

И.Е.Долженков

**ТЕРМИЧЕСКАЯ И КОМБИНИРОВАННАЯ ДЕФОРМАЦИОННО-
ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОПРОКАТА**

Национальная металлургическая академия Украины

Изложены результаты исследований по термическому и деформационно-термическому упрочнению металлопроката, труб и металлоизделий, выполненных под руководством и при участии создателя этого научно-технического направления в металлургии К.Ф.Стародубова.

В мировой практике первой половины прошлого столетия пределы текучести и прочности конструкционных сталей при необходимости повышались в основном путем повышения в них содержания углерода. В то время это направление было приемлемым, т.к. различные элементы металлоконструкций соединяли между собой заклепками или болтами. Однако по мере перехода к соединению элементов металлоконструкций электросваркой и все более широкого распространения штамповарных узлов металлоконструкций, повышались требования к свариваемости и штампуемости конструкционных сталей. В результате этого от повышения содержания углерода во многих конструкционных сталях пришлось отказаться.

В начале пятидесятых годов прошлого столетия было установлено, что для повышения пределов текучести и прочности, сопротивления хрупкому разрушению конструкционных высокопрочных сталей более приемлемым направлением является измельчение зерен и субзерен, диспергирование и благоприятные морфология и распределение карбидной фазы. Это привело к развитию технологий микролегирования и модифицирования конструкционных сталей, технологий термического и комбинированного деформационно-термического упрочнения металлопроката из таких сталей, технологий контролируемой прокатки. Деформационно-термическая обработка стали является совокупностью в различном сочетании двух обработок: обработки давлением, т.е. пластической деформации и термической обработки. Совокупность таких обработок обеспечивает получение металлопродукции с более высоким, чем при раздельном их осуществлении, комплексом механических и эксплуатационных свойств и, как следствие, получение ряда сопутствующих положительных технологических, экономических и экологических эффектов. Поскольку возможно множество вариантов последовательности сочетания этих обработок, как совмещенных, так и разделенных во времени, предложено несколько классификаций такой обработки, М.Л.Бернштейном,

Л.И.Тушинским, А.А.Барановым, В.П.Горбатенко и другими. Однако ни одна из них не отражает абсолютно все уже применяемые и возможные в принципе совместные воздействия горячей, теплой или холодной деформации и термической обработки на микро- и субструктуру матрицы, морфологию, дисперсность и распределение карбидной фазы и свойства металлопродукции. Число видов и разновидностей такой обработки с каждым годом увеличивается. Приоритет в разработке теории и технологии термического и деформационно-термического упрочнения металлопроката и труб из низкоуглеродистых конструкционных сталей массового назначения, составляющих около 80% общего производства стали, принадлежит К.Ф.Стародубову [1,2,3] создателю Днепропетровской научно-педагогической школы термистов. Под его руководством автором данной статьи и другими преподавателями, сотрудниками научно-исследовательской части, аспирантами кафедры «Термическая обработка металлов» НМетАУ, которой он заведовал в 1938-1977 гг., разработаны теория и технологии термического и деформационно-термического упрочнения мелких, средних и крупных простых и фасонных профилей проката общего и отраслевого назначения (проволоки, круглых прутков, арматуры, равнобоких и неравнобоких уголков, швеллеров, двутавровых балок, шахтной крепи, мелющих шаров и др.), универсальной полосы, сварных и бесшовных труб, металлоизделий, соединительных деталей трубопроводов большого диаметра и др. металлопродукции [4-55]. Установлено, что внешне, а также по числу выполняемых технологических операций, технологические процессы термического упрочнения и различных видов деформационно-термического упрочнения металлопроката непосредственно с прокатного нагрева идентичны, заключаются в регламентированном быстром охлаждении его в установках различной конструкции (спрейерных, форсуночных, поточных и др.), обеспечивающем распад аустенита в наиболее благоприятном для данной стали интервале подкритических температур. Однако получаемые при этом механические и эксплуатационные свойства существенно разнятся, т.к. при термическом упрочнении, в отличие от деформационно-термического упрочнения, не наследуется упрочнение горячего наклепа из-за чрезвычайно высокой скорости рекристаллизации горяченаклепываемого прокаткой аустенита низкоуглеродистых обычных и многих малолегированных сталей. Поэтому при термическом упрочнении металлопроката с прокатного нагрева регламентируются только температурно-временные параметры интенсивного охлаждения раската непосредственно за чистовой прокатной клетью, а иногда и между клетями, распределение обжатий по проходам при этом остается таким же, как и при обычной прокатке. При различных разновидностях деформационно-термического упрочнения, во-первых, используют преимущественно низколегированные стали, с относительно невысокой скоростью рекристаллизации наклепываемого горячей дефор-

