УДК 621.914

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ НА МИКРОСТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СПЛАВА ЭП718-ИД

© 2013 А.Н. Жидяев, Е.А. Носова

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 02.12.2013

Проведена обработка концевой фрезой горячештампованных заготовок из сплава ЭП718-ИД. Исследовано влияние режимов фрезерования на изменение микроструктуры поверхностного слоя. Установлено, что с увеличением глубины снимаемого слоя в поверхностном слое протекают процессы возврата и рекристаллизации за счёт локального разогрева металла при резании.

Ключевые слова: жаропрочный сплав, фрезерование, ширина резания, микроструктура, размер зерна, микротвердость, возврат, рекристаллизация.

При внедрении новых режимов резания и режущего инструмента в технологических операциях изготовления деталей газотурбинных двигателей необходимо проводить исследования по оценке состояния качества поверхностного слоя. В данной работе проводится исследование влияния режимов фрезерной обработки на микроструктуру поверхностного слоя образцов из жаропрочного сплава ЭП718-ИД.

В качестве начальных режимов резания были приняты режимы, на которых происходит фрезерная обработка пера лопаток компрессора в разработанных и внедренных технологических операциях [1]: скорость резания $\nu = 60$ м/мин, подача на зуб $S_{2} = 0,08$ мм/зуб, ширина фрезерования (припуск, снимаемый с поверхности) В=2 мм, глубина фрезерования (расстояние между строчками при строчном фрезеровании) Z=0,2мм, угол наклона фрезы относительно обрабатываемой плоскости A=5°. Фрезерование осуществлялось строчками, т.е. параллельными проходами с постоянным смещением фрезы по высоте. Вид фрезерования - попутное. Материал инструмента – монолитная твердосплавная фреза для жаропрочных материалов [2], диаметр 12 мм. Схема обработки представлена на рис. 1.

В данной работе проведено исследование влияния ширины фрезерования на формирование микроструктуры поверхностного слоя. Режимы, приведенные выше, оставались постоянными, кроме ширины фрезерования. Ширина фрезерования изменялась в пределах от 0,5 до 2,5 мм с шагом 0,5 мм.

Жидяев Алексей Николаевич, инженер кафедры производства двигателей летательных аппаратов.

E-mail: a.n.zhidy a ev@gmail.com

Носова Екатерина Александровна, Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения. E-mail: eanosova@mail.ru



Рис. 1. Схема фрезерования образцов

В качестве образцов были выбраны параллелепипеды с размерами 10 х 12 х 15 мм. Образцы вырезались на электроэрозионном проволочном станке из штамповки, которая предназначалась для изготовления лопатки. Было изготовлено по 5 образцов на каждый режим резания. В таб. 1 приведены значения ширины фрезерования для рассматриваемых образцов.

На каждом образце обрабатывалась одна поверхность. Обработка осуществлялась на пятикоординатном фрезерном станке Mikron UCP 800 Duro. Далее обработанный образец разрезался на электроэрозионном проволочном станке на две части. Схема разрезки приведена на рис. 2.

Таблица 1. Значения ширины фрезерования

| Номер образца | Ширина |
|---------------|------------------|
| | фрезерования, мм |
| Образец 1 | 0,5 |
| Образец 2 | 1,0 |
| Образец 3 | 1,5 |
| Образец 4 | 2,0 |
| Образец 5 | 2,5 |



Линия разрезки образцов 🔪

Рис. 2. Схема разрезки образца

Правая часть образца предназначалась для исследований микроструктуры.

Для проведения микроструктурного исследования были подготовлены микрошлифы. Для этого образцы, вырезанные из заготовки, запрессовывались вхолодную в эпоксилиновый полимер. Затем исследуемая поверхность подвергалась шлифовке, полировке и травлению. Состав травителя был следующий: FeCl3 (10 г), HCl (30 мл), H₂O (120 мл).

Сплав ЭП718-ИД (ХН45МВТЮБР) относится к жаропрочным железо-никелвым сплавам. В его структуре после горячей штамповки присутствует легированный ү-твёрдый раствор и включения дисперсных фаз. Микроструктура образцов рядом с обработанной поверхностью и в сердцевине представлена на рис. 3 – рис. 7.

Анализ микроструктуры показывает, что центральная часть всех заготовок обладает единообразием: зёрна твёрдого раствора обладают выраженной разнозернистостью. Структура краевой части при визуальной оценке отличается размером зерна. Распределение дисперсных фаз равномерное по всему полю изображения и не локализовано по зерну.

Для количественной оценки размер зерна анализ проводили с помощью объект-микрометра. Результаты измерений представлены на рис. 8.



