

Б.П. Середа, зав. кафедрой, д.т.н., профессор

А.К. Коваленко, аспирант

Ю.А. Белокопъ, ст. преподаватель

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРУТКОВ ИЗ СТАЛИ 40ХГМ ДИАМЕТРОМ 200...275 мм

Запорожская государственная инженерная академия

Запропоновано технологію виробництва прутків зі сталі 40 ХГМ діаметром 200...275 мм, що вміщує прокатку зливків на блюмінгу в ящиковому калібрі за декілька проходів, в овальному та круглому калібрах з кантуванням прямокутної штаби перед прокаткою в овальному калібрі та післядеформаційне охолодження до температури нижче 150 °С.

Предложена технология производства прутков из стали 40 ХГМ диаметром 200...275 мм, которая предусматривает прокатку слитков на блюминге в ящичном калибре за несколько проходов, в овальном и круглом калибрах с кантовкой прямоугольной полосы перед прокаткой в овальном калибре и последеформационное охлаждение до температуры ниже 150 °С.

Введение. На мировых рынках сбыта в соотношении «цена-качество» украинские металлургические предприятия нередко проигрывают своим китайским и российским конкурентам, поэтому задачей является улучшение качественных показателей проката, повышение производительности процесса и уменьшение энергозатрат на его проведение.

Анализ достижений. На данный момент прутки из стали 40 ХГМ диаметром 200...275 мм производят согласно технологии, предусматривающей электродуговую выплавку, разливку стали в слитки, нагрев слитков, ковку и противоблоковую обработку с изотермической выдержкой при температуре 600...800 °С и замедленным охлаждением в течение 72...120 ч. Данная технология характеризуется наличием низкопроизводительных и энергоемких операций ковки и противоблоковой обработки в термической печи, а для ее реализации необходимо большое количество печей указанного типа. Для прутков из стали 40 ХГМ диаметром менее 190 мм применяют технологию производства, отличающуюся от вышеприведенной прокаткой слитков в ящичных, овальном и круглом калибрах с последующей противоблоковой обработкой проката путем замедленного охлаждения в неотапливаемых колодцах до температуры ниже 150 °С. Однако в случае применения данной технологии для прутков диаметром более 190 мм не обеспечивается необходимое качество металла. Готовые прутки диаметром 200...275 мм углеродистых и легированных конструкционных сталей характеризуются наличием внутренних дефектов в виде центральной пористости, рыхлости и флокенов [1]. Последний вид внутренних дефектов особенно часто наблюдается в плавках, имеющих содержание водорода более 5 ppm. При этом сталь, выплавленная электродуговым способом, более насыщена водородом, чем стали, выплавленные конвертерным или мартеновским способом, и, следовательно, более склонна к образованию флокенов. Причиной центральной пористости и рыхлости является непроработка центральных частей раската при деформации в ящичных калибрах с коэффициентом вытяжки 1,1...1,2 при высоте полосы от 300 до 700 мм и диаметре валков от 900 до 1100 мм. Сжимающее давление, передаваемое рабочими вал-

ками, при таких параметрах прокатки не проникает в центральную часть профиля и создает в ней растягивающие напряжения, которые разрушают рыхлую сердцевину раскатываемого слитка.

Образованию флокенов способствует высокая концентрация водорода в стали, полученной электродуговым способом, уменьшение его растворимости в твердом растворе и диффузионной способности при снижении температуры, а также высокая скорость последеформационного охлаждения при большом диаметре профиля.

Постановка задачи. Целью исследования является увеличение производительности процесса выпуска прутков из стали 40 ХГМ диаметром 200...275 мм и улучшение их качества.

Основная часть исследований. Для достижения указанной цели исследовали новую технологию производства прутков диаметром 200...275 мм вышеуказанной стали, отличие которой от известной заключается в том, что прокатку в последнем проходе ящичного калибра, а также в овальном и круглом калибрах осуществляют с суммарным коэффициентом вытяжки 1,45...1,75, при отношении температуры поверхности раската (T_n) к температуре нагрева средней части слитка (T_c) равном 0,72...0,88, а замедленное охлаждение проката до температуры ниже 150 °С производят по режиму, определяемому соотношением [2]:

$$t = 720 - \hat{E} \cdot \tau + 0,042 \tau^2, \quad (1)$$

где t – температура металла в колодце замедленного охлаждения, °С; τ – длительность замедленного охлаждения, ч; K – эмпирический коэффициент, $K = 9,83...9,88$ для прутков диаметром более 230 мм и $K = 9,96...10,01$ для прутков диаметром 200...230 мм.

