

*к.т.н. Ершов В.М.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ДЕСТАБИЛИЗАЦИЯ ОСТАТОЧНОГО АУСТЕНИТА В ШЛИФОВАННОМ СЛОЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Приведені результати дослідження ефекту дестабілізації залишкового аустеніту шліфованого шару інструментальних сталей під дією швидкісного нагріву, обробки холодом і накладення зовнішнього магнітного поля.

Ключові слова: *залишковий аустеніт, дестабілізація, нагрів, обробка холодом, магнітне поле, інструментальні сталі.*

Приведены результаты исследования эффекта дестабилизации остаточного аустенита шлифованного слоя инструментальных сталей под действием скоростного нагрева, обработки холодом и наложения внешнего магнитного поля.

Ключевые слова: *остаточный аустенит, дестабилизация, нагрев, обработка холодом, магнитное поле, инструментальные стали.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

В наших работах [1,2] было показано, что при шлифовании термически упроченных инструментальных сталей, в их тонком поверхностном слое фиксируется значительное количество остаточного аустенита. Остаточный аустенит – это сравнительно мягкая и нестабильная фаза структуры шлифованных сталей, которая в процессе эксплуатации инструмента может распадаться на ферритокарбидную смесь или превращаться в мартенсит, что вызывает изменение геометрии инструмента и снижает его стойкость.

Низкотемпературный отпуск (180-220⁰С, горячее масло) шлифованного инструмента, часто применяемый в практике, не дает снижения количества остаточного аустенита в поверхностном слое и мало влияет на стойкость и работоспособность инструмента [3].

Анализ исследований и публикаций.

Известно [2], что остаточный аустенит шлифованного слоя сосредоточен в тонких микронных слоях инструмента и для его устранения необходимы технологические приемы, которые не смогли бы повлиять на структурное состояние основы инструмента и, соответственно, на его твердость.

В настоящее время среди разнообразных приемов борьбы с остаточным аустенитом в объеме закаленных изделий нашли применение следующие методики: дестабилизирующий отпуск, глубокое охлаждение в жидком азоте и воздействие сильных магнитных полей [4,5].

Постановка задачи.

Задачей настоящего исследования является поиск эффективных способов устранения остаточного аустенита в структуре шлифованного слоя некоторых инструментальных сталей.

Изложение материала и его результаты.

Для исследования были выбраны 2 инструментальные стали: низколегированная – марки X и быстрорежущая высоколегированная – марки P6M5. Химический состав сталей соответствовал ГОСТ 5950-73 (X) и 19265-73 (P6M5).

Из прутков выбранных материалов были изготовлены призматические образцы размером 10x10x55 мм, которые прошли типовую упрочняющую термическую обработку (закалку и отпуск), а затем подверглись шлифовке. Режимы шлифовки образцов были аналогичны данным наших предыдущих работ [1.2]. Как было показано нами ранее [1], при мягких режимах шлифования (подача 0.02-0.04 мм) в поверхностном слое сталей фиксируется минимальное количество остаточного аустенита (10-15%), а при жестких режимах (подача 0.10-0.12 мм) количество аустенитной фазы может достигать 45-65%. Изменяя режим шлифования, мы регулировали количество остаточного аустенита в шлифованном слое.

После шлифовки образцы проходили металлографическое и рентгеновское исследование фазового состава. При металлографическом исследовании определялась глубина слоя с измененной структурой. Для анализа структуры использовали методику приготовления «косых» шлифов, т.е. шлифов наклоненных под углом 1-2 градуса к шлифованной поверхности образца. Этот прием позволял «растягивать» тонкий микронный слой на большую ширину. На рисунке 1 приведен пример микроструктуры косого шлифа образца из стали марки X, прошедшего шлифование на глубину 0.08 мм.

Здесь видно, что белый слаботравящийся слой, представляющий собой смесь дисперсных зерен мартенсита и остаточного аустенита, проникает в основу образца в виде своеобразных «сосулеч», которые, надо полагать, образовались по действием сил трения о поверхность отдельных зерен абразива шлифовального круга. Как показали измерения усредненной толщины этой нетравящейся зоны, она возрастает с увеличением глубины шлифования от 5 до 25 мкм.