Анализ данных рис. 8 показывает, что с уве-

Рис. 3. Микроструктура образца 1, х140: а) край, б) сердцевина



а) б) **Рис. 4.** Микроструктура образца 2, х140: а) край, б) сердцевина



а) б) **Рис. 5.** Микроструктура образца 3, х140: а) край, б) сердцевина



а) б) **Рис. 6.** Микроструктура образца 4, х140: а) край, б) сердцевина



а) Рис.7. Микроструктура образца 5, х140: а) край, б) сердцевина

личением ширины снятого слоя увеличивается размер зерна у поверхности, а также растёт интервал расхождения данных, т.е. повышается разнозернистость. Причём это можно сказать как о структуре поверхностного слоя, так и зёренной структуре на глубине ~1 мм от поверхности. Наибольшие разбросы значений размера зерна наблюдаются при толщине снятого слоя 1,5 мм. Говоря в целом, существенные изменения размера зерна наблюдаются при толщине снятого слоя 2 и 2,5 мм. Изменение размера зерна свидетельствует о возможном протекании рекристаллиза-



Рис. 8. Изменение размера зерна в зависимости от толщины снятого слоя: красным цветом выделены значения для сердцевины, синим – для края

ции в поверхностном слое за счёт локального разогрева при фрезеровании заготовки [3]. Согласно диаграммам рекристаллизации, увеличение размера зерна наблюдается при деформациях, близких к критическим (8-10%) и при степенях порядка 30-50%. Поскольку в структуре образцов не наблюдается ярковыраженной вытянутости зёрен в направлении деформации среза, то увеличение размера зерна и разнозернистости, вероятно, связано с появлением критической степени деформации.

На рис. 9 показано изменение размера зерна в виде отношения среднего значения размера в поверхностном слое к среднему значению в сердцевине.

Для подтверждения протекания рекристал-

лизации проводилось измерение микротвердости поверхностного слоя образцов. Для измерения на микроскопе ПМТ-З наносились отпечатки алмазной призмой с четырехгранным основанием в соответствии с ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников». Нагрузка – 200 г, время выдержки нагрузки – 10 с.

Отпечатки наносились на подготовленной поверхности тех же образцов, на которых проводилось исследование размера зерен. Схема нанесения: с отступом от фрезерованной поверхности и перпендикулярно ей вглубь наносилось шесть отпечатков. Предварительно было известно, что размер диагонали отпечатка не превышает 0,03 мм. На основании этого было выбрано



Рис. 9. Относительное изменение размера зерна



Рис. 10. Распределение микротвёрдости в поверхностном слое образцов

расстояние в 0,1 мм для отступа первого отпечатка от края и для расстояния между центрами соседних отпечатков.

Для определения микротвердости образцов проводились измерения по двум отпечаткам на одной глубине. Изменение микротвердости по глубине от края обработанной поверхности и глубины фрезерования приведены на рис. 10.

Как видно из графика образца 1 (рис. 10) при ширине реза 0,5 мм наблюдается плавное повышение микротвёрдости, что свидетельствует о сохранении нагартовки. Увеличение ширины срезаемого металла (образцы 2-5) приводит к снижению микротвёрдости в приповерхностном слое, а на глубине 0,6 мм от поверхности значения микротвёрдости для всех образцов не имеют значительных расхождений. В образце 3 плавное снижение микротвёрдости наблюдается до расстояния 0,4 мм, а затем значения становятся близкими к исходной структуре (средним для сердцевины заготовки). Следовательно, поверхностный слой, имеющий повышенные значения микротвёрдости, сохраняет наклёпанное состояние за счёт поверхностной пластической деформации, возникшей в процессе резания. Затем, по мере увеличения ширины снимаемого слоя, тепловой эффект от деформации приводит к протеканию

возвратных (образец 2 и 3) и рекристаллизационных (образец 4 и 5) процессов.

выводы

1. Проведена обработка фрезой жаропрочного сплава ЭП471-ИД с различной шириной снимаемого слоя.

2. Установлено, что с увеличением ширины реза происходит увеличение размера зерна и разнозернистости в поверхностном слое.

3. Изучение микротвёрдости показало, что её снижение связано с увеличением ширины реза: по мере увеличения ширины снимаемого слоя уменьшается глубина, на которой происходит заметное снижение микротвёрдости и увеличивается её относительное изменение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Чехунов Д.А.Особенности процессов механической обработки жаропрочных и титановых сплавов // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: Приборостроение и информационные технологии. 2013. № 44. С. 141-146.
- Кочина Т.Б.Применение высокопроизводительного режущего инструмента при механической обработке жаропрочных сплавов на никелевой основе // Металлообработка. 2009. № 3. С. 5-7.

3. О локальной рекристаллизации в монокристаллах никелевых жаропрочных сплавов / *А.В. Нейман, Е.В.*

Филонова, И.В. Исходжанова // Металлургия машиностроения. 2013. № 1. С. 019-022.

RESEARCH OF CUTTING CONDITIONS INFLUENCE ON EP718-ID ALLOY SURFACE LAYER MICROSTR UCTURE WHILE END MILLING

© 2013 A.N. Zhidyaev, E.A. Nosova

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University)

Hot-stamped blanks from alloy EP718-ID were machined with end mill. The influence of milling cutting conditions on change of surface layer microstructure researched. It is established that with the increase of depth of the removed layer the processes of return and recrystallization at the surface layer are proceeding by local heating while metal cutting.

Key words: high-temperature alloy, milling, cutting width, microstructure, grain size, microhardness, return, recrystallization.

Alexey Zhidyaev, Engineer of Aircraft Engine Production Department. E-mail: a.n.zhidyaev@gmail.com Ekaterina Nosova, Candidate of Technics, Associate Professor at the Metals Technology and Aviation Materials Engineering Department. E-mail: eanosova@mail.ru