

Министерство образования и науки Украины
Одесский национальный политехнический университет

Труды
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический
сборник

СПЕЦВЫПУСК
2002

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2002. — Спецвыпуск. — 90 с. — Яз. рус., укр., англ.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Малахов В.П. — гл. редактор, *Кострова Г.В.* — зам. гл. редактора, *Плескач Л.О.* — отв. секретарь, *Баранов П.Е.*, *Дащенко А.Ф.*, *Дубковский В.А.*, *Куценко А.Н.*, *Пуйло Г.В.*, *Алексеева Л.А.*, *Ефрюшина Н.П.*, *Кругляк Ю.А.*, *Куншенко Б.В.*, *Новохатский И.А.*, *Бельтюков Е.А.*, *Маковеев П.С.*, *Продюс И.П.*, *Соколенко В.Н.*, *Харичков С.К.*, *Гончарук Г.И.*

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Печатается по решению Ученого совета Одесского национального политехнического университета, протокол № 10 от 25.06.2002 г.

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:
<http://www.ospu.odessa.ua>

<i>О.С. Савельева, Н.П. Худенко, С.Н. Красножон. Стратегическая оптимизация управления погрузкой автотранспортных средств</i>	54
<i>Т.П. Становская, С.Г. Четвериков. Моделирование влияния тепловой обработки на деструкцию клеточных структур</i>	58
<i>Г.А. Статюха, Т.В. Бойко, В.И. Бендюг. Использование индексов пожаровзрывоопасности и токсической опасности при оценке техногенного риска промышленных объектов</i>	61
<i>Г.А. Статюха, Ю.А. Безносик, Л.Н. Бугаева, Д. Растами Пур. Исследование и моделирование хемосорбционной очистки газов от оксидов азота и серы</i>	64
<i>Е.Н. Шевцов, И.В. Николенко. Применение бироторных объемных насосов в системах перекачки воды в шахтах</i>	67
<i>О.И. Прокопович, И.В. Прокопович, В.Д. Гогунский. Автоматизация производства высококачественной катанки для изготовления проводов сверхтонких сечений</i>	68
<i>В.А. Вайсман. Исследование напряжений и перемещений в областях контакта тел качения</i>	72
<i>О.Л. Становський, О.С. Балан, Т.П. Становська. Зниження часової складності побудови структури схемотехнічних моделей теплових процесів</i>	76
<i>Л.Б. Радченко, В.А. Новик, С.О. Пристайлов. Применение и моделирование червячных экструдеров как реакторов</i>	79
<i>В.И. Мещеряков. Сбор данных в системе защиты объектов</i>	81
<i>Ю.М. Хомяк, О.С. Савельева. Трубный пучок как двухпараметрическое упругое основание для трубных решеток</i>	84
<i>Т.И. Коджа, В.Д. Гогунский. Определение необходимых и достаточных условий объективности оценки результатов тестирования</i>	87
<i>Victor A. Krissilov, Dmitry N. Oleshko. Acceleration of neural-network model training by application of sufficiency principle</i>	89

ния центров цилиндрических зубьев, r — радиус цилиндрических зубьев.

Насосы бироторного типа, однако, не нашли широкого применения в объемном гидроприводе в связи с тем, что их максимальное рабочее давление не превышает 10 МПа, то есть существенно ниже уровня рабочих давлений в современном объемном гидроприводе. Однако такого давления вполне достаточно для замены центробежных насосов в системах перекачки различных жидкостей. При этом сохраняются такие преимущества объемного гидропривода, как постоянство подачи и высокий КПД в широком диапазоне напоров. В связи с простотой конструкции бироторных насосов их габариты, масса и стоимость при серийном производстве будут существенно ниже, чем у традиционно применяемых центробежных, а с учетом повышения КПД эффективность применения бироторных насосов становится еще выше.

Возможность и эффективность использования бироторных насосов для перекачки жидкостей основывается на их следующих преимуществах.

