



В. Л. Мазур /д. т. н./

Физико-технологический институт металлов
и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина

В. И. Тимошенко /д. т. н./

Институт технической механики НАН Украины
и Национального космического агентства
Украины, г. Днепро, Украина

Формирование микрорельефа поверхности полос при прокатке с применением смазки. Сообщение 1

V. L. Mazur /Dr. Sci. (Tech.)/

Physical-technological institute of metals
and alloys of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

V. I. Timoshenko /Dr. Sci. (Tech.)/

Institute of Technical Mechanics of NAS of Ukraine
and National Space Agency of Ukraine, Dnipro,
Ukraine

Formation of surface mount surface microrelifax at rolling with lubrication. Message 1

Рассмотрены механизм и закономерности смазочного действия эмульсий и суспензий при прокатке полос. Раскрыты закономерности влияния смазки, поступающей в очаг деформации при прокатке, на формирование микрорельефа прокатываемого металла. Проанализированы экспериментальные результаты. Даны рекомендации по использованию теоретических решений при выборе технологической смазки и режимов прокатки для обеспечения заданных требований к качеству поверхности готовой металлопродукции. (Ил. 1. Библиограф.: 17 назв.)

Ключевые слова: металл, качество, поверхность, микрорельеф, прокатка, смазка, эмульсия, суспензия.

В последние годы существенно повысились требования к качеству поверхности тонколистовой стали, жести, труб, проволоки, других видов металлопродукции. Ужесточилось регламентирование показателей микрорельефа проката. Научно-исследовательские организации и металлургические предприятия оснащены совершенной аппаратурой для контроля шероховатости поверхности металла, в том числе в 3D-формате. Технология производства металлопроката с регламентированным микрорельефом поверхности в целом выведена на новый, более высокий уровень развития. Об этом свидетельствует всплеск исследований и публикаций, посвященных затронутой теме. Однако анализ показывает [1–3 и др.], что наряду с несомненной значимостью новых научных результатов многие закономерности развития микрорельефа поверхности деформируемого при прокатке металла остаются не раскрытыми в полной мере. Сказанное касается прежде всего механизма формирования рельефа поверхности металла, деформируемого в условиях применения технологической смазки в виде эмульсий. В этой связи цель настоящей статьи состоит в том, чтобы на базе материалов известных теоретических и экспериментальных исследований, и пре-

жде всего результатов собственных разработок, сформулировать научные основы и раскрыть закономерности формирования микрорельефа поверхности полос в очаге деформации при прокатке в условиях воздействия смазочной среды. Также дать рекомендации по использованию в промышленности новых технических решений в этой сфере.

Микрорельеф поверхности пластически деформируемого металла. В литературе по обработке металлов давлением встречаются различные термины, обозначающие состояние поверхности полос, труб, другой металлопродукции. При этом наиболее употребительными являются термины «шероховатость», «микрорельеф», «текстура», «топография», «фактура», «микрогеометрия» [4, 5 и др.]. В большинстве стандартов для оценки микрорельефа поверхности металла после различной обработки, в том числе после прокатки, используется термин «шероховатость» в понимании совокупности микронеровностей. Шероховатость поверхности в соответствии со стандартами описывается набором параметров, характеризующих средние и максимальные высоты неровностей, количество (плотность) микровыступов на единице площади поверхности и т. д.

Значения шероховатости тонколистовой стали регламентируются стандартами в зависимости от её назначения (для штамповки изделий, покрытий, покраски и др.).

Понятие «рельеф» поверхности, как и «шероховатость», подразумевает совокупность неровностей выпуклой или вогнутой форм. Приставка *микро-* в словах «микрорельеф», «микронеровности» указывает на малую величину неровностей или рельефа. Соответственно микронеровности могут представлять собой микровыступы или микровпадины на поверхности.

