

УДК 621.771

**С.М. Горбатюк, профессор, д-р техн. наук,**

**А.В. Кочанов, ассистент,**

**А.Ю. Зарапин, профессор, д-р техн. наук**

*Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,*

*Ленинский проспект, 4, г. Москва, Россия, 119049*

*sgor02@mail.ru*

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ**

*Для упрочнения прокатных валков предложено использовать метод обкатки твердосплавными роликами, который позволит восстановить эксплуатационные свойства валка, повысить его стойкость и исключить недостатки, присущие используемых в настоящее время способам упрочнения. Применение данного метода позволяет сократить длительность процесса упрочнения в 3 раза и снизить затраты материальных средств на 11% по сравнению с термической обработкой. Для реализации данного метода разработана типовая конструкция накатного приспособления.*

**Ключевые слова:** *способ, упрочнение, прокатный валок, поверхностное пластическое деформирование, обкатка твердосплавными роликами, устройство.*

**Введение.** Рабочим инструментом любого прокатного стана являются валки, которые в процессе прокатки деформируют заготовку, придают ей требуемые размеры и форму, одновременно улучшая структуру и свойства обрабатываемого металла, воспринимают нагрузки, возникающие при пластической деформации. Именно поэтому для обеспечения высоких производительности прокатных станов и качества получаемой продукции валки должны обладать высокими прочностью, износостойкостью и долговечностью.

**Целью статьи** является изложение предложенного авторами способа упрочнения поверхности прокатных валков и описание устройства для его реализации.

**Основное содержание работы.** В настоящее время основным способом упрочнения прокатных валков является термическая обработка, включающая индукционный нагрев под закалку токами с частотой 100-950 Гц, охлаждение и отпуск валка [1]. Существенным недостатком данного способа являются высокая длительность и трудоёмкость термической обработки валков, а также недостаточная глубина и твердость упрочненного слоя [2]. Кроме того, при термической обработке валка существует возможность получения на его поверхности неоднородной структуры мартенсита с включениями бейнита, что приводит к быстрой выработке профиля валка при его эксплуатации.

Известен также способ поверхностного упрочнения валков, включающий обработку поверхности сжатой сканирующей дугой прямого действия в аргоне [2]. Существенными минусами этого метода является недостаточная глубина и повышенная хрупкость упрочненного слоя, а также высокая трудоёмкость и необходимость в приобретении специального дорогостоящего оборудования.

Поэтому целью данного исследования стал поиск способа поверхностного упрочнения прокатных валков, который позволит снизить длительность, стоимость и трудоёмкость процесса упрочнения и повысить эксплуатационные свойства валка, а также разработка конструкции устройства для реализации данной задачи.

Поверхностное упрочнение прокатных валков можно обеспечить одним из методов поверхностного пластического деформирования (ППД). В работах Браславского В.М., Балтер М.А., Кудрявцева И.В., Папшева Д.Д., Проскуракова Ю.Г., Школьника Л.М., Шнейдера Ю.Г. и других ученых показано, что использование методов ППД дает возможность значительно повысить эксплуатационные характеристики обрабатываемых деталей. ППД уменьшает шероховатость, увеличивает усталостную прочность, контактную выносливость, износостойкость и тем самым повышает долговечность обрабатываемых деталей [3–6].

ППД может осуществляться различными способами: дробеструйным и центробежным способами, обкаткой роликами, чеканкой ударниками и т. д. При этом наиболее эффективным методом является обкатка твердосплавными роликами [7]. Именно этот способ предлагается использовать для упрочнения прокатных валков. Причём, данный метод обработки валков наиболее рационально использовать при их ремонте, когда поверхностная твердость валка вследствие его износа приближается к минимально допустимой величине. Обеспечивая достижение малой шероховатости, обкатка позволит восстановить активный слой валка, ослабленный и повреждённый в процессе прокатки.

Существенное повышение поверхностной твёрдости при обкатке закалённых сталей с мартенситно-аустенитной структурой (при восстановлении валков) вызвано двумя процессами:

пластическая деформация материала валка и структурные превращения в поверхностном слое обрабатываемой детали.

