

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ СОРБИТИЗАЦИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

В.И. Алимов (ДонНТУ, г. Донецк)

На проволочных заготовках диаметром 2,6÷6,5 мм из сталей с 0,67÷0,70% углерода и 0,51÷0,64% марганца установлена принципиальная возможность получения сорбитной структуры электролитно-плазменной обработкой, что обеспечивает деформируемость в холодном состоянии и необходимые свойства проволоки из этой заготовки.

Получение сорбитной структуры в заготовках из сталей с содержанием углерода 0,3÷1,0%, предназначенных для передела в проволоку холодным волочением, производится до настоящего времени патентированием в расплавах солей и этот процесс в своей технологической сущности оказался столь консервативным, что, несмотря на присущие ему недостатки, остается основным способом получения сорбитной структуры на сталепроволочных заводах, массово производящих канатную, пружинную и струнобетонную проволоку. Эпоха увлечения сорбитизацией катанки с прокатного нагрева [1,2] позволяет констатировать факт того, что полностью отойти от патентирования на сталепроволочных заводах вряд ли удастся в силу объективной необходимости проведения перекристаллизации после прокатного передела и поэтому работа по усовершенствованию процесса патентирования с отдельного нагрева путем создания бессолевого режима сорбитизации оправдана со всех точек зрения.

Опробованные бессолевого режимы сорбитизации позволяют избежать использования расплавов солей [3,4], но медленные печные нагревы во многом снижают достоинства этих режимов и могут требовать регламентации химсостава стали [5]. В этой связи представляет интерес ускоренный электроконтактный [6] и плазменный [7] нагревы: последний перспективен как бесконтактный, но трудно регламентируемый; такую регламентацию легче осуществлять при электролитно-плазменном нагреве [8].

Анализ информации об упрочнении изделий электролитно-плазменным воздействием свидетельствует о том, что оно наиболее обосновано для изделий простой геометрической формы. В связи с этим большой интерес представляет использование электролитно-плазменной обработки в производстве проволоки, в технологии производства которой узловой задачей является установление возможности и условий получения сорбитной структуры, обеспечивающей высокую деформируемость в хо-

лодном состоянии и комплекс механических и эксплуатационных свойств, недостижимых при иных структурах.

В качестве материала для исследований отбирали на ОАО «Силур» проволочные заготовки из стали 70 по ГОСТ 14959-79; эта сталь широко используется при производстве высокопрочной проволоки для арматуры, канатов, пружин и металлокорда. Диаметр заготовок и их химический состав были следующими:

Условное обозначение плавки	Диаметр заготовки, мм	Химсостав, мас. %		
		C	Mn	Si
1	2,6	0,67	0,64	0,20
2	3	0,70	0,54	0,21
3	4	0,68	0,51	0,23
1	5	0,67	0,64	0,20
3	6,5	0,68	0,51	0,23

Заготовки диаметром 2,6÷5,0 мм были получены холодным волочением катанки диаметром 6,5 мм; при этом суммарные степени деформации составили 41(5), 62(4), 79(3) и 84(2,6) % (мм) соответственно. Катанка была в исходном ускоренно охлажденном состоянии и имела структуру преимущественно тонкопластинчатого перлита.

В производстве тонкой проволоки эти заготовки используются как промежуточные для волочения на диаметр 2,6-0,8 мм. При этом, при термообработке промежуточной заготовки, должна быть получена структура сорбита, а поверхность – подготовлена к волочению.

На исходных заготовках изучали микроструктуру с помощью микроскопа Неофот при увеличениях $\times 100 \div 1000$ и измеряли микротвёрдость при нагрузке 0,98 Н на микротвердомере ПМТ-3.

Для экспериментов по электролитно-плазменной обработке разработали, изготовили, смонтировали и наладили лабораторную экспериментальную установку.^{*)} Установка предназначена для термической обработки стальных образцов; в ней может осуществляться как поверхностный, так и объемный концевой нагрев с регулированием скорости, а также регулируемое охлаждение в растворе электролита.