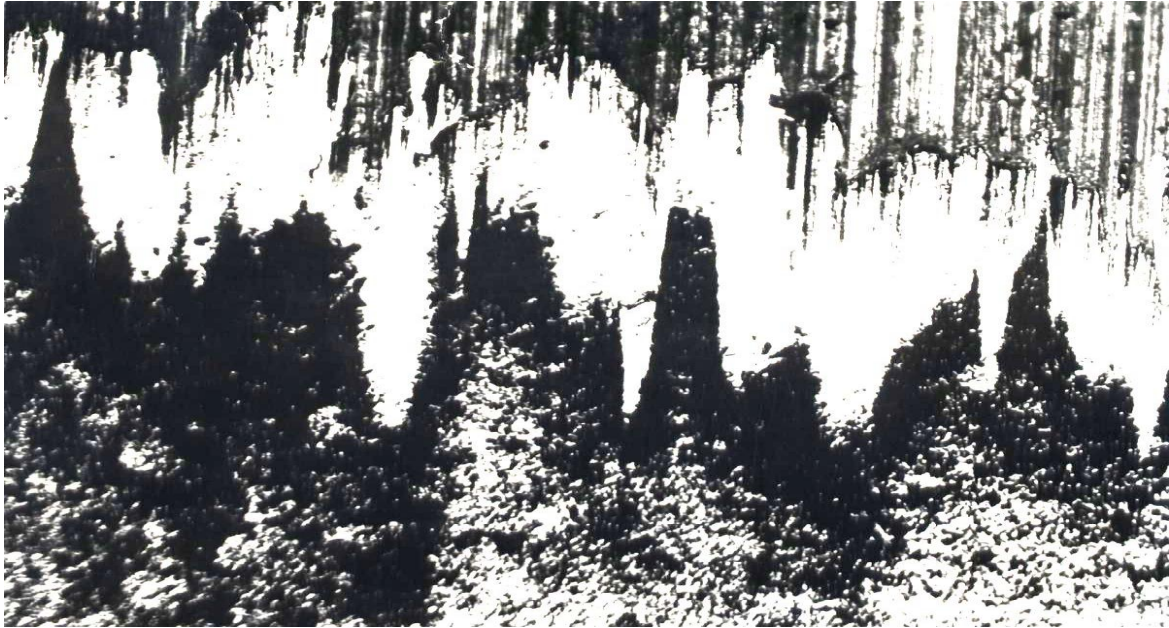


Рисунок 1 – Микроструктура косо́го шлифа поверхностного слоя шлифованного образца стали X. Увеличение 400^x

Рентгеновское исследование фазового состава шлифованных образцов и образцов, прошедших термическую и термомагнитную обработку, выполняли на дифрактометре ДРОН-1.5 в фильтрованном железном излучении. Как и в работе [1] по результатам измерения интенсивности дифракционных линий (110)-(011) мартенсита и (111) гамма-фазы, определяли количество остаточного аустенита в поверхностном слое образцов.

Контроль твердости образцов проводили на приборе ТК-2.

На начальном этапе настоящей работы изучалось влияние обработки холодом на эффект дестабилизации остаточного аустенита шлифованного слоя выбранных сталей. При этом шлифованные образцы исследуемых сталей рентгенографировали, затем отбирали для дальнейшей работы те из них, которые имели в поверхностном слое более 20% остаточного аустенита. Выбранные образцы с известным количеством остаточного аустенита в поверхностном слое помещали в сосуд с жидким азотом и выдерживали в нем 1 час, после чего их отогревали до комнатной температуры и вновь рентгенографировали. Результаты измерения количества остаточного аустенита в шлифованном слое до и после обработки холодом приведены в таблице 1.

