



УДК 669.74

Поступила 14.11.2013

Е. С. СЕРЕГИНА, Т. П. КУРЕНКОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»,  
В. В. КРЫЛОВ-ОЛЕФИРЕНКО, А. Ю. СЕРЕГИН, ФТИ НАН Беларуси

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗЕРНА В МИКРОСТРУКТУРЕ ПАТЕНТИРОВАННОЙ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ

*Разработаны шкалы для определения величины аустенитного зерна высокоуглеродистой патентированной стали, исследованы размеры аустенитных зерен.*

*Scales have been developed for determination of size of austenite grain of high carbon patented steel, austenite grain sizes have been researched.*

Свойства и структура катанки производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» в существующих условиях производства позволяют получать высококачественную проволоку диаметром 3,6–1,3 мм со степенью обжатия при волочении на сухой смазке до 94%. Дальнейшее волочение приводит к потере пластических свойств и охрупчиванию проволоки. Для обеспечения обжатия еще на 90–97%, получения диаметров проволоки для металлокорда и проволоки РВД диаметром 0,50–0,15 мм, обеспечения необходимых прочностных и пластических свойств проводится патентирование. При патентировании проволока нагревается в печи до температуры аустенитизации (900–980 °С), время нагрева и выдержки – 25–35 с, затем происходит охлаждение в свинцовой ванне при температуре свинца 550–590 °С в течение 8–12 с – изотермический распад аустенита. Скорость движения проволоки по агрегату латунирования 30–50 м/мин, при этом скорость охлаждения проволоки может быть 170–200 °С/с. Получаемая микроструктура патентирования – 92–98%-ная феррито-цементитная смесь – высокодисперсный перлит (троостит), истинное расстояние между пластинами составляет 0,04–0,09 мкм. В зависимости от режима термообработки получается микроструктура с различным размером зерна перлита. Размер зерна перлита является важной величиной, характеризующей пластические, прочностные и технологические свойства проволоки. Зерно перлита – это микрообъем металла с одинаково ориентированными параллельными феррито-цементитными пластинами. Размер зерна перлита в разной степени зависит от многочисленных фак-

торов: химического состава стали, степени обжатия проволоки, температуры нагрева, скорости нагрева, времени выдержки, скорости охлаждения, температуры изотермического распада. На БМЗ с начала производства металлокорда в микроструктуре патентированной проволоки контролируют величину зерна перлита в светлопольном изображении после травления в реактиве Нитал при увеличении 500 методом сравнения с эталонной шкалой (рис. 1).

Однако представленная шкала имеет недостатки: сложность оценки и большая погрешность в определении близких баллов зерна из-за малого поля зрения, отсутствия четких границ зерен, наличия в структуре блоков (разориентированные на малые углы параллельные пластины внутри зерна), отличающихся по цвету и создающих видимость мелких зерен. В общем, размер зерна перлита эвтектоидной стали после патентирования сложно достоверно определить из-за высокой степени разнотерности, блочности, дисперсности структуры (рис. 2).

Определение размеров зерна стандартными методами [1, 2] в данном случае также проблематично по указанным выше причинам. Производители патентированной проволоки из высокоуглеродистой стали используют свои методы определения размеров перлитного зерна, в каждом случае это некий вероятный усредненный размер, условный диаметр зерна. В большой степени размер зерна перлита зависит от размера зерна аустенита, но все же существуют одни технологические факторы, влияющие непосредственно на размер зерна аустенита, и другие факторы, влияющие на размер

