

## Современные тенденции в изготовлении и эксплуатации прокатных валков

*В условиях металлургического предприятия при повышении требований к качественным показателям проката решающее значение имеет качество прокатных валков и оптимальные условия их эксплуатации. На ММК им. Ильича, входящем в Группу Метинвест, ЦЛМК, в течение 2003-2011 гг. внедрились ряд технологических мероприятий, обеспечивших повышение стойкости чугунных рабочих валков горячей прокатки.*

**Ключевые слова:** центробежно-литые чугунные валки, прокатная клеть, износостойкость, чугун, отбеленный слой чугунного литья, мартенситно-бейнитная структура

### Состояние вопроса на ММК им. Ильича

**Р**асход прокатных валков в мире постоянно растет и превысил уровень более одного млн. т в год. На 1 млн. т готового проката производитель затрачивает фактически около 1 тыс. т. рабочих и опорных валков. Постоянно увеличивается перечень предприятий, потенциально готовых производить валки. На первое место выходят технологические возможности и опыт производителя. При применении прокатных валков потребители первостепенное значение уделяют таким факторам, как соответствие их принятым на предприятии технологическим схемам прокатки, износостойкость и низкая удельная стоимость [1].

В настоящее время на Мариупольском металлургическом комбинате им. Ильича применяется широкий спектр рабочих валков различных типоразмеров. Это центробежно-литые чугунные рабочие клетки № 5-10, 4 и 4а с диаметрами 675, 705 и 880 мм для ЛПЦ-1700, рабочие чугунные стационарно-литые валки диаметром 1000 мм для ЛПЦ-3000.

На ММК им. Ильича используются валки фактически двух украинских производителей: стальные кованые валки Новокраматорского машиностроительного завода (НКМЗ) и чугунные литые валки Лутугинского государственного научно-производственного валкового комбината (ЛГНПВК). В ЛПЦ-3000 частично применяются также импортные литые опорные валки фирмы Gontermann-Reipers GmbH (Германия) и кованые опорные фирмы LHF (США). В 2007 г. в ЛПЦ-1700 испытаны центробежно-литые валки Кушвинского завода прокатных валков (КЗПВ; г. Кушва, Россия), показавшие заметно худшие результаты по сравнению с валками производства ЛГНПВК. Однако для мониторинга качества листопрокатных валков ММК и впредь будет стремиться приобретать опытные партии валков импортного производства.

По некоторым позициям износостойкость прокатных валков на ММК им. Ильича находится на уровне передовых зарубежных предприятий и превосходит их, по другим позициям имеются объективные проблемы, препятствующие росту. Прежде всего, это сложные условия эксплуатации прокатных валков на НШС-1700 ГП – как в черновой, так и в чистовой группах клетей.

Решения требуют вопросы обеспечения приемлемого температурного баланса при работе валков в чистовых клетях НШС 1700 ГП, увеличения контактно-усталостной выносливости материала опорных валков. Требуется введение в практику постоянного мониторинга качественных параметров работающих валков, таких как температура, твердость, заданный и фактический профиль.

Применение новых валковых материалов и внедрение передовых технологий их производства, обеспечивающих необходимую твердость и структуру металла чугунных рабочих валков, наряду с совершенствованием технологического прокатного оборудования и внедрением автоматизированных средств контроля и диагностики являются самым передовым средством роста качества готового проката [2].

На примере непрерывного широкополосного стана 1700 горячей прокатки ММК им. Ильича можно проследить тот факт, что для обеспечения качественных показателей проката, кроме высоких требований к качеству металла, основными являются и вопросы качества применяемых валков. Правильное понимание основных влияющих факторов на стойкость валков при их эксплуатации позволяет увеличить безаварийный период их работы и снизить эксплуатационные расходы на сменное оборудование.