Первый процесс является основной причиной упрочнения при ППД. Большую роль в этом процессе играют искажения кристаллической решетки материала валка. В них под действием напряжений от рабочего усилия обкатки возникает пластическая деформация, которая вследствие своего сдвигового характера распространяется по определенным кристаллографическим плоскостям и направлениям. Внутри зерен происходит интенсивное образование и движение дислокаций и точечных дефектов, плотность которых в наклёпанном слое увеличивается. Движущиеся дислокации, встречаясь с препятствиями, блокируются, т.е. происходит их закрепление. Кроме того, при пластической деформации происходит раздробление кристаллов на фрагменты и блоки с большими искажениями кристаллической решетки на их границах, которые служат препятствиями для сдвиговой деформации.

В результате деформирования поверхностного слоя металла и работы сил трения образуется теплота, которая нагревает обрабатываемую заготовку. Этот процесс характеризуется мгновенным локальным нагревом (при интенсивных режимах обкатки до 300-400 °С) и быстрым отводом теплоты внутрь заготовки. В результате, в деформированном слое наблюдается дополнительное повышение твердости, связанное с распадом остаточного аустенита и его превращением в мартенсит.

Высокая эффективность поверхностного наклепа также объясняется благоприятной ролью остаточных напряжений сжатия, возникающих при пластической деформации поверхностного слоя. Предел выносливости обрабатываемых деталей повышается в результате поверхностного наклепа на 25-40 %, что резко отражается на стойкости и долговечности обрабатываемой детали [8].

Технологическая сложность процесса упрочнения прокатных валков методом обкатки определяется необходимостью применения больших рабочих усилий. Основными факторами, влияющими на величину необходимого для поверхностного наклепа усилия, являются механические свойства материала обрабатываемой детали, а также размер контактной площадки инструмента с этой деталью (очага деформации). Следовательно, с увеличением диаметра валка будет возрастать и рабочее усилие, необходимое для обеспечения требуемой степени пластической деформации. На основании этого, изготавливать накатное приспособление для обкатки всех диаметров валков нецелесообразно ввиду резкого увеличения габаритов и массы, а также конструктивной и эксплуатационной сложности данного устройства. Наиболее оптимальной представляется разработка типовой конструкции приспособления для определённого интервала размеров валков, которое после модернизации можно применить для других диапазонов диаметров. Для уменьшения трудоёмкости процесса упрочнения и снижения стоимости изготавливаемого оборудования накатное устройство целесообразно выполнить в виде оснастки для вальцетокарных станков, используемых в прокатных цехах.

Для определения усилия  $F_{\text{раб}}$ , обеспечивающего процесс упрочнения поверхности валка, удобно использовать номограмму зависимости усилия обкатки  $F$  от геометрических размеров детали и ролика (рисунок 1) [9].