Из данных таблицы видно, что глубокое охлаждение образцов в жидком азоте (-196⁰C) привело к дестабилизации аустенита и возобновлению прерванного мартенситного превращения в шлифованном слое, что заметно уменьшило процентное содержание остаточного аустенита.

Таблица 1 - Влияние обработки холодом на количество остаточного аустенита в шлифованном слое сталей марок X и P6M5

Марка стали	Исходное состояние		После обработки холодом		
	Глубина шлифования	% остат. аустенита	% остат. аустенита	% превращения	HRC ₃
X	0.12	65±3	45±3	30	62.5
	0.08	45±3	33±3	27	63.0
	0.05	32±3	29±3	9	62.0
P6M5	0.12	53±3	38±3	28	63.0
	0.08	39±3	28±3	28	63.5
	0.05	26±3	24±3	8	63.0

Кроме того, процент превращения аустенитной фазы в мартенсит при охлаждении оказался зависимым от исходного его содержания. Обнаружили, что с уменьшением количества остаточного аустенита в слое, проявляется всевозрастающая стабилизация гамма-фазы, что, несомненно, связано со значительным увеличением эффекта наклепа этой фазы при шлифовании. При этом эффективность обработки холодом сильно наклепанного аустенита оказывается существенно ниже, чем у остаточного аустенита закаленного состояния [4].

На следующем этапе исследования изучали влияние предварительного нагрева шлифованных образцов перед обработкой холодом. Известно [6], что при нагреве остаточный аустенит может дестабилизироваться за счет релаксации напряжений и выделений карбидных фаз. Важную роль здесь играет правильный выбор температурного режима в нагреве стали. Как показывает практика термообработки [7], полная дестабилизация остаточного аустенита происходит при температурах, когда уже начинается разупрочнение мартенситной фазы сталей, снижается твердость, что явно недопустимо. Отсюда следует, что для дестабилизации остаточного аустенита тонкого приповерхностного слоя шлифованной стали, необходим быстрый нагрев до высокой фиксированной температуры и немедленное охлаждение до комнатной температуры.

Для скоростного нагрева шлифованных образцов был выбран вариант использования жидкой свинцовой ванны, обеспечивающий скорость нагрева более 100⁰/с. Исследуемые образцы погружали в расплав свинца на 10 – 40 с, а затем быстро переносили в бак с водопроводной водой. После такого краткосрочного нагрева, производили рентгенографирование шлифованной поверхности образцов, измеряли твердость, затем производили обработку образцов холодом по вышеприведенному режиму. Обработанные образцы вновь рентгенографировали и определяли

количество остаточного аустенита в поверхностном слое. Результаты второго этапа исследования выбранных сталей приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Влияние температуры и продолжительности выдержки при нагреве (t °С; τ ,с –соответственно) и последующей обработки холодом на количество остаточного аустенита ($A_{ост}$ $\pm 3\%$) и твердость (HRC) шлифованных образцов сталей марки X и P6M5

Марка стали	Исход. % $A_{ост}$	Режим нагр.		После охлаждения			После обраб. хол.		
		t , °С	τ ,с	% $A_{ост}$	% превр.	HRC	% $A_{ост}$	% превр.	HRC
X	57	350	10	46	19	60.5	31	33	60.5
	41	450	10	26	36	61.0	18	50	60.5
	48	450	20	10	79	59.0	3	70	60.0
	37	500	10	32	13	60.0	9	31	60.5
	34	500	20	5	85	56.0	-	-	56.0
	67	500	5	31	54	61.0	32	0	62.0
P6M5	43	650	10	38	12	63.0	32	16	63.5
	52	750	10	42	19	61.0	35	17	62.5
	37	750	10	27	27	61.5	23	15	62.5
	35	750	20	19	46	60.5	14	26	61.5
	38	750	40	12	68	58.5	9	25	58.0

Из данных таблицы 2 следует, что кратковременный нагрев шлифованных образцов до сравнительно высоких температур и последующее за тем быстрое их охлаждение до комнатной температуры, вызывает превращение значительной доли аустенита (от 30 и более процентов) в мартенсит. Оптимальной температурой нагрева шлифованного слоя следует признать: для стали марки X – 500°С, а для стали P6M5 - 750°С. В этом случае выдержка в свинцовой ванне шлифованных образцов должна быть не более 15-20с, что существенно снижает количество остаточного аустенита и сохраняет высокую твердость стали.