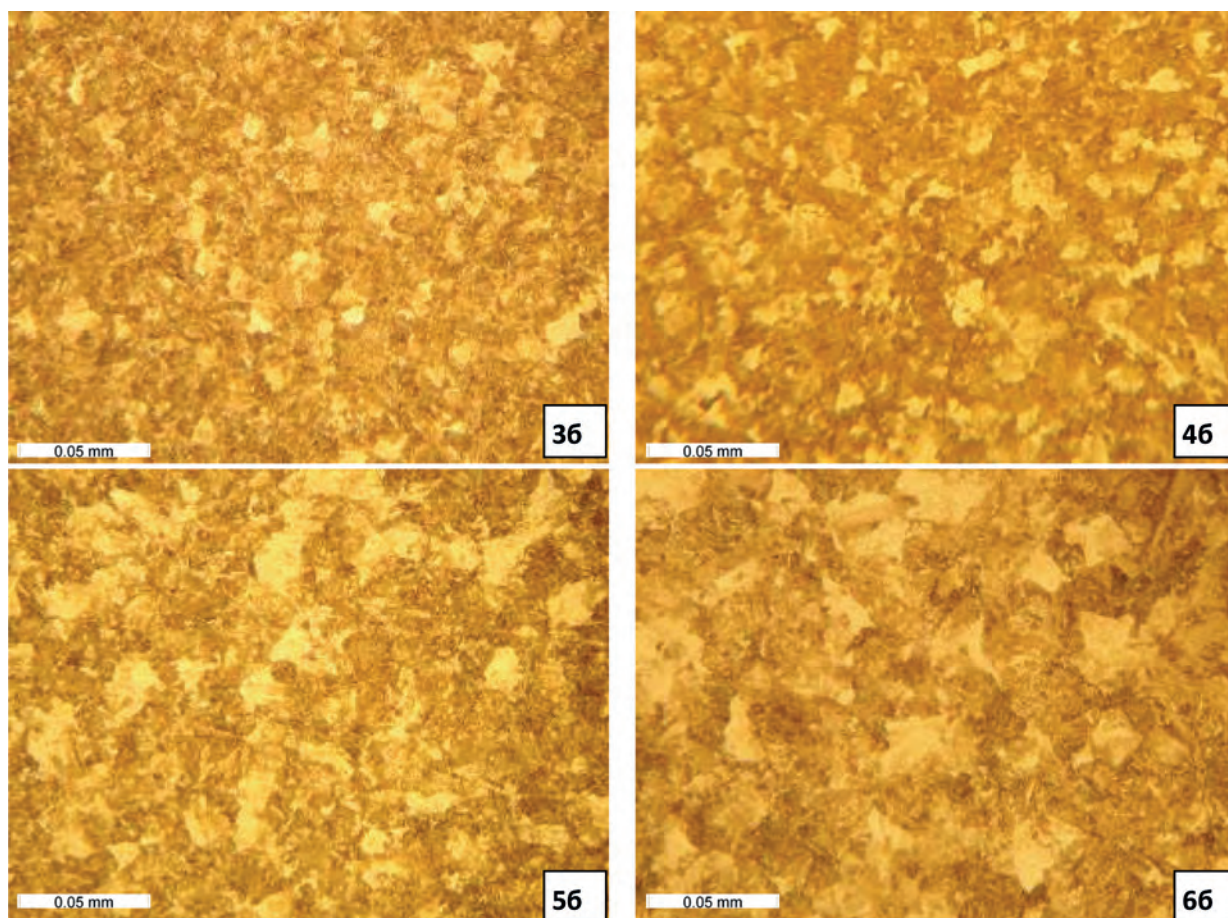


Рис. 1. Фрагмент шкалы классификации величины зерна перлита 3–6 баллов патентованной высокоуглеродистой стали, изображение в светлом поле, травление в реактиве Нитал