Современный уровень технологии машиностроения позволяет с достаточной точностью изготавливать шестерни героторных пар — основного элемента бироторных насосов.

При использовании внутреннего героторного зацепления скорость относительного перемещения рабочих поверхностей шестерен снижается в число раз, равное числу зубьев шестерни. Например, при числе оборотов электродвигателя 1500 об/мин и числе зубьев шестерни 10...12 относительная скорость гидроабразивной среды будет примерно в 10 раз ниже, чем скорость среды в центробежном насосе при такой же частоте вращения ротора. Следовательно, уменьшится гидроабразивный износ механизма, что особенно важно при откачивании воды с большим количеством механических примесей. В сравнении с центробежными насосами бироторные насосы имеют габариты в 2...4 раза и массу в 2...5 раз меньшие.

Повышение КПД на 10...15 % обеспечивает снижение установочной мощности электродвигателя, что соответственно снижает стоимость всего насосного агрегата.

Стабильное значение КПД на уровне 75...90 % в широком диапазоне напоров уменьшает потребление электроэнергии насосными агрегатами минимум на 10...15 %.

Особенности конструкции бироторных насосов позволяют уменьшить число типоразмеров в сравнении с центробежными с 48 до 6, что существенно снижает сроки проектирования и подготовки производства, а также обеспечивает дополнительное снижение затрат при эксплуатации и ремонте. Следует отметить, что изменение частоты вращения насоса пропорционально изменяет его подачу, что позволяет расширить возможности выбора оптимальных параметров систем для перекачки жидкостей.

В связи с простотой конструкции предлагаемых насосов их стоимость при серийном производстве будет на 30...40 % ниже, чем традиционно используемых центробежных, а с учетом повышения КПД эффективность применения объемных насосов такого типа становится еще выше.

Потребителями бироторных насосов могут быть как предприятия угольной и горной промышленности, так и других отраслей, нуждающихся в перекачке жидкостей.

Поступила в редакцию 17 апреля 2002 г.

УДК 621.74:681.5

О.И. Прокопович, магистр,
И.В. Прокопович, канд. техн. наук, доц.,
В.Д. Гогунский, д-р техн. наук, проф.,
Одес. нац. политехн. ун-т

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ КАТАНКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ СВЕРХТОНКИХ СЕЧЕНИЙ

О.І Прокопович, І.В. Прокопович, В.Д. Гогунський. Автоматизація виробництва високоякісної катанки для виготовлення дроту надтонких перерізів. Проаналізовано зміни параметри автоматизованого технологічного процесу, що впливають на якість високоелектропровідної безкисневої мідної катанки.

O.I Prokopovich, I.V. Prokopovich, V.D. Gogunsky. Automation of manufacture high-quality wire rod for manufacturing wires of superthin sections. The variable parameters of the automated technological process influencing quality well carried out an electricity there is no oxygen copper wire rod are analysed.

Конкуренентоспособное производство медных проводов тонких и сверхтонких сечений представляет собой общепризнанную техническую проблему. Качество получаемого провода

зависит от ряда факторов: технологических параметров волочильных машин и фильер, состояния смазки, качества исходных заготовок, поступающих на волочение и др. Заготовкой для производства медных проводов в волочильных машинах грубого волочения является катанка.