### Основные требования к рабочим валкам НШС

Рабочие валки широкополосных станов горячей прокатки должны иметь следующие эксплуатационные показатели:

- высокая износостойкость (для предотвращения изменения профиля проката в зоне деформации);
- незначительная склонность к образованию сетки разгара (для предотвращения приваривания полосы к поверхности валка);
- высокая устойчивость к выкрашиванию, особенно при больших и неравномерно распределенных усилиях прокатки;
- высокая механическая прочность;
- небольшие остаточные напряжения;
- качественное соединение рабочего слоя и сердцевины (для предотвращения образования трещин и их развития);

– соответствующие свойства шейки и сердцевины бочки рабочего валка (для передачи изгибающих и скручивающих нагрузок, для чего сердцевину и шейки изготавливают из серого чугуна и чугуна с шаровидным графитом);

– высокая эрозионная стойкость шейки валка при контакте с кольцом подшипника.

Определяющим для качества конечного проката является качественный уровень подката, получаемого в черновых клетях широкополосных непрерывных станов [3].

Для рабочих валков первых чистовых клетей особое значение имеет срок службы бочки валка. Свойства материала бочки валка должны быть хорошо согласованы с производственными условиями и охлаждением валков для предотвращения отслаивания оксидной пленки. Коэффициент трения между рабочим валком и полосой рекомендуется поддерживать в нижних пределах для уменьшения усилия прокатки и предотвращения вибрации полосы.

Тенденция применения высококачественных рабочих валков склоняется к применению биметаллического или двухслойного литья.

Первоначально двухслойные прокатные валки производились при помощи статического метода литья. Суть данного метода состоит в том, что сначала в вертикально смонтированную литейную форму заливают жидкий металл бочки с максимальной возможной скоростью, чтобы он при тангенциальном поступлении в форму пришел во вращение и заполнил ее чуть выше края бочки. Затем литейный ковш с металлом для оси устанавливают над литейной воронкой и доливают небольшими порциями, чтобы металл в разливочной трубе оставался жидким. В это время начинается кристаллизация металла рабочего слоя. Когда остывающий слой бочки достигает желаемой толщины, металл для оси доливают в рассчитанной временно-весовой последовательности, чтобы сначала в нижней части цапфы, а потом во внутренней части бочки жидкий металл рабочего слоя вытеснялся вверх и вытекал через горизонтальный литник. После этого литник замуровывают огнеупорами, а форму верхней цапфы заливают металлом для формирования верхней шейки.

Следующим шагом на пути развития и совершенствования технологии литья следует считать метод центробежного литья, отличающийся от предыдущего, стационарного, более высокой производительностью оборудования, качеством готовых изделий и более низкими экономическими затратами, прежде всего за счет снижения уровня брака при производстве.

Впервые на Украине и в странах СНГ вертикальный метод центробежного литья был реализован на Лутугинском заводе прокатных валков (ЛЗПВ) на центробежной литейной машине с вертикальной осью вращения, разработанной НТП «Новые машины и технологии» (НМИТ, Днепропетровск). Технология отливки листопркатных валков также была разработана сотрудниками НМИТ при непосредственном участии технических специалистов ЛЗПВ.

ММК им. Ильича стал первым предприятием

Украины, внедрившим продукцию ЛЗПВ на своем широкополосном и толстолистовом станах.

До 2000 г. в черновой группе клетей (№ 4 и 4а) непрерывного широкополосного стана горячей прокатки 1700 традиционно использовали стационарно-литые валки (диаметром бочки 880 мм, исполнения ЛПХНд-63), средняя наработка которых равнялась 560 тыс. т на валок. С 2000 г. ЛГНПВК совместно с НТП «НМИТ» освоили производство центробежно-литых валков с рабочим слоем из высокохромистого чугуна (рис 1). Данные валки полностью удовлет-

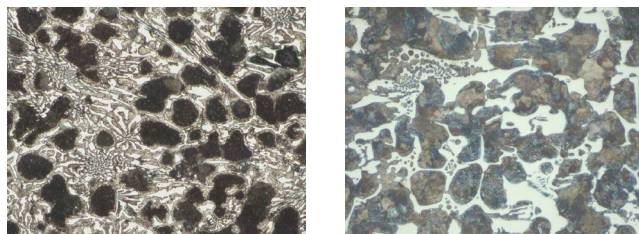


Рис. 1. Микроструктура валков с размером бочки 880×1800 мм: а – с рабочим слоем из индефинитного чугуна; б – с рабочим слоем из высокохромистого чугуна, травленая; ×100

воряют основным требованиям к рабочим валкам клетей № 4, 4а, и обеспечивают повышенную термостойкость, а также стойкость при повышенных обжатах в ходе прокатки металла «транзитом». Внедрение валков исполнением ЛПХ17НМдц-63 с высоким содержанием Cr (до 17 %) при стандартном уровне C, Mn, Si, Ni обеспечило наработку в 2-3 раза выше, чем на ранее применявшихся кованных стальных и чугунных стационарно-литых валках, – до 1500 тыс. т.

