

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОВАННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

WAYS OR QUALITY IMPROVEMENT FORGED FORMING ROLLS

Е.Н. Шестакова¹, А.И. Потапов²,

Г.А. Орлов¹

¹Уральский Федеральный Университет им. Б.Н. Ельцина, ²Институт машиноведения УрО РАН г. Екатеринбург

Abstract

The article presents a literary survey relating to the experience of manufacturing hypereutectoid steel for making forged forming rolls. Using this type of steel one can produce forged roll with high strength and durability due to high carbon content. Steel have highly dispersed structure due to proper alloying species ratio.

Сегодня особенно актуальны вопросы повышения качества прокатных валков, в частности, точности поковок для валков, снижения припусков на механическую и термическую обработку, вопросы эксплуатационной надежности валков, связанных с улучшением качества сталей для их производства. Одним из путей повышения качества валков является совершенствование химического состава ковочных сталей.

Основными материалами для изготовления валков горячей прокатки, например, на ОАО «Уралмашзавод», являются стали углеродистые типа 50, 55, хромоникелевые 40ХН, 50ХН, 60ХН и стали с более высоким содержанием углерода типа 75ХМФ, 9Х2, 9ХФ и 9Х2МФ. Заготовки валков из этих марок стали изготавливаются ковкой.

Литературные данные и опыт эксплуатации валков свидетельствуют о том, что стойкость валков горячей прокатки в значительной степени определяется твердостью и теплостойкостью материала, а также стойкостью к абразивному износу. Указанные характеристики зависят, главным образом, от химического состава материала. Определяющим химическим элементом в стали является углерод, содержание которого в кованных валках обычно не превышает 0,85-0,95%. Долгое время ОАО «Уралмашзавод» был лидером по поставке таких валков.

Сегодня широкое распространение получили и литые валки, которые являются более дешевыми, чем кованные. Но более низкая конструкционная прочность, частый выход из строя по поломкам, а также наличие литейных дефектов и нестабильность качества делают оправданным применение литых валков, в основном, из высокоуглеродистых заэвтектоидных сталей и чугуна типа 150ХНМ,ковка которых затруднена или вообще невозможна.

Заметим, что повышение качества и литых чугунных валков является актуальной проблемой. Например, на Магнитогорском металлургическом комбинате [1] исследовали сталь 150ХНМ для

установления структурных особенностей, влияющих на износостойкость рабочего слоя валков. Исследование проводили на образцах, вырезанных из валка после выхода его из эксплуатации. В структуре валка наблюдалась почти непрерывная карбидная сетка по границам аустенитных зерен. Микротрещины разгара, образующиеся на поверхности при эксплуатации валка, распространяются вглубь рабочего слоя прежде всего по границам аустенитных зерен. По результатам исследования был сделан вывод о необходимости комплексного легирования для повышения эксплуатационной стойкости, хотя не всегда является экономически выгодным.

С увеличением содержания в литых валках углерода неизменно и очень сильно возрастает стойкость валков за счет образования избыточных карбидов. Вместе с тем значительное повышение углерода ограничивается повышением хрупкости сталей, усугубляемой ликвацией углерода и примесей от поверхности литого валка к его оси. На практике в заэвтектоидных сталях, используемых для производства литых валков, содержание углерода находится в пределах 0,90-1,80%.

Учитывая влияние углерода на механические свойства валковых сталей, из которых следует, что оптимальное сочетание механических свойств имеет место в сталях, содержащих 0,8-1,0% С. Увеличение содержания углерода свыше 1,4-1,5% приводит к резкому падению как временного сопротивления так и относительного удлинения и ударной вязкости. Этим, в частности, объясняется широкое распространение для литых валков стали типа 150ХНМ, содержащей 1,4-1,6% и легированной хромом, никелем и молибденом. Необходимые свойства валкам придаются в зависимости от назначения соответствующей термообработкой.

