

УДК 621.771

Телегин В. Е.  
Смирнов П. Н.  
Яковлева Е. Б.  
Денисов С. В.  
Голубчик Э. М.

## ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОКАТАНОЙ МОНЕТНОЙ ЛЕНТЫ

В современных условиях одним из широко востребованных видов металлопродукции является холоднокатаная лента, используемая в различных отраслях народного хозяйства: автомобилестроении, строительстве, а также в производстве товаров народного потребления. Для крупных металлургических предприятий, как правило, данный вид продукции, обладающий высокой добавленной стоимостью, является эксклюзивным. Причем, показатели качества подобной продукции традиционно регламентируются не только нормативными документами, но и дополнительными требованиями потребителей, которые достаточно часто либо не сочетаются с положениями стандартов, либо являются труднодостижимыми в процессе производства. Эта ситуация требует разработки новых подходов к конструированию технологических схем и активному внедрению адаптационных моделей. Примером такой продукции можно считать холоднокатаную ленту, предназначенную для высокоскоростной холодной вырубке монетных заготовок, производимую в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») [1, 2].

Как показывает анализ научно-технической литературы, отечественная практика и мировой опыт изготовления холоднокатаной ленты для обеспечения в ней сложно сочетаемого комплекса физико-механических свойств необходимы специализированные прокатные станы и энергозатратный технологический процесс производства. Именно этими обстоятельствами объясняется современная проблема получения монетной заготовки на Российских металлургических предприятиях (например, для чеканки десятирублевых монет), что также связано с отсутствием на отечественных металлургических предприятиях разработанных эффективных технологий производства металлопроката для нее, включая изготовление холоднокатаной ленты. Такая лента в соответствии с требованиями заводов по изготовлению монет должна обладать уникальным комплексом физико-механических свойств, сочетающих ограниченный диапазон твердости ( $HR_{15T} = 72-76$  ед.), низкую шероховатость поверхности ( $Ra \leq 0,8$  мкм), а также лента должна иметь высокую точность по толщине (уровень разнотолщинности должен составлять  $0/-0,06$  мм). В технической литературе практически отсутствуют сведения по изготовлению подобной холоднокатаной ленты, что связано со спецификой ее производства, предусматривающей многостадийность и многовариантность технологии [3].

Целью работы является разработка эффективной технологии производства холоднокатаной монетной ленты, предназначенной для последующего изготовления методом скоростной холодной вырубке монет, применяемых в Российской Федерации.

Общеизвестным является тот факт, что для вырубке изделий используется высоконагартованная лента, где твердость в несколько раз превышает указанную выше. Однако в целях обеспечения процесса теснения и снижения износа инструмента при чеканке готовых монет присутствует определенная регламентация твердости поверхности используемой холоднокатаной ленты. Также для обеспечения бездефектного процесса высокоскоростной холодной вырубке твердость холоднокатаной ленты должна быть различной для нижней и верхней ее поверхностей. Чрезмерно низкая шероховатость поверхности связана с тем, что в процессе переработки в монетную заготовку лента подвергается операции нанесения покрытия. В части регламентации высокой точности изготовления по толщине ленты, то данный аспект обусловлен предъявляемыми требованиями к массе и геометрии заготовки для монет.

Следует отметить, что данный вид продукции должен производиться в условиях крупного металлургического предприятия при массовом производстве с большим объемом размерно-марочного сортамента прочей продукции, единым технологическим циклом и непрерывной загрузкой основного технологического оборудования. Таким образом, для обеспечения заданного комплекса свойств холоднокатаной ленты в процессе ее производства на неспециализированном оборудовании возникает необходимость оперативной корректировки деятельности, как всей технологической цепочки производства, так и отдельных ее элементов, включая и элементы оборудования. Поэтому на первый план выступает острая проблема технологической адаптации.

