

К МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ© 2004 О. К. Колеров, А. П. Трухов, А. Н. Логвинов, А. В. Мокеев

Самарский государственный аэрокосмический университет

По результатам структурных исследований предложен механизм межфазового перераспределения углерода при магнитно-импульсной обработке инструмента из быстрорежущих сталей.

Одна из задач магнитно-импульсной обработки (МИО) инструмента состоит в повышении стабильности результатов. В настоящее время выбор режимов обработки осуществляют по данным испытаний на износ, т. е. испытаний, далеких от стандартизации и требующих значительных затрат. Облегчению выбора мог бы способствовать структурный параметр оптимизации режимов, однако он пока не найден из-за недостаточного объема исследований структурных изменений, происходящих в объектах МИО.

Ранее [1] по результатам рентгеноструктурного анализа инструмента из быстрорежущих сталей до и после обработки, проведенной по режимам, близким к оптимальным, было показано, что фазовый состав сталей не изменяется. Значительные изменения происходят в остаточной намагниченности и напряженном состоянии инструмента, приближающемся после МИО к всестороннему сжатию. Менее заметные изменения наблюдаются в тонкой структуре фаз и кристаллографической ориентации мартенсита отпуска.

Между тем износостойкость инструмента – сверла – после обработки возрастает в 2...3,6 раза, причем возросшая стойкость сохраняется и после перезаточки инструмента. Объяснение столь существенного роста стойкости менее заметным уровнем структурных изменений (вместе с напряженным состоянием инструмента) представляется недостаточно убедительным.

В развитии [2] структурных исследований тех же объектов с использованием методики [3] анализа тетрагональных мартенситных структур с неразрешенными дифракционными дублетами оказалось, что после обработки происходит также уменьшение тетрагональности мартенсита, обусловленное понижением содержания углерода. Хотя этот

факт согласуется с отмеченным ранее [1] ростом степени кристаллографической ориентации $\langle 100 \rangle$ мартенсита относительно оси сверла, тем не менее в работе [2] нет объяснения происходящего перераспределения углерода.

Предложен механизм межфазового перераспределения углерода при МИО быстрорежущих сталей.

Объектами исследования служили сверла из сталей Р6М5 и Р6М5К5, подвергнутые электроэрозионной резке вдоль и поперек оси для реализации металлографического и рентгеноструктурного анализа. Химический состав сталей указан в работе [1]. В качестве травителя использовали 80 % водный раствор азотной кислоты.

Образцы рентгенографировались в двух излучениях – кобальта и хрома. При этом интерференционная линия (211) мартенсита отпуска анализировалась в излучении хрома, а линия (220) – кобальта. На основании анализа и обработки результатов по методике [3] получены значения периодов кристаллической решетки, уровень тетрагональности и связанное с ней содержание углерода в сталях до и после обработки.

На рис. 1 представлена микроструктура стали Р6М5К5 до и после обработки.

Из нее следует, что распределение карбидных фаз по сечению инструмента после обработки становится более равномерным. С одной стороны, большинство исходных включений карбидов увеличилось в размерах, а с другой стороны, отдельные грубые включения исчезли.

В таблице 1 показано уменьшение содержания углерода в мартенсите после обработки сталей и связанное с ним понижение тетрагональности кристаллической решетки.

Из представленных результатов следует, что в ходе МИО происходит перераспределение углерода в сталях, вызывающее более равномерное распределение по сечению инструмента карбидных фаз.

Наиболее важными особенностями МИО, которые могут оказать влияние на кинетику превращений в метастабильных структурных составляющих, каковыми в исследуемых сталях служат мартенсит отпуска и остаточный аустенит, являются две. Во-первых, высокий уровень макронапряжений, возникающих под воздействием на инструмент изменений внешнего магнитного поля. Согласно теоретическим оценкам [1], он превышает прочность быстрорезов, не вызывая разрушения инструмента благодаря преобладанию в напряженном состоянии всестороннего сжатия и протеканию релаксационных

процессов. Во-вторых, нагревание поверхностных слоев объекта. Температура в локальных объемах инструмента достигает не менее 300 °С.

