

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ДРЕССИРОВОЧНЫХ ВАЛКОВ ЛИСТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Гришин В.С., Ткаченко К.Э. (НМетАУ, Днепропетровск, Украина)  
Тел./факс: (056) 374-82-17, E-mail: texmash@ua.fm

**Аннотация:** рассматривается завершающий этап производства холоднокатаного листа. Проанализированы существующие технологические процессы насечки на поверхности дрессировочных валков листопрокатных станов. Экспериментально доказано преимущество электроискрового метода получения текстурированного слоя рабочих поверхностей валков, значительно повышающих параметрическую надежность дрессировочного стана

**Ключевые слова:** дрессировка, листопрокатный, текстурированный слой

**Введение.** Важным показателем качества холоднокатаного листа, применяемого для глубокой вытяжки, является микрогеометрия поверхности, которая оказывает влияние на штампуемость, смачиваемость, а также на прочность сцепления его с различными покрытиями. Лучшими свойствами обладают листы, у которых микрорельеф поверхности представляют собой хаотично расположенные микровпадины и микровыступы, равномерно распределенные по поверхности. Оптимальная шероховатость поверхности листа должна быть в пределах  $Ra=1,8\div0,6\text{мкм}$ .

Такие параметры качества поверхности на холоднокатаных листах обеспечиваются при их дрессировке текстурированными валками. Для получения тонкодисперсной матовой поверхности листа необходимо, чтобы микротопография поверхности валков дрессировочных станов была идентичной. Качество поверхности валков станов холодной прокатки, как правило, рассматривается с позиции наличия поверхностных дефектов в виде трещин, раковин, плен, а также поверхностной твердости и почти совсем не рассматривается с позиции состояния микрорельефа поверхности.

В связи с тем, что состояние микрорельефа поверхности холоднокатаного листа зависит от микрорельефа валков целесообразно рассмотреть требования, предъявляемые к микрогеометрии поверхности.

1. Поверхность должна иметь шероховатость, микрорельеф которой состоит из равноплотных, хаотично расположенных с заданной высотой микровыступов и микровпадин.

2. Геометрическая форма микровыступов должна обеспечить их высокую динамическую жесткость при прокатке с высокими удельными давлениями.

3. Сплошность металла выступов и их оснований не должна иметь нарушений во избежание потери контактной прочности.

4. Микровпадины должны обладать способностью адсорбировать смазку, имея хорошо развитую удельную поверхность.

5. Весь рельеф поверхности должен покоиться на упругом основании вала, не имеющем таких дефектов, как: микротрещина, концентраторы напряжений, неметаллические включения и другие дефекты металла.

Эти требования относятся как к основаниям выступов, так и к тонкому поверхностному слою.

Исходя из вышеизложенных требований, целесообразно проанализировать существующие методы поверхностной обработки листопрокатных валков для создания на них мелкодисперсного матового рельефа.

**1. Состояние вопроса.** В зависимости от места установки, а также прокатываемого сортамента применяют шлифованные, полированные и текстурированные рабочие валки. В первых клетях листовых станов применяют насеченные валки для улучшения условий захвата. В последних клетях также применяют текстурированные валки для создания на поверхности листов и полос шероховатости, которая предупреждает сваривание их при отжиге. Валки дрессировочных станов насекают для создания на листах ровной матовой поверхности, что в конечном итоге влияет на штампуемость листов.

Особое внимание обращается на качество текстурирования рабочих валков дрессировочных станов. Валки после текстурирования должны иметь однотонную матовую поверхность с шероховатостью  $Ra=2,5\div0,63$  мкм.

Текстурирование поверхности рабочих валков осуществляют различными способами: механическими (дробеструйная и гидроабразивная), электрофизическими (ультразвуковая, электроэрозионная).

1. Обработка валков дробью с помощью дробеструйных и дробеметных машин является в настоящее время самым распространенным методом текстурирования листопрокатных валков и находит самое широкое применение как в отечественном, так и зарубежном листопрокатном производстве.

Дробеструйная обработка осуществляется путем обдува поверхности валака чугуной или стальной дробью фракции 0,5-2,0 мм при помощи сжатого воздуха давлением 0,4-0,5 МПа.

