

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА КАК ПАРАМЕТРА КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

© 2010 А.Н. Смирнов¹, Н.А. Конева², Н.А. Попова², А.С. Глинка¹

¹ Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово

² Томский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 27.03.2010

В настоящей работе проведено исследование одной из широко применяемых в машиностроении сталей – стали 35ХГС на различных этапах механической обработки. Основная задача исследования заключалась в определении параметров градиентной структуры стали. Структурные исследования проводились 3 основными методами: растровая электронная микроскопия, просвечивающая дифракционная электронная микроскопия на тонких фольгах и рентгеноструктурный анализ.

Ключевые слова: *структурно-фазовое состояние, сталь, обрабатываемая поверхность*

Для обеспечения надежности и долговечности деталей машин необходимо проводить всестороннее изучение путей улучшения качества поверхности с целью повышения ее эксплуатационных свойств. На характеристики обработанных поверхностей оказывают влияние все операции механической обработки, их следует рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как характеристики поверхностей формируются всем комплексом технологических воздействий и изменяются в процессе эксплуатации детали. Для изучения качества обработанных поверхностей необходимо знать структурно-фазовое состояние металла, как в процессе механической обработки, так и на стадии заготовительного производства.

В настоящей работе проведено исследование структурно-фазового состояния одной из широко применяемых в машиностроении сталей – стали 35ХГС. Были исследованы 3 образца. Образец № 1 – в исходном состоянии (в поверхностном слое и на глубине 1,0 и 1,5 мм от поверхности); образец № 2 – после

получистового точения при определенных режимах обработки; образец № 3 – после чистового точения (следующего за получистовым) при определенных режимах обработки. Характеристика изделий приведена в таблице 1.

Структурные исследования проводились тремя основными методами: растровая электронная микроскопия (РЭМ); просвечивающая дифракционная электронная микроскопия на тонких фольгах (ПЭМ) и рентгеноструктурный анализ (РСА).

Исследования, проведенные методом ПЭМ, показали, что структура исследуемой стали 35ХГС на поверхности изделия является полностью фрагментированной, на всех этапах изготовления изделия сталь 35ХГС в основном состоит из α -фазы. Морфологически α -фаза подразделяется на а) α -феррит и б) α -фазу, находящуюся в перлитной составляющей, т.е. сталь 35ХГС на поверхности изделия после каждого этапа изготовления обладает феррито-перлитной структурой. Средний размер фрагментов составляет величину ~ 0.4 мкм. Все микродифракционные картины, полученные с фрагментированной α -фазы, – кольцевые. В исходном состоянии на поверхности изделия имеет место микрозернистая феррито-перлитная смесь. На глубине 1,5 мм от поверхности структура состоит из 20% феррита и 80% несовершенного перлита (40% пластинчатый, 20% глобулярный и 20% смешанный). А на глубине 1,0 мм структура состоит из 30% феррита и 70% перлита, перлит становится несовершенным.

Смирнов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. E-mail: sd.tms@mmf.kuzstu.ru

Конева Нина Александровна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики. E-mail: koneva@fci.tomsk.su

Попова Наталья Анатольевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: popova@fci.tomsk.su

Глинка Александра Сергеевна, ассистент. E-mail: gas.tma@kuzstu.ru

После проведения механической обработки во всех образцах присутствуют ферритные зерна в двух состояниях: нефрагментированном и фрагментированном состоянии (рис. 1). Микродифракционные картины, полученные с нефрагментированных ферритных зерен – идеальные, монокристаллические и карбидных рефлексов не обнаруживают. Микродифракционные картины, полученные с зерен фрагментированного феррита, также являются, как правило, монокристаллическими. Однако на рефлексах присутствуют тяжи из группы рефлексов. Величина тяжей может

достигать значения $\varphi \sim 20^\circ$. Часто на границах фрагментов присутствуют карбиды железа – цементит округлой формы и нанокристаллического размера. Это подтверждается и микродифракционными картинами, полученными с таких участков структуры. Перлитные зерна присутствуют трех видов. Первый вид – пластинчатый перлит, представляющий собой конгломерат чередующихся пластин феррита и цементита. Пластины феррита в перлитных зернах могут быть нефрагментированными и фрагментированными.

