УДК 669.14.018.25

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ Микротвердости металла оболочки изделия после редуцирования (холодной деформации) на оправке

А.В. ГУСЬКОВ, канд. техн. наук, доцент Т.В. ЖУРАВИНА, ассистент К.Е. МИЛЕВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент Д.В. ПАВЛЮКОВА, канд. техн. наук, доцент (НГТУ, г. Новосибирск)

Статья получена 24 октября 2012 года

А.В. Гуськов – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, e-mail:conf_npo@craft.nstu.ru

Изучено распределение микротвердости стали 20 по толщине головной части корпуса изделия и микроструктуры металла после холодной обработки (редуцирование на оправке).

Ключевые слова: редуцирование на оправке, холодная пластическая деформация, микротвердость, микроструктура, сталь 20, оболочка, статистическая обработка, распределение микротвердости.

Введение

При изготовлении оболочек корпусов некоторых специзделий используют технологию холодного деформирования – редуцирования на оправке [1]. Процесс редуцирования заключается в обжатии заготовки обжимным кольцом снаружи по винтовому пуансону, располагаемому внутри заготовки (рис. 1).

Процесс проходит в два этапа. На первом этапе в заготовку помещают винтовой пуансон, профиль которого близок к многозаходной резьбе. Ребра выполнены по винтовой линии под углом 30°, число заходов 19. На втором этапе процесс аналогичный, но ребра на винтовом пуансоне направлены в другую сторону, и пуансон имеет меньшие размеры. Таким образом, геометрия инструмента определяет форму и размеры фрагментов.

Необходимо отметить, что перед пластической деформацией проводят полный отжиг заготовок по соответствующим режимам для данного материала.

Постановка задачи

При данном способе редуцирования пластическая деформация оболочки проводится в два этапа. Первый этап – это обжатие наруж-



Рис. 1. Схема обжима заготовки:

I – плита верхняя; 2 – державка; 3 – оправка; 4 – втулка;
5 – пуансон винтовой; 6 – заготовка; 7 – кольца обжимные; 8 – корпус; 9 – стол пресса

ной поверхности через обжимное кольцо, приводящее к уменьшению диаметра оболочки и внедрению винтовых выступов пуансона во внутреннюю поверхность оболочки, что приводит к формированию винтовых канавок с левым наклоном на внутренней поверхности. Второй этап – это повторное обжатие корпуса обжимным кольцом меньшего диаметра с использованием пуансона, соответствующе-

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

го внутреннему диаметру корпуса изделия с противоположным направлением спиральных выступов – рифлей. За счет этого формируются канавки, т. е. концентраторы разрушений в виде ромбической сетки на внутренней поверхности оболочки изделия. Поэтому металл, распределенный по объему оболочки, имеет локальные зоны с интенсивной пластической деформацией, что приводит к неравномерности распределения механических свойств по сечению оболочки.

Для исследования неоднородности механических свойств и выявления зон с максимальным упрочнением материала оболочки используем метод измерения микротвердости по Виккерсу, так как толщина стенки оболочки составляет 5 мм, что, с одной стороны, затрудняет изготовление стандартных образцов для проведения испытаний на растяжение (сжатие), а с другой – растяжение не позволяет исследовать неоднородность механических свойств. Исследование микроструктуры дает возможность выявить



Рис. 2. Схема раскроя оболочки корпуса:

I – расположение вырезаемых колец на корпусе; II – раскрой кольца;
a – образцы: *I* – исследуемая поверхность вдоль образующей оси оболочки;
b – исследуемая поверхность поперек оси оболочки;
d – образцы: *3* – исследуемая поверхность перпендикулярна канавкам,
расположенным против часовой стрелки;
4 – исследуемая поверхность перпендикулярна канавкам,

периспдикулярна канавкам, расположенным по часовой с

зоны (области) с интенсивной пластической деформацией, а также нарушения сплошности материала – трещины.

Исследование распределения микротвердости по толщине оболочки в различных сечениях с выявлением неоднородности механических свойств проводилось на корпусах как с термической обработкой (отжигом), так и без нее.

Цель исследования: выявление неоднородности механических свойств материала по микротвердости и микроструктуре и определение влияния операции отжига на неоднородность металла.

Методика исследования

Исследования проводились на трех корпусах. Первый и второй корпуса непосредственно после обработки редуцированием подвергались отжигу при температуре 500 °C. Третий корпус термообработке не подвергался.

Из каждого корпуса для металлографических исследований и измерения микротвердо-

> сти были вырезаны образцы. Подобный раскрой (рис. 2) позволяет получить на образцах поверхности, отражающие информацию о деформации материала по толщине корпуса после двух обжатий при изготовлении канавок, направленных как по часовой стрелке, так и против нее на внутренней поверхности корпуса.

> Из исследуемых корпусов было изготовлено по три кольца. Первое и третье кольца располагались на расстоянии 90 мм от краев, а второе кольцо – в середине корпуса. Из колец вырезались по три пары сегментов-образцов, имеющих поверхности как в продольном, так и в поперечном направлениях. Контур поверхности образца описывается наружной поверхностью корпуса и внутренней, на которой присутствуют как минимум по три канавки [2].