Термин «топография» обычно понимается как географическое и геометрическое изучение местности. Для характеристики состояния, свойств поверхности деформируемого металла он не совсем подходит. Как и термин «текстура». В металлургии термином «текстура», как правило, обозначают преимущественную ориентацию кристаллитов в поликристаллических металлах.

Таким образом, для оценки состояния, строения поверхности пластически деформируемого металла, безусловно, правильным будет использование терминов «микрорельеф», «шероховатость». В случае когда необходимо рассматривать не только микрогеометрию поверхности, а весь спектр характеристик её состояния (например, наличие на поверхности окалины, сажи, остатков смазки и др.), то, видимо, можно собранную информацию называть топографической картой поверхности.

Кроме высотных параметров микрорельеф поверхности прокатываемых полос характеризует его анизотропия. Т.е. зависимость размеров и формы микронеровностей относительно направления их контроля. Заметим, что стандартами, определяющими требования к качеству поверхности, например, листовой стали, труб, другой металлопродукции, анизотропия микрорельефа не регламентируется [3; 4]. В то же время известно, что из-за анизотропии шероховатости поверхности листовой стали отштампованные детали кузова автомобиля после окраски в одинаковых условиях могут иметь разную фактуру, различные оттенки.

Другой пример – результаты струйного травления внутренней поверхности труб из высококачественных сталей и сплавов существенно зависят от анизотропии микрорельефа. Микронеровности на внутренней поверхности труб, ориентированные перпендикулярно их оси, хорошо удаляются струйным травлением. Продольно направленные микронеровности удаляются хуже. Более того, иногда микровпадины даже углубляются, что существенно ухудшает качество труб. Очевидно, что настало время для регламентации степени допустимой анизотро-

пии микрорельефа поверхности в стандартах, определяющих качество холоднокатаной стали, а также труб специального назначения. Возможны и другие случаи. В частности когда потребителю необходим металлопрокат именно с анизотропным микрорельефом поверхности.

Рассмотрим влияние технологической смазки, применяемой при прокатке полос, труб и др., на микрорельеф деформированного металла, с одной стороны, и влияние шероховатости поверхности исходной заготовки, в том числе направленности микронеровностей её поверхности, на количество смазки и условия трения в очаге деформации, с другой стороны.

Использование многофазных жидкостей в качестве технологической смазки при прокатке.

В процессах обработки металлов давлением технологические смазки представляют собой, как правило, многофазные жидкости. Наибольшее применение при прокатке получили эмульсии и суспензии. Эмульсии – это дисперсные системы, состоящие из мелких капель жидкости (дисперсной фазы), распределенных в другой жидкости (дисперсионной среде). В применяемых при холодной прокатке полос эмульсиях дисперсной фазой, как правило, является масло, а дисперсионной служит вода. В общем случае дисперсная фаза может состоять из множества даже твердых частиц какого-либо материала. Например, при волочении или холодной прокатке труб в качестве технологической смазки используют грубодисперсные коллоидные системы, в которых дисперсной фазой служат графит, сернистый молибден, тальк, окись цинка, другие наполнители, а дисперсионной средой является масло. Такие смазки можно отнести к классу суспензий, взвесей, поскольку суспензии – это грубодисперсные системы с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой. Причем твердые частицы находятся во взвешенном состоянии в жидком веществе. Решающее влияние на механизм поступления смазочной среды в очаг пластической деформации при прокатке металлов оказывают размеры частиц дисперсной фазы и их концентрация в дисперсионной среде (масле). Если размеры частиц дисперсной фазы больше ~10 мкм, то они могут оседать под действием силы тяжести. Размеры и концентрация частиц графита, талька и других наполнителей в смазке не должны приводить к их оседанию, расслоению смазочной среды. Концентрацию твердых частиц подбирают, как правило, опытным путем. Например, при прокатке на станах ХПТ труб из нержавеющей сталей на оправку подают смазку, состоящую из 55–60 % растительного масла и 45–40 % талька. Наружную поверхность труб смазывают смесью из 70 % масла (индустриального И-20А или И-12А

или касторового) и 30 % талька или хлористого аммония [6, с. 211–212]. Т.е. условия смазки наружной и внутренней поверхностей труб разные.