мацией аустенита, во-вторых, повышают степени деформации в чистовой, а иногда и в предчистовых клетях до 20-30% и выше. Это позволяет последующим интенсивным охлаждением зафиксировать в стали в той или иной мере горячий наклеп, т.е. повышенную плотность благоприятно самоорганизованных дислокаций, и тем самым повысить комплекс механических и эксплуатационных свойств металлопроката. Регламентированное быстрое охлаждение металлопроката в обоих случаях осуществляют либо только на заключительном этапе прокатки, либо в различных комбинациях. Установлено, что наиболее целесообразно первое интенсивное охлаждение проводить перед чистовой клетью (или группой клетей) с целью максимального замедления рекристаллизации горяченаклепанного аустенита. Второе интенсивное охлаждение проводят непосредственно за чистовой клетью со скоростью, обеспечивающей переохлаждение аустенита в подкритическую область и распад рекристаллизованного (при термическом упрочнении) или горяченаклепанного аустенита (при деформационно-термическом упрочнении) в наиболее благоприятном для каждой конкретной стали интервале температур, чаще всего в интервале температур 600-500⁰С, т.к. в этом случае нет необходимости подвергать упрочненный металлопрокат отпуску.

Всесторонние исследования и испытания опытно-промышленных партий термически и деформационно-термически упрочненных различных видов металлопроката из конструкционных сталей показали высокую эффективность использования его в различных отраслях промышленности: снижение расхода металлопроката у потребителей на 20% и более; экономию легирующих элементов в результате замены горячекатаного металлопроката из легированных сталей упрочненным металлопрокатом из углеродистых или менее легированных сталей; повышение надежности и долговечности несущих металлоконструкций или их элементов; возможность применения металлопроката при низких температурах эксплуатации и др. Важными достоинствами технологий являются энергоэкономность, экологическая безвредность, содействие улучшению санитарно-гигиенических условий в прокатных цехах в результате существенного уменьшения, при их осуществлении, образования вторичной окалины и пыли, уменьшения выделения тепла во внутрицеховое пространство. Аналогичные результаты получены представителями Московской, Уральской, Донецкой, Харьковской, Мариупольской и других научных школ, разрабатывающих различные направления в деформационно-термической обработке.

Оценивая вклад К.Ф.Стародубова в создание нового научно-технического направления в металлургии, термическое и термомеханическое упрочнение различных массовых видов металлопроката из низкоуглеродистых сталей, некоторые авторы, по нашему мнению, ошибочно приписывают ему доказательство «несостоятельности существовавшего