Таблица 1. Характеристика исследуемых образцов

Образец	Получистовой режим			Чистовой режим		
	глубина снятого слоя, t (мм)	число оборотов, n, об/мин	ширина слоя снимаемой стружки, S, мм/об	глубина снятого слоя, t (мм)	число оборотов, n, об/мин	ширина слоя снимаемой стружки, S, мм/об
№1	-	-	-	-	-	-
№2	1	1000	0,25	-	-	-
№3	1	1000	0,25	0,5	1200	0,15

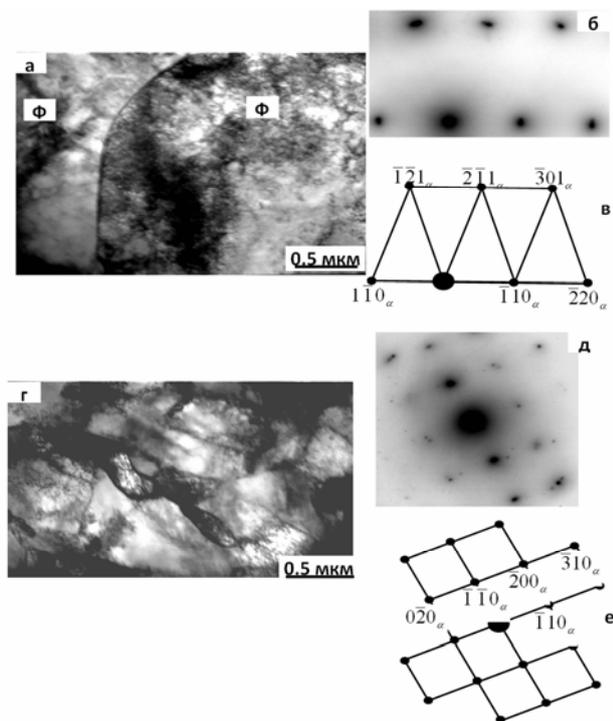


Рис. 1. Типичные электронно-микроскопические изображения структуры стали 35ХГС

Зерна феррита: а-в – нефрагментированный феррит, обр. №1, стык двух ферритных (Ф) зерен (а – светлполюсное изображение, б – микродифракционная картина, в – её индцированная схема); г-е – фрагментированный феррит, обр. №2 (г – светлполюсное изображение, д – микродифракционная картина, е – её индцированная схема)

Вторым видом перлитных зерен являются зерна с глобулярным перлитом – ферритная матрица с распределенными в ней цементитными выделениями глобулярной формы. Ферритная матрица в участках с глобулярным перлитом всегда нефрагментирована. Третьим видом перлитных зерен являются зерна со смешанным перлитом, когда в одном зерне присутствуют одновременно выделения цементита пластинчатой и глобулярной формы. Ферритная матрица в зернах со смешанным перлитом может быть нефрагментированной и фрагментированной. Весь перлит является дефектным. Объемные доли каждой структурной составляющей на разных этапах изготовления изделия различны.

В перлитных зернах термомеханическая обработка уже на первом этапе изготовления изделия (обр. №2) привела к изменению в структуре перлита. Эти изменения заключаются в изменении морфологии перлита и в разрушении цементита в перлите. Если в исходном состоянии (обр. № 1) преобладающим в структуре стали являлся пластинчатый перлит, то в обр. № 2 объемная доля пластинчатого перлита составляет лишь 30% от общего содержания перлита в стали.

По выполненным оценкам методом ПЭМ можно утверждать, что на поверхности изделия в исходном состоянии содержится небольшое количество цементита, а именно: объемная доля частиц цементита, расположенных на границах фрагментов и размер

которых составляет ~10 нм, равна 0,6%, а объемная доля частиц цементита, расположенных в объеме материала случайным образом, размер которых на порядок выше (~0,1 мкм), – 0,2%. В различных участках одного и того же образца (на первом этапе изготовления детали) присутствуют все стадии растворения цементита, встречаются также участки, в которых весь объем материала, занимаемый ранее цементитной пластиной, заполняется наноразмерными частицами.

