

РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В. В. Свищенко, А. Д. Печенкин, Т. А. Стрижко

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

При точной холодной штамповке технологичность штампуемой стали повышается при снижении содержания в её составе кремния и марганца. Последние обычно вводятся как раскисляющие технологические добавки в процессе выплавки спокойной стали. Вследствие этого в спокойных сталях нелегированных кремнием и марганцем их содержание может достигать 0,4 и 0,8 % соответственно, что ухудшает штампуемость. Исследована возможность получения спокойной стали с содержанием кремния и марганца ниже обычно применяемых пределов. Показана целесообразность замены раскисляющих добавок кремния и марганца на добавки редкоземельных металлов при выплавке стали для точной холодной штамповки.

Ключевые слова: холодная штамповка, технологичность, раскисление, марганец, кремний, редкоземельные металлы

DEOXIDATION OF STEEL WITH RARE EARTH METALS

V. V. Svishchenko, A. D. Pechenkin, T. A. Strizhko

Altai State Technical University, Barnaul, Russia

At precise cold forming manufacturability of stamped steel increases with the decrease of the content in its composition of silicon and manganese. Last rascislaou usually be entered as a processing aid in the process of melting steel calm. Consequently, in the peaceful steels alloyed with silicon and manganese, their content can reach 0.4 and 0.8 %, respectively, which degrades stanoevski. Investigated the possibility of obtaining a calm steel containing silicon and manganese are generally below applicable limits. The expediency of replacement eskikaya additives of silicon and manganese additives of rare earth metals in the smelting of steel for precision cold forming.

Ключевые слова: cold stamping, manufacturability, deoxidation, manganese, silicon, rare earth metals

Легированные стали, используемые для точной холодной штамповки по техническим условиям должны иметь в состоянии поставки структуру зернистого перлита. В работе [1] показано, что кремний и марганец повышает твёрдость стали с такой структурой наиболее значительно. В состав всех качественных конструкционных сталей, не легированных специально кремнием и марганцем они вводятся в виде технологических рафинирующих добавок (раскислителей), обеспечивающих необходимое качество металла. При этом остаточное содержание кремния и марганца может составлять 0,4 и 0,8 % соответственно [2]. Очевидно, что в стали для ТЧВ такое количество кремния и марганца будет существенно ухудшать её технологические свойства. В связи с этим представляет интерес исследование возможности получения качественных сталей с содержанием кремния и марганца ниже обычно применяемых пределов, и выбор технологических рафинирующих

Ползуновский альманах № 4 Т. 5 2017

добавок позволяющих решить поставленную задачу.

Факторами, в значительной мере определяющими качество стали, являются количество, состав, форма и распределение неметаллических включений [3, 4]. Неметаллические включения, вытягиваясь (группируясь) вдоль направления прокатки, ухудшают, прежде всего, свойства поперечных образцов. Поэтому качество стали оценивают коэффициентом анизотропии её свойств поперек и вдоль прокатки (ковки). Качество стали также оценивают металлографическим определением степени загрязнения металла неметаллическими включениями.

Анализ имеющихся литературных данных позволил предположить, что рафинирующими добавками способными компенсировать снижение вводимого кремния и марганца могут быть редкоземельные металлы (РЗМ) и алюминий, вводимый в большем количестве, чем обычно. Исследование этого

предположения проведено на сталях экспериментального состава, который приведён в таблице 1.

алюминием, который вводили в большем количестве, чем в остальные стали исследуемой группы.

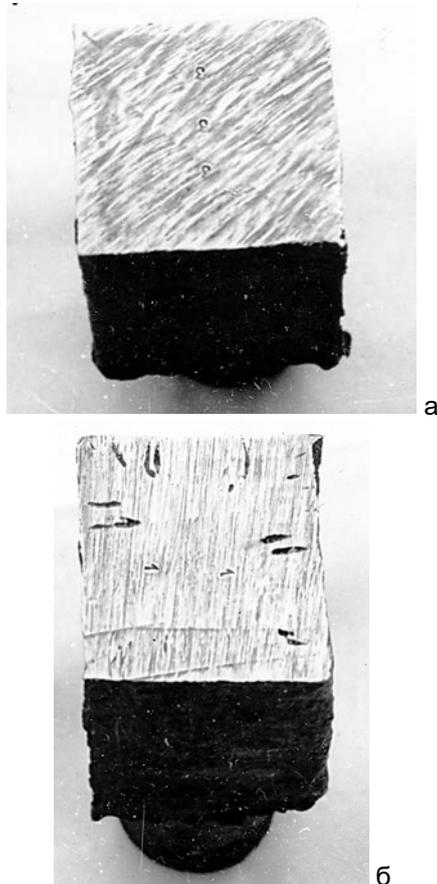


Рисунок 1 – Прибыльная часть слитков: а – с усадочной раковинной; б – без усадочной раковины

