет температура отпуска 250°C, при которой твердость гяка вной стали снижается сильно. Но так как отпуск валков при этой температуре не производится, можно считать вполне установленным вывод о том, что после выдержки равной 2...3 ч никаких дальнейших превращений в закаленной валковой стали не происходит при температурах отпуска принятых на заводах.

Продолжительность изотермической выдержки при отпуске определена как сумма времени на прогрев: валка и 2...3 ч на завершение структурных превращений. Суммарное время отпуска, которое в действительности необходимо для проведения отпуска валков, значительно меньше, чем время  $\tau$  (в часах), исчисляемое по инструкции базового предприятия (из расчета  $\tau = 0,1D$ , где  $D$  - диаметр валка в мм). По инструкции базового предприятия  $\tau/D = 0,1$ , независимо от температуры отпуска и диаметра валка. В действительности же отношение  $\tau/D$  для валков диаметром от 60 до 450 мм снижается: с 0,054 до 0,022 при температуре отпуска 125...150°C, с 0,058 до 0,021 при температуре отпуска 180...200°C и с 0,063 до 0,026 при температуре 250...270°C.

Следовательно, продолжительность выдержки валков, рассчитанная по заводской инструкции завышена в сравнении с требуемой в 2 раза для валков диаметром 60 мм и более чем в 4 раза - для валков диаметром 450 мм, т.е. чем больше диаметр валка, тем в большей степени нуждается в корректировке технология их отпуска.

**ШЕСТАЯ ГЛАВА.** посвящена промышленному применению результатов исследований. Для промышленной проверки эффективности легирован-

ния валковых стелей азотом и бором проведены две плавки на СКМЗ и две на заводе "Днепроспецсталь". Состав выплавленных стелей приведен в табл. I.

Кляпка слитков на заготовки из стали 9ХАР (плавки N 71-894 и 64-126) а также прокатка слитков на заводе ДСС из сталей 9ХАР и 90ХАР (плавки N 102254 и 102245) производились по тем же технологическим параметрам, что и базовых сталей 9Х и 90ХФ. Технология изготовления поковок и их предварительная и окончательная термообработка производились по установившейся технологии с учетом рекомендаций, вытекающих из настоящей работы.

Из стали 9ХАР (плавки N 61-894 и 64-126) были изготовлены валки холодной прокатки, которые прошли промышленные испытания на Артемьевском заводе по обработке цветных металлов и сплавов ("Цветмет") и Ленинградском сталепрокатном заводе (ЛСПЗ). В условиях завода "Цветмет" стойкость валков в среднем в 2 раза выше, чем серийных, в условиях ЛСПЗ - в 1,5 раза. Экономический эффект от внедрения стали 9ХАР составил 35 тыс. руб. (в ценах 1985 года).

Исследования параметров технологии низкотемпературного отпуска послужили основанием для разработки "Временной технологической инструкции по выбору параметров технологии низкотемпературного отпуска поверхности закаленных валков холодной прокатки" технологическая инструкция внедрена на Ж.З. С 1990 года завод полностью перешел на технологию отпуска по разработанным рекомендациям. Это позволило повысить производительность термических печей и электромесляных ванн, получить большую экономию электроэнергии (в среднем более 800000 кВт·ч в год). В 1993 году экономический эффект составил 38,87 млн. руб. От штатн. поступления на СКМ металл. в течение года отбирали темпечу (поплавно) для изучения сопротивления хрупкому разрушению в зависимости от контролируемых параметров микроструктуры по ГОСТу 10243-75 и микроструктуры по ГОСТам 301-78 и 5950-73.

Полученные экспериментальные данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют, что с увеличением баллов критериев микроструктуры наблюдается скачкообразное снижение сопротивления хрупкому разрушению после достижения определенного значения балла данной характеристики микроструктуры.