представления о «незакаливаемости» низкоуглеродистых сталей». Как известно закаливаемостью называют способность стали к повышению твердости при закалке и обусловлена она в основном содержанием углерода в стали¹⁾. Низкоуглеродистая сталь и до, и после работ К.Ф.Стародубова как была, так и остается слабо закаливающейся, т.е. не способной к значительному повышению твердости при закалке из-за низкого содержания в ней углерода. Заслуга К.Ф.Стародубова состоит в том, что он показал, что при термическом упрочнении металлопроката с прокатного нагрева, несмотря на незначительную закаливаемость стали, в 2-3 раза и более повышается предел текучести стали, являющийся основной расчетной характеристикой при проектировании металлоконструкций. При этом характеристики пластичности и вязкости стали, благодаря формированию мелких зерен феррита и благоприятной субструктуры, благоприятной морфологии карбидной фазы остаются на приемлемом для металлоконструкций уровне (см. например И.И. Новиков. Теория термической обработки металлов. Учебник для студентов вузов. М.:Металлургия, 1986, с.276). Поэтому созданное К.Ф. Стародубовым новое научно-техническое направление в металлургии названо не закалкой с прокатного нагрева, а термическим и термомеханическим упрочнением металлопроката.

Выполненные нами с сотрудниками исследования [56-74] показали, что термическое и деформационно-термическое упрочнение металлопроката, труб и металлоизделий целесообразно применять не только в качестве окончательной упрочняющей обработки, но и в качестве предварительной термической обработки перед умягчающим сфероидизирующим отжигом подката для холодной высадки, подшипниковых труб, поковок, штамповок, которые по действующим стандартам должны поставляться со структурой зернистого перлита и низкой твердостью. Сообщалось (Газета Правда. 22.01.1979. №22), что замена обработки резанием 1 млн. тонн стали на высадку, штамповку и прессование высвобождает свыше 20 тыс. рабочих и 15 тыс. металлорежущих станков, значительно сокращает отходы стали либо позволяет сделать производство вообще безотходным. Поэтому с каждым годом увеличивается выпуск металлопроката для холодной высадки, экструзии, штамповки и прессования. Такой металлопрокат в исходном состоянии (состоянии поставки) должен иметь структуру сфероидизированного перлита, так как сталь с такой структурой обладает наилучшей деформируемостью при обработке давлением указанными способами. Структуру зернистого перлита должен иметь также металлопрокат и трубы из высокоуглеродистых обычных и легированных инструментальных, подшипниковых и других сталей, т.к. такая исходная структура, применительно к этим сталям, обладает рядом общеизвестных преимуществ. При существующих технологиях производства горячекатаного металлопроката, труб, поковок, из сталей феррито-перлитного класса

в них формируется структура пластинчатого перлита, т.к. состояние аустенита и температурно-временные параметры процесса при этом таковы, что распад аустенита протекает преимущественно по нормальной эвтектоидной реакции, продуктом которой является пластинчатый перлит. Поэтому с целью получения структуры зернистого перлита такой металлопрокат, трубы, поковки, подвергают специальной термической обработке – сфероидизирующему отжигу – для трансформации пластин цементита в глобулы (сфероиды). Длительность сфероидизирующего отжига горячедеформированной стали составляет десятки часов, качество сфероидизации карбидов не всегда удовлетворительное. Это приводит к необходимости строить большие термоотделения для сфероидизирующего отжига металлопроката, труб, поволоков, например, одну трубопрокатную установку производительностью 200 тыс. т в год подшипниковых труб приходится оснащать тремя - четырьмя проходными рольганговыми термическими печами длиной по 120м каждая или десятками садочных печей для сфероидизирующего отжига. Выход годного металлопроката и готовых изделий из него оказывается намного меньше 100%. Перлит доэвтектоидных сталей вообще трудно сфероидизировать по традиционным режимам отжига, особенно в промышленных условиях, т.к. эти стали практически не имеют «интервала отжигаемости» на зернистый перлит (на диаграмме состояния этих сталей нет области устойчивого существования цементита при температурах выше критических точек), а для полной сфероидизации карбидов при подкритических температурах требуется выдержки 80-100 часов и более. Перспективным направлением решения этой проблемы является включение в технологические процессы производства металлопроката, поволоков предобработок, значительно повышающих плотность дислокаций в матрице и цементите, фрагментирующих фазы малоугловыми дислокационными субграницами и тем самым интенсифицирующих процессы сфероидизации, повышающих качество сфероидизации карбидов при последующем сфероидизирующем отжиге. Выполненные нами исследования [56-74] показали, что одной из таких перспективных предобработок является термическое и деформационно-термическое упрочнение металлопроката с распадом аустенита в диффузионной области. Применение термоупрочнения в качестве предобработки позволяет в 2-3 раза и более сократить длительность последующего сфероидизирующего отжига, повысит качество сфероидизации карбидов и, как следствие, эксплуатационные свойства готовых изделий после окончательной закалки с отпуском.