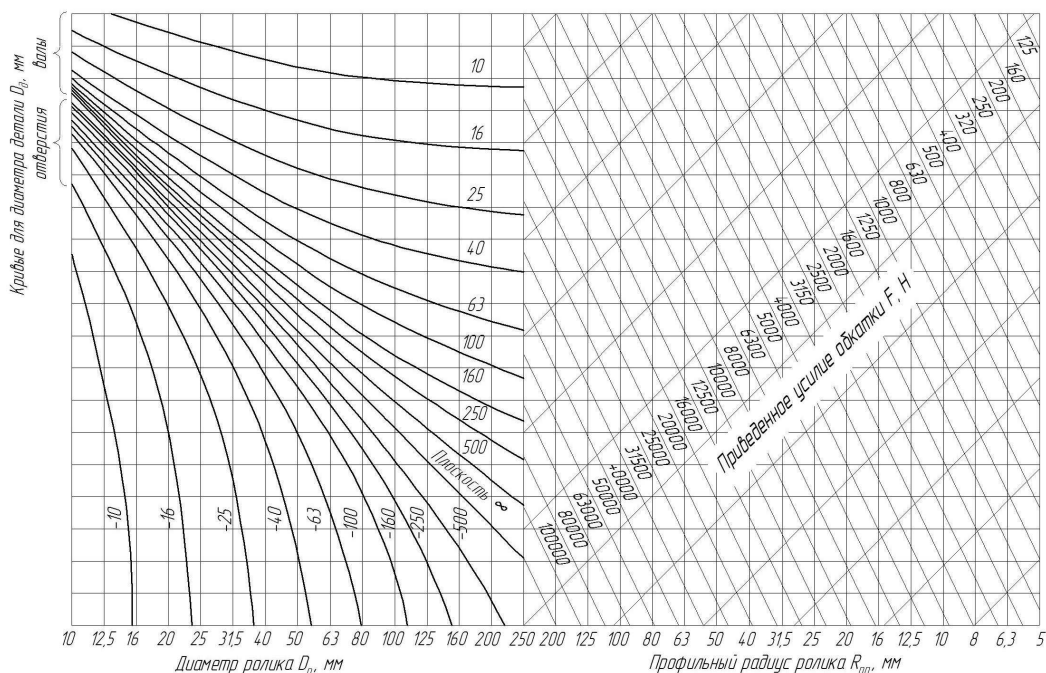


Рисунок 1 – Номограмма для определения усилия обкатки в зависимости от геометрических размеров детали и ролика

Для ввода в расчёт механических свойств материала валка определённое по номограмме приведённое усилие необходимо пересчитать по формуле [9]:

$$F_{\text{раб}} = k \cdot F$$

где  $k$  – коэффициент, определяемый по эмпирической зависимости:

$$k = 0,01(HB - 40)$$

Обкатку валка необходимо проводить на минимальных скоростях. При этом время действия деформирующих напряжений на каждую точку поверхности валка увеличится. Пластическая деформация в этом случае будет протекать в большем объеме металла, и, как следствие, глубина упрочненного слоя повысится. Скорость смещения роликов вдоль оси валка необходимо принять такой, чтобы обеспечить перекрытие винтовых канавок, образующихся на поверхности валка в результате пластической деформации материала накатными роликами, и тем самым снизить волнистость поверхности обрабатываемой детали.

Использование данного метода упрочнения прокатных валков позволяет исключить из технологического цикла ремонта валков ряд длительных и дорогостоящих операций, таких как высокий отпуск закалённого слоя, электрозакалку ТВЧ, низкотемпературный отпуск, в результате чего длительность процесса упрочнения снижается в 3 раза. После оценки технико-экономических показателей был сделан вывод, что применение обкатки валков твердосплавными роликами вместо традиционной повторной закалки позволяет снизить материальные затраты на электроэнергию в 3,5 раза. В результате, расходы на восстановление одного валка снижаются на 11%.

В ходе работы была разработана типовая конструкция устройства для реализации метода обкатки при упрочнении прокатных валков (рисунок 2). В качестве основной обрабатываемой детали были выбраны рабочие валки однокатьевого стана холодной прокатки «Кварто 800». Диаметр бочки валка – 265 мм, длина бочки – 800 мм [10].