Современная технология производства стальной холоднокатаной ленты в условиях ОАО «ММК» является характерным примером многовариантной многостадийной технологической системы (ММТС). При этом традиционные подходы к разработке в ММТС технологий производства холоднокатаной ленты с уникальным набором технологических, эксплуатационных и потребительских свойств являются малоэффективными, так как предусматривают затратный метод «проб и ошибок» и не позволяют оперативно осуществлять «перестройку» технологии при изменении или корректировке требований заказчика. Кроме того, использование традиционного метода приводит к ситуации, когда от лица, принимающего решение (ЛПР) по способу организации технологического процесса, зачастую зависит успешность в достижении требуемой результативности.

Специалистами ОАО «ММК» совместно с учеными ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова» был разработан новый подход к конструированию в ММТС технологий изготовления металлопродукции с высокой добавленной стоимостью с применением принципов технологической адаптации, в частности, холоднокатаной монетной ленты [4–6].

Под «технологической адаптацией» понимается процесс целенаправленного изменения технологической системы в соответствии с определенными критериями приспособления ее структуры и функций к условиям внешней среды, обеспечивающих достижение целей системы (соответствующий уровень качества, ожидания потребителей, требования стандартов и нормативной документации). Рассматриваемый подход предусматривает оценку технико-технологических возможностей предприятия на стадии принятия заказа, анализ технологических факторов (по переделу), влияющих наибольшим образом на изменчивость качественных показателей конечной продукции и выработку рациональных механизмов адаптации с учетом данных факторов для достижения целей системы.

В случае производства холоднокатаной ленты для монетной заготовки в качестве значимых были исследованы представленные ниже технологические факторы:

– значение механических свойств горячекатаного подката в зависимости от химического состава стали, а также температурно-деформационных режимов горячей прокатки полосы и ее смотки в рулон;

– набор и последовательность технологических операций переработки горячекатаного рулонного подката в холоднокатаную ленту конечных размеров;

– уровень технологических параметров обработки металлопроката на каждой операции.

Как показали проведенные исследования, для обеспечения требуемой пластичности металла и параметров твердости в диапазоне HR15T 72-76 ед. необходимо использование стали, имеющей пониженное содержание углерода (менее 0,07 %). При этом необходима стратегия микролегирования карбонитридообразующими элементами, такими как Nb, V, Ti, обеспечивающая формирование микроструктуры без атомов внедрения в твердом растворе железа.

Для поддержания уровня разнотолщинности готовой ленты в заданном узком диапазоне были разработаны мероприятия, обеспечивающие минимальную разнотолщинность горячекатаного подката, например, было определено рациональное соотношение толщины горячекатаной полосы в зависимости от конечной толщины монетной ленты. В ходе исследований было также установлено, что для обеспечения требуемой геометрии готовой ленты необходимо обеспечить в поперечном сечении горячекатаного подката чечевицеобразный профиль с выпуклостью до 0,04 мм. Кроме того, для формирования дифференцируемой твердости верхней и нижней поверхностей на подкате, а, соответственно, и в ленте, был разработан комплекс мероприятий по регламентации процесса охлаждения поверхности

горячекатаной полосы на отводящем рольганге широкополосного стана горячей прокатки. В частности, предложено охлаждению водой подвергать только одну поверхность полосы, на которой при этом обеспечивается формирование более мелкого зерна в микроструктуре.

Другим значимым фактором, определяющим результативность процесса в ММТС, является строго определенная последовательность технологических операций, способствующая формированию технологической наследственности.

В целях систематизации применения адапционных механизмов к технологической системе производства холоднокатаной монетной ленты в условиях ОАО «ММК» был разработан соответствующий алгоритм изготовления ленты с набором качественных показателей, определенных потребителем. Для производства холоднокатаной ленты, предназначенной для изготовления монетной заготовки, при алгоритмизации технологической адаптации выделено три возможных уровня технологической адаптации (рис. 1):

- $A_1$  – адаптация технологической схемы (набор операций);
- $A_2$  – адаптация технологических режимов в данной операции;
- $A_3$  – адаптация требуемого набора параметров в исходном состоянии (в данном примере, в горячекатаном подкате для производства ленты).