В качестве образцов в установке используются стальные стержни цилиндрической формы диаметром до 10 мм. Общая длина образца должна составлять не менее 50 мм, а глубина его погружения в электролит должна

^{*)} В работе принимал участие магистр А. Беликов.

соответствовать плотности энергии на нагреваемой поверхности не менее 0,8-1,0 кВт/см².

Обработка ведется на постоянном токе. Регулируемыми факторами являются напряжение и плотность тока. На режим нагрева и охлаждения также оказывают влияние состав и температура электролита.

Параметры источника питания установки: $I_{\max}=10$ А; $U_{\max}=250$ В; $P_{\max}=2$ кВт.

В качестве электролита могут использоваться водные растворы солей и щелочей; металлы, образующие их, лежат в начале электростатического ряда напряжений (Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , NaOH , KOH , K_2CO_3 , MgCl_2 , BaCl_2 , CH_2COOK). Наиболее рационально применение раствора углекислого натрия в воде (5-15% Na_2CO_3). Нагрев в нем происходит с высокой интенсивностью, он не вызывает коррозию металлических деталей, экологически безвреден и недефицитен. Изменение концентрации Na_2CO_3 в электролите от 12 до 20 % незначительно влияет на изменение его удельной электропроводности, что обеспечивает стабильность нагрева.

Установка состоит из электрического блока - блока питания и технологического блока, в котором непосредственно осуществляется обработка образцов.

Переменный ток из сети (~220 В, 50 Гц) поступает на обмотку трансформатора (0-250 В; 12/20 А), при помощи которого напряжение плавно регулируется в интервале 0-250 В. В качестве выпрямителя используется диодный мост, собранный по однофазной нулевой схеме (диоды: $I_{\max}=10$ А; $U_{\max}=300$ В).

После подготовки установки к работе вращением регулятора автотрансформатора плавно повышается напряжение, при этом методом визуального наблюдения и снятия показаний с приборов исследуются процессы, происходящие в объекте исследования. О возникновении режима нагрева катода свидетельствует снижение величины силы тока в несколько раз и характерное свечение на поверхности катода. Оптимальное время нагрева определяется экспериментально. По окончании нагрева происходит охлаждение образца в электролите.

Для предупреждения местного перегрева образец устанавливали торцом на керамический экран. При нагреве варьировали глубину погружения и диаметр образца, напряжение на электродах, длительность нагрева. По показаниям приборов оценивали вольтамперные характеристики процессов.

Экспериментальные режимы электролитно-плазменной обработки базировались на следующих основных технологических схемах (табл. 1):

- непрерывное охлаждение на воздухе;
- кратковременное переохлаждение резким охладителем с последую-

- шим охлаждением на воздухе;
- циклическое ступенчатое переохлаждение резким охладителем с последующим охлаждением на воздухе;
- охлаждение в электролите при граничном напряжении до 600-650 °С с последующим охлаждением на воздухе;
- кратковременное переохлаждение резким охладителем до 300-350 °С с последующим быстрым нагревом до 550-650 °С.

Таблица 1 – Экспериментальные режимы охлаждения проволочных образцов из стали 70 при электролитно-плазменной обработке

Вариант охлаждения	Режим охлаждения
А	На спокойном воздухе
Б	Водой 1 с и далее на спокойном воздухе
В	Водой 0,5-1 с, на спокойном воздухе 1-2 с, водю 0,5-1 с и далее на спокойном воздухе
Г	В электролите при напряжении 50-70 В, 3-5 с и далее на спокойном воздухе
Д	Водю 1-2 с, нагрев в электролите при 100-140 В 3-5 с и далее на спокойном воздухе

На обработанных образцах изучали состояние поверхности, микроструктуру и микротвердость по сечению; способность к холодному деформированию оценивали волочением с обжатием 50%.