2. Гидроабразивный метод текстурирования рабочих поверхностей валков является сравнительно новым, сущность которого состоит в том, что водноабразивная суспензия под давлением 0,6-0,8 МПа выбрасывается из отверстия сопла и абразивные зерна, соударяясь с металлической поверхностью, производят текстурирование. При этом происходит упрочнение поверхностного слоя и образование матовой поверхности.

3. Матовая поверхность при ультразвуковой обработке образуется в результате соударения с твердыми абразивными частицами, которые разгоняются торцом рабочего инструмента, колеблющегося с частотой  $18\div44$  кГц и амплитудой  $10\div60$  мкм.

4. Матовая поверхность при электроискровой обработке образуется в результате испарения и оплавления микрообъемов металла в момент действия искрового разряда между обрабатываемой поверхностью и электродом. В результате высокочастотного разрядобразования поверхность быстро покрывается микроуглублениями, которые накладываются друг на друга, образуя высокоразвитую матовую поверхность.

**2. Эксплуатационное состояние поверхности механически обработанных валков.** Формирование микрорельефа поверхности при дробеструйной или гидроабразивной насечке можно представить как часто повторяющееся соударение твердых частиц дроби или абразива,двигающихся с большой скоростью к поверхности валака. При этом каждая твердая частица дроби или абразива внедряется в менее твердый материал валака, оставляя на поверхности небольшое углубление. В результате множества таких ударов поверхность становится шероховатой.

Каждый акт внедрения частиц сопровождается микропластическими деформациями, которые будут развиваться тем интенсивнее, чем глубже проникновение частиц в насекаемую поверхность. От глубины внедрения твердых частиц дроби или абразива главным образом зависит высота микропрофиля. Многочисленные углубления на поверхности, являющиеся следами удара дробинки или абразивных частиц, как правило, снижают шероховатость поверхности предварительно шлифованных валков. При дробеструйной обработке высота микронеровностей изменяется с увеличением времени обработки. Установлено также, что высота микронеровностей поверхности при дробеструйной обработке заметно увеличивается для сталей пониженной твердости. При соударении частиц дроби или

абразива с поверхностью валка имеют место различные изменения поверхностного слоя, вызываемые деформацией.

Не исключена возможность многократного соударения одних и тех же участков поверхности с кромками дробы или абразивных частиц. Многократное деформирование локализованного участка приводит к переупрочненному состоянию и, следовательно, к появлению участков хрупкого разрушения.

Таким образом, микрорельеф поверхности, образованной в результате воздействия на нее множества абразивных частиц, представляет собой следы хрупкого разрушения. Такой микрорельеф представлен на рис. 1.

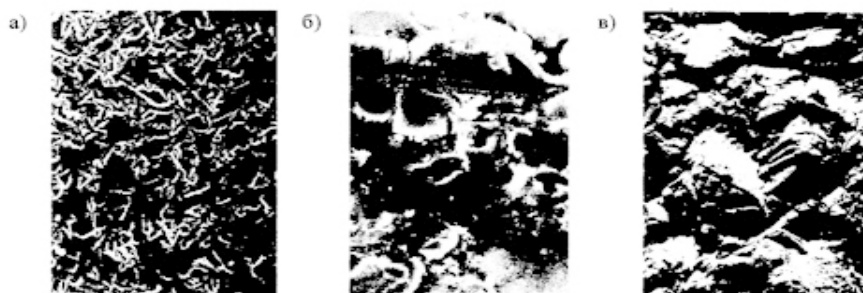


Рис. 1 Текстурированная поверхность абразивными частицами  
а) микрорельеф поверхности, x200; б) микрорельеф поверхности, x2000;  
в) микрорельеф поверхности, x5000

Структурные изменения, происходящие под влиянием наклепа, распространяются на глубину до 0,2 мм, что увеличивает твердость поверхностного слоя. На поверхности валка имеются остаточные напряжения сжатия, которые увеличиваются в зависимости от продолжительности обработки и достигают определенного предела, связанного со свойствами материала валков.

Дробеструйный наклеп поверхности валков вызывает изменения в микроструктуре поверхностного слоя, стимулирует распад остаточного аустенита и создает специфическое мелкокристаллическое строение металла. При оптимальной продолжительности дробеструйного наклепа повышается сопротивление поверхности металла усталостному разрушению.