Результаты исследования влияния параметров микроструктуры на трещиностойкость показали, что резко ухудшает сталь карбидная сетка более 3 балла, структурная полосчатость, карбидная лавкация, сульфиды и оксиды более 2 балла, микропорис-

Химический элемент	Завод, выплавивший сталь; заводской номер плавки; марка стали			
	СМКЗ		ДСС	
	61-694	64-126	102254	102245
	9ХАР		90ХАР	
Состав стали, %				
Углерод	0,89	0,93	0,91	0,85
Мanganese	0,31	0,34	0,32	0,23
Кремний	0,43	0,42	0,33	0,34
Хром	1,50	1,60	1,48	1,52
Никель	0,15	0,12	0,10	0,10
Сера	0,015	0,016	0,008	0,022
Фосфор	0,02	0,024	0,018	0,022
Медь	0,11	0,10	0,10	0,10
Алюминий	0,007	0,007	0,006	сл.
Азот	0,090	0,075	0,082	0,087
Бор	0,0020	0,0015	0,0018	0,0025
Ванадий	сл.	сл.	сл.	0,17

Таблица 2

Перметр макро-структур	Баллы ГОСТа 10234-75				
	1	2	3	4	5
	Вязкость разрушения $K_{Ic}$ , МПа $\cdot\sqrt{м}$				
Центральная пористость	152,8	143,4	52,9	52,6	52,6
Точечная неоднородность	160,4	152,7	101,8	52,6	52,3
Ликвидационный квадрат	101,3	22,1	.	.	.
Подсадочная ликвация		101,7	57,1	49,6	.

тос.ть более 3 баллы.

на основании проведенных исследований разработан и внедрен стандарт предприятия СТП 043.661.84 "Сталь для валков холодной прокатки. Методы и нормы контроля качества", предусматривающий контроль качества металла по макро- и микроструктуре.

Требования ТН 043.6Е1.84 в отношении допустимых дефектов макроструктуры и загрязненности деметаллическими включениями учтены в "Изменении N I к ТУ I4-I-35II-83 "Заготовка горячекатаная из стали электрошлаков го переплава марки 9Х1Ф-Ш (90ХФ-Ш) на опытно-промышленную партию".

Валки холодной прокатки, изготовленные из стали 90ХФ-Ш с поставкой заготовок по ТУ I4-I-35II-83 с изменением N I обслуживали в условиях эксплуатации на Ленинградском сталепрокатном заводе увеличение стойкости в 2,57 раза. При этом существенно снижился брак на СМЗ. Экономический эффект, возникший за счет повышения долговечности валков в расчете на годовую программу производства валков из стали 90ХФ-Ш для поставки на ЛСПЗ составил 23,8 тыс. руб (в ценах 1967 года).

### ВЫВОДЫ

1. Установлена целесообразность микролегирования хромистых валковых сталей азотом и бором. Под влиянием этих добавок повышается на 2,5...3,5 НРС твердость закаленной стали, значительно (в пределах до 50%) возрастает сопротивление стали контактному разрушению. Благоприятное влияние азота и бора на служебные свойства закаленной валковой стали обусловлено образованием азотистого мартенсита - структуры, обладающей более высокой, чем мартенсит без азота, тетрагональностью. Кроме того, высокая твердость закаленной хромистой стали в присутствии азота объясняется наличием нитридов.

2. Эффективность благоприятного влияния азота на свойства закаленных валковых сталей возрастает в присутствии бора. Микродобавки этого элемента способствуют измельчению зерна аустенита, получению мелкозернистого азотистого мартенсита, что уменьшает хрупкость стали.

3. Методом планирования пятифакторного эксперимента оптимизированы содержание хрома, азота и бора в стали, а также температура закалки (при объемном процессе) и температура отпуска. На этой основе разработана новая валковая сталь 9ХАР, состав которой защищен авторским свидетельством. Применение этой стали для рабочих валков холодной прокатки позволит увеличить их стойкость в эксплуатации в 1,5...2,0 раза.

4. Предложен обобщающий критерий в виде математического выражения 
$$f = \frac{P}{a \cdot d \cdot \sqrt{v}}$$
 (P - мощность, подводимая к индуктору, кВт;

$a$  - зазор между деталью и индуктором, мм;  $d$  - диаметр валька, мм;  $V$  - скорость поступательного перемещения индуктора мм/мин), который позволяет решать задачи выбора оптимальных энерго-геометрических параметров индукционного нагрева. Такая технология обеспечивает высокое качество закалки с одновременной экономией электроэнергии. Способ выбора параметров технологии защиты авторским свидетельством.

5. Проведены систематические исследования кинетики структурных превращений при низкотемпературном отпуске закаленных валковых хромистых сталей. Позволили уточнить особенности превращений на начальных этапах нагрева с учетом температур и времени выдержки и установить ее целесообразную продолжительность.