Микроструктура образцов катанки диаметром 6,5 мм в исходном ускоренно охлажденном состоянии представляла собой преимущественно тонкопластинчатый перлит с небольшим количеством грубопластинчатого перлита и отдельными, изредка встречающимися прожилками структурно свободного феррита; последние чаще встречаются в околоосевой зоне катанки. Микроструктура образцов холоднотянутых заготовок диаметром 5,0-2,6 мм носит волокнистый характер; степень выраженности волокнистости возрастает по мере утонения проволочных заготовок.

Распределение микротвердости по сечению проволочных образцов показано на рис. 1. Видно, что у образцов катанки диаметром 6,5 мм микротвердость мало меняется по сечению; некоторое ее снижение в сердцевине свидетельствует о более грубой структуре перлита, а в приповерхностном слое – об обезуглероживании вследствие высокой температуры окончания прокатки катанки. При деформировании волочением, упрочнение по сечению происходит не монотонно, так, что наибольшая микро-

твёрдость наблюдается на поверхности проволоочных образцов (рис. 1). Это значит также, что характеризовать холодотянутую проволоочную заготовку значениями микротвёрдости нужно с большой осторожностью, при этом обязательно надо знать, к какой координате сечения она относится. По абсолютным значениям разброс микротвёрдости сравнительно небольшой и не превышает 5-10 %.

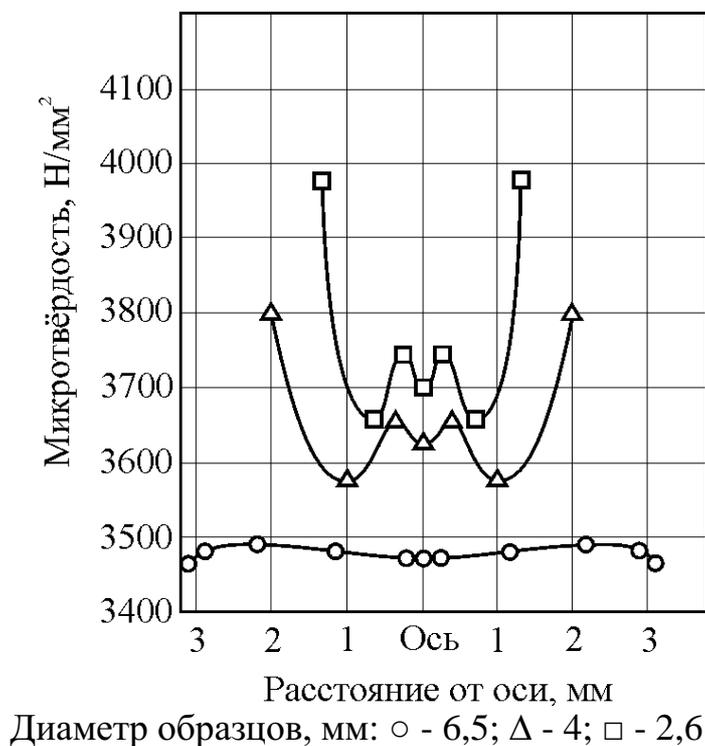


Рисунок 1 – Распределение микротвёрдости по сечению образцов разного диаметра.