Производство катанки основано на технологических процессах непрерывного литья [1, 2]. Наиболее распространенной является технология получения ЕТР-катанки из электролитической меди методом горизонтального непрерывного литья с последующей горячей деформацией в прокатных клетях с изменением прямоугольного поперечного сечения отливки на круглое. Более прогрессивным с точки зрения технологичности является процесс получения высокоэлектропроводной бескислородной медной катанки (НСОФ), при котором полностью исключаются операции прокатки. Кроме того, использование НСОФ-катанки по сравнению с ЕТР-катанкой при волочении дает преимущество в 1,5 раза по такому параметру как M/N , где M — масса полученного провода, кг; N — количество разрывов при волочении, и до 4 раз лучшие характеристики волочильного оборудования в единицах производительности и коэффициента загрузки при многоручьевом тонком волочении [2]. Это различие объясняется присутствием большого количества закиси меди (Cu_2O) в ЕТР-катанке и намного большей сложностью процесса ее производства, включающего большое количество технологических переменных, что приводит к различным дефектам по литью и при прокатке. Однако более простой процесс производства НСОФ-катанки (АпКаст-процесс), исключая операции горячей деформирования заготовки, при снижении количества контролируемых параметров, тем не менее, не может обеспечить полной бездефектности катанки и требует строгого соблюдения технологии и дальнейшего усовершенствования.

Современная установка АпКаст-процесса представляет собой сложную автоматизированную систему непрерывного литья для меди и других сплавов [3]. Кристаллизующийся слиток вытягивается вертикально вверх через погруженный в расплав кристаллизатор (рис. 1). Основными элементами литейной машины являются графитовая матрица-кристаллизатор, охладитель (охлаждаемый водой медный кожух), тяговые валки и прижимные ролики. Кристаллизатор и охладитель погружены в расплав меди. Расплав находится в индукционной печи канального типа под слоем покрывного флюса.

Вытягивание новой стренги начинается с введения в кристаллизатор затравки — небольшого металлического наконечника с резьбой, навинченной на стартовый стержень. Когда расплав кристаллизуется на затравке, стартовый стержень извлекается при помощи тягового вала и прижимных роликов вытягивающей машины и отрезается в месте, где затравка сплавлена с вытягиваемой стренгой. Свободный конец катанки заправляется в приемное устройство. С этого момента процесс автоматизирован, и произведенная катанка наматывается в бухты в системе электроприводных моталок.

Схема АпКаст-технологии (рис. 2) связывает такие переменные процесса как скорость литья V , металлостатическое давление P , теплообмен Q , концентрацию кислорода C_{O_2} и водорода

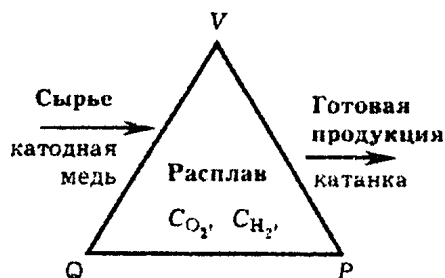


Рис. 2. Переменные параметры процесса

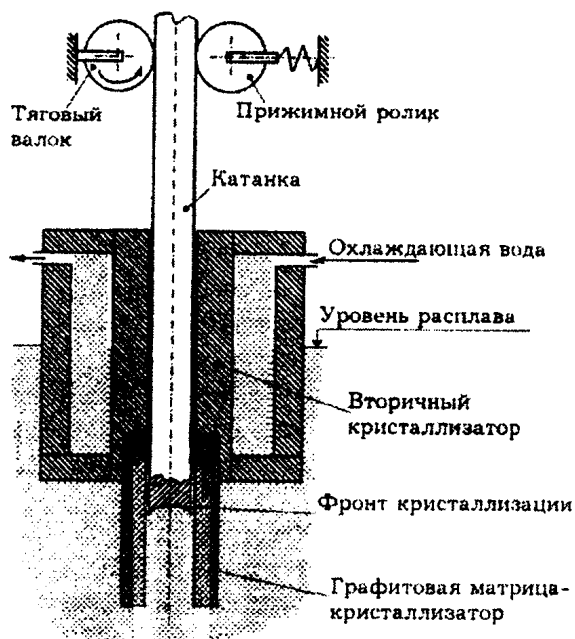


Рис. 1. Технологическая схема процесса

и коэффициента загрузки при многоручьевом тонком волочении [2]. Это различие объясняется присутствием большого количества закиси меди (Cu_2O) в ЕТР-катанке и намного большей сложностью процесса ее производства, включающего большое количество технологических переменных, что приводит к различным дефектам по литью и при прокатке. Однако более простой процесс производства НСОФ-катанки (АпКаст-процесс), исключая операции горячей деформирования заготовки, при снижении количества контролируемых параметров, тем не менее, не может обеспечить полной бездефектности катанки и требует строгого соблюдения технологии и дальнейшего усовершенствования.