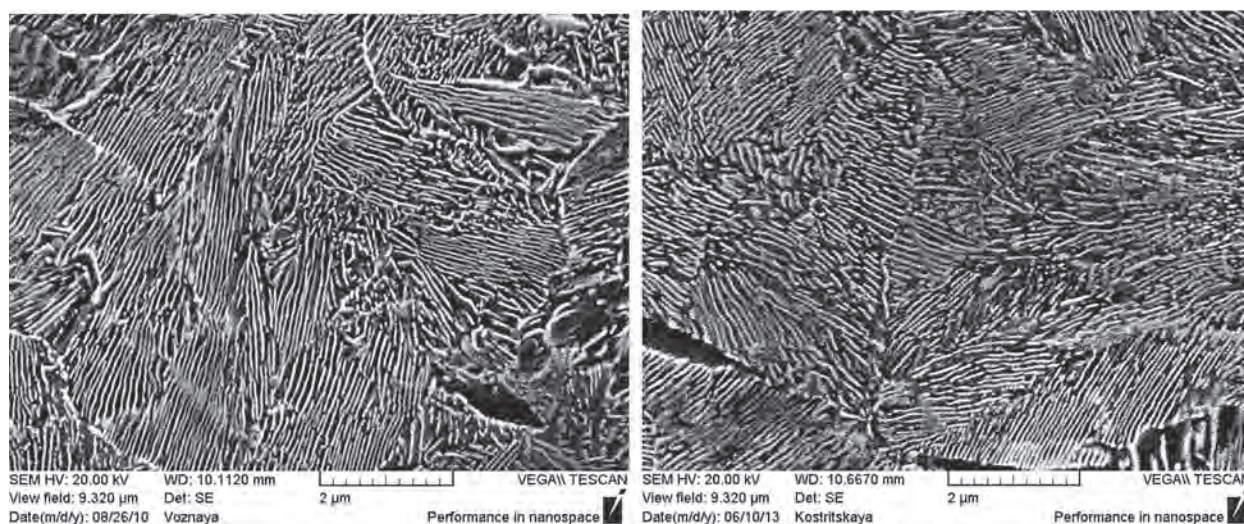


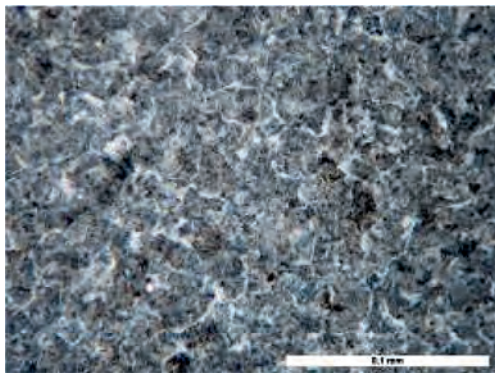
Рис. 2. Микроструктура патентованной проволоки из эвтектоидной стали после травления в реактиве Нитал, изображение получено на РЭМ

зерна перлита. Из одного зерна аустенита может образоваться одно или несколько зерен перлита в зависимости от условий нагрева и охлаждения. Поэтому существует необходимость определения как величины зерна перлита, так и величины бывшего зерна аустенита.

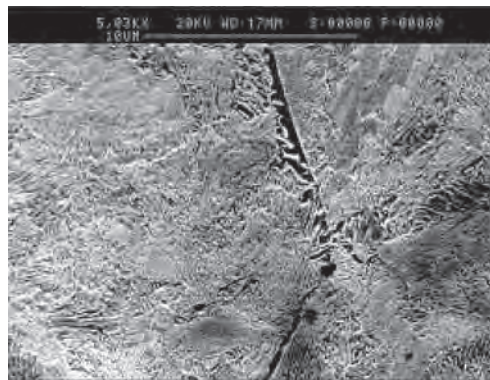
В темнопольном изображении микроструктуры патентованной проволоки после травления

в реактиве Нитал просматривается незамкнутая светлая сетка вторичной фазы, напоминающая границы зерен (рис. 3, *a*). Выделения в виде сетки по результатам ранее проведенных исследований [3] занимают на различных образцах от 2 до 8% площади и являются выделениями феррита в виде тонких пластин и верхнего бейнита (рис. 3, *б*, *в*). Наиболее вероятно, что сетка вторичной фазы об-

