

УДК 621.771.23

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗНОТОЛЩИННОСТИ ПОЛОС ПРИ ПРОКАТКЕ НА ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ

© 2014 г. **С.А. Машеков, Н.Т. Смайлова, Ш.А. Бекмуханбетова,
Е.З. Нугман, Г.А. Смайлова**

Казахский национальный технический университет (КазНТУ) им. К. Сатпаева, г. Алматы
Павлодарский государственный университет (ПГУ) им. С. Торайгырова, Казахстан

Статья поступила в редакцию 28.09.12 г., доработана 22.03.14 г., подписана в печать 01.04.14 г.

С целью получения качественных листов, а также уменьшения энергосиловых параметров предлагается продольно-клиновый стан новой конструкции для прокатки тонких полос из сталей и сплавов. С помощью программы конечно-элементного анализа MSC. VisualNastran 4D исследованы кинематика и динамика механизмов с возможностью расчета напряженно-деформированного и теплового состояний как отдельных звеньев, так и механизма в целом.

Ключевые слова: прокатка, продольно-клиновой стан, разнотолщинность полос, очаг деформации.

For the purpose of obtain high-quality sheets, as well as reducing of power parameters there was proposed longitudinal V-shaped mill of the new design for rolling of thin strips from steels and alloys. With the aid of the finite elements analysis' program MSC, VisualNastran 4D, was investigated kinematics and dynamics of machinery suitable for calculation of strain-stress and thermal state both stand-alone elements as the mechanism as a whole.

Keywords: rolling, longitudinal V-shaped mill, grow-back, deformation site, uneven gauge.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития прокатного производства основной тенденцией следует считать освоение и внедрение в производство принципиально новых техники и технологий [1], обеспечивающих наряду с увеличением объема производства и повышение качества листового материала.

В настоящее время широко востребованы производство медных и алюминиевых полос и листов толщиной менее 0,5–1,0 мм, прокатка благородных и драгоценных металлов для получения заготовок в ювелирной и электротехнической отраслях промышленности и т.д. [2]. Во всех случаях при получении проката очень важными являются точность геометрических размеров, планшетность, продольная и поперечная разнотолщинность [3, 4].

Для изготовления полос с заданными толщиной, профилем и планшетной формой ведутся работы,

направленные на совершенствование прокатного оборудования, создание новых конструкций клетей, обеспечивающих эффективное воздействие на эти параметры [5–7].

Современное развитие специализированного оборудования для прокатки тонких листов и лент предполагает максимально возможное упрощение конструкций прокатных станов с одновременным повышением качества готовой металлопродукции [8, 9]. При этом необходимо обеспечить максимальную гибкость настройки процесса прокатки. Поэтому с целью минимизации затрат при разработке нового оборудования необходимо использовать возможность модернизации уже имеющихся клетей прокатных станов.

Вследствие высоких технико-экономических показателей с точки зрения удельной производитель-

Смайлова Н.Т. – докт. техн. наук, профессор кафедры металлургии ПГУ (140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64). E-mail: ganibek2006@mail.ru.

Машеков С.А. – докт. техн. наук, профессор кафедры металлургических машин и оборудования КазНТУ (050013, Казахстан, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22). Тел.: (8-727) 257-70-69. E-mail: serik_mashekov@mail.ru.

Бекмуханбетова Ш.А. – канд. техн. наук, ст. преподаватель той же кафедры. E-mail: sulubek@mail.ru.

Нугман Е.З. – канд. техн. наук, ст. преподаватель той же кафедры. E-mail: nugman79@mail.ru.

Смайлова Г.А. – канд. техн. наук, ст. преподаватель той же кафедры. E-mail: gulbarshyn@mail.ru.

ности, качества и себестоимости готовой металлопродукции основной технологической схемой промышленного производства листов является процесс порулонной прокатки относительно тонких лент и полос на непрерывных или реверсивных станах с последующим их раскроем по длине и ширине на различных агрегатах продольной и поперечной резки [10].

При прокатке благородных и драгоценных металлов в большинстве случаев используют специализированные станы, которые ограничены по объему производства готового металлопроката и не формируют исходную рулонную заготовку [8]. Процесс полистовой прокатки при производстве мелких партий различных типоразмеров по толщине, длине и ширине имеет более высокую степень адаптивности. Поэтому, упростив состав и конструкцию оборудования за счет исключения довольно сложных намоточно-натягивающих устройств и систем кинематической синхронизации их приводов, можно получить ряд других технологических и конструктивных преимуществ, что позволит использовать его при полистовой прокатке.