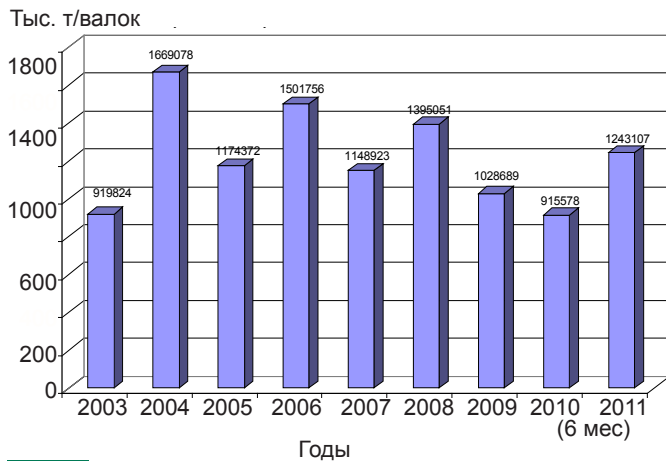
На рис. 1 приведены микроструктуры стационарно-литых валков 880×1800 мм из отбеленного чугуна исполнения ЛПХНд-63, которые заменили центробежно-литыми высокохромистыми валками.

Увеличение стойкости высокохромистых валков связано с получением более мелкой структуры чугуна, наличием специальных карбидов на базе  $Cr_7C_3$  вместо эвтектического цементита, обладающего меньшей твердостью, а также образованием более твердых продуктов распада аустенита как в литом, так и в термообработанном состоянии. Металлическая матрица высокохромистых марок чугуна представлена бейнитом либо трооститом отпуска, упрочненным дисперсными вторичными специальными карбидами типа  $Cr_7C_3$  и  $Cr_{23}C_6$ . Ее средняя твердость составляет 450 HV. В хромоникелевых валках исполнения ЛПХНд-63 твердость трооститной матрицы не превышает 350 HV.

На рис. 2 приведена стойкость высокохромистых валков размером 880×1800 мм с 2003 по 2011 г.

Из представленной диаграммы видно, что в 2009-2010 гг. стойкость валков исполнения ЛПХ17НМдц-63 несколько снизилась. Это связано с переходом ММК им. Ильича на прокат листа из труднодеформируемых марок стали. Основные же причины снижения стойкости и выхода валков из строя – это несовершенная система охлаждения стана и износ шеек валков в местах установки опорных подшипников.

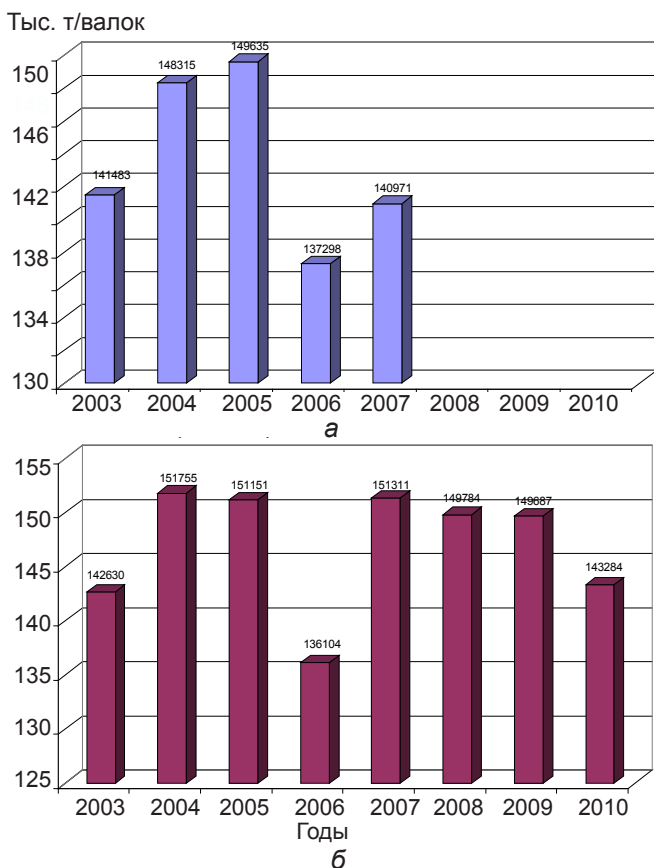
В предчистовой группе клетей (№ 5-7) НШС-1700ГП эксплуатируются валки с диаметром бочки