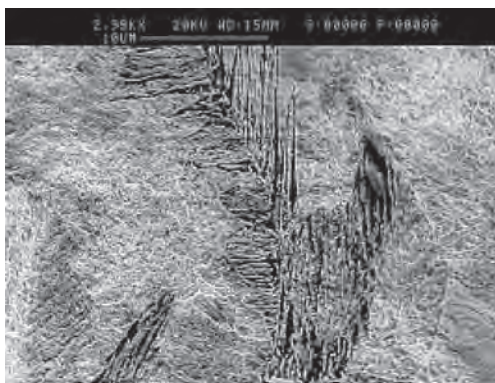




*a*



*б*



*в*

Рис. 3. Микроструктура патентованной высокоуглеродистой стали, изготовленной на агрегатах БМЗ после травления в реактиве Нитал: *a* – сетка вторичной фазы, изображение с металлографического микроскопа в темном поле; *б* – феррит в виде тонких пластин, изображение получено на РЭМ; *в* – бейнит, изображение получено на РЭМ

разуется по границам аустенитного зерна и по сетке можно определять его размер.

Сетка вторичной фазы, расположенная по границам бывшего аустенитного зерна, просматривается на металлографическом микроскопе в темном поле на увеличении 100–200 крат лучше, чем границы перлитных зерен, при этом поле зрения в несколько раз больше. Такие изображения проще, быстрее, точнее анализировать. Поэтому в настоящее время на БМЗ разработана и применяется шкала бальной оценки размера бывшего аустенитного зерна по феррито-бейнитной сетке в темнопольном изображении при увеличении 200 (рис. 4).

Для структуры, оцениваемой в темном и светлом полях, приемлемыми с точки зрения технологических требований считаются 3–6 баллы. На сталях с содержанием углерода 0,90% и более формируется микроструктура проволоки, где сетка феррито-бейнитной фазы тонкая, занимает малую площадь и плохо просматривается. В таких случаях структуру лучше оценивать в светлом поле по перлитному зерну.

По изображениям микроструктуры на шкалах был определен размер перлитного и аустенитного зерна, который является наиболее характерным для каждого балла. Размеры зерен определяли по выбранным 10 наиболее характерным зернам. С помощью полуавтоматической компьютерной программы измеряли площадь зерна, математиче-

ски находили условный диаметр, приравнивая полученную площадь к площади круга. Среднее значение из измеренных величин условных диаметров 10 зерен считали условным размером характерного зерна. Таким образом, определили условные размеры характерных зерен перлита и аустенита, соответствующие разным баллам зерна шкалы. Результаты измерений и вычислений приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты определения относительных размеров зерна перлита и бывшего зерна аустенита патентованной стали, характерные для различных баллов шкалы

Номер балла шкалы	2	3	4	5	6	7	8	9
Размер зерна перлита, мкм	4	8	12	16	20	24	30	35
Размер зерна аустенита, мкм	–	12	20	35	50	65	80	–

Следовательно, условный размер характерного перлитного зерна проволоки, получаемой на агрегатах БМЗ, соответствующий 3–6 баллу эталонной шкалы, составляет 8–20 мкм, условный размер характерного бывшего аустенитного зерна проволоки, соответствующий 3–6 баллу шкалы, – 12–50 мкм.

Из-за сложностей определения величин зерен проводили определения их размеров разными ме-