На предприятиях Казахстана и стран СНГ, выпускающих подобную продукцию, используют импортное оборудование. Проведенный анализ показал, что из-за специфических конструкций запасные части и комплектующие имеются только у зарубежного завода-изготовителя по сравнительно высокой цене, а изготовить их самостоятельно сложно или невозможно. В связи с этим необходимо разрабатывать специализированные станы холодной и горячей прокатки или модернизировать имеющиеся.

Для повышения качества металлопроката предлагается уменьшить диаметры рабочих валков, тем самым снизив силы прокатки [8]. Но зачастую это невозможно или ограничено вследствие конструктивных особенностей станины прокатного стана, а также тем, что при этом увеличивается прогиб валка, уменьшается прочность валкового узла и требуется устанавливать привод на опорные валки.

Одной из причин ограничения использования валков с малым диаметром является отсутствие подпора рабочих валков вдоль оси прокатки, как, например, в многовалковых клетях, что влечет за собой изгиб валков в горизонтальной плоскости, отрицательно влияющий на качество готовой продукции [8]. Другой причиной является наличие выталкивающей силы вследствие того, что от передаваемого момента на рабочий валок действует окружная сила, направленная вдоль линии прокатки.

Также при передаче крутящего момента за счет трения между валками велики потери передаваемого максимального момента, что ограничивает возможность прокатки с приводом на опорные валки.

В связи с этим актуальным является исследование влияния деформационных режимов прокатки на разнотолщинность полос при прокатке на продольно-клиновом стане, что и стало целью данной работы.

ОБОРУДОВАНИЕ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для решения вышеперечисленных проблем, а также получения качественных листов и уменьшения энергосиловых параметров нами предлагается продольно-клиновый стан новой конструкции для прокатки тонких полос из сталей и сплавов (рис. 1) [2]. Он содержит рабочие и опорные валки постоянного диаметра, а также переменного: в последовательно расположенных клетях диаметры рабочих валков уменьшаются, а опорных — увеличиваются в направлении прокатки. При этом вращение валков осуществляется с помощью двигателя переменного тока через общую цепную передачу, индивидуальной муфты, накрест расположенных колес одинакового диаметра и шестерен с зубчатой передачей.

Диаметры рабочих и опорных валков определяют соответственно по формулам:

$$D_{i+1} = \frac{h_i D_i n_i}{h_{i+1} n_{i+1}} \frac{1 + s_i}{1 + s_{i+1}},$$

$$D_{j-1} = \frac{h_j D_j n_j}{h_{j-1} n_{j-1}} \frac{1 + s_j}{1 + s_{j-1}},$$

$$(i = 1, 2, \dots, N, \quad j = N, \dots, 2, 1),$$

где h_i, h_j — толщины прокатываемой полосы в i -й или j -й клетке; n_i и n_j — частоты вращения валков i -й или j -й клетки; N — порядковый номер клетки; s_i и s_j — опережения на выходе из валков i -й или j -й клетки.

В предлагаемом стане горизонтальные оси верхних и нижних валков первых 3 клетей без нажимного механизма смещены от оси прокатки в вертикальном направлении на величину

$$\Delta x_i = 0,25 k_{\text{п}} D_{\text{pi}} \alpha_i^2,$$

где D_{pi} — диаметр новых рабочих валков i -й клетки, мм; $k_{\text{п}}$ — коэффициент переточки; α_i — допускаемый угол захвата для валков i -й клетки, град.

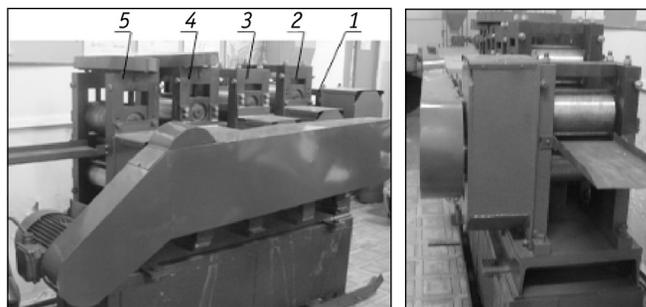


Рис. 1. Пятиклетьевого продольно-клиновый прокатный стан
1 – двухвалковая и 2, 3 – четырехвалковые клетки без нажимного устройства; 4 и 5 – четырехвалковые клетки с нажимным устройством

Следует отметить, что заданное расстояние между рабочими валками от одной клетки к другой увеличено на величину опережения.