Химсостав стали 150ХНМ (%) указан в табл.1:

Химический состав стали 150ХНМ по ГОСТ 9487-80 и ГОСТ 10207-70

С,%	Si,%	Mn,%	Cr,%	Ni,%	Mo,%	$\sigma_{в}$, мПа	Твердость, НВ
1,4-1,6	0,25- 0,50	0,50- 0,80	0,8- 1,25	0,8- 1,25	0,1-0,3	932	375

Структура литых валков из заэвтектидных сталей состоит из зерен перлита, окаймленных цементитной оторочкой, тем более толстой, чем выше содержание углерода. При 1,7-2,0% С образуется, кроме того, участки ледебурита. Сплошная цементитная сетка вызывает резкое снижение прочности, что приводит к частым поломкам валков. Термообработка частично разрушает цементитную сетку и сфероидизирует цементит перлита.

Отсюда следует, что одним из путей повышения стойкости кованых валков является повышение содержания в сталях углерода свыше 0,85-0,95 %.

В литературе и практике известны попытки разработать более износостойкие высокоуглеродистые стали для валков горячей прокатки, изготавливаемых ковкой. Так, в ЦНИИТМАШ [2] в 1973-74 годах была разработана сталь 100ХНМФ (1,01% С; 0,55% Si; 0,45% Mn; 0,99% Cr; 0,63Ni; 0,35% Mo и 0,13% V) с более высоким содержанием углерода по сравнению с применяющимися сталями 60ХН, 9Х2, 9ХФ. Предложенная сталь согласно данным исследований обеспечивает более высокую твердость после нормализации и отпуска. При испытаниях на износ при повышенных температурах (500-750°C) опытная сталь показала стойкость, в 3 раза превышающую стойкость стали 9ХФ и почти в 5 раз – стали 60ХН.

Сталь была проверена в промышленных условиях. На НКМЗ были изготовлены валки. Валками было прокатано 29771 тонн металла, что превышает стойкость валков из стали 9ХФ в 1,48 раза, а в отдельных установках – 2-2,5 раза.

В 1977 году в кузнечно-прессовой лабораторией была предложена и исследована сталь с содержанием углерода 110Х2МФ (1,1% С; 0,37% Mn; 0,35% Si; 1,92% Cr; 0,21% Ni; 0,25% Mo и 0,15% V). В этом же году были изготовлены поковки валков для станков НТМК. Работая в паре с валками 60ХН и литыми из чугуна, валок из исследуемой стали, показал стойкость в 1,5-2 раза выше.

В 80-х в лаборатории были проведены работы по освоению высокоуглеродистой стали с добавками ниобия (110Х2МФБ). Установлено, что введение в сталь ниобия в количествах 0,02-0,05% способствует повышению уровня горячей пластичности за счет получения в стали с ниобием более мелкого зерна при нагреве под деформацию. Сталь с повышенным содержанием углерода и легированная ниобием по характеристикам

прочности и пластичности, а также ударной вязкости превосходит стали марок 9Х2МФ и 110Х2МФ особенно при повышенных температурах (500-600°C), которые являются рабочими для валков горячей прокатки.

Кроме того, сталь с ниобием имеет наилучшую прокаливаемость, что должно обеспечить при закалке большую глубину закаленного рабочего слоя и, следовательно, более высокую износостойкость валков. Наконец, сталь с добавлением ниобия обладает более высокой теплостойкостью.

Ванадий и ниобий при нагреве стали до температуры 1000°C (ванадий) и даже до 1150 °С (ниобий) сдерживают рост зерна аустенита за счет недорастворения мелкодисперсных карбидов ванадия и ниобия.

Легирование хромом повышает прокаливаемость стали и улучшает термостойкость. Легирование никелем также повышает прокаливаемость и особенно сильно в присутствии хрома. Молибден повышает прокаливаемость и улучшает термостойкость.