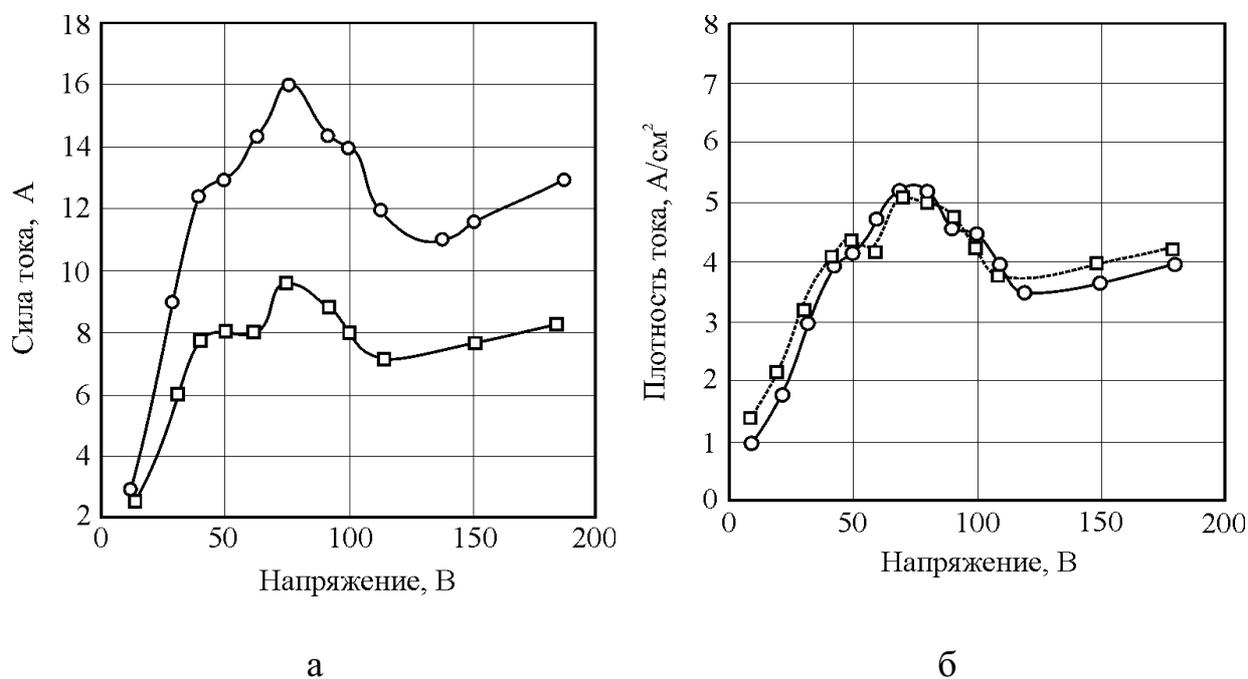
На рисунках 2 и 3 показаны вольтамперные характеристики и плотность тока при электролитно-плазменной обработке образцов разного диаметра при глубине погружения образцов в электролит на 20 мм.

Видно, что при напряжении 40-50 В сила тока в цепи возрастает практически по линейному закону. Затем при дальнейшем повышении напряжения сила тока начинает колебаться и на поверхности активного электрода появляется искровой разряд, однако нагрев образца в этом режиме не происходит: этот процесс может использоваться для электроразрядной очистки поверхности изделий от оксидов.

Нагрев образцов, при заданных условиях, начинается при напряжении 100-110 В. Этому моменту на вольтамперной кривой соответствует перегиб и заметное снижение силы тока. При дальнейшем увеличении напряжения сила тока снова возрастает, хотя и менее интенсивно.

Все стадии изменения тока на вольтамперной характеристики связа-

ны с диаметром образца (рис. 2, а); плотность же тока для образцов разных диаметров практически одинакова при одном и том же напряжении (рис. 2, б). Плотность тока в режиме нагрева составляет порядка 4 А/см^2 .