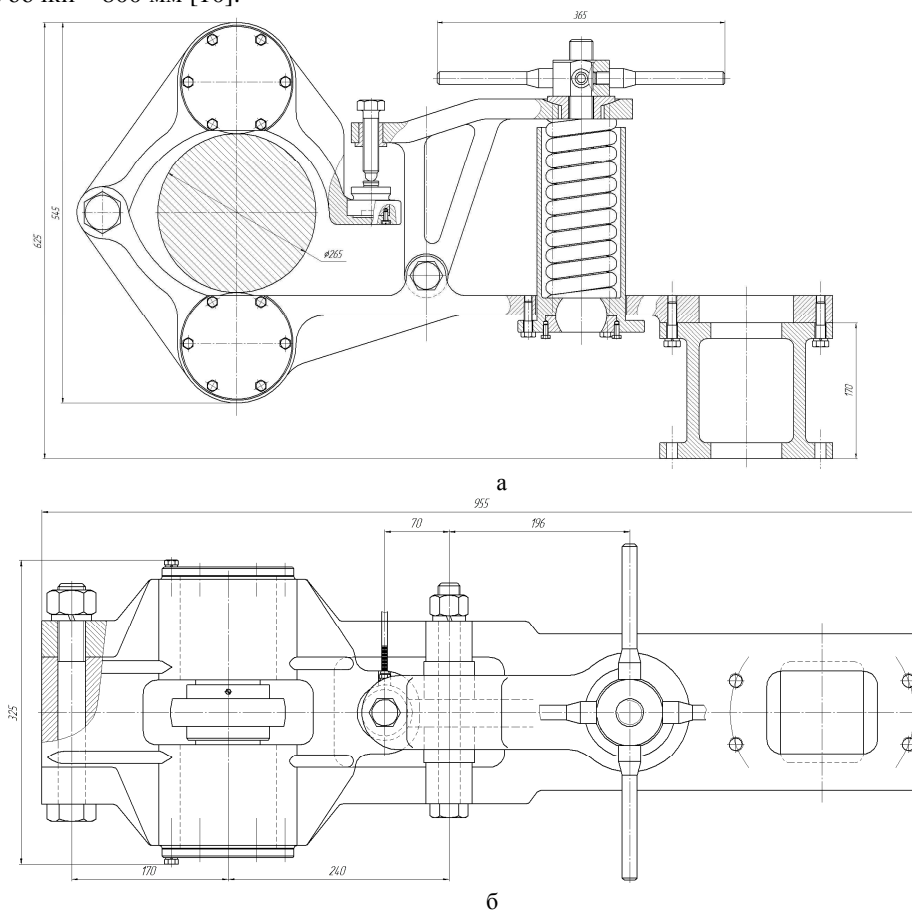


Рисунок 2 – Устройство для обкатки валков диаметром от 193 до 265 мм: а - главный вид, б - вид сверху

Для обеспечения минимальных габаритных размеров и массы устройства, а также получения качественной поверхности валка при упрочнении, наиболее оптимальной является двухроликовая схема обкатки с диаметрально противоположным расположением деформирующих элементов. Для уменьшения шероховатости, получаемой на поверхности валка, в конструкции устройства применяются

ролики кругового профиля диаметром 125 мм и профильным радиусом 58 мм. Материал роликов – сплав ВК8 (87 HRC).

Рабочее усилие обкатки составляет 81 кН. В качестве силового элемента в устройстве применена винтовая пружина сжатия. С целью уменьшения усилия затяжки пружины и её размеров конструктивная схема устройства выполнена в виде двухрычажной системы, которая позволяет снизить сжимающую силу упругого элемента в 5,6 раза. Для контроля рабочего усилия, создаваемого пружиной, в лапе верхнего сектора установлен тензометрический датчик.

Разработанное устройство позволяет обкатывать прокатные валки в диапазоне диаметров от 265 до 193 мм, что предоставляет возможность обработки при помощи данного приспособления не только рабочих валков стана «Кварто 800», но и других валков, попадающих в данный интервал размеров. Данная техническое решение достигается за счёт того, что стакан подшипникового узла выполнен с эксцентриситетом 2 мм, что позволяет обкатывать валки в диапазоне диаметров 8 мм на одном типоразмере роликов. Кроме того, для устройства предусмотрены 10 типоразмеров роликов диаметром от 125 до 197 мм. При этом за счёт увеличения диаметра ролика при уменьшении размера валка необходимое усилие обкатки остаётся постоянным.

Обкатка производится на универсальном токарно-винторезном станке 165. Устройство устанавливается на каретке станка, что требует предварительного снятия суппорта. Обработка валка проводится на минимальных оборотах станка – 5 об./мин. Скорость смещения продольной подачи устройства принята равной 2,04 мм/об. При таких скоростных параметрах и геометрических размерах ролика после обкатки высота неровностей поверхности валка составит 2,2 мкм.

После предварительной оценки глубина упрочнённого слоя валка при таком режиме обкатки составит 2,62 мм. Для более точного определения глубины упрочнённого слоя с учётом всех технологических факторов необходимо провести математическое моделирование процесса обкатки.