Прокатка слитков углеродистых и легированных конструкционных сталей по такому режиму позволяет в большей степени продеформировать среднюю часть слитка, так как она имеет сопротивление деформации на 20...80 МПа (в 1,2...2,5 раза) меньше, чем поверхностные слои металла. При температуре нагрева 1250 °С температура центральной части слитка будет в пределах 1230...1250 °С и после прокатки на гладкой части бочки вала и в ящичных калибрах в течение 60...90 с не уменьшается ниже уровня 1200 °С, в то время как на поверхности температуру металла можно снизить за счет естественного охлаждения и специального подстуживания металла перед последним проходом в ящичном калибре. Подстуживание раската на более ранней станции приводит к увеличению до недопустимого уровня усилия прокатки, что вызывает необходимость уменьшения обжатия (степени деформации) и, следовательно, снижения проработки средней части сечения раската. Кроме того, подстуживание слитка или раската перед последующей прокаткой с суммарным коэффициентом вытяжки более 1,75 приводит к потере пластичности металла при его деформации и созданию значительных растягивающих напряжений на поверхности раската, которые превышают предел прочности стали и вызывают появление дефектов (трещин, разрывов). Подстуживание раската перед прокаткой с суммарным коэффициентом вытяжки менее 1,45 не обеспечивает заваривание дефектов в разрушенной сердцевине раската из-за малой степени деформации [3].

Охлаждение поверхности раската до температуры, при которой отношение T_n/T_c менее 0,72, приводит к значительной потере пластичности металла в поверхностном слое и такой неравномерности деформации по сечению профиля, при которой растягивающие напряжения, возникающие на поверхности раската, превышают предел прочности металла и вызывают образование дефектов.

Понижение температуры поверхности раската до величины, при которой отношение T_n/T_c более 0,88, не позволяет во время прокатки прутков диаметром 200...275 мм в клети с валками диаметром 900...1100 мм и суммарным коэффициентом вытяжки после подстуживания 1,45...1,75 (с коэффициентом вытяжки за проход не более 1,2) создать в средней части раската сжимающие напряжения, необходимые для устранения указанных дефектов. В этом случае сердцевина проката поражена внутренними дефектами: порами и рыхлостью.

Замедленное последеформационное охлаждение проката до температуры ниже 150 °С по режиму, определяемому соотношением (1), когда значение эмпирического коэффициента K , превышает 9,88 для прутков диаметром более 230 мм и 10,01 для прутков диаметром 200...230 мм, не гарантирует отсутствие флокенов в металле. В этом случае охлаждение прутков протекает с неравномерным распределением температуры по его сечению, при котором растворенный в стали водород из поверхностных слоев, состоящих из ферритной и цементитной фаз, диффундирует в центральную часть прутка, где сохраняется аустенит, имеющий большую растворимость водорода, чем феррит. Как следствие, центральная часть прутка обогащается водородом, который не успевает удалиться из металла из-за недостаточного времени пребывания прутков при температуре 650...300 °С, когда он диффузионно активен [4].

При замедленном последеформационном охлаждении проката до температуры ниже 150 °С согласно режиму (1), когда эмпирический коэффициент K , значение которого меньше 9,83 для прутков диаметром более 230 мм и меньше 9,96 для прутков диаметром 200...230 мм имеет место отсутствие флокенов в металле, однако такой режим требует дополнительных затрат на подогрев металла во время охлаждения и уменьшения производительности стана, так как в этом случае «узким местом» являются колодцы замедленного охлаждения, пропускная способность которых определяет производительность стана. Так, увеличение длительности охлаждения металла на 10...15% снижает производительность стана на такую же величину. Кроме того, увеличение длительности охлаждения проката вызывает дополнительные потери металла с окалиной.