**Рис. 2.** Средний прокат центробежно-литых валков 880×1800 мм, исполнения ЛПХНдц-63; тыс. т на валок

670 мм и длиной бочки 1800 мм. Традиционно в этих клетях использовались лугунские стационарно-литые валки исполнения ЛПХНд-71. Начиная с 2002 г. в ЛПЦ-1700 в чистовой группе клетей применены двухслойные центробежно-литые валки исполнения ЛПХНдц-71 производства ЛГНПВК. Эксплуатационные характеристики стационарно-литых и центробежно-литых чугуновых рабочих валков диаметром 670 мм за 2003-2010 гг. приведены на рис. 3.

К рабочим валкам в последних клетях чистовой группы в основном предъявляются следующие требования: малый коэффициент трения между валком и полосой, который достигается путем подбора материала и режима термической обработки валка, что позволяет уменьшить усилия прокатки и ограни-



**Рис. 3.** Средний прокат валков 670×1800 мм: а – стационарно-литых, исполнения ЛПХНд-71; б – центробежно-литых, исполнения ЛПХНдц-71; тыс. тонн на валок

чивает влияние шероховатости полосы; отсутствие склонности к налипанию, особенно в последней клетке, что достигается также выбором материала и режима термической обработки; малая шероховатость бочки, что обеспечивается формированием и распределением карбидов в микроструктуре и контролем над образованием оксидов на поверхности (при этом учитываются низкие температуры в последних клетях); высокое сопротивление образованию усталостных трещин, языкообразных спиралевидных трещин и отслаиваний, чтобы минимизировать повреждения валка в аварийных ситуациях.

В связи с особыми условиями в последней клетке чистовой группы в них работают двухслойные валки из чугуна повышенного отбела (*indefinite-chill*). Наибольший интерес представляют более износостойкие материалы, но выпускаемые в настоящее время валки из быстрорежущей стали имеют склонность к образованию усталостных трещин, отслоений и другие недостатки, а также высокую стоимость.

В 90-х годах были начаты работы по усовершенствованию классических индефинитных составных (ICDP) валков путем легирования металла их рабочего слоя Nb, V и W. Эти элементы способствуют формированию твердых и износостойких специальных карбидов (преимущественно фазы MC) в рабочем слое. Стойкость валков нового поколения увеличилась на 15-50 % по сравнению с классическими.

После реконструкции чистовых клетей (№ 8-10) НШС-1700ГП фирмой «Клесим» перед ЛГНПВК встала задача освоить производство валков с размером бочки 705×2000 мм, не уступающих по качеству дорогостоящим валкам импортного производства (фирмы «Юзенор»). Ответом на поставленную задачу стал выпуск ЛГНПВК совместно с НТП «Новые машины и технологии» валков в исполнениях ЛПХНд-73 и ЛПХНМдц-73.

Эксплуатационные характеристики стационарно-литых и центробежно-литых чугуновых рабочих валков диаметром 705 мм за 2003-2010 гг. приведены на рис. 4.

Из приведенных диаграмм следует, что для чистовой группы клетей стана 1700ГП средняя наработка у центробежно-литых валков на 5 % выше по сравнению со стационарно-литыми. Данный факт, наряду с более низкой стоимостью центробежно-литых валков, привел к тому, что с 2008 г. в чистовой группе клетей НШС 1700ГП ММК им. Ильича эксплуатируются только валки, произведенные центробежным способом.