Следует подчеркнуть, что если механизм и закономерности действия масел и эмульсий, используемых в качестве технологической смазки при прокатке, изучены сравнительно глубоко [6–10 и др.], то научные аспекты поступления в очаг деформации многофазных смазочных сред, содержащих в своем составе твердые частицы, всесторонне не раскрыты. Именно этим объясняется тот факт, что составы таких смазочных сред подбираются для температурно-деформационных условий конкретных процессов обработки металлов давлением в основном экспериментальным путем.

Особенности механизма поступления в очаг деформации при прокатке консистентных смазок, содержащих в составе твердые частицы. Сразу же отметим, что механизмы смазочного действия при прокатке эмульсий, состоящих из взвешенных в дисперсионной среде (воде) капелек масла, и суспензий, состав которых состоит из распределенных в масле твердых частиц какого-то порошка, например талька (минерал $Mg_3Si_4O_{10}$) или графита, различаются принципиально. Основная особенность механизма смазочного действия эмульсий при прокатке состоит в том, что по ходу поступления в очаг деформации взвешенные в дисперсионной среде капельки масла сталкиваются друг с другом, вследствие чего укрупняются, коагулируют. В результате непосредственно перед входным сечением очага деформации происходит резкое повышение концентрации масла в смазочной среде, которое гидродинамически втягивается в его пластическую зону. При этом определенное количество масла адсорбируется на поверхностях валков и прокатываемого металла и таким способом поступает в очаг деформации. В реальных промышленных условиях, как правило, задействованы оба названных механизма поступления в очаг деформации масляной составляющей из эмульсии. Какой из них превалирует, зависит от конкретных технологических условий – свойств прокатываемого металла, концентрации эмульсии, вязкости и адгезионной способности диспергированного масла, режимов прокатки (скорости, степени деформации, температуры и других факторов).

Научные основы течения эмульсии во входной зоне очага деформации при прокатке рассмотрены в публикациях [7–10]. Показано, что при упрощенном подходе допустимо в теоретическом анализе использовать применительно к эмульсиям понятие эффективной вязкости многофазных смазочных жидкостей, формулы для определения которой приведены в работах [6; 7; 10 и др.]. А далее руководствоваться известными решениями

для определения толщины $\xi_{вх}$ слоя смазки на входе в очаг деформации, исходя из гидродинамики течения однофазной жидкости с предварительно вычисленной эффективной вязкостью. Такой подход приемлем при выполнении качественных оценочных расчетов.

Решение для случая, когда применяемая при прокатке эмульсия рассматривается как микрополярная жидкость, предложено в нашей монографии [7, с. 159–160]. В выполненном теоретическом анализе течение смазки рассмотрено в рамках модели двухскоростной среды, включающей уравнения движения дисперсионной и дисперсной фаз. Показано, что в результате воздействия дисперсионной среды частицы дисперсной фазы изменяют траекторию своего движения, вращаются, совершают перемещения как по направлению к очагу деформации, так и в перпендикулярном направлении по отношению к поверхностям валков и полосы. В итоге, как уже отмечено выше, капельки масла, представляющие дисперсную фазу, укрупняются и смыкаются перед входом в очаг деформации, образуя область «чистого» масла, которое гидродинамически втягивается в пластическую зону. При этом вследствие возрастания давления в смазочной среде по мере продвижения её к очагу деформации масло ещё и налипает на поверхности валков и полосы.

Изложенные в работе [7] постановка задачи, использованные уравнения и получаемые решения принципиально не меняются, если дисперсная фаза состоит из твердых частиц. Однако в физической модели и описывающих процесс поступления в очаг деформации смазочной среды, содержащей твердые частицы, математических моделях должны быть отражены следующие отличия.