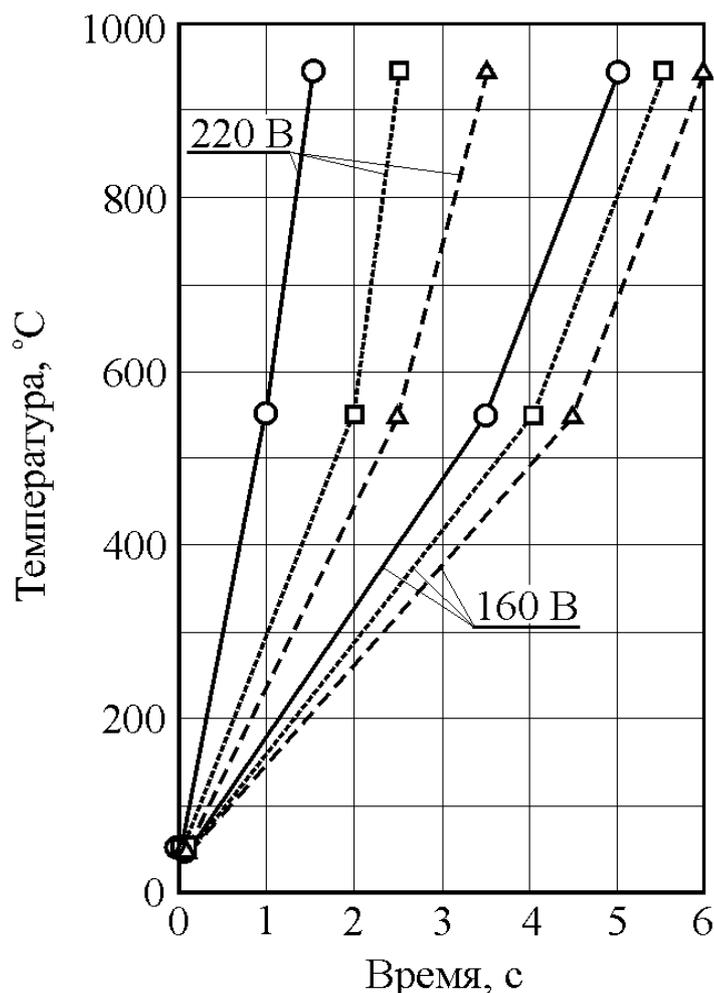


Диаметр образцов, мм: \circ - 5; \square - 3

Рисунок 2 – Вольтамперные характеристики процесса электролитно-плазменной обработки (а) и плотность тока при электролитно-плазменной обработке образцов при глубине их погружения 20 мм.

На рис. 3 показано изменение температуры на стадии нагрева. Конечную температуру нагрева контролировали оптическим пирометром с точностью $\pm 5 \%$; промежуточную температуру ($\sim 550^\circ\text{C}$) определяли по началу свечения образца.

Видно (рис. 3), что в зависимости от напряжения и диаметра образцов заданная температура аустенитизации ($\sim 950^\circ\text{C}$) достигается за 1-5 с. В процессе нагрева на поверхности образцов наблюдается образование очень тонкой солевой плёнки, которая одновременно разрушается и отслаивается под воздействием электрогидродинамических явлений в парогазовой оболочке. После отслоения плёнки поверхность образцов остаётся чистой без наличия на ней оксидов.



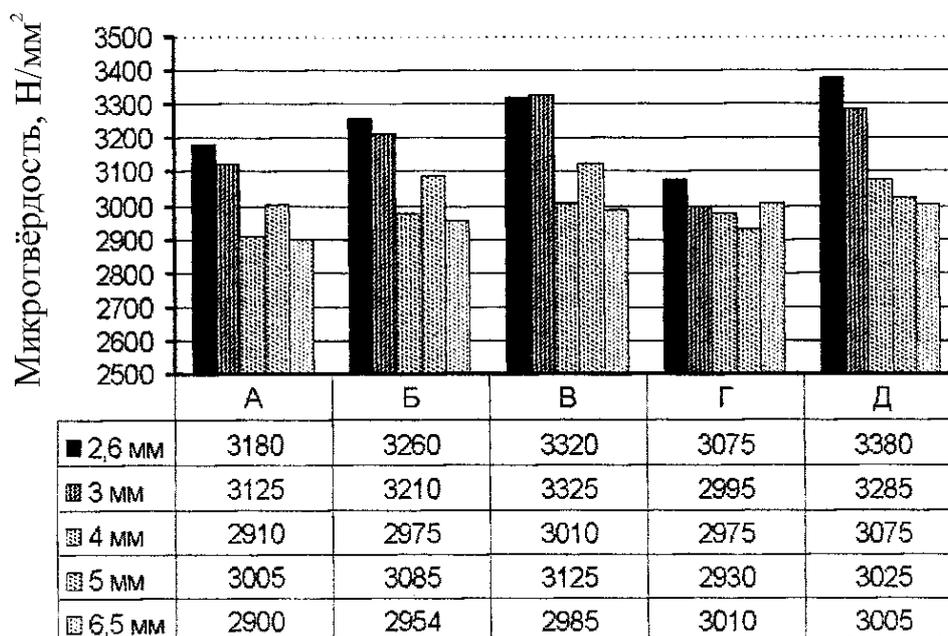
Диаметр образцов, мм: ○ - 3; □ - 4; Δ - 5

Рисунок 3 – Температура нагрева образцов в зависимости от длительности электролитно-плазменной обработки.