В настоящее время на стане 1700 проходят испытания чугуновые центробежно-литые валки Ø 705 мм типа ЛПХНдц-73 производства ЛГНПВК с дополнительным легированием Cr, V и Mo металла их рабочего слоя и осью из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, позволяющим увеличить стойкость бочки валка к «передавам» и изломам при низкотемпературной прокатке полос с транзита.

Микроструктура металла рабочего слоя стационарно- и центробежнолитых валков 670×1800 и 705×2000 мм приведена на рис. 5. Применение центробежно-литых валков из улучшенного индефинитного чугуна, дополнительно содержащего Cr, Mo, W

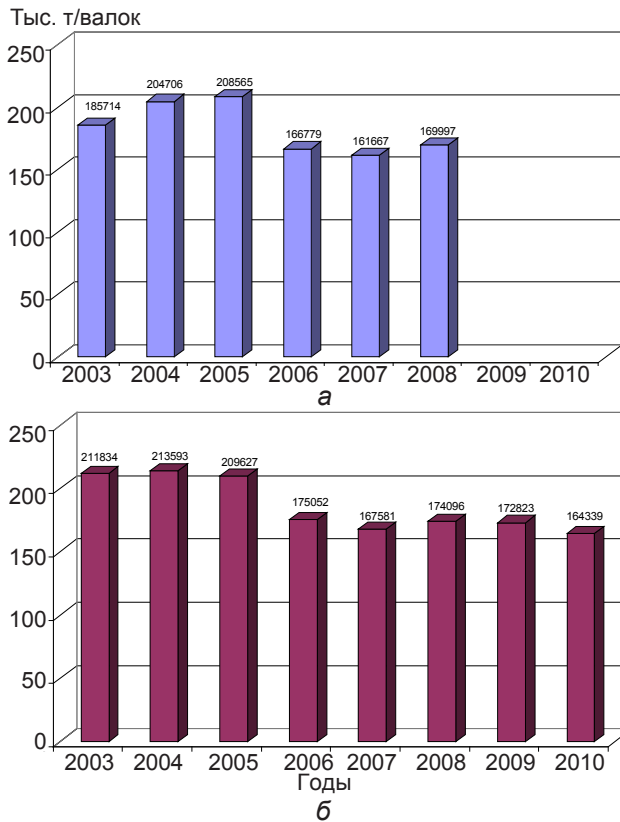


Рис. 4. Средний прокат валков 705×2000: а – стационарно-литых, исполнения ЛПХНд-73; б – центробежно-литых, исполнения ЛПХНМдц-73; тыс. тонн на валок

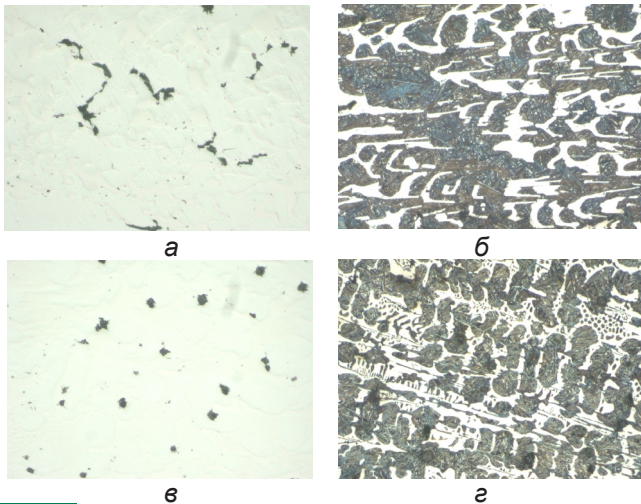


Рис. 5. Микроструктура стационарно- (а, б) и центробежно-литых (в, г) валков из индефинитного хромоникелевого чугуна, нетравленая (а, в) и травленая (б, г); ×100

и V, позволило повысить стойкость валков производства ЛГНПВК.