Обработка холодом отпущенных образцов сталей также активизировала превращение остаточного аустенита, в результате чего конечное содержание этой фазы в структуре шлифованного слоя снизилось до 5-15%.

Последним этапом настоящей работы стало исследование влияния сильного магнитного поля на эффект дестабилизации остаточного аустенита шлифованного слоя выбранных сталей. При этом образцы первоначально проходили кратковременный нагрев по вышеприведенным

оптимальным режимам, а затем на этапе охлаждения они помещались в постоянное магнитное поле напряженностью в 550-600 кА/м. Для проведения этой операции из латуни был изготовлен миниатюрный бак с клавишным включателем магнитного поля. Этот бак с минеральным маслом помещали в зазор магнита баллистической установки БУ-3 и после завершения выдержки в свинцовой ванне, образец быстро переносили в бак и охлаждали его до комнатной температуры в магнитном поле. После термомагнитной обработки образцов, производили рентгенографирование их шлифованной поверхности и измеряли твердость.

В таблице 3 приведены данные исследования по влиянию термомагнитной обработки на дестабилизацию остаточного аустенита шлифованного слоя стали Р6М5.

Таблица 3 - Влияние нагрева и последующего охлаждения в магнитном поле на количество остаточного аустенита ($A_{ост. \pm 3\%}$) в шлифованных образцах стали Р6М5

$A_{ост. \pm 3\%}$ до обраб.	Режим нагрева		После охлаждения в магн. поле		
	температ. $^{\circ}C$	выдержка, с	$A_{ост. \pm 3\%}$	% превра- шен.	HRC
54	750	10	36	32	63.5
45	750	20	15	66	64.0
41	750	30	12	70	61.5
51	750	40	15	70	60.0

По данным таблицы 3 видно, что термомагнитная обработка шлифованного слоя стали Р6М5 привела к существенному уменьшению в нем количества остаточного аустенита, причем действие магнитного поля на его дестабилизацию оказалось аналогичным обработке холодом (табл. 2).

Аналогичные результаты были получены и у шлифованных образцов стали марки Х.

Выводы и направления дальнейших исследований.

В результате проведенного исследования был разработан оптимальный метод дестабилизации остаточного аустенита шлифованного слоя сталей марок Х и Р6М5, который заключается в кратковременном (10-20с) быстром нагреве ($V \geq 100^{\circ}/c$) до температур на 200-250 $^{\circ}C$ выше рекомендуемых для отпуска с последующим охлаждением в жидком азоте или во внешнем магнитном поле.

В дальнейших исследованиях необходимо изучить влияние на дестабилизацию остаточного аустенита шлифованного слоя совмещение операций обработки холодом и магнитного поля.

Библиографический список

1. Мисюра А.А., Еришов В.М. *Аустенитизация поверхностного слоя быстрорежущей стали при шлифовании*. Сб. научных работ ДонГТУ, 2008, №27, С.213-219.

2. Еришов В.М., Коробко Т.Б. *Рентгеновский анализ поверхностного слоя быстрорежущей стали*. Сб. научных работ ДонГТУ, 2009, №28, С.206-211.

3. Смольников Е.А. *Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах*. – М.: Машиностроение. 1989. С. 312.

4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. *Упрочнение металлов*. – М.: Машиностроение. 1986. С. 320.

5. Садовский В.Д., Фокина Е.А. *Остаточный аустенит в закаленной стали*. – М.: Наука. 1986. С. 112.

6. Новиков И.И. *Теория термической обработки металлов*. – М.: Металлургия. 1986. С. 480.

7. Геллер Ю.А. *Инструментальные стали*. – М.: Металлургия. 1983. С. 527.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Луценко В.А.