Вытягивание новой стренги начинается с введения в кристаллизатор затравки — небольшого металлического наконечника с резьбой, навинченной на стартовый стержень. Когда расплав кристаллизуется на затравке, стартовый стержень извлекается при помощи тягового вала и прижимных роликов вытягивающей машины и отрезается в месте, где затравка сплавлена с вытягиваемой стренгой. Свободный конец катанки заправляется в приемное устройство. С этого момента процесс автоматизирован, и произведенная катанка наматывается в бухты в системе электроприводных моталок.

Схема АпКаст-технологии (рис. 2) связывает такие переменные процесса как скорость литья V , металлостатическое давление P , теплообмен Q , концентрацию кислорода C_{O_2} и водорода C_H , подчеркивая отношения между ними и то, как колебания одного или нескольких параметров влияют на стабильность технологического процесса S и качество конечной продукции K , т.е.

$$S = f_S(V, P, Q);$$

$$K = f_K(V, P, Q, C_{O_2}, C_H).$$

В свою очередь, каждая переменная технологического процесса зависит от ряда различных факторов (рис. 3).



Рис. 3. Факторы, влияющие на технологические параметры процесса

Параметры V , P , Q являются достаточно легко контролируемыми, регулируемыми и находятся в функциональной зависимости друг от друга.

Рассмотрим влияние различных параметров на качество получаемой продукции. Скорость литья влияет на сплошность и пористость катанки по сечению и неразрывно связана с интенсивностью теплообмена и металлостатическим давлением. На рис. 4, а показан фронт кристаллизации в состоянии равновесия. Его форма, слегка вогнутая, отражает эффект направления кристаллизации (радиально от краев к центру) и направления литья (вертикально вверх). Если интенсивность теплообмена и металлостатическое давление постоянны, увеличение скорости литья ведет к изменению формы фронта кристаллизации, делая его более вогнутым (рис. 4, б). После того, как совокупное влияние металлостатического давления, интенсивности теплообмена и скорости вытягивания выводят систему из равновесия, сначала в отливке наблюдается осевая усадочная пористость (рис. 4, в), а затем и сквозные осевые пустоты (рис. 4, г). В современных условиях, когда процесс вытягивания осуществляется при помощи серводвигателей, управляемых контроллером, эффективная скорость литья катанки диаметром 8 мм может достигать 4 м/мин.

Скорость литья складывается из циклически повторяющихся вытягивающих движений — вытягивания. Циклическость вытягивающих движений задается тяговыми валками. Воздействие вытягивания изменяется от поверхностных рисок до об-

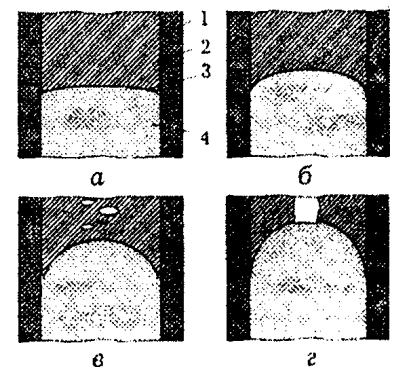


Рис. 4. Принципиальная схема производственного брака по литью вследствие неправильного теплообмена: а — равновесное состояние; б — искажение во фронте кристаллизации; в — осевая пористость; г — трубчатая отливка; 1 — матрица-кристаллизатор; 2 — твердая фаза (отливка); 3 — фронт кристаллизации; 4 — жидкая фаза (расплав)

рывов катанки. Тем не менее, все дефекты легко обнаружимы простым установлением непостоянства расстояния между следами тяговых валков на поверхности катанки и могут быть полностью устранены при содержании вытягивающей машины в исправности.