Отмечено, что металл рабочего слоя стационарно-литых валков характеризуется более низкой твердостью по сравнению с центробежно-литыми. Это связано с пониженным количеством эвтектических карбидов цементитного типа и меньшей твердостью металлической матрицы, что обусловлено более низким общим уровнем легирования чугуна в стационарно-литых валках. Рабочий слой стационарно-литых валков характеризуется наличием разорванных либо вытянутых колоний графита. Такая форма графитных включений является неблагоприятной и приводит к снижению прочности металла рабочего слоя

данных валков, что при эксплуатации выражается в более частом появлении сколов и выкросшек на бочке. Общая наработка валков при этом снижается.

Существенным отличием структуры стационарно-литых валков от центробежных является наличие в последних достаточно тонко дифференцированных эвтектических колоний ледебурита вместо грубого конгломерата фаз в стационарно-литых валках, что также приводит к снижению стойкости валков.

Выбор рационального легирования, и параметров модифицирования металла рабочего слоя центробежно-литых хромоникелевых валков позволил получить мелкие равномерно распределенные графитные включения компактной и шаровидной формы, износостойкую мартенситобейнитную матрицу, а также измельчить зерно и эвтектические колонии. Графитные колонии и розетки в улучшенных индефинитных валках полностью отсутствуют.

Эффективность применения центробежно-литых валков по сравнению со стационарно-литыми подтверждена результатами их эксплуатации в условиях ММК им. Ильича.

Для обеспечения толстолистого стана 3000 рабочими валками освоено производство стационарно-литых чугунных валков 1000×3100 мм массой 30,4 т. До 2004 г. данные валки характеризовались невысокой стойкостью, однако совершенствование технологии их производства позволило увеличить толщину отбеленного слоя практически в 2 раза, повысить твердость бочки на 3-4 ед. HSc и обеспечить низкий уровень ее падения по всей используемой глубине. Средняя наработка таких валков за период 2003-2011 гг. возросла с 143 до 289 тыс. т, то есть практически в 2 раза. Прокат на таких валках при эксплуатации только в черновой клетке стана (при длительности кампании валка до 20 тыс. т) достигал 550 тыс. т и более. Если в 2003 г. норма расхода рабочих валков по толстолистому стану 3000 составляла 1,0 кг/т проката и была выше уровня для аналогичных прокатных агрегатов, то применение рабочих валков с большей глубиной отбела, твердостью бочки и увеличенным диаметром позволило снизить ее в 2 раза, доведя до 0,570 кг/т проката.

Эксплуатационные характеристики чугунных рабочих валков диаметром 1000 мм за 2003-2011 гг. приведены на рис. 6.

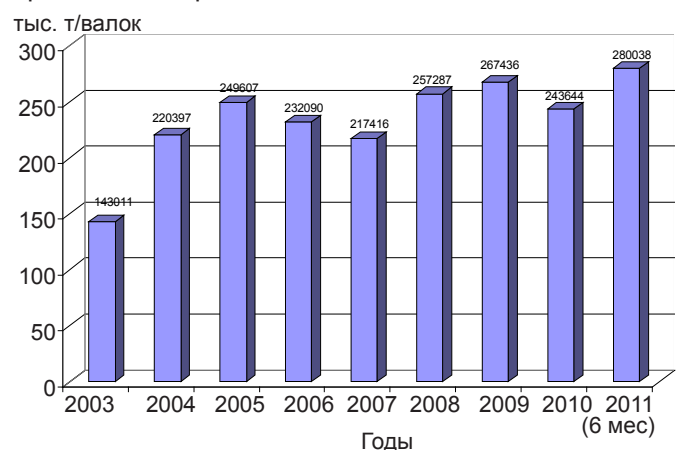


Рис. 6. Валки диаметром 1000 мм, исполнения ЛПХНд-63. Прокат средний, тыс. тонн/валок

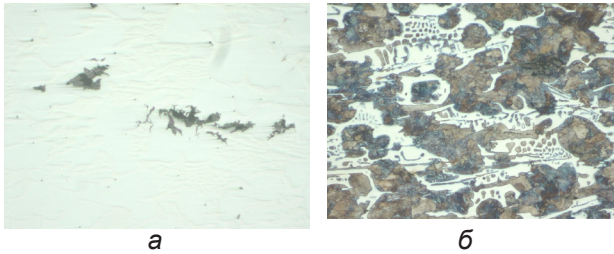


Рис. 7. Микроструктура рабочего слоя валков 1000×3100: а – нетравленная, б – травленная, ×100

Типичная микроструктура стационарно-литых валков с размером бочки 1000×3100 приведена на рис. 7.