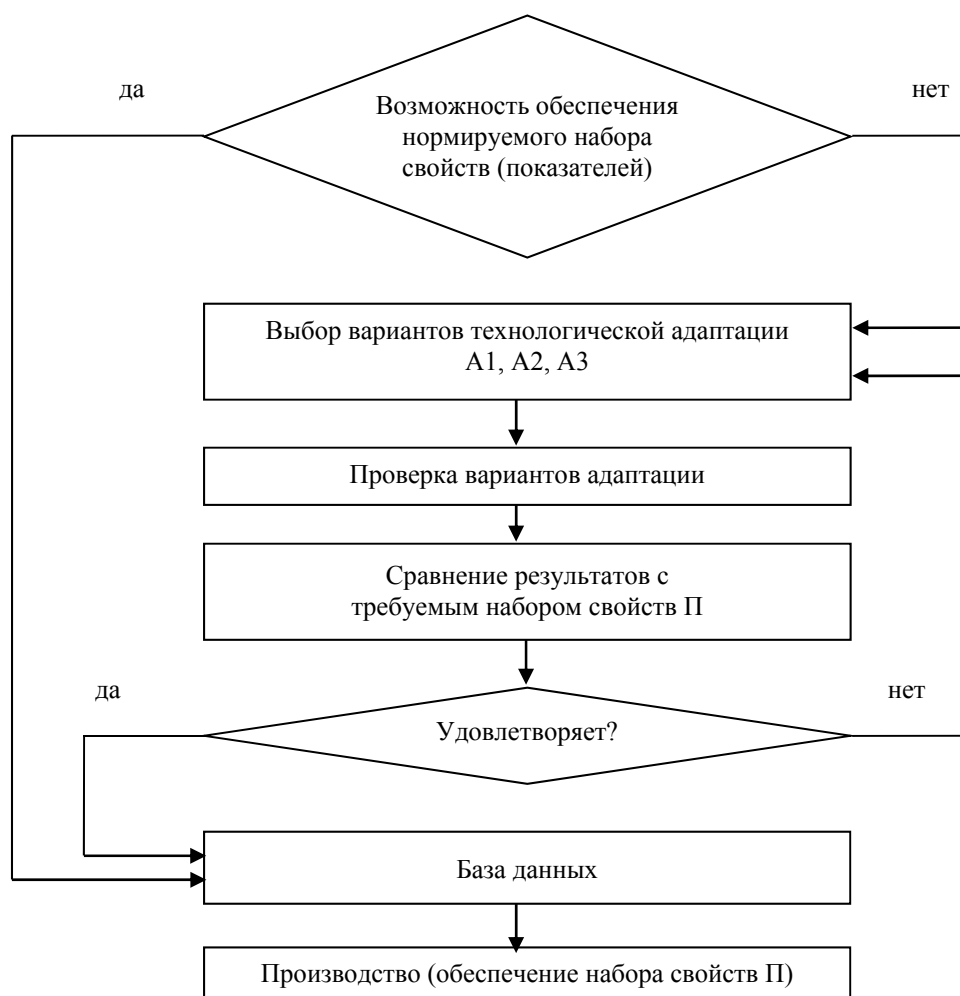


Рис. 1. Алгоритм технологической адаптации при изготовлении холоднокатаной монетной ленты

Как видно из рисунка алгоритм выбора вариантов адаптации предполагает определение вариантов адаптации, их проверку на обеспечение требуемого диапазона и, наконец, переход к производству с занесением результатов в базу данных с ее последующим накоплением. Выбор вариантов заключается в определении необходимых элементов адаптации и их сочетаний. Проверка выбранных вариантов осуществляется посредством математического моделирования на основе уравнений корреляционно-регрессионного анализа.