В случаях применения в качестве технологической смазки водомасляных эмульсий и смесей предельными состояниями смазочной жидкости являются: при нулевой концентрации дисперсной среды (при отсутствии масляной фазы) – вода; при 100% концентрации – «чистое» масло. Как в первом, так и втором предельных состояниях, смазочная среда остается жидкостью, течение которой описывается уравнениями гидродинамики.

При использовании микрополярных жидкостей, в частности суспензий, в которых дисперсной фазой служат твердые частицы порошка талька, графита или какого-либо другого наполнителя, предельные состояния смазочной среды кардинально различаются. В одном крайнем случае, когда в дисперсионной среде нет твердых частиц, смазкой является «чистое» масло (жидкость), для описания течения которого пригодны уравнения гидродинамики. В противоположном крайнем случае смазочная среда не является

жидкостью, а представляет порошок какого-то вещества, состоящий из мелких частиц различных размеров, твердости, прочности, пластичности. Механизм поступления такой порошковой смазки в очаг деформации при прокатке и режим трения носят уже не жидкостной характер. Он подобен механизму, наблюдаемому в процессах прокатки порошков [11].

Очевидно, что в реальных условиях прокатки, прессования или волочения различных металлов с применением в качестве технологической смазки суспензий механика поступления в очаг деформации смазочной среды, состоящей из загущенного порошками масла, представляет собой симбиоз гидродинамического и порошкового механизмов. Какой из них превалирует, зависит прежде всего от концентрации твердых частиц в смазке. При этом в рассматриваемом процессе в определенной степени изменяются функции как дисперсионной, так и дисперсной сред.

Во-первых, твердые частицы в общем случае не являются шарообразными, как капельки масла в эмульсиях. По мере движения смазочной среды к очагу деформации твердые частицы не коагулируют и не укрупняются. Под воздействием давления они сталкиваются между собой и, возможно, дробятся на мелкие составляющие. Вследствие этого количество частиц в смазочной среде может возрастать, а их размеры могут уменьшаться. Твердые частицы в смазке, продвигаясь по направлению к очагу деформации, препятствуют друг другу попадать в его пластическую зону.

Во-вторых, дисперсионная среда (теперь это масло) гидродинамически вовлекает в свое течение твердые частицы и втягивает их в очаг пластической деформации. Однако, скапливаясь перед валками, твердые частицы дисперсной фазы препятствуют образованию области «чистого» масла непосредственно перед входным сечением пластической зоны очага деформации и тем самым ослабляют гидродинамический эффект течения смазочной среды. В этой связи возникает вопрос об установлении зависимости количества непосредственно масла и количества твердых частиц наполнителя, поступающих в пластическую зону очага деформации, как функции вязкости дисперсионной фазы (масла) в смазочной среде, так и концентрации, размера и свойств частиц твердой фазы и условий прокатки. Если требуется обеспечить максимально возможное количество твердой фазы в очаге деформации, то необходимо решать задачу поиска экстремума этой функции. Критерием оптимизации является толщина слоя или количество, объем твердой фазы, поступающей в пластическую зону очага деформации при ограничениях, обусловленных технологией конкретного производства. Очевидно, что най-

ти аналитическое решение этой задачи крайне сложно.

В-третьих, взвешенные в смазочной среде твердые частицы по мере приближения к очагу деформации уплотняются (рис. 1). Степень уплотнения зависит как от трения контактирующих между собой частиц (внутреннего трения), так и от трения частиц о поверхности валков и прокатываемого металла (внешнего трения). Названные силы внутреннего и внешнего трения зависят от смазочной способности масляной составляющей. Вследствие уплотнения частиц твердой фазы по мере продвижения её к очагу пластической деформации прокатываемого металла эффективная вязкость среды изменяется вдоль и поперек смазочного слоя.