Рабочая клетка предлагаемого прокатного стана представляет собой многокомпонентную машину, конструирование которой весьма сложный и трудоемкий процесс, требующий проведения большого объема расчетных и графических работ. Учитывая вышеизложенное, использовали программу конечно-элементного анализа MSC. VisualNastran 4D, позволяющую исследовать кинематику, динамику механизмов с возможностью расчета напряженно-деформированного и теплового состояний как отдельных звеньев, так и механизма в целом.

При конструировании рабочих клеток в среде MSC. VisualNastran 4D нами были выполнены следующие мероприятия:

- создание геометрической модели каждой детали и сборка узлов рабочей клетки;
- выбор материалов деталей, их механические и физические свойства (модуль упругости, массовая плотность, коэффициент Пуассона, предел прочности и т.п.);
- формирование кинематических и статических граничных условий;
- создание сетки конечных элементов детали;
- определение напряженно-деформированного состояния;
- оценка уровня полученных упругих деформаций и напряжений в объеме каждой детали относительно требуемых критериев жесткости и прочности, а также введение соответствующих изменений в конструкцию стана.

Исходными данными для расчета являлись твердотельная геометрическая форма конструкции стана, силы и условия закрепления, приложенные к

ним, а также условия сопряжения кинематических пар конструкции клеток.

Сборочная трехмерная геометрическая модель стана была построена в САД-программе Inventor и посредством встроенного транслятора импортирована в среду MSC. VisualNastran 4D с принятыми кинематическими связями. Данный подход позволяет улучшить связь этапов автоматизированного проектирования сложных механизмов. Для возможности автоматической коррекции геометрии модели стана использовали метод параметризации геометрических размеров конструкции. Это дает возможность по результатам расчета на прочность внести соответствующие изменения в конструкцию клетки стана.

В ходе предварительного анализа работы стана, исходя из условия симметрии работы элементов конструкции, а также для упрощения расчетной схемы были приняты к расчету наиболее нагруженные силовые элементы конструкции – валки, нажимные механизмы, клетки и шейки валков. Кинематические связи между ними моделировались кинематическими парами вращения и скольжения для общих поверхностей сопряжения. При этом учитывались соударения и трение в валках, клетях и т.д.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчета показано, что при горячей прокатке алюминиевого (Д16) и других сплавов максимальные значения эффективного напряжения и деформации не превышают допустимых значений предела прочности для материалов станины и валков.

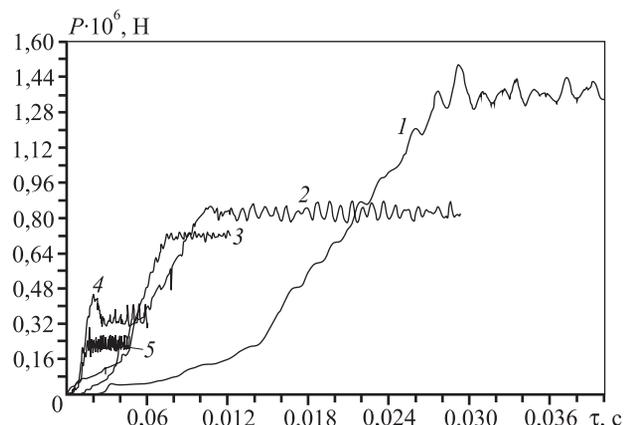


Рис. 2. Распределение усилия прокатки на новом пятиклетьевом стане
Кривые 1–5 соответствуют номерам клеток