Такой нагрев способствует развитию диффузионных процессов, анизотропно иницируемому напряженным состоянием инструмента. В качестве аналога можно представить структурные превращения в ходе низкого отпуска закаленной стали, но с принципиальным отличием – обычный отпуск не сопровождается возникновением напряжений столь высокого уровня.

Очевидно, что превращение остаточного аустенита в мартенсит закалки при обработке по реакции



где K – карбидные фазы, происходить не может, поскольку аустенит парамагнитен и в

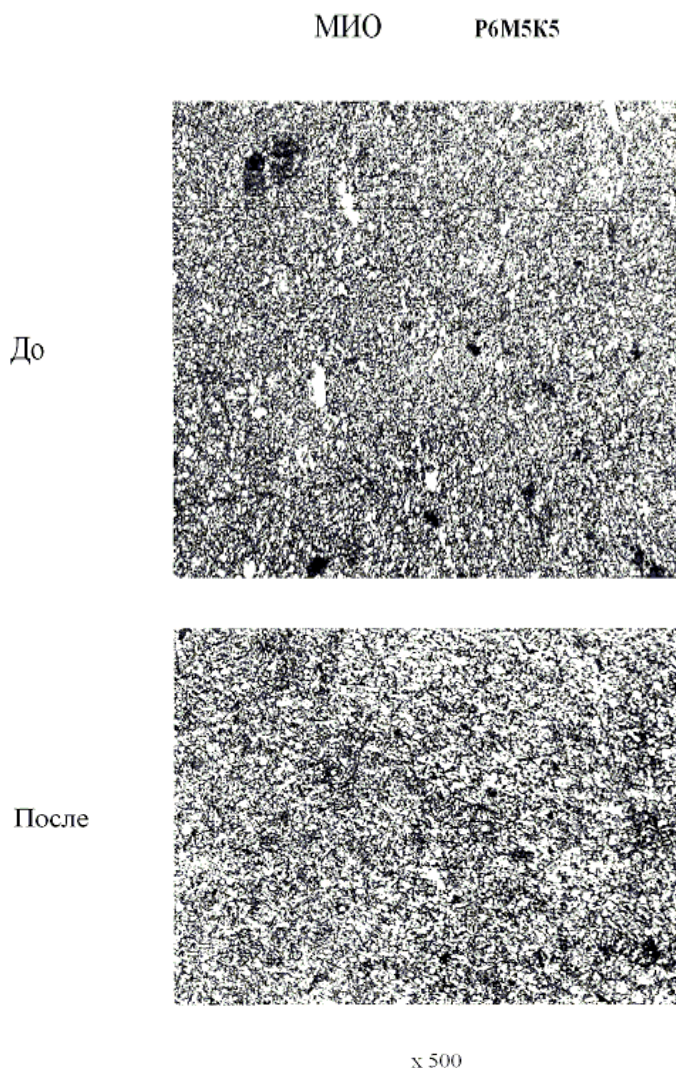


Рис. 1. Микроструктура инструмента (разрез поперек оси) из стали P6M5K5 до и после магнитно-импульсной обработки

Таблица 1
Периоды a и c кристаллической решетки мартенсита до/после МИО

| Сталь | a , нМ | c , нМ | c / a | % углерода |
|--------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|
| P6M5K5 | 0,2855 / 0,2860 | 0,2900 / 0,2890 | 1,016 / 1,010 | 0,30 / 0,20 |
| P6M5 | 0,2860 / 0,2865 | 0,2910 / 0,2905 | 1,018 / 1,014 | 0,35 / 0,25 |

отличие от мартенсита отпуска непосредственно магнитного поля не воспринимает.

Об этом свидетельствуют данные рентгеноанализа сталей до и после обработки: интенсивность единственной интерференционной линии (111) остаточного аустенита сохраняется неизменной [1, 2]. Что касается воздействия магнитного поля через посредство смежных ферромагнитных фаз: мартенсита и карбидов, то оно вызывает лишь упрочнение в нем как в самой пластичной фазе быстрорезов, приводя к уширению линии после МИО.

Уширение же интерференционных линий мартенсита отпуска, сопровождаемое ростом интенсивности линий карбидов, что было отмечено в работах [1, 2], но не получило должной интерпретации, объясняется превращением



где M_k – мартенсит отпуска с пониженным содержанием углерода и тетрагональностью кристаллической решетки после МИО, приближающийся по кристаллической структуре к легированному ферриту.

