

ШУЛЬГИН Г.М. (ДОНГТУ, НПО «ДОНИКС»)*

РАЗРАБОТКА И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ-РАЗДЕЛЕНИЯ

Применение идеи многоручьевого прокатки с разделением дало возможность нетрадиционного решения проблемы получения высококачественного проката из непрерывнолитых слитков сталей с широким температурным интервалом кристаллизации. При этом достигнуто повышение производительности на 30%. Удельные энергозатраты на деформацию металла снизились на 20–30%, снизился удельный расход валков и увеличился выход годного.

Разработанная в ДонГТУ и НПО «Доникс» технология многоручьевого прокатки-разделения (МПР) успешно прошла комплекс патентных, лабораторных и промышленных исследований на обжимно-заготовочных и сортовых станах различного типа. Целями исследований являлись разработка и установление работоспособности и целесообразности тех или иных способов продольного разделения раскатов с учетом предъявляемых к ним требований, определение эффективности технологии, соответствия качества получаемого проката установленным стандартам.

Работы выполнены в соответствии с Постановлением Совета Министров Украины № 483 от 15.10.75, в рамках целевой межвузовской комплексной программы «Металл» (1986—1990 гг.), в соответствии с приказами отраслевых министерств, национальной научно-технической программой на 1994—2000 гг., утвержденными Верховным Советом Украины от 25.02.94 г. № 4034-ХІІ, а также Программами Минобразования Украины.

Разработка новых способов прокатки-разделения

Разработка новых способов прокатки-разделения начата в 1974—75 гг. Первоначально внимание было уделено только трехручьевым способам для производства заготовок из непрерывнолитых слэбов. Затем появились разработки связанные с двухручьевого прокаткой-разделением заготовки и фасонных профилей. Дальнейшее развитие выразилось в разработке принципиально новых схем разделения в том числе — контролируемым разрывом, срезом, взаимным сдвигом в наклонных калибрах и т.д. За 1975—90 гг. авторские права разработчиков были подтверждены более чем 40 авторскими свидетельствами и патентами СССР, Великобритании, Канады. В 1987 г. проданы лицензии в ГДР и на Кубу. Более 30 авторских свидетельств и патентов были внедрены в промышленных условиях.

Разработка теории и лабораторные исследования

Активная патентная деятельность была невозможна без обширных теоретических и лабораторных исследований. В период с 1975 по 1990 г. были разработаны теоретические положения процесса прокатки-разделения, каждое из которых было проверено и обосновано в условиях лаборатории прокатки ДПИ; проведены десятки оригинальных экспериментов по моделированию формоизменения, течения металла, исследованию деформированного состояния и энерго-силовых параметров при формировании и разделении многоручьевых раскатов. В процессе исследований были разработаны и использованы: способ определения предела пластичности металла при прокатке и устройство для его осуществления и образец для моделирования процесса деформации, защищенные авторскими свидетельствами СССР.

В итоге — создана теория расчета параметров принципиально нового процесса «прокатка-разделение».

* Статья подготовлена по материалам Г.М.Шульгина сотрудниками НПО «Доникс»

Промышленные исследования

Впервые исследование трехручьевого прокатки-разделения заготовок производили на обжимно-заготовочном стане 950/900 Донецкого металлургического завода (ДМЗ) в период 1976—77 гг. Из слитка массой 5,5 т в клети 950 прокатывали сляб сечением 495×235 мм за 11 проходов. Затем в трехручьевом калибре клети 900 формировали три соединенные между собой по ширине (по диагонали) заготовки квадратного сечения, с толщиной перемычки между ними 10–18 мм. Трехниточные раскаты разделяли в продольном направлении на отдельные заготовки газокислородными резаками вне потока стана.

Визуальный осмотр полученных квадратных заготовок со стороной 135 мм из сталей 09Г2 и 35 показал отсутствие поверхностных дефектов, за исключением морщин на необжатой боковой поверхности крайних заготовок глубиной 0,2–0,4 мм. После нагрева заготовок в методических печах сортовых станов эти морщины исчезали, так как их глубина не превышала толщины слоя образующейся окалины.

Макроструктура раската оказалась своеобразной: в средней заготовке ликвационная зона имела вид искаженного квадрата, а в крайних представляла собой искаженные треугольники, сходящиеся вершинами к перемычке.