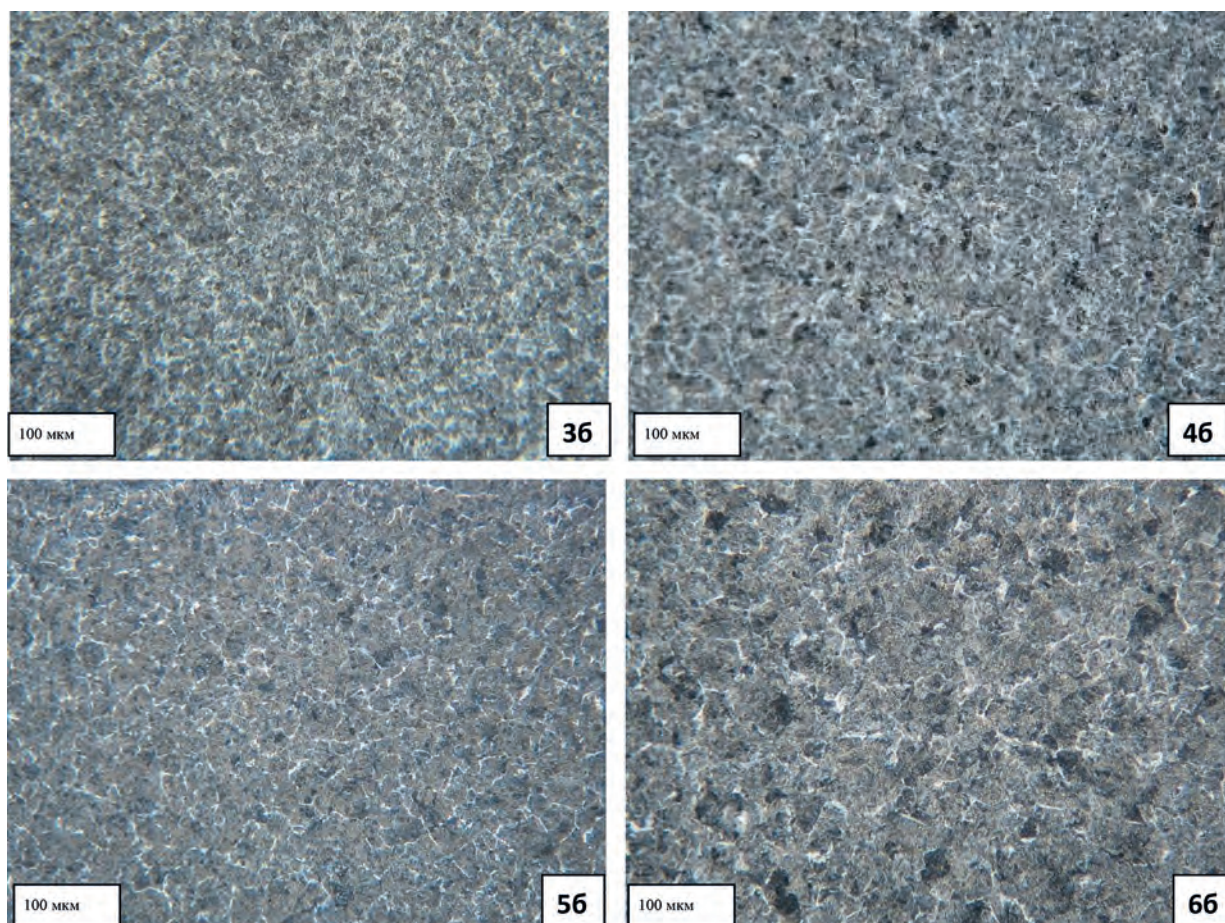


Рис. 4. Шкала для классификации величины бывшего зерна аустенита 3–6 баллов патентированной высокоуглеродистой стали, изображение в темном поле, травление в реактиве Нитал