Рисунок 1 – Поперечное сечение слитков: а – без газовых пузырей; б – с газовыми пузырями

Стали выплавляли в индукционной печи ёмкостью 12 килограмм. Базовым составом был состав стали 20X2HCG, для которой применили стандартное раскисление соответственно марганцем, кремнием и алюминием. Во всех остальных сталях содержание марганца и кремния было задано ниже обычных пределов. Сталь 20X2H окончательно раскисляли алюминием, который вводили в том же количестве, что и в сталь 20X2HCG. Сталь 20X2Hч окончательно раскисляли P3M, при этом количество предварительно вводимых марганца, кремния и алюминия было таким же, как и при выплавке стали 20X2H. P3M вводили в печь перед разливкой в виде ферроцерия в количестве 0,3 % по расчёту. Сталь 20X2Hю окончательно раскисляли

Сравнение содержания серы в выплавленных сталях показало, что введение P3M способствует десульфурации. Так, при одинаковом исходном содержании серы в шихте, её остаточное содержание в сталях 20X2Hч было заметно меньше чем в остальных плавках (таблица 1).

В прибыльной части слитка стали 20X2H усадочная раковина отсутствовала. Слитки остальных сталей в прибыльной части имели характерную для спокойных сталей усадочную раковину (рисунок 1).

Слитки всех исследуемых сталей были разрезаны на три равные по высоте части. При этом в слитке стали 20X2H были обнаружены газовые пузыри диаметром до 2 мм, у остальных слитков газовые пузыри не были обнаружены (рисунок 2). Таким образом, слиток стали 20X2H оказался полуспокойным вследствие снижения количества вводимого

РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

марганца и кремния без компенсации другими раскислителями. Слитки сталей 20X2Hч и 20X2Hю, у которых снижение количества вводимого марганца и кремния компенсировали введением соответственно P3M и алюминия оказались спокойными.

Средняя часть всех слитков была прокована в полосу сечением 60 x 6 мм. В связи с тем, что загрязнённость стали неметаллическими включениями наиболее значительно проявляется в увеличении анизотропии свойств вдоль и поперёк волокна, качество исследуемых сталей. прежде всего, оценивали по отношению значений ударной вязкости поперечных и продольных образцов. Чем ближе это отношение к единице, тем меньше анизотропия. Ударную вязкость образцов определяли по ГОСТ 9454-78 на образцах типа 3, изготовленных из заготовок, вырезанных из прокованных полос соответственно вдоль и поперёк волокна. Образцы были термически обработаны по режиму: нормализация, закалка от 860 °С в масло и отпуск при 420 °С в течение 1,5 часов. Полученные значения ударной вязкости и коэффициенты анизотропии приведены в таблице 2.

Средняя величина ударной вязкости продольных образцов оказалась наибольшей у стали 20X2H при значительном разбросе отдельных её значений. Образцы при разрушении расслаивались, при этом, чем больше были размеры расслоения, тем выше была ударная вязкость. Как было отмечено выше, слиток стали 20X2H оказался полуспокойным, с определённым количеством газовых пузырей. При ковке последние вытянулись в волосины вдоль направления горячей пластической деформации. Очевидно, что расслоение при разрушении образцов обусловлено наличием в них несплошностей (волосовин), идущих вдоль образца. В процессе разрушения происходило раскрытие этих несплошностей (расслоение образца), на что затрачивалась определённая часть энергии удара. В

результате этого создалось впечатление повышения ударной вязкости, хотя действительная ударная вязкость стали была ниже. Ударные образцы остальных сталей при разрушении расслоений не имели, что свидетельствует об отсутствии несплошностей.

Минимальная ударная вязкость поперечных образцов была у стали 20X2H, что обусловлено наличием несплошностей, пересекающих образцы в поперечно направлении.