Результаты измерения микротвёрдости образцов диаметром 2,6-6,5 мм, обработанных по разным режимам, приведены на рис. 4. Видно, что для всей совокупности вариантов обработки микротвёрдость находится в пределах 2900-3400 Н/мм², что лежит в области микротвёрдостей сорбитных структур: их можно определить по зависимости, предложенной ранее [4]. В дальнейшем оптимизировать структуру и микротвёрдость можно варьированием параметров электролитно-плазменной обработки. В данном же исследовании установлена принципиальная возможность сорбитизации такой обработкой.

Вариант А служит в качестве сравнительного для выяснения исходных различий структур, полученных после традиционной обработки и электролитно-плазменного нагрева.

Вариант Б и В соответствуют режимам, которые используются для сорбитизации катанки с прокатного нагрева.



Варианты режимов охлаждения

Рисунок 4 – Гистограммы значений средней микротвердости в зависимости от режима охлаждения.

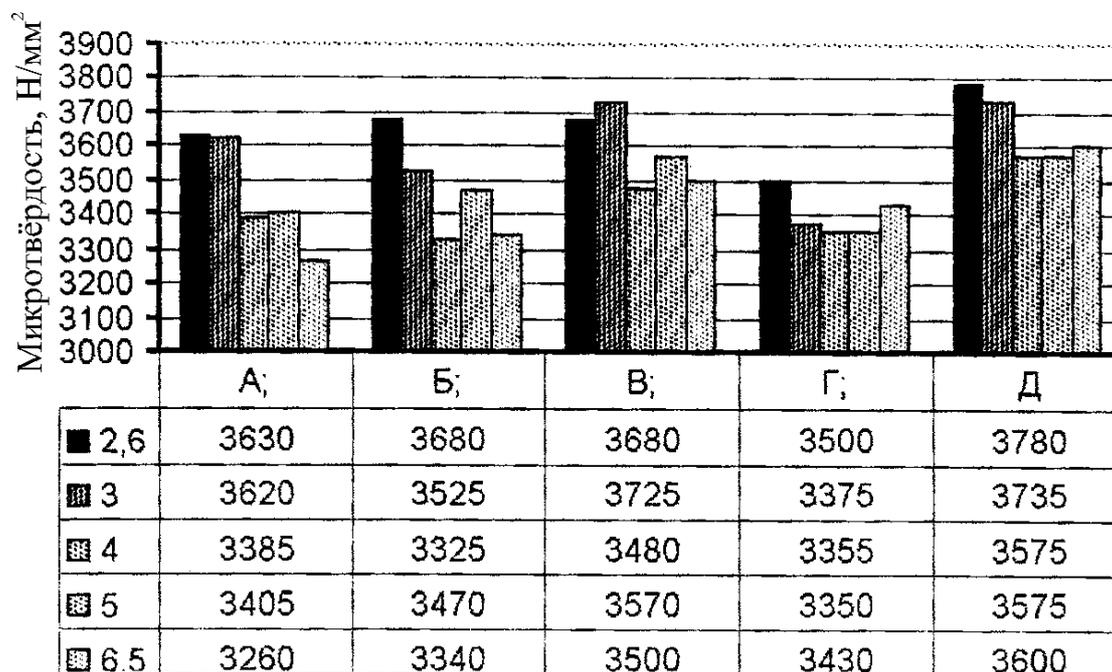
Вариант Г базируется на том, что при быстром перенесении образца в ванну с меньшим напряжением температура нагретого металла благоприятствует образованию парогазовой плёнки; по сути дела происходит термостатирование около 600 – 650 °С, а при дальнейшем охлаждении на воздухе происходит распад переохлаждённого аустенита с образованием структур сорбитного типа [9-11].