Микроструктура данных валков представлена графитными включениями преимущественно компактной либо вытянутой колониальной формы, эвтектическим цементитом и троостито-перлитной металлической матрицей. Повышения стойкости валков – помимо увеличения глубины рабочего слоя – удалось достичь за счет увеличения дисперсности и твердости продуктов распада аустенита и получения более чистого отбела (снижения объемной доли графита и увеличения количества цементита).

Поставка рабочих чугуновых центробежно-литых валков производства ЛГНПВК для НШС-1700ГП и ТЛС-3000 ММК им. Ильича позволила снизить нормы расхода рабочих валков, уровень абразивного износа валкового материала за счет повышения качественных показателей, а также склонность к термическому разгару, что дает возможность применить перешлифовку с уменьшенным съемом и эксплуатировать валки в более длительных кампаниях за завалку.

За счет этого ежегодные затраты на применение прокатного оборудования с 2002 по 2011 г. в эквивалентных ценах снижены на 5,4 %.

## Выводы

Безаварийное применение прокатных валков в листопрокатных цехах возможно только при наличии высококачественных материалов и передовых технологий выплавки, разливки и термообработки.

На стойкость валков приоритетное влияние оказывают условия эксплуатации в клетях станов: качество подготовки и охлаждения, соблюдение установленных межперевалочных сроков, прокатка полос различных ширин и толщин в строгой последовательности, температурный и силовой режим прокатки.

Применение центробежно-литых валков вместо стационарных позволило повысить стойкость и надежность работы прокатного инструмента. За счет применения улучшенного хромоникелевого (индефинитного) чугуна, дополнительно легированного **Cr, Mo, W и V в качестве материала их рабочего слоя** удалось достичь дополнительного увеличения стойкости валков с размером бочки 670×1800 и 705×2000 мм.

Из нескольких типов рабочих валков производства ЛГНПВК, испытанных на НШС-1700 ГП, наиболее приемлемые эксплуатационные показатели имеют центробежно-литые чугуновые валки ЛГНПВК с откорректированным химическим составом и диаметром 705 мм клетей № 8-10, а также рабочие валки ТЛС-3000 диаметром 1000 мм.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Медовар Л. Б., Цикуленко А. К., Шевченко В. Е. Современные валки прокатных станов. Требования, материалы и способы производства / Общие вопросы металлургии, 2001 г. – № 1. – С. 37.
2. Производство и эксплуатация крупных опорных валков / Н. П. Морозов, В. А. Николаев, В. П. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1977. – С. 103.
3. Полухин П. И., Железнов Ю. Д., Полухин В. П. Тонколистовая прокатка и служба валков. – М.: Металлургия, 1967. – С. 162.

### Анотація

*Балаклесць І. А., Філіпов В. С., Шебаниць Е. М., Мурашкін А. В., Форман С. В.*  
Сучасні тенденції у виготовленні та експлуатації прокатних валків

*В умовах металургійного підприємства при підвищенні вимог до якісних показників прокату вирішальне значення має якість прокатних валків та оптимальні умови їх використання. На ПАТ «ММК ім. Ілліча» протягом 2003-2011 рр. впровадили низку технологічних заходів, які забезпечили підвищення стійкості чавунних робочих валків гарячої прокатки.*

### Ключові слова

*відцентроволитий валок, чавун, прокатна кліть, зносотійкість, відбілений прошарок чавуну, мартенситно-бейнітна структура*

### Summary

*Balakleyets I., Philipov V., Shebanits E., Murashkin A., Forman S.*  
Modern tendencies in the manufacturing and operation of forming rolls

*At the Metallurgical Works with the raised standards for the quality indicators of rolled products the quality of forming rolls and optimal operating conditions plays the decisive role. At «Ilyich Iron and Steel Works» PJSC during 2003-2011 were implemented technological measures which lengthened the lifetime of cast-iron rolls for hot rolling.*

### Keywords

*centrifugally cast rolls, cast iron, rolling mill, wearability, chilling layer of iron casting, martensite-bainite structure*