тодами. Для исследования размеров зерна аустенита и закономерностей его роста в ФТИ НАН Беларуси проводили термообработку проволоки производства БМЗ по режимам нагрева, максимально приближенным к условиям нагрева на агрегатах патентирования БМЗ. Проволоку диаметром 1,80 мм из стали 80 (0,8%С, 0,52%Mn, 0,18%Si, 0,03%Cr, 0,02%Ni, 0,04%Cu, 0,001%Al, 0,006%P, 0,009%S, 0,005%N<sub>2</sub>) нагревали на установке электроконтактного нагрева, разработанной в ФТИ НАН Беларуси. Запись и регистрацию температуры и времени нагрева, времени выдержки осуществляли быстродействующим потенциометром. Проволоку нагревали и выдерживали по 12 разным режимам, охлаждали водой для получения структуры мартенсита, так как известно, что размеры зерен мартенсита совпадают с размерами бывших зерен аустенита. Размеры бывшего аустенитного зерна определяли по изображениям изломов проволоки, полученным с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 5). Размер зерна определяли по среднему размеру из выбранных 10 наиболее характерных для фрактограммы зерен. Результаты приведены в табл. 2 и на рис. 6.

Таблица 2. Результаты определения условных размеров характерных бывших зерен аустенита в изломах проволоки из стали марки 80К при разных режимах термообработки

Скорость нагрева, °C/с	Температура нагрева, °C	Размер зерна, мкм, время выдержки, с			
		0	5	10	20
40	900	15	30	38	45
40	940	28	50	57	65
40	980	35	55	63	75

Из полученных результатов видно, что условные размеры характерных бывших зерен аустенита в микроструктуре проволоки из стали 80К, охлажденной на мартенсит, измеренные по фрактограммам изломов, составляют на разных режимах 15–75 мкм. В интервале выдержки 0–5 с наблюдается максимальная скорость роста зерна, далее зерно растет с малой скоростью.

Значения условных размеров характерных аустенитных зерен в микроструктуре высокоуглеродистой проволоки, полученной в условиях производства БМЗ и при термообработке на экспериментальной установке с моделированием режимов нагрева на агрегатах БМЗ, определенные разными



