

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ А11РЗМЗФ2

Основное направление в создании новых высокопроизводительных быстрорежущих сталей – многокомпонентное легирование, существенное повышение содержания углерода и азота при ограниченном содержании вольфрама и молибдена. В настоящее время широкое распространение получает низколегированная сталь А11РЗМЗФ2 (табл.1), которая может быть отнесена к дисперсионно-упрочняемым. Для эффективного использования стали требуется исследовать особенности ее структуры как в состоянии поставки, так и после термической обработки и на этой основе устанавливать оптимальные режимы термической обработки.

Микроструктура стали А11РЗМЗФ2 в состоянии поставки типична для кованой быстрорежущей стали. В ней присутствуют три вида карбидов: первичные, вторичные и высокодисперсные, входящие в сорбит, представляющий матрицу стали. Помимо карбидной составляющей, в структуре присутствуют нитриды. Проведение рентгеновского фазового анализа затруднительно из-за большой плотности выделений и высокой дисперсности некоторых из них.

Сопоставление структур стали, закаленной от 1160 °С, 1180 и 1200 °С, указывает на то, что повышение температуры закалки приводит к росту зерна аустенита, влияя на дисперсность мартенсита. Величина зерна даже при максимальной температуре закалки (1200 °С) меньше, чем в стали Р6М5, закаленной от той же температуры, что связано с наличием нитридов и их барьерным эффектом. В структуре закаленной стали присутствуют первичные карбиды и нитриды, не растворившиеся при нагреве. С повышением температуры закалки имеет место лишь частичное их растворение. Содержание остаточного аустенита при этом изменяется от 29,5 до 39,7 %. Считается, что содержание остаточного аустенита в закаленной стали определяется составом твердого раствора, полученного при нагреве. Такой вывод был сделан в связи с тем, что процессы роста зерна и растворения карбидов сопутствуют друг другу. Однако содержание остаточного аустенита в закаленной стали зависит не только от состава твердого раствора, но и от величины его зерна. Существование этой зависимости объясняет также причину, вследствие которой с повышением температуры закалки увеличивается содержание остаточного аустенита в значительно большей степени, чем это следовало бы в результате изменения состава аустенита. Наличие азота в α - и γ -фазах способствует повышению твердости мартенсита.

В исследовании отпуска стали основное внимание обращалось на превращения, протекающие при 580...600 °С и вызывающие дисперсионное твердение стали. Присутствие в стали азота независимо от температуры закалки способствует также повышению дисперсности структуры вследствие торможения коагуляции продуктов распада. После двукратного отпуска при 580 °С заметно некоторое укрупнение карбидов в стали, закаленной от 1200 °С. После отпуска при 600 °С плотность выделившихся фаз увеличивается, однако дисперсность мартенсита понижается. Механические свойства отпущенной стали приведены в табл. 2.

Табл. 1. Химический состав стали А11РЗМЗФ2 (процент по массе)

С	V	Mo	W	Cr	N	Ni	Si	Mn	Cu	P
						не более				
1,02	2,2	2,5	2,5	3,8	0,05	0,4	0,03	0,5	0,25	0,035
-1,12	-2,6	-3,0	-3,3	-4,3	-0,10					

Табл. 2. Механические свойства стали А11РЗМЗФ2

Режим обработки	HRC			Содержание остаточного аустенита, %			Теплостойкость (600 °С, 4 ч)		
	Температура закалки, °С								
	1160	1180	1200	1160	1180	1200	1160	1180	1200
Закалка	62,0	60,8	60,5	29,5	33,8	37,9	-	-	-
Отпуск при 580 °С в течение 1 ч и двукратный по 45 мин	64,4	-	64,1	-	-	-	61,7	-	60,5
Отпуск при 600 °С в течение 1 ч	63,6	62,5	63,5	0	3,2	2	61,4	61,1	62,2
Отпуск при 600 °С в течение 1 ч	64,5	64,6	64,1	6,6	2,5	8,9	62,5	63,8	62,2

Кривая изменения твердости при отпуске немонотонна, наблюдается ее провал, а затем новый подъем, что характерно для дисперсионно-твердеющих сплавов. Часть азота в стали А11РЗМЗФ2 переходит в раствор при нагреве под закалку, а затем выделяется из мартенсита при отпуске в виде нитридов. Выделение нитридов, более стойких против коагуляции, чем карбиды, и имеющих иную решетку, вызывает дисперсионное твердение. Помимо того, азот задерживает диффузию легирующих элементов, затрудняя разупрочнение мартенсита, и поэтому повышает теплостойкость стали.

Для оптимизации термической обработки стали использовался метод математического планирования эксперимента. За параметр оптимизации была взята твердость после отпуска. Факторы, влияющие на параметр оптимизации: температура закалки (X_1); температура отпуска (X_2) и время отпуска (X_3). Анализ значимости коэффициентов в уравнении регрессии позволил установить силу влияния факторов на твердость стали. Проведенные исследования позволяют рекомендовать для термической обработки стали А11РЗМЗФ2 следующие режимы: закалка от температуры 1180 °С, отпуск при 600 °С в течение 1 ч.