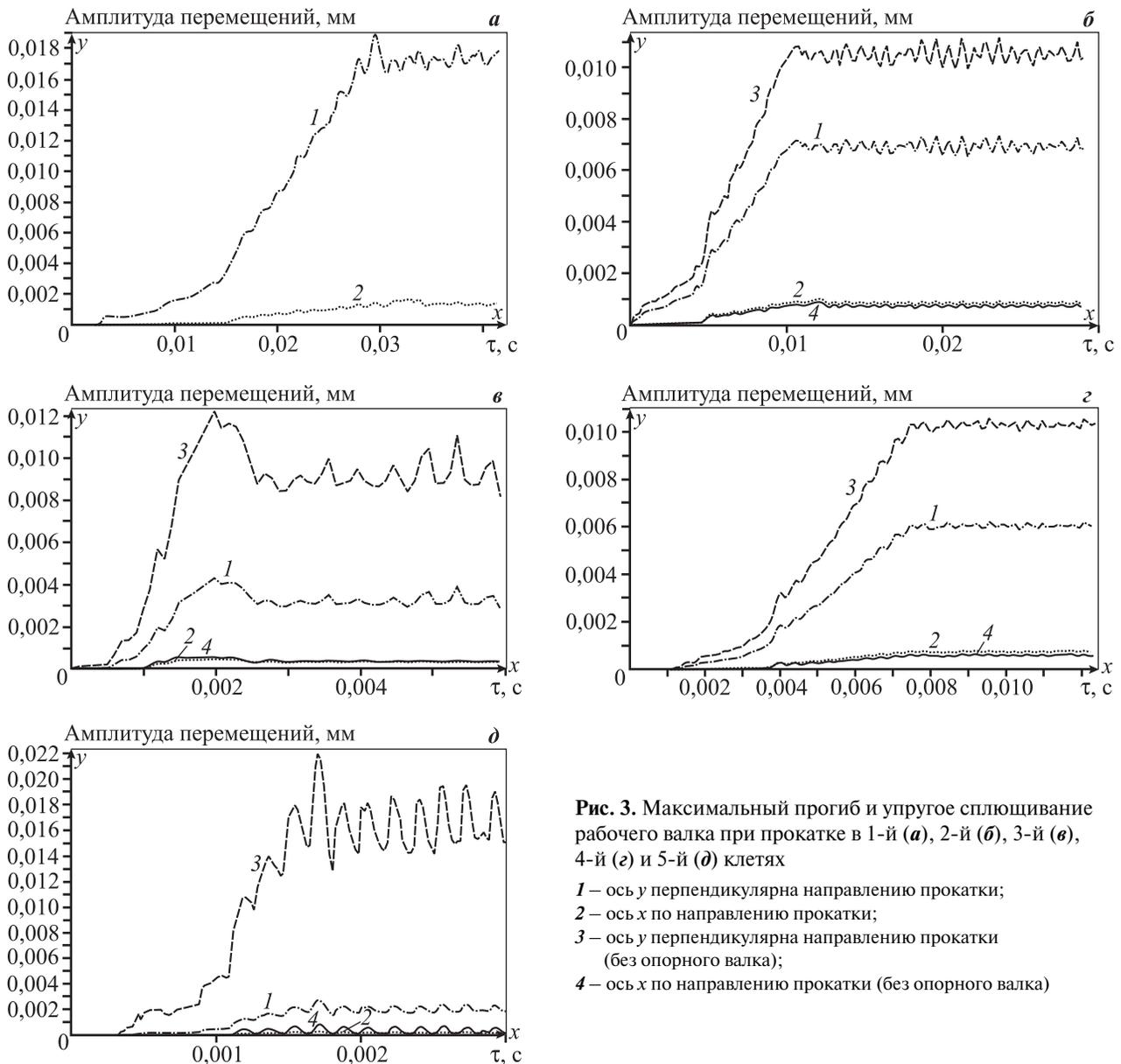


Рис. 3. Максимальный прогиб и упругое сплющивание рабочего вала при прокатке в 1-й (а), 2-й (б), 3-й (в), 4-й (г) и 5-й (д) клетях

1 – ось y перпендикулярна направлению прокатки;
 2 – ось x по направлению прокатки;
 3 – ось y перпендикулярна направлению прокатки (без опорного вала);
 4 – ось x по направлению прокатки (без опорного вала)

Для того чтобы рассчитать прогиб и упругие сплющивания валков, необходимо определить усилия (P) горячей прокатки (температура нагрева $t = 200$ °С) в клетях нового стана полос из алюминиевого сплава Д16 размером $1,0 \times 200$ мм. Результаты представлены на рис. 2, из которых следует, что усилия значительно снижаются (от 2 до 10 раз) в направлении прокатки, и это позволяет значительно сократить металлоемкость при проектировании и запуске в работу нового оборудования.

На рис. 3 представлены результаты расчета прогиба и упругого сплющивания валков от первой до последней клетки, где видно, что процесс прокатки в клетях нового стана благодаря уменьшению дли-

ны дуги захвата, т.е. длины очага деформации, имеет значительные преимущества перед обычным процессом прокатки. В результате снижения давления процесса уменьшается упругий прогиб валков и, как следствие, снижается поперечная разнотолщинность и улучшается планшетность прокатываемых полос.