6. Экспериментально определены температурные поля нагрева при отпуске валков в диапазоне диаметров до 450 мм. Полученные данные в сочетании с результатами исследования структурных превращений, позволили разработать подходы для научно обоснованного выбора продолжительности изотермической выдержки при отпуске валков холодной прокатки. Для практического использования этих подходов предложены номограммы, которые используются на СМЗ. Использование этих данных позволило получить ежегодную экономию электроэнергии в пределах 800000 кВт·ч без снижения качества производимых валков.

7. Уточнены существующие критерии качества валковой стали с учетом сопротивления металла хрупкому разрушению, как основной причины брака заготовок (хрупкие трещины), возникающего в процессе изготовления валков. Разработаны соответствующие нормативы макро- и микроструктуры, определяющие высокое качество валковой стали.

8. Разработаны возможности увеличения сопротивления хрупкому разрушению валковой стали за счет контроля качества заготовок по разработанным критериям макро- и микроструктуры, что обеспечило на этой основе значительное снижение брака по трещинам. Нормативные материалы представлены в виде стандарта завода. Разработанный СТП 043.661.04 рекомендован всем предприятиям, ВПО "Совзеспецсталь" в качестве основы для составления технических условий на поставку металла для валков холодной прокатки.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Булкин М.Я., Ивашко Г.Я., Белкин В.М. Влияние микрооблака азота  $N$  в боре на структуру и свойства валковой стали ЭХ //

Металловедение и термическая обработка металлов. - 1987. - N 9. - С. 32-34.

2. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Харченко В.Д. и др. Влияние макро- и микроструктуры на твердость валков и стали ЭХФ. // Физико-химическая механика материалов. - 1984. - N 5. - С. 96-97.

3. Белкин М.Я., Шашко А.Я. Эксплуатационная надежность рабочих валков холодной прокатки из стали ЭХ, легированной сером и бором // Надежность и долговечность машин и сооружений. Г.п. 7. - Киев: Наук. думка, 1985. - С. 57-60.

4. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Лычева В.Н. и др. Эксплуатационные свойства рабочих валков из стали ЭХ с микродобавками азота и бора // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 1984. - N 2. - С. 29-30.

5. Повышение качества валков холодной прокатки на основе регламентации макро- и микроструктуры исходных заготовок / М.Я. Белкин, В.Д. Харченко, А.Я. Шашко и др. // Валки прокатных станков: сб. науч. работ Моск. ин-та стали и сплавов. - М.: Металлургия, 1989. - с. 24-30.

6. А.с. 990363, М. Кл.<sup>8</sup>. С 24 С 39/32. Сталь // Ч.П. Белкин, А.Я. Шашко, В.М. Белкин и др. - Бюл. N 3. - 1983.

7. А.с. 1521781, А1 С 21 В 1/42. Способ выбора режима непрерывно-последовательного индукционного нагрева под поверхностную закалку / Л. М. Белкин, М. Я. Белкин, В. Д. Харченко, А. Я. Шашко и др. - Бюл. N 42. - 1987.

8. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Лычева В.Н. Новая инструментальная сталь "ХАР" // Информ. листок Донецкого ЦНТИ N 84-72. Донецк, 1984. - 3 с.

9. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Лычева В.Н. Оптимизация режимов поверхностной закалки валков с целью повышения их твердости и экономии энергии. // Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Экономия материалов и энергии на основе прогрессивных процессов термической и химико-термической обработки". 16-18 мая, 1984г. - Полтава, М., 1984. - С. 37.

10. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Белкин В.М. Повышение надежности и долговечности валков холодной прокатки за счет праматирования сталей, легированных азотом // Тез. докл. I Респ. конф. по повышению надежности и долговечности машин и сооружений. Ч. I. Киев: Наук. думка, 1982. - С. 48-50.

11. Белкин М.Я., Качелов В.З., Белицкий В.В. Степанюк В.В. Критерии механики разрушения для выбора материалов и структур при производстве стальных валков прокатки

каччых валков // Тез. докл. IV Всес. симп. "Малоцикловая усталость механика разрушения, гнучесть и материалоемкость конструкций". 1983 г. - Краснодар, Вып. 2. - М., 1983. - С. 131.