Опытные и сравнительные заготовки прокатывали в круглые профили $\varnothing 50$; 27 и 17 мм на сортовых станах ДМЗ. Особенности в макроструктуре образцов кругов $\varnothing 27$ и 17 мм не было обнаружено, металл был плотным и однородным, скопления ликватов отсутствовали; в опытных образцах круга $\varnothing 50$ мм имелся слабо выраженный ликвационный квадрат.

Учитывая рациональность сочетания непрерывной разливки с многоручьевого прокаткой-разделением было проведено исследование многоручьевого прокатки непрерывнолитых слябов.

Непрерывнолитые слябы сечением 150–180×400 мм, нагретые до температуры прокатки прокатывали в клети 950 за два пропуска: проглаживающий для снятия волнистости и контроля толщины и ребровый для формирования наплывов на широких гранях сляба. Наплывы высотой 0,15–0,22% от толщины сляба формировали для обеспечения качественного заполнения крайних ручьев многоручьевого калибра по высоте и ширине.

В клети 900 прокатку вели за 5–7 пропусков без кантовок в одном и том же трехручьевом калибре, состоящем из трех совмещенных по ширине элементарных квадратных калибров, со стороной 100 мм.

Установлено, что для получения качественных заготовок необходима точная центровка раската в первом пропуске. Отклонение оси раската от оси калибра более чем на 2% ширины раската вызывает переполнение одного из крайних ручьев и незаполнение другого. В последующих пропусках прокатку можно осуществлять без центрирующих устройств, так как раскат самоцентрируется гребнями многоручьевого калибра.

После удаления многониточного раската из потока стана его разрезали в продольном направлении газокислородными резаками по перемычкам. Испытания на осадку на 50% первоначальной высоты образцов с последующим горячим травлением поверхности показали отсутствие поверхностных дефектов, как в крайних, так и в средних заготовках. При последующем переделе зачистки заготовки не потребовалось. Сравнительный анализ механических характеристик профилей, полученных из крайних и средних заготовок, показал их полную идентичность. По прочностным характеристикам металл опытной партии не уступал прокатанному по обычной технологии и соответствовал действующим стандартам.

На второй стадии промышленных исследований опробовали и исследовали трехручьевого прокатку с продольным разделением раската взаимно перпендикулярным диагональным смещением крайних заготовок с удержанием средней заготовки.

Установлено, что прокатка-разделение без использования специальной привальной арматуры осуществлялась устойчиво, без пробуксовок. Получено удовлетворительное качество разделенных заготовок (в местах разделения отсутствовали дефекты нарушения сплошности).

Внедрение прокатки-разделения на стане 950/900 позволило сократить цикл прокатки на 12–24%, снизить удельный расход электроэнергии на прокатку на 5–20% и увеличить выход годного за счет дифференцированной обрезки средней и крайних заготовок на 0,8–0,9%.

Промышленное исследование трехручьевого прокатки-разделения на обжимных станах линейного типа проводили в 1980—81 гг. на трехклетевом крупносортом стане 850 Макеевского металлургического комбината (МакМК) при производстве квадратной заготовки со стороной 58 мм из блюмов стали СтЗсп и СтЗкп (ГОСТ 380) сечением 300×300 мм и слитков 370/320 × 370/320 мм.

Заготовки разделяли разрывом перемычек путем увеличения расстояния между осями ручьев чистового калибра. Установлено, что длина шейки разрыва на опытных заготовках из кипящей стали СтЗкп почти в два раза меньше, чем на заготовках спокойной стали СтЗсп.

Исследование макроструктуры поперечных темплетов после глубокого травления показало наличие ликвационной зоны в местах разделения заготовок из кипящих сталей. На заготовках из спокойной стали ликвационная зона была выражена слабо. Центры зон физико-химической неоднородности на крайних заготовках смещены к местам разделения. Полученные квадратные заготовки прокатывали на катанку \varnothing 6,5 мм на проволочном стане 250–1 МакМК. Механические испытания показали полное соответствие ее свойств — требованиям ГОСТ 380.