Высокий углерод в стали 150ХНМ обеспечивает повышение твердости и износостойкости, но снижает ее деформационную способность, что практически не позволяет изготавливать валки ковкой. Поэтому в научно-исследовательской работе было намечено снижение содержания углерода до 1,3-1,4% для придания стали способности деформироваться в горячем состоянии.

По результатам оценки уровня пластичности и температурного интервала деформации следовало, что стали с содержанием углерода 1,3-1,4% обладают пластичностью, достаточной для проведения горячей деформации с небольшими единичными обжатиями. Однако для сталей характерно резкое падение уровня степени деформации сдвига $\Delta\epsilon$, при которой происходит разрушение, с понижением температуры. Минимальная температура деформации должна быть не ниже 900°C. Оптимальная температура нагрева под ковку - 1150°C. Нагрев до более высокой температуры (1180°C) приводит к некоторому снижению уровня пластичности.

Опыты на износостойкость при абразивном износе подтвердили, что износостойкость стали слабо зависит от степени легирования (в исследуемых пределах) и увеличивается с повышением в стали содержания углерода.

Известно, что разработки технологии производства бандажей для вертикальных валков из заэвтектидных марок стали велись в 2000г. на

ОАО НТМК[4]. В цехе прокатки широполочных балок (ЦШПБ) ОАО НТМК ранее эксплуатировали бандажированные вертикальные валки из стали 150ХНМ. Твердость рабочего слоя 330-407 НВ. Бандажи поставлял Уфалейский завод по ремонту металлургического оборудования. Их изготовляли способом центробежной отливки с последующей термической обработкой. Они обеспечивали требуемую износостойкость, однако в 1999 г. Завод прекратил поставку изделий в связи с консервацией машины центробежного литья. Тогда на комбинате проработали возможность изготовления бандажей для валков ковкой.

Было принято решение остановиться на стали 100ХНМ и освоить технологию изготовления заготовок бандажей. В процессе экспериментов был выбран и оптимальный режим термообработки, который позволил получить твердость 339-415 НВ на глубине 40 мм.

По результатам промышленной эксплуатации установили, что износостойкость опытной партии из стали 100ХНМ составляет 75% стойкости бандажей из стали 150ХНМ.

углерод	1,2...1,4
кремний	0,2...0,5
марганец	0,5...0,8
хром	1,4...1,7
никель	0,6...0,9
молибден	0,1...0,3
железо	остальное

а суммарное среднее содержание ванадия и ниобия определяют по формуле

$$(V + Nb) = C/12,$$

где V, Nb и C – соответственно среднее содержание ванадия, ниобия и углерода в %, при этом среднее содержание ванадия в 2-2,5 раза больше, чем ниобия.

Сущность изобретения заключается в том, что установлены рациональные соотношения между содержанием карбидообразующих элементов ванадия и ниобия, сдерживающими рост зерна, и содержанием углерода, который также образует карбиды хрома и молибдена, для получения мелкозернистой и достаточно твердой,

В 2003г ОАО «Уралмашзавод» освоил технологиюковки и термообработки бандажей из стали 150ХНМ и начал поставлять их на комбинат. В сравнении с аналогичными цельноковаными опорными валками из сталей 75ХМФ или 90ХФ износостойкость бандажированных валков увеличилась в 1,5...2,0 раза, что позволило увеличить межперевалочные сроки (т.е. кампанию прокатки) и уменьшить потери времени, связанные с перевалкой валков. Однако сегодня ОАО НТМК используют более качественные валки зарубежных производителей.

Для производства кованных валков горячей прокатки предлагается новая высокоуглеродистая заэвтектоидная сталь 140Х2НМФ. Техническая задача - получение кованных прокатных валков высокой прочности и износостойкости. Для этого сталь для изготовления кованных прокатных валков, содержащая углерод, кремний, марганец, хром, ванадий, ниобий, железо, дополнительно содержит никель и молибден при следующей концентрации элементов, масс. %:

углерод	1,2...1,4
кремний	0,2...0,5
марганец	0,5...0,8
хром	1,4...1,7
никель	0,6...0,9
молибден	0,1...0,3
железо	остальное

износостойкой структуры стали и повышения эксплуатационных свойств валков.