Однако максимальный прогиб и упругое сплющивание рабочего вала при прокатке в новом стане, в клетях которого отсутствуют опорные валки, до 10 раз больше по сравнению с клетями, где они установлены. Наибольшее усилие, возникающее в вертикальном направлении, т.е. по оси y (см. рис. 2), приводит к появлению максимальных прогибов и

упругих сплющиваний в этом же направлении прокатки (см. рис. 3).

Небольшие усилия, возникающие в направлении оси прокатки, т.е. по оси x , обуславливают незначительные упругие перемещения материала валков в этом же направлении, которые независимо от наличия или отсутствия опорных валков примерно одинаковы.

При увеличении скорости прокатки на стане новой конструкции происходит сравнительно небольшой рост динамических нагрузок в основных узлах клетей (особенно последних) и линии привода. Исследования показали, что такие механические колебания (см. рис. 3) являются причиной малых вибраций. Также выявлено, что давление при прокатке в новом стане не зависит от величины коэффициента трения. Это позволяет упростить конструкцию валковой системы установки и облегчить систему охлаждения и смазки. А чем тоньше прокатываемая полоса, тем точнее получаются ее геометрические параметры (минимальные продольная разнотолщинность и планшетность) по сравнению с обычной прокаткой.

Расчетным путем определен оптимальный режим обжатия по клетям при горячей прокатке (температура нагрева 200 °С) профилей 1,0×200 мм и 1,2×200 мм из алюминиевого сплава Д16, который опробован на полупромышленном стане. Для этого использовали заготовки размерами 4,2×200×500 мм. Для изготовления полос требуемых толщины, профиля и планшетной формы с помощью нажимного механизма отрегулировали раствор валков на клетях. Чтобы получить тонкие полосы с минимальной разнотолщинностью, уменьшили относительные обжатия в предпоследней и последней клетях нового стана, а прокатку произвели по следующему режиму: 1-я клеть — $\epsilon = 22\%$, 2-я — 20% ; 3-я — 20% ; 4-я — 10 и 15% ; 5-я — 5 и 10% .

В лабораторных условиях дефекты планшетности полосы и разнотолщинность измеряли при свободном расположении листа на контрольном столе с помощью ультразвукового толщиномера Взлет-УТ, и по этим результатам рассчитывали частоту отклонения толщины полосы и лент от заданного значения (рис. 4).

Анализ поперечной разнотолщинности показал, что для полос толщиной 1,0–1,2 мм она находится в пределах 0,02–0,015 мм; среднее ее значение составило 0,018 мм. Это удовлетворяет требованиям стандартов СНГ на 100 % длины полосы, за исключением концевых участков (95 %).

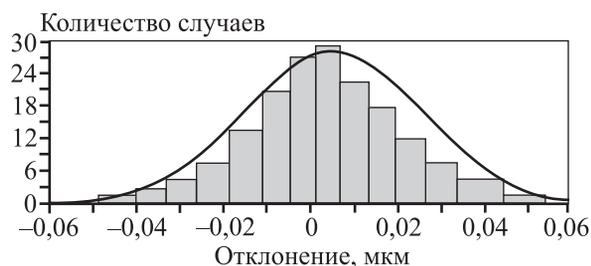


Рис. 4. Частотное распределение отклонения толщины полосы от заданного значения после прокатки на продольно-клиновом стане

Статистическое исследование планшетности прокатанных полос для разработанного непрерывного стана показало, что среднее значение амплитуды дефектов планшетности составляет 2,5–4,7 мм и уменьшается по мере увеличения толщины полосы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нового полупромышленного продольно-клинового прокатного стана позволяет снизить поперечную разнотолщинность полос и повысить эффективность работы системы автоматического регулирования их толщины (либо вообще ее не использовать).

Необходимо отметить, что хотя горячая прокатка и не обеспечивает должного качества поверхности, но стоимость 1 т горячекатанных полос по сравнению с холоднокатанными аналогичного типоразмера ниже как минимум на 20–40 долл. США. Кроме того, усилия при горячей прокатке меньше, чем при холодной, а значит, деформация клетки и составляющих элементов будет меньше, что снижает продольную разнотолщинность получаемых полос. Поэтому предлагаемый стан рекомендуется использовать для горячей прокатки тонких полос.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки. Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010.
2. Шевакин Ю.Ф., Кручер Н.Г. // Цв. металлы. 1997. № 5. С. 71–74.
3. Максимов Е.А. // Нац. металлургия. Оборудование. 2005. № 1. С. 22–27.
4. Boulton G., Domanti T., Gerber T., Wallace G. Strip edge shape control. Achieving profile & Flatness in Flat Products. IOM Conf. (Birmingham, Jan. 2006). P. 57–64.