1. Стародубов К.Ф., Узлов И.Г., Савенков В.Я. и др. Термическое упрочнение проката. М.: Под ред. Акад. АН УССР К.Ф. Стародубова, Металлургия, 1970. 368с.

2. Большаков В.И., Стародубов К.Ф., Тылкин М.А. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности. М.: Металлургия. 1977. 200с.

3. Стародубов К.Ф. Современное состояние и перспективы развития термического упрочнения проката в СССР и за рубежом // Обзорная информация. Черная металлургия. Серия П / Институт «Черметинформация», 1965. – Вып. 15. – 11с.

4. Стародубов К.Ф., Рафалович Ц.Н., Долженков И.Е. Применение индукционного нагрева при волочении труб. Сб. Металлургия и коксохимия. Киев.: «Техника». 1966. №4, с. 249-255.

5. Стародубов К.Ф., Узлов И.Г., Савенков В.Я. и др. Упрочняющая термическая обработка проката на металлургических заводах. Сб. Термическая обработка прокатной продукции. Институт технической информации СМ УССР. Киев. 1966. С 4-21.

6. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Флоров В.К. Упрочняющая термическая обработка мелких и средних профилей проката и листов. Сб. Упрочняющая термическая обработка проката. Вып. XXIV. М.:Металлургия. 1966.

7. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Флоров В.К. Исследование термической обработки фасонного сортового проката из низкоуглеродистой стали. Сб. Технический прогресс в черной металлургии. Прокатное производство, термическая обработка проката. Киев.: «Техника». 1966.

8. Филонов И.Г., Клименко Г.П., Долженков И.Е. и др. Исследование термического упрочнения угловых профилей с прокатного нагрева. Металлургическая и горнорудная промышленность. 1967. №1.

9. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Флоров В.К., Верболоз В.Д. Термическое упрочнение фасонных профилей проката. Сб. Новые методы повышения прочности, износостойкости и надежности деталей и узлов сельхозмашин. НТО Машпром. Г. Днепропетровск. 1968.

10. Долженков И.Е., Флоров В.К., Верболоз В.Д., Рубан А.А. Технологические основы и современное состояние термического упрочнения проката на заводе им. Дзержинского. Сб. Упрочняющая термическая обработка проката. УкрНИИТИ. Под ред. Стародубова К.Ф. Вып. I. 1968.

11. Долженков И.Е., Рубан А.А., Верболоз В.Д. Влияние степени деформации при 980°C и времени последеформационной выдержки на зерно аустенита низкоуглеродистой стали. МГП, 1968, №5

12. Долженков И.Е., Флоров В.К., Верболоз В.Д., Рубан А.А. Термическое упрочнение мелких угловых профилей на линейном стане. Сб. Термическое упрочнение проката. Вып. XXX. М.: Металлургия. 1969.

13. Долженков И.Е., Флоров В.К., Верболоз В.Д. и др. Термическое упрочнение широкополосной стали с прокатного нагрева. Сб. Термическое упрочнение проката. Вып. XXX. М.: Металлургия. 1969.

14. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Дроздов Б.Я. О формировании структуры перлита в условиях прерванного охлаждения. Сб. Металлургия и коксохимия. Вып. 23. Киев.: «Техника». 1970.

15. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Лоцманова И.Н. Влияние температуры деформации на дислокационную структуру низкоуглеродистой стали. МиТОМ. 1970, №3.

16. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Флоров В.К. и др. Влияние прерванного охлаждения на хладноломкость универсальных полос из низкоуглеродистых сталей. Сб. Термическое упрочнение проката. г.Днепропетровск. «Промінь». 1970, с.52-54.

17. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Верболоз В.Д. и др. Исследование термического упрочнения среднесортных профилей проката на опытной установке. Сб. Термическое упрочнение проката. г.Днепропетровск. «Промінь». 1970. С. 55-58.

18. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Флоров В.К. и др. Влияние прерванного охлаждения на структуру и свойства широкополосной стали. Сб. Термическое упрочнение проката. Вып. XXXVI. М.: Металлургия. 1970.

19. Долженков И.Е., Савенков В.Я., Клименко Г.П. и др. Опытная установка для отработки режимов термического упрочнения среднесортных профилей проката. Сб. Термическое упрочнение проката. Вып. XXXVI. М.: Металлургия. 1970.

20. Долженков И.Е., Флоров В.К., Верболоз В.Д. Влияние термического упрочнения на структуру и свойства сплошных и составных листов различной толщины. МГП. 1970, №3.

21. Долженков И.Е., Клименко Г.П., Верболоз В.Д. и др. Влияние отпуска и самоотпуска на механические свойства термически упрочненных уголков из низкоуглеродистой стали. МГП. 1971. №2.

22. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Парусов В.В. и др. Превращение аустенита стали 15ХСНД при непрерывном охлаждении. МиТОМ. 1972. №7. с. 67-69.

23. Долженков И.Е., Верболоз В.Д. Высокотемпературная деформация и рекристаллизация аустенита. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. Вып. 1. М.: Металлургия. 1972. С.9-13.

24. Долженков И.Е., Верболоз В.Д. Высокотемпературная термомеханическая обработка низкоуглеродистой стали. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. Вып. I. М.: Металлургия. 1972. С.25-31.

25. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Ковалюк В.В. и др. Влияние закалки с отпуском на структуру и свойства стали 15ХСНД. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. Вып. I. М.: Металлургия. 1972. С.85-89.

26. Долженков И.Е., Артеменко А.П., Верболоз В.Д., Ковалюк В.В. Термическое упрочнение швеллера №30 из стали 15ХСНД для автомобиля КраЗ. МГП. 1972, №5. С. 36-37.

27. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н. Исследование влияния несовершенств кристаллического строения, вызванных пластической деформацией, на диффузию углерода. Сб. Металлофизика. Вып. 48. Киев. «Наукова думка». 1973. С.61-66.

28. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Флоров В.К., Ковалюк В.В. Спрейерное охлаждение фасонных профилей проката при термическом упрочнении. Сб. Металлургия и коксохимия. Вып. 36. Термическая обработка стали. К.: «Техніка». 1973, с. 90-92.

29. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Флоров В.К. Влияние предварительного подстуживания на свойства стали после упрочнения от нормальной температуры. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. М.: Металлургия. 1973, №2. С. 82-83.

30. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Пучикова Л.В., Ковалюк В.В. Термическое упрочнение профиля шахтной крепи. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. М.: Металлургия. 1975, №4.

31. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Пучикова Л.В., Ковалюк В.В. Применение в арочной шахтной крепи термически упрочненной низколегированной стали. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. М.: Металлургия. 1975, №4.

32. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Малышев А.А. и др. Термическое упрочнение швеллеров №30В для рам грузовых автомобилей. Сталь, 1976, №9, с. 847-850.

33. Долженков И.Е., Хусид О.С., Рябушкин Ю.П. Термическая обработка универсальной полосы для автомобильных лонжеронов. Сталь, 1980, №3, с. 231-234.

34. Долженков И.Е. Термическое упрочнение крупных фасонных профилей проката. Сб. Термическая обработка металлов. ИЧМ. М.: Металлургия, 1984, с. 73-76.

35. Долженков И.Е., Прядко Е.И., Радченко Р.П. Упрочнение труб при термомеханической обработке. Сб. Теория и практика термической обработки проката. ИЧМ. М.: Металлургия. 1984, с. 28-29.

36. Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Дробязко В.А. и др. Разработка технологии термического упрочнения соединительных деталей магистральных газопроводов. МГП, 1984, №3, с. 31-32.

37. Долженков И.Е., Гончаренко Т.Ю., Клименко А.П. Превращение аустенита в стали 20Г2Р при непрерывном охлаждении. Изв. ВУЗов. ЧМ, 1985, №5, с. 140-141.

38. Долженков И.Е., Гончаренко Т.Ю., Бойко О.В. и др. Исследование кинетики распада аустенита стали 36ХТР. МГП, 1985, №4, с. 39-40.

39. Долженков И.Е., Гуль Ю.П. Интенсивные технологии упрочнения металлопроката, труб и металлоизделий. Сталь, 1986, №10, с. 69-73.

40. Долженков И.Е., Дейнеко Л.Н., Каплан С.Г. Охлаждающее устройство для термического упрочнения соединительных деталей. Строительство трубопроводов, 1986, №6, с.38.

41. Долженков И.Е., Прокофьев В.Н., Величко Л.Ю. Совершенствование технологии производства катанки и проволоки из стали 16ХСНД. МГП, 1987, №1, с. 39-41.

42. Долженков И.Е. Термическая и термомеханическая обработка металлопроката и труб. Сб. Металлургия и коксохимия. Вып. 92. Металловедение и термическая обработка. Киев. «Техніка». 1987, с. 3-7.

43. Долженков И.Е., Гуль Ю.П. Ресурсосберегающие интенсивные технологии упрочняющей и разупрочняющей обработок массовых видов металлопродукции. Металлург, 1987, №10, с.5-7.

44. Долженков И.Е., Чайковский О.А., Худик Ю.Т., Ивченко А.В. Влияние повторного нагрева на структуру и свойства термически упрочненной арматурной стали. Сталь, 1987, №6, с. 79-82.

45. Долженков И.Е., Клименко А.П., Лещенко А.Н., Хусид О.С. Особенности кинетики превращения аустенита кремний-марганцовистой стали, микролегированной титаном. Изв. вузов ЧМ. 1991, №4, с. 50-52.

46. Долженков И.Е., Клименко А.П. Влияние горячей пластической деформации и прерванной закалки на кинетику распада аустенита. МГП, 1992, №4, с. 28-30.

47. Долженков И.Е. Улучшение потребительского качества металлопродукции за счет термического и комбинированного упрочнения – один из путей решения проблемы охраны окружающей среды. Сб. Проблемы металлургического производства. Вып. 110. Киев «Техніка», 1993, с.3-4.