При чрезмерной силе ударов и длительном процессе обработки может реализоваться явление потери поверхностной устойчивости тонких слоев и локальное выкрашивание отдельных участков.

Микрорельеф поверхности валков после текстурирования дробью или абразивом представляет собой острые конусообразные микровыступы различной высоты и геометрических размеров (рис.1,б), которые в результате больших контактных нагрузок пластически деформируются и одновременно являются концентраторами напряжений.

Таким образом, в процессе работы при циклических контактных нагрузках происходит непрерывное изменение свойств поверхностного слоя к моменту начала усталостного разрушения. При относительном перемещении поверхностей под нагрузкой исходная шероховатость быстро переходит в эксплуатационную; причем грубая шероховатость в процессе приработки уменьшается, а поверхность с меньшей - становится более шероховатой.

Степень пластической деформации исходной формы шероховатости поверхности зависит от твердости поверхностного слоя. Так, по результатам исследований микронеровности поверхности закаленной стали (HRC 60-61) при контактных нагрузках изменяют свои геометрические размеры по сравнению с первоначальными на 12-20%.

В процессе эксплуатации валков исходная шероховатость уменьшается в зависимости от количества прокатанного металла. В начальный период изменение шероховатости происходит интенсивно, а после прокатки 200-400 тонн микрорельеф стабилизируется.

Таким образом, дрессировка листового металла в валках, текстурированных дробеструйным методом, приводит к образованию поверхности, которая изменяется от мелкодисперсной в начальной стадии эксплуатации валков до крупнодисперсной на промежуточных стадиях.

Анализируя состояние субмикроучастков поверхности после насечки абразивом (рис.1), необходимо отметить сильное развитие поверхности за счет большого количества субмикровыступов и впадин, которые накладываются на основной микропрофиль поверхности.

**3. Физико-механические свойства поверхностей, обработанных электрофизическими методами.** При ультразвуковом текстурировании поверхностей формирование микрорельефа по своей природе аналогично рассмотренным выше механическим методам. Разница заключается в том, что путь движения твердых частиц от источника импульсов до соударения с текстурируемой поверхностью значительно короче и используют продольные колебания инструмента.

При этом методе обработки происходит хрупкое разрушение обрабатываемого материала и одновременно вязкое разрушение инструмента изготовленного из малоуглеродистой стали. При ударе торца инструмента по абразивным зернам их вершины вдавливаются в поверхностные слои детали и инструмента.

В поверхностном слое валака возникает сетка микротрещин, зарождающихся в наиболее слабых с точки зрения прочности дефектных и перенапряженных местах. Под влиянием напряжений, создаваемых последующими ударами торца инструмента по абразивным зернам, происходит расширение микротрещин и образование новых трещин - создается зона предразрушения. Выкалывание частиц происходит в тот момент, когда максимальные касательные напряжения превзойдут сопротивление сдвигу. Нанесенная сетка микротрещин снижает эксплуатационную надежность валков. Малая производительность процесса ограничивает применение ультразвуковой обработки для текстурирования прокатных валков.

Текстурирование поверхности электроэрозионным методом значительно отличаются от поверхностей текстурированных абразивами (рис.2).

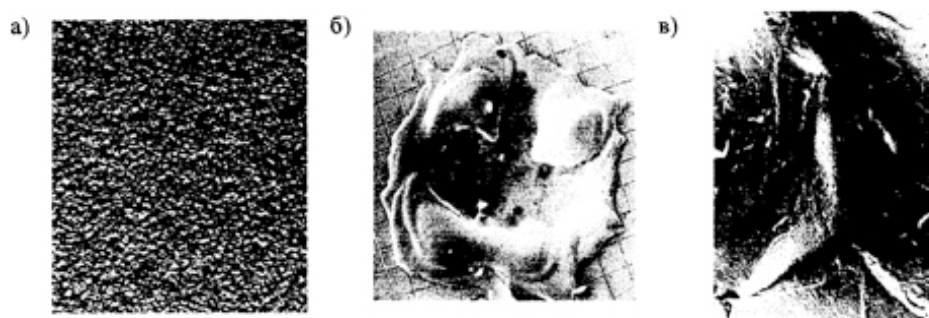


Рис 2. Текстурированная поверхность электрической эрозией

- а) микрорельеф поверхности x10; б) единичная эрозионная лунка x150;  
в) субмикрорельеф поверхности x5000

Эрозированная поверхность более гладкая, с незначительным, плавно изменяющимся субмикрорельефом, который накладывается на основной микрорельеф, обладает более высокой «плотностью» и менее склонен к зарождению усталостных трещин, развивающихся с поверхности.