Технологию двухручьевого прокатки-разделения квадратной заготовки 60×60 мм исследовали на крупносортом линейном стане 600 МакМК при прокатке заготовки сечением 150×150 мм из стали СтЗсп, Ст4кп, 45 и 65. Двухниточный раскат разделяли таким же способом. С целью выявления влияния условий прокатки на качество мест разделения заготовок изменяли: толщину перемычки, температуру металла в конце прокатки в пределах 950–800°С, угол между гранями заготовок в зоне перемычки и режим обжатий в предчистовом калибре.

Установлено, что с увеличением толщины перемычки, уменьшением температуры раската и угла между гранями в зоне перемычки уменьшается длина шейки разрыва и искажение формы раската.

Опытные заготовки без дополнительной зачистки прокатывали на сортовых станах 330 и 280 МакМК по существующей технологии на круги \varnothing 21, 23 и 25 мм и полосы сечением 50×8, 50×4 и 25×8 мм. Заготовки из стали 65 прокатывали на проволочном стане 250-1 МакМК на катанку \varnothing 6,5 мм. Механические свойства готовых профилей проката соответствовали требованиям ГОСТ 380 и ГОСТ 1050.

Макро- и микроисследованиями всех профилей проката установлено отсутствие поверхностных дефектов, причиной которых могла быть специфика прокатки-разделения опытных заготовок.

Промышленные исследования двух- и трехручьевого прокатки-разделения квадратных заготовок на линейных станах показали возможность увеличения их производительности на 12–15% или прокатки заготовок меньших сечений без уменьшения производительности.

Многоручьева прокатка заготовок из непрерывнолитых слитков с удалением ликвационной зоны

Неоднократные и широко известные попытки получения качественного сортового проката из непрерывнолитых слитков стали ШХ-15 в 80-е годы не привели к положительным результатам. Причиной этого явилось то, что многочисленные попытки по

применению различных методов воздействия на кристаллизующийся слиток и использование известных приемов при пластической деформации металла базировались на идее рассредоточения зоны физико-химической неоднородности по всему объему металла.

Применение идеи многоручьевой прокатки с разделением дало возможность нетрадиционного решения проблемы получения высококачественного проката из непрерывнолитых слитков сталей с широким температурным интервалом кристаллизации.

Техническая сущность данной разновидности МРП заключалась в локализации зоны физико-химической неоднородности в заданном месте поперечного сечения непрерывнолитого слитка при его отливке, минимизации размеров указанной зоны при прокатке в обычных и многоручьевых калибрах с формированием нескольких заготовок, сопряженных перемычками по их ширине. При этом одна из заготовок формируется из осевых слоев металла, пораженных дефектами усадочного происхождения. По окончании или в процессе формирования заготовки нужно отделить друг от друга в валках прокатного стана, а потом — рассортировывать, выделив осевую заготовку. Заготовки без макродефектов направить на последующий передел, а заготовки с локализованной ликвационной зоной перекатать, например, в мелющие шары, или использовать в качестве электродов для электрошлакового переплава и др.

Исследования проведены на плоских моделях и при прокатке на стане 250 ДонГТУ свинцовых и стальных образцов, а также на стане 950/900 ДМЗ в период 1980—1985 гг.

Разработка, исследование и внедрение технологии сосредоточения и удаления ликвационной зоны с применением многоручьевых калибров и безотходного продольного разделения в валках прокатного стана позволили получить металлопрокат из непрерывнолитых слитков с гарантированным качеством. Впервые в мировой практике в массовом производстве были получены шарики для подшипников с гарантированными показателями долговечности, превышающие полученные по обычной технологии в 2–3 раза.

Двухручьевая прокатка-разделение арматурной стали на мелкосортных станах

При производстве арматурной периодической стали мелких сечений проблемы энергосбережения и ресурсосбережения, расширения размерного сортамента прокатных станов могут решаться путем использования технологии многоручьевой прокатки-разделения.

В зарубежной практике для производства прутков периодической арматурной стали получила широкое применение технология «слиттинг-процесс», разработанная канадской фирмой «Co-Steel International» и усовершенствованная японской фирмой «Nippon Kokan». Технология «слиттинг-процесс» заключается в том, что из квадратной или прямоугольной заготовки путем прокатки в двух или более многоручьевых калибрах формируется многониточный раскат, состоящий из нескольких «круглых» (каплевидной формы) профилей, соединенных между собой очень тонкой перемычкой, толщиной 0,75–1 мм.