Степень уплотнения (спрессовывания) твердых частиц зависит прежде всего от их размеров и давления в смазочной среде во входной области очага деформации. Поскольку процесс возрастания плотности размещения твердых частиц в объеме смазки по мере приближения их к пластической зоне очага деформации происходит во времени, то степень уплотнения твердой фазы в смазочной среде и область, где оно происходит, зависят от скорости прокатки. С увеличением скорости прокатки эффект уплотнения твердых частиц перед входом в очаг деформации ослабевает, но при этом увеличивается объем масла, вовлекаемого в очаг деформации гидродинамическим путем. Главным же фактором, определяющим степень уплотнения частиц твердой фазы при поступлении их в очаг деформации, является давление в его входном сечении, а значит, предел текучести прокатываемого металла.

Роль микрорельефа поверхностей валков и полосы при прокатке полос с применением в качестве смазки суспензий существенно повышается. Твердые частицы порошка в смазочной среде скользят относительно валков, и полосы

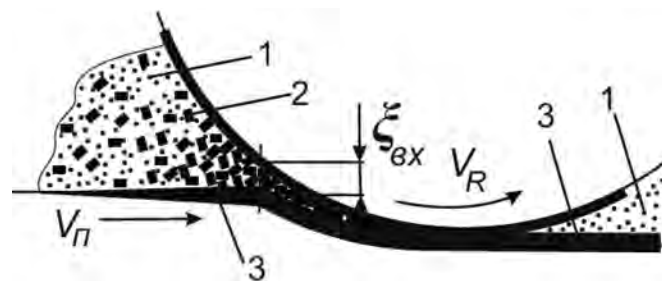


Рис. 1. Формирование смазочного слоя в очаге деформации при прокатке с технологической смазкой, содержащей твердые частицы:

- 1 – жидкая фаза в смазке; 2 – твердые частицы;
- 3 – адгезировавшееся на поверхностях валков и полосы масло; $\xi_{вх}$ – толщина слоя смазки во входном сечении очага деформации; V_R и $V_П$ – скорости поверхностей валков и прокатываемого металла

тем сильнее, чем меньше шероховатость их поверхностей. В свою очередь, микронеровности захватывают прилегающие к поверхностям твердые частицы в смазке и механически втягивают их в очаг пластической деформации. Масло в смазочной среде ослабляет влияние этого фактора. Но, со своей стороны, масло обеспечивает гидродинамическое течение смазочной среды, которое, опять же, зависит от величины и направленности шероховатости поверхностей.

При развитой шероховатости поверхностей валков и полосы микронеровности увлекают и транспортируют прилегающие к ним частицы твердой фазы к очагу деформации быстрее, чем частицы продвигаются в направлении прокатки в средней по толщине слоя смазочной среды зоне. И наоборот, при весьма гладких поверхностях валков и полосы прилегающие к ним частицы твердой фазы скользят, пробуксовывают, вследствие чего скорость их движения к очагу деформации снижается. В связи с тем, что зазор между поверхностями валков и полосы по мере приближения к входному сечению пластической зоны очага деформации постепенно уменьшается, твердые частицы в смазочной среде совершают вертикальные перемещения и вращательные движения.

В-четвертых, твердые частицы дисперсной фазы, взаимодействуя с поверхностями прокатных валков и деформируемого металла, затрудняют адгезию на них масляной фазы. Наличие твердых частиц в смазке изменяет величину касательных напряжений на поверхностях валков и полосы, которые при жидкостном (гидродинамическом) трении могут быть выражены законом трения Ньютона [7, с. 20–21].