Пузырчатость некоторых участков на снимке свидетельствует об интенсивном протекании процессов, характерных для испарения металлов. Наличие гладких, как бы полированных, участков на снимке свидетельствует о наличии мест, где в момент разряда происходили оплавление и практически мгновенное застывание тонкого оплавленного слоя. Все сказанное дает возможность сделать предположение о том, что в месте максимальной концентрации тепловой энергии, т.е. на дне лунки, удаление объема металла происходило за счет испарения, а по верхним склонам лунки и у ее краев происходило оплавление и частичное пластическое оттеснение.

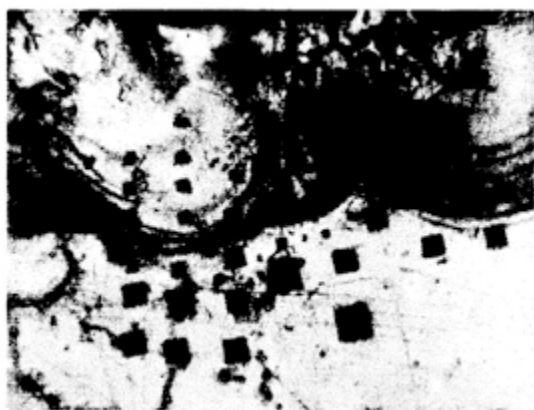


Рис. 3. Микротвердость поверхности в зоне действия искрового разряда x420

Исследования изменения микротвердости по выступам и впадинам, проведенные на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 100г, с выдержкой времени 10сек, показали существенное изменение микротвердости по сравнению с основным металлом. Фотоснимки (рис. 3) наглядно иллюстрируют изменение микротвердости в зоне действия разряда и вне ее. На фотографии видно, что твердость поверхности уменьшается по мере увеличения расстояния между соседними лунками. Проведенные исследования дают основание полагать, что в зоне действия электрических разрядов, возникают гидродинамические силы, вызывающие механический эффект

упрочнения металла в области, прилегающей к эрозионной лунке. Кроме этого распределение электрических разрядов по поверхности вызывает эффект упрочнения за счет возникновения остаточных напряжений.

Как показывают измерения микротвердости между лунками и рентгеноструктурный анализ на рентгеновской установке УРС-50-ИМ, в поверхностной слое преобладают напряжения сжатия. Распределение напряжений по глубине слоя показано на рис.4.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что поверхности с электроискровой насечкой обладают улучшенными по сравнению с основным материалом физико-механическими свойствами и, что такая поверхность обладает повышенной износостойкостью по сравнению с поверхностями, упрочненными механическими методами.

С целью выявления степени нарушения исходных структур, микротрещин и прочих дефектов проведены металлографические исследования. Кольца размером 60x20x8 мм насечались электроискровым методом на лабораторной установке, с режимами, обеспечивающими получение оптимальной шероховатости поверхности. После насечки кольца разрезались на четыре равные части и из каждого сегмента готовились микрошлифы с косым срезом. Срез производился по насеченной поверхности под углом 5° к геометрической оси кольца. Шлифы изучались на оптическом микроскопе МИМ-7 и электронном микроскопе. Травление образцов производилось в 5%-ном растворе азотной кислоты с последующим окислением 5%-ным раствором йода. Исследование срезов на 100 шлифах не позволило обнаружить наличие микротрещин в тонком поверхностном слое. Изучение травленных образцов показало существование трех зон в тонком поверхностном слое (рис.5): I - отбеленный слой, примыкающий к поверхности; II - слой вторичной закалки; III - основной металл.