48. Долженков И.Е. Термическая обработка металлопроката с прокатного нагрева – одно из основных направлений создания энергосберегающих технологий. Сб. Труды международной конференции «Экология и теплотехника – 1966». Г.Днепропетровск. 1996, с.91-93.
49. Долженков И.Е. Перспективы упрочняющей и умягчающей деформационно-термической обработки стального металлопроката и металлоизделий. Днепропетровск ПГАСиА. МТОМ, 1999, №2, с.5-15.
50. Руфанов Ю.Г., Долженков И.Е., Соценко А.В., Панасенко Л.И. К вопросу о рациональных параметрах термического упрочнения тяжело нагруженных железнодорожных колес и стрелочных переводов. МГП, 1999, №4, с.63-66
51. Долженков И.Е. Состояние и перспективы термической и деформационно-термической обработки металлопроката: Современные проблемы металлургии. Научные труды. Вып. 1. г. Днепропетровск. 1999, с.247-256; МТОМ, 2000, №2, с.47-56.
52. Долженков И.Е. Термическая и деформационно-термическая обработка металлопроката. Теория и практика металлургии. г.Днепропетровск. 2002, №3, с.30-36.
53. Долженков И.Е. Технология термической обработки металлопродукции металлургических заводов. Материалы учебно-практического семинара «Черная металлургия: технология и печное оборудование». г.Днепропетровск. НМетАУ, 2002, с. 203-213.
54. Большаков В.И., Долженков И.Е., Долженков В.И. Технология термической и комбинированной обработки металлопродукции. Учебник для вузов. Днепропетровск «Gaudeamus», 2002. 390с.
55. Большаков В.И., Долженков И.Е., Долженков В.И. Термическая обработка стали и металлопроката. Учебник для вузов. Днепропетровск, «Gaudeamus», 20002, 271с.
56. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н. Влияние способа сфероидизации на износостойкость стали ШХ15. МиТОМ. 1974, №6, с. 74-77.
57. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н., Кулиш Л.В. Влияние способа сфероидизирующей обработки на дислокационную структуру стали. Изв. АН СССР. Металлы. 1974, №5, с.146-149.
58. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н., Кулиш Л.В. и др. Комбинированная сфероидизирующая обработка проката. МГП. 1975, №1, с.39-40.
59. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н. Влияние предварительной закалки на сфероидизацию карбидов. МиТОМ, 1975, №3, с.27-31.
60. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н., Андрианова И.И. и др. Комбинированная сфероидизирующая обработка труб из стали ШХ15. Сталь, 1975, №4, с.361-364.
61. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н., Андрианова И.И., Кулиш Л.В. Исследование режима сфероидизирующей обработки предварительно закаленной стали. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. 1975, №4
62. Долженков И.Е. О морфологии кристаллов цементита, образующихся при распаде аустенита горячекатаной стали. Изв. АН СССР. Металлы. 1976, №1, с.134-138.
63. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н., Руфанов Ю.Г. и др. Механо-химико-термическая обработка армо-железа. Изв. АН СССР. Металлы. 1976, №3, с.165-168.

64. Долженков И.Е., Гринев А.Ф., Лоцманова И.Н., Андрианова И.И., Комбинированная сфероидизирующая обработка труб из стали ШХ15. Сб. Металлургия и коксохимия, №55. Киев. «Техніка», 1977.
65. Долженков И.Е. Морфология карбидных частиц, образующихся при распаде переохлажденного аустенита. Изв. АН СССР. Металлы. 1977, №3, с.136-141.
66. Долженков И.Е., Лоцманова И.Н., Бойко О.В. и др. Сфероидизирующая обработка проката. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. М.: Металлургия. 1977, №5, с.44-46.
67. Долженков И.Е., Гринев А.Ф., Лоцманова И.Н. и др. Влияние сфероидизирующей обработки на структуру и свойства подшипниковых труб, колец и подшипников качения. Сталь, 1978, №6. С.552-554.
68. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Бойко О.В. Исследование влияния предварительной прерывистой закалки на процесс сфероидизации карбидов в доэвтектоидной стали. Сб. Термическая обработка металлов. МЧМ СССР. М.: Металлургия, 1980, №9, с.40-42.
69. Долженков И.Е., Клименко А.П. Термическая обработка подката для холодной высадки. МГП. 1983, №4, с.26-27.
70. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Бойко О.В. и др. Совершенствование технологии производства металла для холодной высадки. Сталь, 1984, №11, с.59-60.
71. Долженков И.Е., Долженков И.И. Сфероидизация карбидов в стали. М.: Металлургия, 1984, 143с.
72. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Бойко О.В., Калинушкин Е.П. Влияние предварительной выдержки на интервал отжигаемости доэвтектоидной стали на зернистый перлит. Изв. АН СССР. Металлы, 1986, №3, с.127-129.
73. Долженков И.Е., Верболоз В.Д., Бойко О.В. и др. Повышение качества бунтового подката для холодной высадки. Сталь, 1988, №5, с.65-67.
74. Долженков И.Е. Термическая и термомеханическая обработка стали с целью повышения комплекса свойств, изменения морфологии карбидной фазы. Сб. Производство и свойства термически обработанного проката. М.: Металлургия, 1988, с. 25-30.