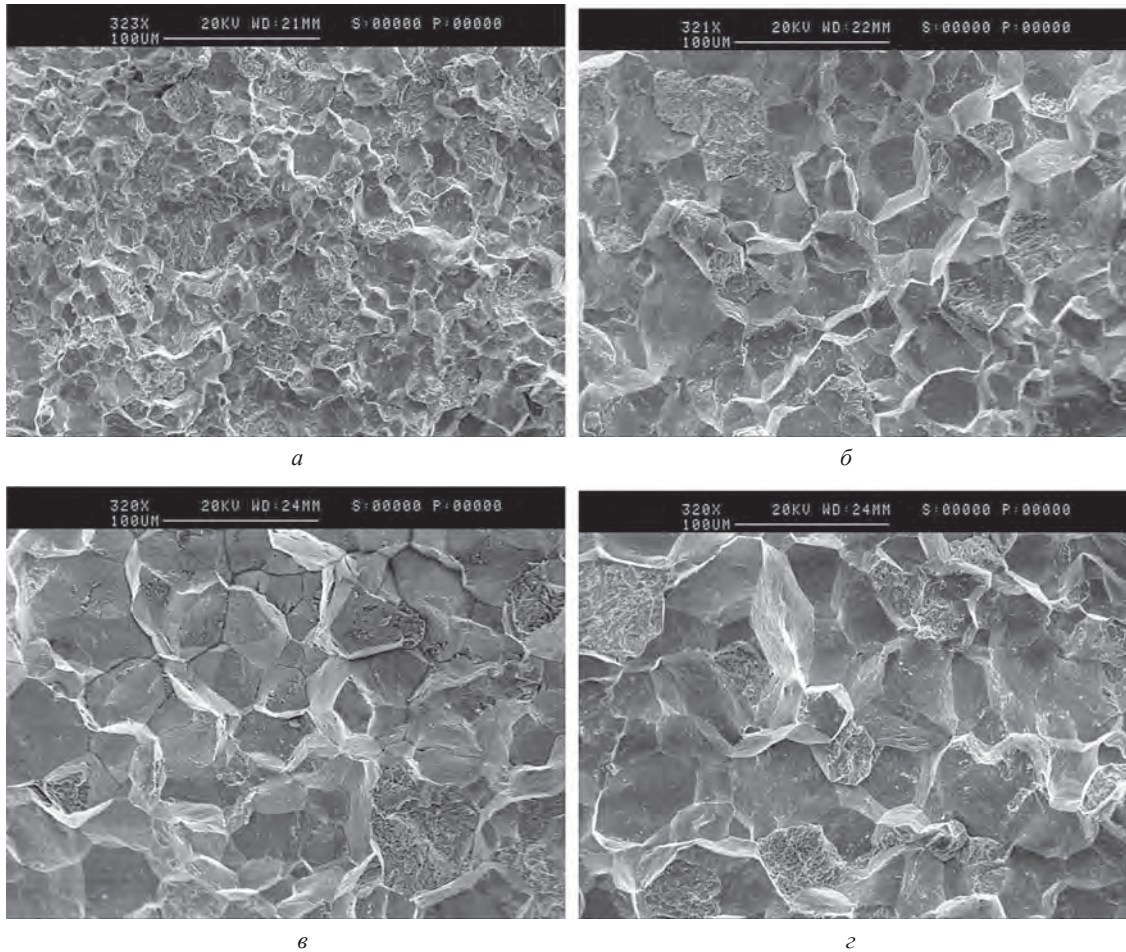


Рис. 5. Фрактограммы изломов проволоки из стали 80К диаметром 1,80 мм после нагрева до 940 °С и охлаждения водой с получением мартенситной структуры: а – без выдержки; б – выдержка 5 с; в – 10 с; г – 20 с

методами, хорошо коррелируют между собой. Следовательно, разработанный метод оценки величины бывшего аустенитного зерна по сетке вторичной фазы является приемлемым.

Таким образом, условный размер характерного перлитного зерна проволоки, получаемой на агрегатах БМЗ, соответствующий 3–6 баллу эталонной шкалы, составляет 8–20 мкм, условный размер характерного бывшего аустенитного зерна проволоки, соответствующий 3–6 баллу шкалы, – 12–50 мкм. Шкала оценки величины бывшего зерна аустенита в темном поле по сравнению со шкалой оценки величины зерна перлита в светлом поле позволяет проводить металлографический анализ с меньшими затратами времени и более корректно, так как площадь анализа в одном поле зрения значительно больше, границы зерен более четкие. Зная же обе величины, проще провести настройки и коррек-

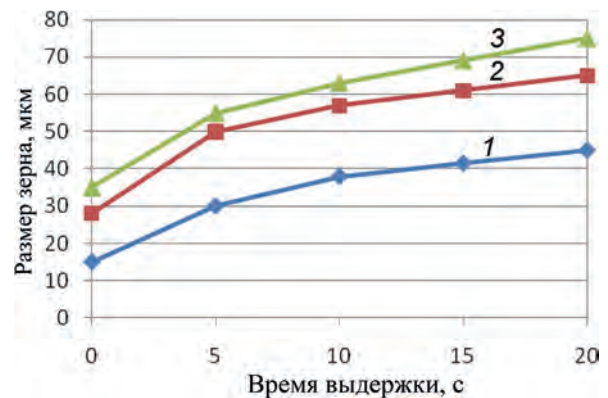


Рис. 6. Изменение величины зерна аустенита на проволоке из стали 80К при разных режимах термообработки: 1 – 900 °С; 2 – 940; 3 – 980 °С

ровки агрегата, найти причину изменения величины зерна и устранить несоответствия, прогнозировать свойства проволоки.

### Литература

- ГОСТ 5639-82 (СТ СЭВ 19959-79). Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. М., 1983.
- ASTM E112-12 Стандартные методы определения среднего размера зерен.
- Борисенко А. Ю., Луценко В. А., Луценко О. В. и др. Структура и свойства патентованной высокоуглеродистой проволоки // Литье и металлургия. 2011. № 1(59). С. 86–89.