В-пятых, поступающая в пластическую зону очага деформации твердая фаза выполняет роль экранирующей прослойки между поверхностями прокатного инструмента (валков, оправки) и прокатываемого металла. Задача этой разделительной прослойки состоит не только в уменьшении сил контактного трения в очаге деформации и снижении за счет этого энергосиловых параметров процесса прокатки, а и в предотвращении образования задиоров или каких-либо других дефектов на поверхности деформируемого металла. При этом после выхода из очага деформации прокатанного металла на его поверхности наблюдается сравнительно толстый слой вещества твердой фазы (рис. 1), которое, как правило, ухудшает качество металлопродукции и потому подлежит удалению при последующих технологических переделах [12]. Сказанное в сильной мере касается процессов холодной и теплой прокатки труб из высокопрочных сталей и специальных сплавов, к отделке поверхности которых предъявляется особо жесткие требования. Например, смазка на

основе графита неприемлема для использования при производстве труб ответственного назначения из специальных сталей, поскольку способствует науглероживанию поверхностных слоев стали в процессе отжига.

Библиографический список / References

1. Мазур В. Л. Шероховатость тонколистовой стали: требования и технология производства / В. Л. Мазур // Сталь. – 2012. – № 1. – С. 29–33.
Mazur V. L. *Sherokhovatost' tonkolistovoy stali: trebovaniya i tekhnologiya proizvodstva*. Stal'. 2012, no. 1, pp. 29-33.
2. Мазур В. Л. Научные основы технологии производства проката с заданной шероховатостью поверхности / В. Л. Мазур // Сталь. – 2015. – № 5. – С. 59–66.
Mazur V. L. *Nauchnye osnovy tekhnologii proizvodstva prokata s zadannoy sherokhovatost'yu poverkhnosti* // Stal'. 2015, no. 5, pp. 59-66.
3. Мазур В. Л. Обеспечение требований к микрорельефу тонколистовой холоднокатаной стали / В. Л. Мазур // Сталь. – 2007. – № 12. – С. 35–39.
Mazur V. L. *Obespechenie trebovaniy k mikrorel'efu tonkolistovoy kholodnokatanoy stali*. Stal'. 2007, no. 12, pp. 35-39.
4. Отделка поверхности листа / В. И. Мелешко, А. П. Чекмарев, В. Л. Мазур, А. П. Качайлов. – М.: Металлургия, 1975. – 272 с.
Meleshko V. I., Chekmarev A. P., Mazur V. L., Kachaylov A. P. *Otdelka poverkhnosti lista*. – Moscow, Metallurgiya Publ. 1975, 272 p.
5. Белов В.К. Профили поверхности: монография / В.К. Белов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 260 с.
Belov V. K. *Profili poverkhnosti*. Magnitogorsk, GOU VPO "MG TU" Publ. 2007, 260 p.
6. Грудев А. П. Трение и смазки при обработке металлов давлением: справочник / А. П. Грудев, Ю. В. Зильберг, В. Т. Тилик. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
Grudev A. P., Zil'berg Yu. V., Tilik V. T. *Trenie i smazki pri obrabotke metallov davleniem: spravochnik*. Moscow, Metallurgiya Publ. 1982, 312 p.
7. Мазур В. Л. Теория прокатки (гидродинамические эффекты смазки) / В. Л. Мазур, В. И. Тимошенко. – М.: Металлургия, 1989. – 192 с.
Mazur V. L., Timoshenko V. I. *Teoriya prokatki (gidrodinamicheskie efekty smazki)*. Moscow, Metallurgiya Publ. 1989, 192 p.
8. Azushima A. Tribology in Sheet Rolling Technology / A. Azushima // Springer International Publishing Switzerland. – 2016. – 304 p.
Azushima A. *Tribology in Sheet Rolling Technology*. Springer International Publishing Switzerland. 2016, 304 p.

9. Lo S.-W. The lubricity of oil in water emulsion in cold strip rolling under mixed lubrication / S.-W. Lo, T.-C. Yang, H.-S. Lin // Tribology International. – 2013. – № 66. – P. 125–133.

Lo S.-W., Lo S.-W., Yang T.-C., Lin H.-S. *The lubricity of oil in water emulsion in cold strip rolling under mixed lubrication*. Tribology International. 2013, no. 66, pp. 125–133.