Проведенные электронно-микроскопические дифракционные исследования эволюции пластин цементита перлитной колонии на первом этапе изготовления детали (обр. № 2), т.е. при термомеханической обработке, обнаружили фазовые превращения цементита. Цепочка фазовой трансформации цементита, исходя из результатов вышеизложенных исследований, выглядит следующим образом: $Fe_3C \rightarrow Fe_3C + Fe_{20}C_9 \rightarrow Fe_{20}C_9 \rightarrow Fe_{20}C_9 + Fe_4C \rightarrow Fe_4C$.

Исследования, выполненные методом РЭМ, показали, что зерна перлита и феррита после различных этапов изготовления, как и в исходном образце, располагаются друг относительно друга случайным образом. При этом размеры зерен соизмеримы. На рис. 2 приведены изображения зеренной структуры стали 35ХГС, полученные методом РЭМ. Видно, что по контрасту зерна феррита и перлита, как и в исходном образце, практически не различимы. По размерам зеренная структура довольно однородна.

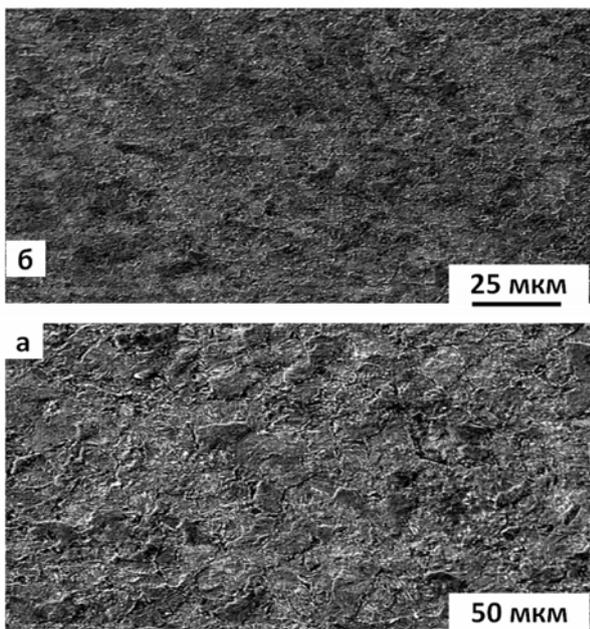


Рис. 2. Изображения зеренной структуры в стали 35ХГС, полученные методом РЭМ: а – обр. №2; б – обр. №3.

Данные РСА показали, что параметр кристаллической решетки α -фазы для всех образцов составляет величину, равную $0,286640 \pm 0,00005$ нм. Это означает, что α -фаза в основном состоит из железа, легирующих элементов в α -твердом растворе практически нет. Судя по величине параметра кристаллической решетки в α -твердом растворе углерод отсутствует.

Дальнейшие поля напряжений (поля растяжения-сжатия) σ_{θ} измерялись методом РСА по размытию дифракционных линий, внутренние поля за счет дислокаций «леса» $\sigma_{Л}$ и локальные внутренние поля напряжений $\sigma_{лок}$ – методом ПЭМ: $\sigma_{Л}$ – из величины скалярной плотности дислокаций, $\sigma_{лок}$ – по величине кривизны-кручения кристаллической решетки. Внутренние напряжения во всех морфологических составляющих стали растут по мере изготовления изделия. Во-первых, всегда амплитуда выше, нежели $\sigma_{лок}$, однако увеличение $\sigma_{лок}$ более значительно. Во-вторых, $\sigma_{Л}$ в феррите выше, чем в перлите, а $\sigma_{лок}$ – наоборот, ниже.

Выводы:

1. Исследовано структурно-фазовое состояние стали 35ХГС на стадии заготовительного производства (после механо-термической обработки) в поверхностном слое и на глубине 1,0 и 1,5 мм от поверхности; а также на этапе полустойковой механической обработки (глубина снятого слоя составляет 1 мм) и чистой механической обработки (суммарная глубина снятого слоя составляет 1,5 мм по сравнению с исходным образцом). Установлено, что поверхностный слой исследованной заготовки имеет полностью фрагментированную структуру, которая состоит из микроструктуры феррито-перлитной смеси. После проведения механической обработки во всех образцах присутствуют ферритные зерна в двух состояниях: нефрагментированном и фрагментированном состоянии. Перлитные зерна присутствуют трех видов. Объемные доли каждой структурной составляющей на разных этапах изготовления изделия различны.