Интенсивность теплообмена зависит от того, насколько свободно избыточная теплота отводится от расплава охлаждающей водой в системе "кристаллизатор — охладитель". Чтобы максимизировать эффективность теплопередачи, матрица-кристаллизатор устанавливается в охладитель посредством резьбового соединения, что значительно увеличивает контактную поверхность при теплообмене и облегчает установку кристаллизатора. В оптимальном случае катанка кристаллизуется по всему сечению при прохождении сквозь матрицу-кристаллизатор за один цикл вытягивания. Если скорость литья и металлостатическое давление постоянны, снижение интенсивности теплообмена нарушает эту синхронность, форма фронта кристаллизации изменяется, что приводит к тем же дефектам (см рисунок 4).

В АпКаст-процессе металлостатическое давление контролируется автоматически при помощи поплавка и определяется тем, насколько глубоко кристаллизатор погружен в расплав, т.е. насколько высок уровень расплава над фронтом кристаллизации в матрице-кристаллизаторе. Это давление определяет скорость, с которой расплав будет поступать в кристаллизатор, заполняя все свободное пространство, оставшееся после последнего цикла вытягивания, а также возможные осевые усадочные раковины. Дефекты катанки, образующиеся из-за недостаточного металлостатического давления, будут те же, что и в рассмотренных случаях влияния скорости литья и интенсивности теплообмена.

Кислород в НСОФ-катанке оказывает двойное вредное воздействие: является причиной газовой микропористости и поверхностных трещин на катанке в местах контакта с тяговыми валками, вызываемых образованием СО и СО₂ вследствие реакции между графитом кристаллизатора и кислородом расплава. Поэтому максимально возможным содержанием кислорода в качественной катанке является 3 ppm. Содержание водорода больше 1 ppm представляет проблему в производстве провода сверхтонких сечений, связанную с водородной микропористостью, в отдельности или совместно с кислородной. Расплав меди склонен к насыщению кислородом и водородом. Причем, концентрация этих газов в расплаве может превысить допустимые значения за малый период времени контакта зеркала расплава с атмосферой, загрязненным покрывным флюсом и т.д. Несмотря на это, параметры СО₂ и С_Н являются практически не контролируемыми в ходе технологического процесса, а регулирование и поддержание их в заданных интервалах целиком основано на подготовке шихтовых материалов и неукоснительном соблюдении технологии плавки.

Кроме того, на качество катанки влияет состояние футеровки печи и футеровки канала. Из-за постоянного движения расплава в канале печи происходит ее постепенное разрушение и вымывание в ванну частиц набивной футеровки, которые поднимаются к поверхности. С ростом их концентрации в расплаве они попадают в матрицу-кристаллизатор и закристаллизовываются в катанке. Обнаружение таких включений в сечении катанки происходит только при ее волочении, что приводит к увеличению обрывов провода. Контроль футеровки канала печи в процессе плавки представляет собой актуальную технологическую проблему и пока носит только приблизительный оценочный характер.

Таким образом, для повышения стабильности технологического процесса и качества получаемой катанки необходимо не только следить за легко регулируемыми параметрами процесса скорости литья, интенсивности теплообмена и металлостатическим давлением, но и провести ряд мероприятий, позволяющих в автоматическом режиме следить за ходом плавки, содержанием кислорода и водорода в металле, а также за состоянием футеровки канала печи.

Литература

1. McNulty, Michael J. 1995. Multi-wire technology: The Advantage and the Challenge. In: Non ferrous wire handbook. Volume 3: Principles and Practice. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
2. Metzler, David A. 1995. Ultrafine Drawing of Copper Wire In Non ferrous wire handbook Volume 3 Principles and Practice. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
3. Pietila, Seppo. 1995. Outokumpu Upcast® Continuous Casting System. In: Non ferrous wire handbook. Volume 3: Principles and Practice Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.