Вариант Д подобен режиму электропатентирования с электроконтактным нагревом.

Все образцы, подвергнутые обработке по разным режимам, протянули на проволоку со степенью деформации 50 %. При этом микротвёрдость повысилась до 3200 ÷ 3800 Н/мм² в зависимости от варианта обработки (рис. 5).

Таким образом, в настоящем исследовании показана возможность регулирования режимов электролитно-плазменной обработки проволоки изменением тока дуги и режима охлаждения; рассмотрена природа и технологические аспекты электролитно-плазменного упрочнения изделий и сорбитизации стальной проволоки; создана лабораторная установка для исследований; на проволоочных заготовках диаметром 2,6÷6,5 мм из сталей с 0,67÷0,70% С и 0,51÷0,64% Mn показана возможность получения струк-

тур сорбитного типа, обеспечивающих деформируемость и необходимые свойства проволоки.



Варианты охлаждения

Рисунок 5 – Гистограммы средней микротвёрдости в зависимости от режима охлаждения и холодной деформации со степенью обжатия 50 %.

Список литературы

1. Шаповалов С.И., Алимов В.И., Эстрин Ю.С. Высокоуглеродистая катанка, сорбитизированная с прокатного нагрева, и арматурная проволока из нее // *Сталь*.– 1974.– № 6.– С. 567-569.
2. Шаповалов С.И., Алимов В.И., Эстрин Ю.С. Сорбитизация углеродистой катанки в потоке непрерывного прокатного стана // Сб. «Проблемы производства черных металлов».– 1974.– С. 143-149.
3. Алимов В.И., Белосветов В.В., Максаков А.И. Сорбитизация катанки из углеродистой стали с отдельного нагрева // *Известия вузов. Черная металлургия*.– 1987.– № 6.– С. 155-156.
4. Алимов В.И. Бессолева сорбитизация проволоки // Сб. научных трудов ДонГТУ. Металлургия. Выпуск 1.– Донецк: ДонГТУ. 1999.– С. 129-138.
5. Проволока из стали 65Г для износостойких канатов / С.И. Шаповалов, В.И. Алимов., Н.В. Протопопова и др. // *Металлургическая и горно-рудная промышленность*.– 1977.– № 3.– С. 22-23.

6. Совершенствование режима электроконтактного нагрева заготовки для волочения / А.А. Баранов, В.И. Алимов, А.В. Березин и др. // *Сталь*.– 1989.– № 8.– С. 71-74.
7. Влияние плазменного воздействия на свойства калиброванной высокоуглеродистой стали / В.И. Алимов, В.Н. Крымов, А.И. Максаков и др. // *Зб. наукових праць ДонНТУ. Металургія. Випуск 18.*– Донецьк: ДонНТУ. 2000.– С. 89-94.
8. Литвинов В.К., Морозов А.П., Валеев В.Х. Плазменная и электролитно-плазменная обработка и нагрев поверхности металла при производстве проволоки и ленты // *Ин-т «Чермет-информация». 1989 (Обз. Инф. Сер. Металловедение и термическая обработка. Вып. 2.*– 18 с.).
9. Спосіб термічної обробки дротової заготовки / Патент № 59744А, 7С21Д9/52, 15.09.2003. Бюл. № 9. Авторы: В.И. Алимов, И.В. Морозов, В.А. Туков.
10. Спосіб сорбітизації дроту / Патент № 60757А, 7С21Д9/52, 15.10.2003. Бюл. № 10. Авторы: В.И. Алимов, В.А. Туков, С.В. Алимova, И.В. Морозов.
11. Алимов В.И., Колодий И.Ю. О получении сорбитной структуры в заготовках для деформации при нагреве электролитной плазмой // *Сб. «Металлургия и обработка металлов». Вып. 7.*– Донецк: ДонНТУ, 2004.– С. 39-42.

© Алимов В.И., 2005