Уширение линий мартенсита после обработки связано с протеканием термически активируемого превращения (2) следующим образом. По мере обезуглероживания и снижения тетрагональности мартенсит приобретает пластичность и возможность последующего упрочнения в ходе МИО.

Уменьшение ширины линий карбидных фаз, происходящее при обработке, указывает на релаксацию напряжений в карбидах. Судя по их наиболее интенсивной интерференционной линии (333)(511), релаксация осуществляется сдвиговым путем. Векторы $\langle 333 \rangle$ или $\langle 111 \rangle$, что кристаллографически одно и то же, являясь направлениями сколь-

жения в объемно-центрированных кубических (ОЦК) структурах, образуют с направлениями $\langle 100 \rangle$ легкого намагничивания или осью сверла угол 53° , близкий к 45° , т. е. к углу пересечения линий скольжения с направлением нормальных напряжений. Поскольку карбиды не обладают пластичностью, то под действием возникающих напряжений частично разрушаются, причем разрушению подвергаются прежде всего грубые включения из-за более высокой концентрации на них напряжений. По крайней мере, исчезновение грубых включений карбидов после обработки иллюстрируется микроструктурой (рис. 1).

Таким образом, высокий уровень возникающих при обработке макронапряжений и происходящий нагрев инструмента способствуют диффузионному образованию из метастабильного мартенсита отпуска более равновесной мартенситно-карбидной смеси, в результате которого и происходит межфазовое перераспределение углерода. Согласно термодинамическим представлениям об уменьшении работы образования зародыша новой фазы на готовой поверхности раздела и протекающим изменениям в микроструктуре (рис. 1), вновь образующиеся карбиды выделяются на мелких исходных включениях карбидной фазы, укрупняя их. Это вместе с частичной релаксацией напряжений в той же фазе за счет разрушения грубых включений вызывает более равномерное по сравнению с исходным распределение карбидов. В конечном итоге именно межфазовое перераспределение углерода, вследствие которого мартенсит по мере обезуглероживания упрочняется под воздействием возникающих напряжений, наряду с формированием напряженного состояния, близкого к всестороннему сжатию, и приводит к наблюдаемому росту износостойкости инструмента.

Возможно, что последующий анализ взаимосвязи протекающих в объектах структурных превращений и режимов обработки позволит выявить структурный параметр оптимизации режимов МИО.

ВЫВОДЫ

1. При магнитно-импульсной обработке быстрорежущих сталей происходит диффузионное перераспределение углерода между мартенситом отпуска и вновь образующимися карбидами, которые, выделяясь на мелких исходных включениях той же фазы, способствуют их укрупнению, что наряду с частичной релаксацией возникающих напряжений за счет разрушения грубых включений приводит к более равномерному распределению карбидов.

2. Рост износостойкости инструмента после магнитно-импульсной обработки обусловлен межфазовым перераспределением углерода, объемным упрочнением мартенсита по мере обезуглероживания и формирова-

нием напряженного состояния, близкого к всестороннему сжатию.

Список литературы

1. Колеров О. К., Логвинов А. Н. и др. Влияние магнитно-импульсной обработки на структуру быстрорежущих сталей // Физика и химия обработки материалов. 1997. № 1. С. 98-103.

2. Колеров О. К., Логвинов А. Н. К рентгеноструктурному анализу быстрорежущих сталей // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 1999. Т. 65. № 1. С. 28-30.

3. Ткачев С. П., Ткачева Г. И. Рентгенографическое исследование тетрагональных мартенситных структур с неразрешенными дифракционными дублетами (случай однофазного мартенсита) // Заводская лаборатория. 1987. Т. 53. № 3. С. 33-35.

MAGNETIC – IMPULSE WORKING OF RAPID CUTTING STEELS

© 2004 O. K. Kolerov, A. P. Trukhov, A. N. Logvinov, A. V. Mokeev

Samara State Aerospace University

On the basis of structural research a mechanism of carbon interphase redistribution during magnetic–impulse working of rapid cutting steel tools is proposed.