12. Шашко А.Я., Поддубная Н.Н. Трещиностойкость как средство нормирования качества макро- и микроструктуры валковой стали // В сб. "Молодые ученые и специалисты - научно-техническому прогрессу в металлургии". Материалы 5 науч.-техн. конф., Донецк, 24-26 мая, 1983. - С. 130-132. - Дел. в УкрНИИТИ 28.05.85 № П148 ЛА-85Дел.

13. Шашко А.Я., Пуштарь М.Т. К вопросу об определении оптимальных параметров индукционной закалки валков холодной прокатки // Материалы VIII науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов НИИТМаша. - Краматорск, 1986. - С. 134-137. - Дел. в ЦНИТЭИЛжзш 18.09.86, № П744-ТМ.

14. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Белкин В.М. Исследования и промышленное освоение валков станов холодной прокатки, изготовленных из стали, легированной ванадием. /Крамат. индустр. ин-т. -Краматорск, 1982. -18 с. -Дел. в УкрНИИТИ 12.07.82, № 3674-Д82

15. Белкин М.Я., Шашко А.Я. Опыт промышленного применения ресурсосберегающей технологии низкотемпературного отпуска прокатных валков / Крамат. индустр. ин-т. - Краматорск, 1994. -15 с. -Дел. в ГНТБ Украины 07.06.94, № ПС3-Ук94.

16. Белкин М.Я., Шашко А.Я., Брусилковский Б.А. О природе влияния микродобавок азота в валковые стали на стойкость рабочих валков / Д.С.бас. гос. машиностроит. академия -Краматорск, 1995. - 6 с. - Дел. в ГНТБ Украины 10.06.95, № П098-Ук95.

\* \* \*

Шашко Олександр Якович. Розробка складу валкових сталей та удосконалення ресурсоберегачої технології остаточної термічної обробки робочих валків холодної прокатки.

Дисертація щодоashiуку вченого ступеня кандидата технічних наук з фахом 05.16.01 - металознавство та термічна обробка металів. Донецький державний технічний університет, Донецьк, 1995.

Захистється 14 наукових робіт та 2 авторських свідчення. Встановлена доцільність микродобавок азоту та бору в валкові хромісті сталі для підвищення поверхневої твердості прокатних валків. Виявлена підвищена тетрагональність азотованого мартенситу.

Встановлена кількісна оцінка впливу макро- та мікроструктури на опір валкової сталі крихкому руйнуванню, на підставі чого регламентовано параметри структури.

Запропоновані та експериментально обґрунтовані залежності між потужністю електричного струму, взаємом між поверхнею валка та індуктором, діаметром валка, швидкістю руху індуктора та глибиною загартованої зони (поверхневою твердістю) при гартовці з індукційного нагріву.

Запропоновані номограми для вибору параметрів технології низькотемпературного відпуску валків діаметром до 450 мм.

Ключові слова: сталь, ваги холодної прокатки, термічна обробка, азот, економія енергоресурсів, в'язкість руйнування.

\* \* \*

Shashko Alexander Yakovlevich. Working out of roll steel composition and improvement of saving resources technology for final heat of cold rolls.

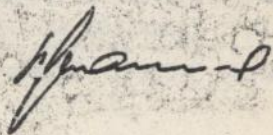
The thesis for the Master's degree in Technical Science, speciality 05.16.01 - Metal Science and Heat Treatment of Metals. Donetsk State Technical University, Donetsk, 1995.

14 scientific works and 2 author's certificates are submitted to the defence of the thesis.

The expediency of microadditives of nitrogen and boron into roll chromium steel for increasing the surface hardness of rolls is ascertained. The increased tetragonment of the F-C-N-martensite is found out.

Dependencies in the form of nomographs permitting to choose the parameters of the low temperature tempering technology of cold rolls with diameter to 450 mm are offered.

The quantitative appraisal of macro- and microstructure influence upon the roll steel resistance to brittle failure is determined. Setting of structure parameters is regulated on this basis.



---

Пздп. в печать 13.10.95 г. Формат - 60x84/32. Бумага типографская.  
Усл.л.ч.л. 0,7. Тираж 100 экз. Заказ № 430

---

Гатспринт ДГМА. 343913, г.Краматорск, ул.Шкадинава, 76



AB 33.247  
**AB 33.247**