2. В перлитных зернах термомеханическая обработка уже на первом этапе изготовления изделия (обр. № 2) привела к изменению в структуре перлита. Эти изменения заключаются в изменении морфологии перлита и разрушении цементита в перлите.

3. Исследования, выполненные методом РЭМ, показали, что зерна перлита и феррита после различных этапов изготовления, как и в исходном образце, располагаются друг относительно друга случайным образом. По размерам зеренная структура довольно однородна.

4. Параметр кристаллической решетки α -фазы для всех образцов составляет величину, равную 0.286640 ± 0.00005 нм. Это означает, что α -фаза в основном состоит из железа, легирующих элементов в α -твердом растворе практически нет.

5. Внутренние напряжения во всех морфологических составляющих стали растут по мере изготовления изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Суслов, А.Г. Инженерия поверхности деталей – резерв в повышении конкурентоспособности машин // Инженерия поверхности. Приложение к журналу «Справочник. Инженерный журнал». – М.: Машиностроение. – 2001. - №4. – С. 3-9.
2. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткевич и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.: ил.
3. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т2 / А.Г. Суслов, Ю.В. Гуляев, А.М. Дальский и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 430 с.: ил.
4. Гриднев, В.Н. Распад цементита при пластической деформации стали / В.Н. Гриднев, В.Г. Гаврилюк // Металлофизика. – 1982. – Т.4, №3. – С. 74-87.
5. Нестерова, Е.В. Кристаллографические особенности внутреннего строения колоний деформированного пластинчатого перлита / Е.В.

- Нестерова, Е.В. Рыбин, Н.Ю. Золоторевский // ФММ. – 2000. – Т.89, №1. – С. 47-53.
6. Белоус, М.В. Состояние углерода в холоднодеформированной стали / М.В. Белоус, Г.М. Молчановская, В.Б. Новожилов, В.Т. Черепин // Металлофизика и новейшие технологии. – 1994. – Т.16, №2. – С. 52-60.
7. Счастливец, В.М. Структурный и кинетический аспекты отжига тонкопластинчатого перлита / В.М. Счастливец, Д.А. Мирзаев, И.Л. Яковлева // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1996. - №5. – С. 50-59.
8. Козлов, Э.В. Влияние типа субструктуры на перераспределение углерода в стали мартенситного класса в ходе пластической деформации / Э.В. Козлов, Н.А. Попова, Л.Н. Игнатенко и др. // Изв. вузов. Физика. – 2002. - №3. – С. 72-82.
9. Козлов, Э.В. Эволюция фазового состава, дефектной структуры, внутренних напряжений и перераспределение углерода при отпуске литой конструкционной стали / Э.В. Козлов, Н.А. Попова, О.В. Кабанина и др. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. – 177 с.
10. Козлов, Э.В. Градиентные структуры в перлитной стали / Козлов Э.В., Громов В.Е., Коваленко В.В. и др. – Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2004. – 224 с.
11. Смирнов, А.Н. Субструктура, внутренние поля напряжений и проблема разрушений паропроводов из стали 12Х1МФ / А.Н. Смирнов, Э.В. Козлов. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2004. – 163 с.

RESEARCH OF METAL STRUCTURALLY-PHASE CONDITION AS THE PARAMETER OF PROCESSABLE SURFACES OF MACHINES DETAILS QUALITY

© 2010 A.N. Smirnov¹, N.A. Koneva², N.A. Popova², A.S. Glinka¹

¹ Kuzbass State Technical University, Kemerovo

² Tomsk State Architecturally-building University

The present work it is carried out research of one of widely applied in mechanical engineering steels - steel 35ХГС at various stages of machining. The primary goal of research consist in definition of parameters of steel gradient structuresl. Structural researches were spent by 3 basic methods: the raster electronic microscopy, translucent diffraction through thin foil electronic microscopy and X-ray structural analysis.

Key words: *structurally-phase condition, steel, processable surface*

Alexander Smirnov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Machine Building Technology. E-mail: sd.tms@mmfkuzstu.ru

Nina Koneva, Doctor of Physics and Mathematics, Professor at the Physics Department. E-mail: koneva@tici.tomck.su

Nataliya Popova, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow. E-mail: popova@tici.tomck.su

Alexandra Glinka, Assistant. E-mail: gas.tma@kuzstu.ru