Рациональное содержание легирующих элементов определили следующим образом. В лабораторных условиях провели 3 опытных плавки стали с химическим составом согласно табл. 2. После отливки слитков и вырезки образцов испытали механические свойства стали для оценки ее пригодности к ковке по пластичности, которая оценивалось по относительному удлинению образцов.

Таблица 2 - Химический состав опытных плавков (%) и механические свойства стали

№	C,%	Si,%	Mn,%	Cr,%	Ni,%	Mo,%	Nb,%	V, %	σ_b , МПа	δ ,%	Твердость, НВ
1	1,22	0,47	0,59	1,52	0,76	0,22	0,047	0,098	834	19,4	246
2	1,37	0,35	0,65	1,63	0,83	0,26	0,035	0,080	873	23,0	236
3	1,32	0,35	0,72	1,44	0,72	0,30	0,029	0,052	862	20,1	248

В табл.2 приняты следующие обозначения: σ_b – временное сопротивление; δ – относительное удлинение; НВ – твердость по Бринеллю.

Из табл.2 видно, что максимальную пластичность имеет сталь плавки № 2 ($\delta = 23\%$) с соотношением содержания $C/(V + Nb) = 1,37/(0,080+0,035) = 11,92 \approx 12$. В остальных плавках эти соотношения равны:

$$\text{Плавка № 1: } C/(V + Nb) = 1,22/(0,098+0,047) = 8,4.$$

$$\text{Плавка № 3: } C/(V + Nb) = 1,32/(0,052+0,029) = 16,3.$$

Соотношение содержаний $V/Nb = 2...2,5$ выбрано из соображений, во-первых, большей дефицитности и стоимости ниобия (его содержание в земной коре 10^{-4} % против 0,005% содержания

ванадия). Во-вторых, ниобий - более тугоплавкий металл (температура его плавления 2460°C), чем ванадий (1919°C), поэтому ниобий образует более твердые и тяжелые карбиды, которые трудно деформируются при ковке, следовательно, их должно быть меньше, чем карбидов ванадия. Также данные табл.2 показывают, что во всех случаях соотношение концентраций V/Nb находилось в диапазоне 2...2,5, что обеспечивает повышение пластических свойств без потери прочностных свойств и твердости.

Техническим результатом заявляемого изобретения является получение кованных прокатных валков высокой прочности и износостойкости за счет наличия в структуре достаточно высокого содержания карбидов и создания мелкозернистой структуры, что достигается рациональным соотношением легирующих элементов.

Современные тенденции развития металлургии заключаются в гибком удовлетворении спроса на металлопродукцию и разработке рациональных энерго- и металлосберегающих технологий. Необходимо пересмотреть существующие технологии ковки валков дополнительно с использованием теоритических методов и разработать оптимальную технологию, при которой снизится цена и повысится качество прокатных валков.

Для достижения этих целей необходимо провести математическое моделирование изменения показателей точности и деформируемости поковок валков и предложить рациональные режимы обжаривания, позволяющие получать поковки повышенной точности. На базе математических моделей предложить и внедрить новые способы обжаривания поковок валков, обеспечивающих существенное повышение точности и деформируемости.

Список литературы

1. Исследование влияния структурной неоднородности на износостойкость сталей заэвтектоидного состава для валков горячей прокатки /П.Л. Литвиненко и др. //Национальная библиотека Украины им. В.И. Вернадского. Портал Наукова періодика, 2010. URL: <http://archive.nbuv.gov.ua> (дата обращения 10.10.2013).
2. Маркин С.В. Кованная износостойкая сталь для валков горячей прокатки. НИИФОРМТЯЖМАШ вып. 14-74-2. Совершенствование производства прокатных валков, М, 1974.
3. Разработка технологии производства бандажей для вертикальных валков, В.В. Тимофеев и др.//Сталь, №11, 2001 г.