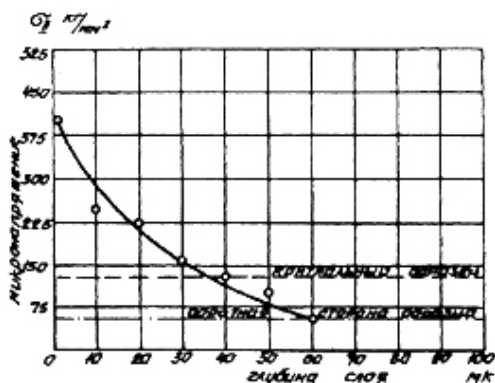


Рис. 4. Распределение микронапряжений по глубине поверхностного слоя, а - после электроэрозионного текстурирования обработка с энергией разряда 0,05 Дж; б - обработка с энергией разряда 1,1 Дж



Рис. 5. Структура поверхностного слоя после электроэрозионного текстурирования обработка с энергией разряда 0,05 Дж; б - x270

Отбеленный слой имеет плотную собственную структуру, состав которой установить не удалось. Слой закалки содержит повышенное количество аустенита. Основная структура, составляющая III зону - мартенсит.

Отсутствие микротрещин в тонком поверхностном слое позволяет сделать предположение о высокой износостойкости поверхности образцов после электроискровой насечки. Повышение микротвердости в тонком поверхностном слое показывает, что процесс сопровождается упрочнением поверхности.

Учитывая тот факт, что проведенные исследования показывают строение поверхности на весьма малых участках выступа или впадины, по снимкам нельзя судить о микрорельефе в целом; состояние более протяженных участков оценивалось по профилограммам.

Анализ профилограмм показывает, что поверхности текстурированных электроэрозионным способом представляет собой высокоразвитый микрорельеф с равновероятным расположением микровыступов высокой степени плотности. При этом возможность бесступенчатого регулирования электрических разрядов позволяет производить текстурирование с наперед заданной шероховатостью в широком диапазоне.

В процессе текстурирования было замечено, что на поверхности вала появляются кольцевые плохо насаемые полосы шириной 2-4мм с шагом 10-15мм. Исследование этих полос показало, что они представляют собой винтообразную линию, оставляемую абразивным кругом при шлифовании вала. Проведенные измерения профиля рабочих частей валков, подготовленных под насечку с помощью подвижного пассаметра показали, что они имеют волнистость от 0,4- 0,6мм и бочкообразность до 0,4мм. Измерения профиля поверхности насаемого вала показали, что плохо насаемые полосы являются впадинами волнистости. Такая волнистость поверхности является причиной некачественного шлифования валков без выхаживания. Кроме этого правка абразивных кругов производится редко, что приводит к «засаливанию» круга.

При такой макрогеометрии поверхности электроэрозионная насечка валков сводится в начальный момент к исправлению профиля поверхности за счет съема металла с возвышенностей.

Контроль точности прилегания рабочих поверхностей валков осуществлялся гранулометрическим способом, заключающемся в дроблении между валками с гарантированным зазором сыпучего мягкого материала заданной фракции и последующим отсевом полученных фракций.

**4. Параметрическая надежность прокатных валков для текстурирования листа.** В результате анализа процесса дрессировки холоднокатаного листа различной толщины, ширины и химсостава выявлены следующие особенности:

1. Существующая технология дрессировки предусматривает чередование ширины полосы от наибольшего ее значения к наименьшему [1]. Несоблюдение этой последовательности приводит к образованию на валке, насеченного дробью, узкого светлого отпечатка, который переносится на поверхность более широкой полосы при ее дрессировке. Дрессировка на валках с электроискровой насечкой без соблюдения указанной очередности показала, что появление светлых отпечатков на поверхности полос не наблюдается. Это является свидетельством высокой контактной прочности микрорельефа поверхности валка, который деформируется в очаге деформации только упруго.

2. При попадании в межвалковый зазор полосы с загнутыми кромками обычно на валке отпечатывается, так называемый «надав»; при дрессировке валками с электроискровой насечкой образование таких дефектов не наблюдалось.

3. Применение валков насеченных дробью допускает скорость дрессировки 12-13м/сек; при дальнейшем повышении скорости образуются складки из-за рассогласования скоростей деформации и разматывания, что в конечном итоге приводит к образованию «надавов». Плотный и прочный микрорельеф после электроискровой насечки уменьшает возможность проскальзывания, способствует стабилизации колебаний полосы вдоль оси валков или исключает их.

Это позволило вести процесс дрессировки при скоростях 15-18 м/сек, что является существенным резервом повышения производительности дрессировочных станов [2].