В результате проведенных исследований, а также выработки эффективных адаптационных решений была разработана высокоэффективная технология, предусматривающая следующую последовательность технологических операций: выплавка стали, ее непрерывная разливка с порезкой на слябы, горячая прокатка и смотка полосы в рулон, продольный роспуск широкой горячекатаной полосы и укрупнение рулонов; травление полос в растворе соляной кислоты на агрегате непрерывного травления; холодная прокатка полосы на пятиклетевом непрерывном стане 630 с регламентированными обжатиями и натяжениями; рекристаллизационный ступенчатый отжиг рулонов в колпаковых печах; дрессировка отожженных полос на двухклетевом прокатно-дрессировочном стае 630; порезка готовой ленты на заказную ширину.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, для повышения эффективности и результативности производства холоднокатаной ленты, предназначенной для изготовления монетной заготовки методами высокоскоростной холодной вырубki, представляется наиболее целесообразным использовать принципы технологической адаптации, предусматривающие выбор параметров качества готовой ленты (в данном случае, например, шероховатость, либо твердость поверхности) и проведение анализа его пооперационной изменчивости в зависимости от условий и уровня адаптации. Такой подход позволяет минимизировать технологические риски при изготовлении холоднокатаной ленты с повышенными потребительскими свойствами.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Опыт работы пятиклетевого непрерывного стана «630» холодной прокатки в цехе ленты ОАО «ММК» / Смирнов П. Н., Голубчик Э. М., Куницын Г. А., Торохтий В. П., Портнягин Б. А. // Производство проката. – 2007. – № 7. – С. 23–24.*
2. *Управление качеством поверхности холоднокатаной ленты широкого сортамента в условиях ЛПЦ № 8 ОАО «ММК» / Смирнов П. Н., Голубчик Э. М., Куницын Г. А., Бондяев И. И. // Сталь. – 2007. – № 2. – С. 79–80.*
3. *Повышение результативности производства холоднокатаной упаковочной ленты из стали марки 30Г2 путем применения адаптационных механизмов / Голубчик Э. М., Яковлева Е. Б., Телегин В. Е., Яшин В. В., Смирнов П. Н. // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2010. – № 1. – С. 62–66.*
4. *Голубчик Э. М. Разработка принципов технологической адаптации при производстве металлопродукции в многообъектных технологических системах / Э. М. Голубчик, В. Е. Телегин // Цветные металлы 2011 : сб. докл. III междунар. конгресса в составе XVII Междунар. конф. «Алюминий Сибири», VII Симпозиума «Золото Сибири». – Красноярск : СФУ; ООО «Версо», 2011. – С. 597–601.*
5. *Построение адаптационных моделей при проектировании многообъектных технологических систем / Э. М. Голубчик, Э. М. Голубчик, В. Е. Телегин, А. В. Хохлов // Управление большими системами : материалы VIII школы-конференции молодых ученых. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2011. – С. 318–321.*
6. *Исследование способов повышения результативности функционирования многостадийных технологических систем / Телегин В. Е., Голубчик Э. М., Курбан В. В., Васильев И. С., Горшков С. Н. // Сталь. – 2012. – № 7. – С. 51–54.*

Телегин В. Е. – вед. инж. центр. лаб. контроля ОАО «ММК»;

Смирнов П. Н. – канд. техн. наук, вед. инж. центр. лаб. контроля ОАО «ММК»;

Яковлева Е. Б. – вед. инж. центр. лаб. контроля ОАО «ММК»;

Денисов С. В. – д-р техн. наук, проф., нач. центр. лаб. контроля ОАО «ММК»;

Голубчик Э. М. – канд. техн. наук, доц., МГТУ им. Г. И. Носова.

ОАО «ММК» – Открытое акционерное общество «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия.

МГТУ им. Г. И. Носова – Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, г. Магнитогорск, Россия.

E-mail: telegin.ve@mmk.ru

Статья поступила в редакцию 20.10.2012 г.