**Выводы.** Для упрочнения поверхности прокатных валков был предложен один из методов поверхностного пластического деформирования - обкатка твердосплавными роликами. Данный способ позволяет повысить стойкость валков и снизить затраты времени на процесс упрочнения в 3 раза и материальных средств на 11 %. Для реализации предложенного способа была спроектирована типовая конструкция накатного приспособления для упрочнения валков диаметром от 193 до 265 мм.

**Перспективы дальнейших исследований в данной области.** В дальнейшем предполагается провести математическое моделирование процесса упрочнения прокатных валков предложенным методом с целью разработки технологического режима упрочнения и более точного определения глубины наклёпанного слоя с учётом всех технологических факторов.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Пат. 2163644, РФ МПК C21D9/38, C21D1/10. Способ термической обработки прокатных валков / Ветер В.В.; Лихачев Г.В.; Белкин Г.А.; Самойлов М.И. – № 99127162/02; заявл. 29.12.1999; опубл. 27.02.2001.
2. Пат. 2398892, РФ МПК C21D1/09. Способ поверхностного упрочнения прокатных валков / Юрьев А.Б.; Мухатдинов Н.Х.; Козырев Н.А.; Закаулов Е.Г.; Мезенцев А.В.; Корнева Л.В. — № 2009133555/02; заявл. 07.09.2009; опубл. 10.09.2010.
3. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев – М.: Машиностроение, 1978. — 152 с.
4. Benamar A. Galetage d'un acier inoxydable / A.Benamar, J.Lu, J.-F.Flavenot, G.Chalant. // CETIM-information, Senlis, France. — 1991. — № 124. — P. 49 – 54.
5. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М. Смелянский. — М.: Машиностроение, 2002. — 300 с.
6. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами / В.М. Браславский — М.: Машиностроение, 1975. — 160 с.
7. Gorbatyuk S.M. Method and equipment for mechanically strengthening the surface of rolling-mill rolls / S.M. Gorbatyuk, A.V. Kochanov // Metallurgist. — Jul, 2012. — № 3–4 (56). — P. 279–283.
8. Самойлов С.И. Технология тяжёлого машиностроения / С.И. Самойлов, В.М. Горелов, В.М. Браславский. — М.: Машиностроение, 1967. — 596 с.
9. Малов А.Н. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 1. / А.Н. Малов — М.: Машиностроение, 1973. — 695 с.
10. Третьяков А.В. Валки обжимных, сортовых и листовых станов: Справочник. / А.В. Третьяков — М.: Интернет инжиниринг, 1999. — 79 с.

*Поступила в редакцию 23.11.2013 г.*

**Горбатюк С.М., Кочанов А.В., Зарапін А.Ю. Пристрій для механічного зміцнення поверхні прокатних валків**

Для зміцнення прокатних валків запропоновано використовувати метод обкатки твердосплавними роликками, який дозволить відновити експлуатаційні властивості валка, підвищити його стійкість і виключити недоліки, властиві використовуються в даний час способам зміцнення. Застосування даного методу дозволяє скоротити тривалість процесу зміцнення в 3 рази і знизилася витрати матеріальних засобів на 11% порівняно з термічною обробкою. Для реалізації даного методу розроблена типова конструкція накатного пристосування.

**Ключові слова:** спосіб, зміцнення, прокатний валок, поверхнєве пластичне деформування, обкатка твердосплавними роликками, пристрій.

**Gorbatyuk S.M., Kochanov A.V., Zarapin A.Yu. Device for forming rolls surface strengthening**

The method of rolling with hard-alloyed rolls was suggested for forming roll strengthening. This process allows to recover service characteristics of rolls, increase its durability and eliminate demerits, which are typical for present time using methods of strengthening. Implementation of rolling with hard-alloyed rolls, compared to heat treatment, allows to reduce duration of strengthening process in 3 times and commercial expenses on 11%. The typical construction of device for realization of this method is developed.

**Keywords:** method, strengthening, forming roll, surface plastic deformation, rolling with hard-alloyed rolls, device.