10. Мазур В. Л. Механизм смазочного действия эмульсий при прокатке: научные основы, результаты экспериментов, промышленная практика / В. Л. Мазур, В. И. Тимошенко // Сталь. – 2017. – № 7.

Mazur V. L., Timoshenko V. I. *Mekhanizm smazochno go deystviya emul'siy pri prokatke: nauchnye osnovy, rezul'taty eksperimentov, promyshlennaya praktika*. Stal'. 2017, no. 7.

11. Виноградов Г. А. Прокатка металлических порошков / Г. А. Виноградов, Ю. Н. Семенов, О. А. Катрус, В. П. Каташинский. – М.: Металлургия, 1969. – 382 с.

Vinogradov G. A., Semenov Yu. N., Katrus O. A., Katashinskiy V. P. *Prokatka metallicheskih poroshkov*. Moscow, Metallurgiya. 1969, 382 p.

12. Буряк Т. Н. Формирование качественной поверхности труб из коррозионно-стойких сталей и сплавов / Т. Н. Буряк, В. С. Вахрушева, А. А. Тараненко // Сталь. – 2009. – № 8. – С. 57–60.

Buryak T. N., Vakhrusheva V. S., Taranenko A. A. *Formirovaniye kachestvennoy poverkhnosti trub iz korrozionno-stoykikh staley i splavov*. Stal'. 2009, no. 8, pp. 57–60.

13. Кузнецов Д. Е. Механизм формирования внутренней поверхности труб в процессе холодной прокатки / Д. Е. Кузнецов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 43–50.

Kuznetsov D. E. *Mekhanizm formirovaniya vnutrenney poverkhnosti trub v protsesse kholodnoy prokatki*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2012, no. 2, pp. 43–50.

14. Кузнецов Е. Д. Закономерности формирования микрорельефа внутренней поверхности

труб при холодной прокатке / Е. Д. Кузнецов, Д. Е. Кузнецов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 50–55.

Kuznetsov E. D., Kuznetsov D. E. *Zakonomernosti formirovaniya mikrorel'efa vnutrenney poverkhnosti trub pri kholodnoy prokatke*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'. 2012, no. 2, pp. 50–55.

15. Мазур В. Л. Производство листа с высококачественной поверхностью / В. Л. Мазур. – К.: Техніка, 1982. – 165 с.

Mazur V. L. *Proizvodstvo lista s vysokokachestvennoy poverkhnost'yu*. Kyiv, Tekhnika Publ. 1982, 165 p.

16. Pawelski Hartmut. Interfection between mechanics and tribology for cold rolling of strip with special emphasis on surface evolution / Hartmut Pawelski // Technische Universität Bergakademie Freiberg. – 2004. – 335 с.

Pawelski Hartmut. *Interfection between mechanics and tribology for cold rolling of strip with special emphasis on surface evolution*. Technische Universität Bergakademie Freiberg. 2004, 335 p.

17. Беняковский М. А. Производство автомобильного листа / М. А. Беняковский, В. Л. Мазур, В. И. Мелешко. – М.: Металлургия, 1979. – 256 с.

Benyakovskiy M. A., Mazur V. L., Meleshko V. I. *Proizvodstvo avtomobil'nogo lista*. Moscow, Metallurgiya Publ. 1979, 256 p.

The mechanism and regularities of the lubricating action of emulsions and suspensions during the rolling of strips are considered. The regularities of the influence of the lubricant entering the deformation center during rolling are revealed on the formation of the microrelief of the rolled metal. The experimental results are analyzed. Recommendations are given on the use of theoretical solutions in the selection of process lubrication and rolling regimes to meet specified requirements for the quality of the surface of finished metal products.

Key words: metal, quality, surface, microrelief, rolling, lubrication, emulsion, suspension.

Поступила 17.07.2017