5. Максимов Е.А. // Нац. металлургия. Оборудование. 2006. № 11. С. 60–65.
6. Агеев Л.М. // Тр. 4-го Конгр. прокатчиков (Магнитогорск, 16–19 окт. 2001 г.). М.: Черметинформация, 2002. Т. 1. С. 192–197.
7. Антипин В.Г. // Бюл. Черная металлургия. 2002. № 8. С. 3–9.
8. Кулик А.Н., Юрков К.Ю., Файчак А.А., Шевченко В.В. Перспективные конструкции прецизионных станков // http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Zmmvp/2008_10/3.pdf.
9. Максимов Е.А. // Нац. металлургия. Оборудование. 2006. № 9. С. 45–51.
10. Шевакин Ю.Ф., Райков Ю.Н., Бушев А.В., Баканов М.Б. // Цв. металлы. 2000. № 2. С. 91–97.
11. Пат. № 20969 (РК). Непрерывный стан для прокатки полос из сталей и сплавов/ С.А. Машеков, Е.З. Нугман, А.С. Машекова и др. 2009.

УДК 621.771:669.716

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОРФОЛОГИИ ЧАСТИЦ СОРТНЫХ СТРУЖКОВЫХ ОТХОДОВ ИЗ ЛАТУНИ Л63 НА СВОЙСТВА ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ, ПОЛУЧАЕМЫХ ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ

© 2014 г. Н.Н. Загиров, И.Л. Константинов, Е.В. Иванов, А.А. Роговой

Институт цветных металлов и материаловедения
Сибирского федерального университета (ИЦМиМ «СФУ»), г. Красноярск

Статья поступила в редакцию 22.02.13 г., подписана в печать 07.05.13 г.

Рассмотрено влияние морфологии частиц сортовых стружковых отходов из латуни Л63 на свойства прутков и проволоки, получаемых обработкой давлением. Для исследований частицы стружки разделили на 3 типа: витые, чешуйчатые и опилки. Каждый из них нагревали до температуры 450 ± 5 °С и брикетировали на вертикальном прессе. После этого брикеты нагревали до температуры 850 °С и экструдировали прямым методом с получением прутков диаметром 8 и 6 мм. Коэффициенты вытяжки при этом равнялись соответственно 32 и 56. Прессованные прутки подвергали волочению, в результате которого диаметр проволоки составил 2 и 3 мм. Изучение свойств прутков и проволоки показало, что стружковые отходы из латуни Л63 могут служить сырьем при изготовлении полуфабрикатов для горячей экструзии и последующего волочения проволоки. Установлено, что морфология частиц стружки мало влияет на технологические свойства брикетов, а также на механические характеристики прессованных прутков и получаемой волочением проволоки, механические свойства которой удовлетворяют требованиям ГОСТ 1066-90.

Ключевые слова: латунь, стружка, брикетирование, экструзия, волочение, механические свойства, морфология.

There was investigated influence of morphology of graded waste chips from brasses L63 on properties of bars and wires obtained by means of chipless shaping. For research particles of chips were divided on 3 types: spiral, flaked and sawing. Any one of them was heated to temperature 450 ± 5 °C and briquetted on the forgemaster. Afterwards briquettes were heated to temperature of 850 °C and extruded by means of direct method with resulting of bars diameters 8 and 6 mm. Herewith elongating ratios were equal to 32 and 56, correspondingly. Pressed bars were subject to drawing, as consequence diameter of wire was equal to 2 and 3 mm. Examination of bars and wire properties showed that waste chips from brasses L 63 could be raw materials during manufacturing of half-prepared products for hot extrusion and subsequent wire drawing. There was established that morphology of chips particles has a little effect on fabrication characteristics of briquettes, as well as on mechanical characteristics of pressed bars and obtained by means of drawing wire, mechanical properties of which meet demands of GOST 1066-90.

Keywords: brasses, chips, briquetting, extrusion, drawing, mechanical properties, morphology.

Загиров Н.Н. – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой обработки металлов давлением ИЦМиМ «СФУ» (660025, г. Красноярск, пр-т Красноярский рабочий, 95). Тел.: (8391) 213-35-50. E-mail: kafOMD_1@mail.ru.

Константинов И.Л. – канд. техн. наук, доцент той же кафедры. E-mail: ilcon@mail.ru.

Иванов Е.В. – ст. преподаватель той же кафедры. E-mail: kafOMD_1@mail.ru.

Роговой А.А. – магистрант той же кафедры.