Характер износа микрорельефа валков определялся по изменению шероховатости поверхности полосы, подвергавшейся дрессировке. Для этого производился отбор образцов листа через каждые 150 т прокатываемого металла. Образцы вырезались из середины рулона по всей ширине полосы. Каждый образец подвергался измерениям в нескольких местах по двум направлениям - вдоль и поперек прокатки. Измерения проводились на профилографе модели 201 ВЭИ "Калибр" и микроскопе МИС-11. Результаты измерений приведены в табл.1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики микрорельефа поверхности холоднокатаного листа в зависимости от объема прокатки

Вид насечки	Количество прокатанного металла (т)	Показатель шероховатости Ra, мкм	
		вдоль проката	поперек проката
Дробеструйная	5	1,8	2,0
	50	1,2	1,4
	100	0,8	1,0
	150	0,6	0,6
	200	0,4	0,4
	400	0,3	0,4
Электроискровая	5	4,5; 2,5	4,5; 2,5
	300	4,5; 2,3	4,5; 2,4
	600	4,3; 2,3	4,3; 2,4
	900	4,1	4,2
	1200	4,0	3,9
	1700	4,0	3,8

Анализ результатов измерений показывает, что шероховатость поверхности прокатываемого металла находится в тесной взаимосвязи с шероховатостью рабочих валков. Однако оценка качества поверхности холоднокатаного листа только по высоте микронеровностей является односторонней и не учитывает все специфические особенности строения микрорельефа поверхности. Характерной особенностью микрорельефа холоднокатаного листа является шероховатость с равновероятным расположением микровыступов, а также величина удельной плотности. Удельная плотность определялась с помощью микроскопа МИС-11. Для сравнения определялась плотность микровыступов на листах зарубежного производства.

Анализ полученных данных показывает, что износ микрорельефа валков с электроискровой насечкой происходит постепенно, без заметных следов абразивных дефектов.

Качественная картина микроизноса поверхности валков показывает, что на протяжении всего времени дрессировки на полосе не проявляются шлифовочные риски и направленность прокатки. При прокатке валками с дробеструйной насечкой проявление шлифовочных рисок и направленности прокатки наблюдается на любой стадии эксплуатации валков.

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют прогнозировать несущую способность микрорельефа дрессировочных валков, полученного электроискровым способом и оптимизировать параметры износостойкости. Характер износостойкости микрорельефа валков, насеченных дробью и электроискровым способом подтверждает, что темп износа валков с электроискровой насечкой в несколько раз ниже темпа износа валков, насеченных дробью. Предложенная технология текстурирования валков позволяет значительно повысить параметрическую надежность холоднолистовой прокатки.

**Список литературы:** 1. Чекмарев А.П. Износ прокатных валков / А.П. Чекмарев, Р.А. Машковцев/ «Металлургиздат», 1955. 2. Гришин В.С. Текстурирование рабочей поверхности валков / В.С. Гришин, Э.А. Ткаченко, К. Э. Ткаченко/ Машиностроение: тенденции развития и инновационные разработки. Тез. докл. Межд. инвестиц. научно-техн. форум, Запорожье, 2011. – С. 62-64.

#### **TECHNOLOGICAL ASPECTS OF PARAMETRIC RELIABILITY TEMPER ROLLS FLATTING MILL**

**Abstract:** The final stage of cold-rolled sheet manufacture is being considered. The present technological processes of notch at the surface of dressing shafts of list-rolling machines were analyzed. The advantage of high-tension method of getting textured layer of shaft working surfaces is proved experimentally, it increases the parametric stability of dressing machine significantly

**Key words:** dressing, list-rolling, textured layer

#### **ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ДРЕСИРУВАЛЬНИХ ВАЛКІВ ЛИСТОПРОКАТНИХ СТАНАХ**

**Анотація:** розглядається завершуючий етап виробництва холоднокатаного листа. Проаналізовані існуючі технологічні процеси насічки на поверхні дресировальних валків листопрокатних станів. Експериментально доведена перевага електроіскрового методу здобуття текстурованого шару робочих поверхонь валків, що значно підвищують параметричну надійність дресировального стану

**Ключові слова:** дресировання, листопрокатний, текстурований шар

Надійшла до редколегії 02.06.2011 р.