Таблица 1 – Схемы прокатки прутков стали 40ХГМ

№№ схе- мы	Диаметр профиля, мм	Диаметр профиля в горячем состоянии, мм	Размеры овального сечения раската, мм	Размеры раската после ящичного калибра, мм
1	200	202	293 x 242	235 x 220
2	210	212	203 x 252	240 x 230
3	218	220	212 x 260	255 x 245
4	230	232	224 x 275	270 x 255
5	240	243	235 x 288	283 x 265
6	250	253	245 x 305	300 x 255
7	260	263	255 x 318	280 x 310
8	275	278	270 x 326	290 x 320

Для реализации предлагаемой технологии исследовали влияние температуры поверхности раската при прокатке в последнем проходе ящичного калибра, в овальном и круглом калибрах с суммарным коэффициентом вытяжки 1,45...1,75 в ящичном, овальном и круглом калибрах и режима последеформационного охлаждения на качество поверхности проката, макроструктуру и производительность процесса.

Таблица 2 – Результаты опытных прокаток прутков стали марки 40ХГМ

Диаметр профиля, мм	Значение коэф- фициента K	Отношение T_n/T_c	Коэффициент вытяжки после подстуживания	Макро- структура	Качество поверхности
200...230	9,96...10,01	0,77...0,83	1,45...1,75	без дефектов	без дефектов
200...230	10,02...10,03	0,72...0,83	1,45...1,75	флокены	без дефектов
200...230	9,90...9,95	0,72...0,83	1,45...1,75	без дефектов	без дефектов
200...230	9,96...10,01	0,65...0,71	1,45...1,75	без дефектов	разрывы
200...230	9,96...10,01	0,89...0,92	1,45...1,75	осевая пористость	осевая пористость
240...275	9,83...9,88	0,72...0,88	1,45...1,75	без дефектов	осевая пористость
240...275	9,89...10,00	0,72...0,88	1,45...1,75	флокены	осевая пористость
240...275	9,78...9,82	0,72...0,88	1,45...1,75	без дефектов	осевая пористость
240...275	9,83...9,88	0,65...0,71	1,45...1,75	без дефектов	разрывы
240...275	9,83...9,88	0,89...0,92	1,45...1,75	осевая пористость	осевая пористость
240...275	9,83...9,88	0,72...0,88	1,15...1,42	без дефектов	осевая пористость
240...275	9,83...9,88	0,72...0,88	1,78...2,30	без дефектов	разрывы

В качестве экспериментального материала использовали промышленные плавки стали 40ХГМ, выплавленные электродуговым способом, разлитые в слитки массой 7,4 т и имеющие в жидком металле содержание водорода от 4 до 6 ppm.

Слитки нагревали с горячего посада до температуры 1250 °С, подвергали выдержке при данной температуре в течение 2...4 ч и прокатывали на прутки диаметром 200...275 мм по схемам, приведенным в табл.1. Температуру поверхности раската при прокатке в последнем проходе ящичного калибра, в овальном и круглом калибрах, варьировали путем его подстуживания и контролировали ее величину оптическим пирометром. Для измерения температуры центральной части слитка производили ряд контрольных нагревов слитка массой 7,4 т с установкой термопар в его осевой и периферийной части на трех уровнях по высоте. В результате нагревов определили фактическое отклонение температуры центральной части слитка от показаний термопары, установленной в стенке нагревательного колодца, что позволяет оценивать величину температуры слитка при помощи данной термопары.

От полученных прутков отбирали пробы для исследования макро- и микроструктуры стали. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Заключение. Предложенная технология производства прутков из стали 40ХГМ позволяет избавиться от таких недостатков как центральная пористость, рыхлость, флокены, искривление профиля (овальность) и поверхностные дефекты в виде закатов и подрезов, а также обеспечить необходимое качество металла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Охрименко Я. М.* Технология кузнечно-штамповочного производства / Я. М. Охрименко. – М.: Машиностроение, 1976. – 560 с.
2. *Чижиков Ю. М.* Процессы обработки давлением легированных сталей и сплавов / Ю. М. Чижиков. – М.: Металлургия, 1965. – 496 с.
3. *Мерекин Б. В.* Некоторые вопросы калибровки прокатных валков / Б. В. Мерекин. – М.: Металлургия, 1964. – 345 с.
4. *Середа Б. П.* Металознавство і термічна обробка чорних і кольорових металів: [монографія] / Б. П. Середа. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2002. – 265 с.

Стаття надійшла до редакції 21.12.2009 р.
Рецензент, проф. А.У. Григоренко