Продольное разделение многониточного раската осуществляют путем разрыва перемычки клиновидными роликами специального устройства, устанавливаемого на выходе из валков под действием выталкивающей силы, создаваемой прокатными валками. После разделения осуществляется прокатка профилей каплевидной формы в готовые профили, как правило, за два пропусса.

К недостаткам технологии «слиттинг-процесс» относится наличие шейки разрыва перемычки в виде заусенца в месте разделения раската, из которого может образоваться поверхностный дефект в виде заката. Кроме того, для обеспечения стабильного разделения возникает необходимость в формировании на многониточном раскате очень

тонкой перемычки с острым углом при вершине гребней многоручьевого формирующего калибра, существенно снижающих его стойкость.

Недостатком является и наличие разделяющих клиновидных роликов, которые отличаются низкой износостойкостью. Повышение их стойкости плазменной наплавкой специальных материалов создает дополнительные трудовые и материальные затраты.

Ко всему этому, продольное разделение раската относительно малого сечения затрудняется в связи с возможностью потери его продольной устойчивости в промежулке между выталкивающими прокатными валками и разделяющим устройством. Из-за этого возникает необходимость в увеличении количества пропусков для пониточной прокатки разделенных полос при производстве очень мелких профилей проката (круги $\varnothing < 10$ мм). Отсутствие самоцентрирования раската при прокатке в двухручьевых калибрах требует сложной регулируемой вводной арматуры и специальных оптических устройств. Сложностью конструкции отличается и устройство для продольного разделения раската.

Альтернативой «слиттинг-процессу» явилась технология двухручьевого прокатки-разделения (ДПР) с продольным разделением многониточного раската контролируемым разрывом в валках прокатного стана, разработанная сотрудниками ДонГТУ и НПО «Доникс».

При этой технологии в многоручьевом калибре формируют раскат, состоящий из нескольких заготовок любой формы поперечного сечения, например, квадратной или ромбической, соединенных между собой вдоль одной из осей (диагоналей) относительно толстой перемычкой.

Продольное разделение двухниточного раската контролируемым разрывом осуществляется в разделяющем калибре, в котором центрирование двухниточного раската обеспечивается гребнями калибра.

Успешная разработка и освоение описанного способа разделения позволила внедрить двухручьевую прокатку-разделение арматурной стали № 8, 10 и 12 на мелко-сортных станах (МС) Криворожского государственного горно-металлургического комбината «Криворожсталь» (КГГМК) с 1995 г.

Первым станом КГГМК, на котором была внедрена ДПР был МС250-3. При ДПР арматурной стали № 10 достигнуто увеличение производительности стана на 35%, арматурной стали № 12 — на 26%. Удельные энергозатраты на деформацию металла снизились на 20,5–30,5%, удельный расход валков — на 19–30%. За счет уменьшения утара металла при нагреве и окалинообразования при прокатке выход годного увеличился на 2–4 кг/т.

На следующем этапе в 1996 г. освоена прокатка-разделение арматурной стали № 12 на МС250-4, а затем в 1998 г. — № 8 на МС250-1.

Кроме очевидных преимуществ прокатки-разделения, характерных и для «слиттинг-процесса», за счет уменьшения в два раза суммарной вытяжки уменьшается число проходов и практически выводятся из работы две рабочие клетки стана (на МС 250-3 две вертикальные клетки чистой группы). В связи с этим и увеличением скорости прокатки в клетях, предшествующих продольному разделению раската, уменьшается на 20–30% удельный расход валков.

По состоянию на 31 декабря 2000 года по технологии ДПР прокатано более 5 млн. т арматурной стали.

Ни у кого не вызывает сомнения, что технология обеспечивает получение арматурной стали с качеством поверхности, геометрическими размерами и механическими свойствами, удовлетворяющими требованиям стандартов.

Сам процесс не требует дополнительных устройств разделения раската, организации участков упрочнения разделяющих роликов, увеличение числа пропусков при прокатке кругов диаметром < 10 мм.

На следующем этапе в 1996 г. освоена прокатка-разделение арматурной стали № 12 на МС250-4, а затем в 1998 г. — № 8 на МС250-1.