Из приведённых в таблице 2 данных видно, что максимальную анизотропию имеет сталь 20X2H, а минимальную сталь 20X2Hч. У базовой стали 20X2HСГ анизотропия выше, чем у стали 20X2Hч и ниже чем у стали 20X2Hю. Таким образом, исследованные стали в порядке возрастания качества определённого по анизотропии расположились в следующей последовательности – 20X2H, 20X2Hю, 20X2HСГ и 20X2Hч.

Качество сталей 20X2HСГ, 20X2Hч и 20X2Hю дополнительно оценили и по степени загрязнения неметаллическими включениями металлографическим методом по ГОСТ 1778-80 на шлифах с продольным направлением волокна. Результаты исследования в таблице 3.

Как видно из приведённых в таблице 3 результатов, при введении P3M, по сравнению с обычной технологией раскисления, общая загрязнённость стали неметаллическими включениями снижается, улучшается их форма и особенно уменьшается балл включений строчечного типа. Этим и объясняется более низкая анизотропия стали 20X2Hч, чем у других сталей.

Увеличение содержания алюминия в стали 20X2Hю так же несколько снизило общую загрязнённость стали неметаллическими включениями, однако балл загрязнённости включениями строчечного типа заметно ухудшился, что и обусловило повышение анизотропии.

Таблица 1 – Химический состав исследованных сталей

№	Условное обозначение стали	Содержание легирующих компонентов, % масс.							
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Ce	Al	S
1	20X2H	0,18	0,07	0,25	1,48	1,55	-	н.о.	0,026
2	20X2HСГ	0,19	0,32	0,56	1,31	1,58	-	0,01	0,023
3	20X2Hч	0,21	0,08	0,26	1,46	1,70	0,02	0,02	0,019
4	20X2Hю	0,23	0,12	0,28	1,40	1,52	-	0,03	0,025

Таблица 2 – Значения ударной вязкости и коэффициенты анизотропии исследованных сталей

Сталь	$KCU_{\text{поперечных}} \pm \beta$ МДж/м ²	$KCU_{\text{продольных}} \pm \beta$ МДж/м ²	Коэффициент анизотропии $KCU_{\text{поперечных}} / KCU_{\text{продольных}}$
20Х2Н	0,59 ±0,25	1,37 ±0,38	0,43
20Х2НСГ	0,67 ±0,20	1,08 ±1,16	0,62
20Х2Нч	0,75 ±0,21	1,12 ±0,15	0,67
20Х2Ню	0,59 ±0,23	1,05 ±0,15	0,56

Таблица 3 – Загрязнённость исследованных сталей неметаллическими включениями

Сталь	Метод К ₁ , ГОСТ 1778-80					Метод Ш ₁ , ГОСТ 1778-80		
	Общее количество включений, %	Размер и количество включений				Средний балл включений строчечного типа		
		7 – 14 мкм	15 – 21 мкм	22 – 28 мкм	≥ 29 мкм	Оксиды	Силикаты	Сульфиды
20Х2НСГ	100	235	168	94	31	1 а	2 б	2 а
20Х2Нч	65	253	98	68	25	1 а	1 а	1 б
20Х2Ню	90	284	89	61	37	3 б	1 а	2 б

Полученные результаты исследования позволяют заключить, что снижение содержания марганца и кремния без дополнительного раскисления другими компонентами приводит к недопустимому снижению качества металла. Увеличение количества вводимого для раскисления алюминия позволяет получить спокойную сталь, однако по свойствам, а, следовательно, и по качеству она уступает стандартно раскисленной. Для снижения содержания марганца и кремния ниже обычно принятых пределов без ухудшения качества стали наиболее перспективно введение в неё добавок РЗМ. В этом случае качество стали оказалось выше стандартно раскисленной.

Список литературы

1. Свищенко В.В. Влияние состава стали на её твёрдость после сфероидизирующей термической обработки // Ползуновский альманах №1/2010. С. 118 – 120.

2. ГОСТ 4543-71. Сталь легированная конструкционная.

3. Явойский В.И. Металлургия стали. М., Металлургия, 1973. 816 с.

4. Поволоцкий Д.Я. Раскисление стали. М., Металлургия, 1972. 208 с.

Свищенко Владимир Владимирович – к. т. н., доцент

Печенкин Андрей Дмитриевич – магистрант

Стрижко Татьяна Александровна – магистрант

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), г. Барнаул, Россия