> Нагрузка на индентор выбиралась таким образом, чтобы отпечаток был четким, и его величина позволяла производить большее число измерений на определенной площади. Выбранная нагрузка составила 200 г, время приложения нагрузки – 10 с. Расстояние между внедрениями индентора было выбрано

64



Рис. 3. Схемы измерения микротвердости (стрелками указаны направления измерений): *a* – по нормали к поверхности канавки; *б* – под углом 45° к поверхности канавки; *в* – «дорожки» измерения микротвердости для канавки первого обжатия образца первого корпуса

100 мкм. С учетом размеров и формы исследуемых поверхностей, а также предполагаемой глубины деформационного упрочнения были выбраны две схемы измерения (рис. 3 a, δ), а также изображены пять «дорожек» для канавки первого обжатия образца первого корпуса.

В каждой из схем замеров прокалывались «дорожки» на расстоянии от 400 до 700 мкм друг от друга. Такой диапазон расстояний был выбран с точки зрения получения более полной информации о распределении значений микротвердости и размеров канавки. Для первой схемы измерения количество уколов в каждой «дорожке» составляло от 30 (боковые поверхности канавки) до 50 (дно канавки). Для второй схемы измерения количество уколов составляло от 5 (между боковой поверхностью канавки и внутренней поверхностью корпуса) до 45 (дно канавки). Начальные уколы делались на расстоянии 50...60 мкм от края образца, и отсчет расстояний по глубине замеров велся от начальных уколов.

В процессе работы была измерена микротвердость и исследована микроструктура на образцах:

 – первого корпуса: два образца (по две канавки первого и второго обжатия);

 второго корпуса: один поперечный образец (канавка первого и второго обжатия);

 третьего корпуса: один поперечный образец (канавка первого и второго обжатия).

Результаты исследования

При измерении микротвердости исследовался материал корпуса на глубину 3 мм от боковых поверхностей канавок, а также область от дна канавки до наружной поверхности корпуса. Погрешность при измерении микротвердости связана с определением длины диагонали отпечатка и не превышает 0,5 мкм. По полученным значениям построены кривые изменения микротвердости с глубиной измерения для «дорожек» канавки первого обжатия образца первого корпуса и определено распределение микротвердости по толщине корпуса по двум схемам (рис. 4).

По результатам измерений проведена статистическая обработка полученных значений микротвердости согласно [3]. В табл. 1, 2 и на рис. 5, *а* представлены результаты статистической обработки для канавок первого обжатия образца первого корпуса и для канавки первого обжатия образца третьего корпуса (после редуцирования) соответственно. Для каждого из корпусов был определен разброс значений микротвердости, представленный на рис. 5, *б*.

Таким образом, после пластической деформации корпус, изготовленный из стали 20, имеет поле распределения значений микротвердости от 2000 до 4020 МПа, т. е. значение микротвердости по отношению к образцу из отожженного корпуса выросло в три раза, а у отожженного – от 1340 до 2450 МПа. Следовательно, рассеивание значений микротвердости у этого корпуса в два раза меньше, чем у корпуса без термообработки.

Исследование микроструктуры стали 20 головной части корпуса изделия выявило наличие трещин в области дна канавок и наружной поверхности корпуса (рис. 6).

Для образцов корпусов, не подвергавшихся отжигу, максимальные значения микротвердости соответствуют области металла, которая в наибольшей степени подверглась деформиро-



Рис. 4. Области микротвердости (МПа) для исследуемых образцов: *a* – первого корпуса, канавки первого обжатия; *б* – первого корпуса, канавки второго обжатия; *в* – второго корпуса; *г* – третьего корпуса (после редуцирования)

Таблица 1

Статистическая обработка результатов измерения микротвердости (МПа) для канавок первого обжатия образца первого корпуса

Мода	Медиана	Дисперсия	Стандартное отклонение	Эксцесс	Асимметрия
2310	2395	36540	191,1539	1,276293025	0,81

Таблица 2

Статистическая обработка результатов измерения микротвердости (МПа) для канавки первого обжатия образца третьего корпуса

Мода	Медиана	Дисперсия	Стандартное отклонение	Эксцесс	Асимметрия
1680	1660	33488	182,997	-0,24	0,62





а – для канавки первого обжатия образцов первого и третьего корпуса; *б* – для разброса значений микротвердости для каждого из корпусов изделия

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



Рис. 6. Исследование микроструктуры: *а* – дна канавки первого обжатия образца первого корпуса; *б* – наружной поверхности образца первого корпуса

ванию, т. е. донная часть канавки. Наименьшие значения микротвердости соответствуют тем областям металла, которые испытывали меньшую нагрузку при редуцировании на оправке (области между канавками, под донной частью канавок). Наибольшие значения микротвердости, относящиеся к донной части канавок, распространяются на глубину 500...600 мкм.

Для корпуса 3 после отжига наблюдается послойное изменение микротвердости: наименьшие значения микротвердости соответствуют области металла у внутренней поверхности корпуса, наибольшие – под дном канавки на расстоянии 1500...1800 мкм от наружной поверхности корпуса.

Для корпусов 1 и 2, не подвергавшихся термической обработке после холодной деформации, зерна феррита и перлита имеют вытянутую форму у поверхности канавки. В области дна канавки обнаружена интенсивная угловая деформация, повлекшая образования турбулентного течения металла, в виде вихрей. По поверхности канавок наблюдаются зоны «выкрашивания» металла. Полученный интервал рассеивания значений микротвердости H_V (от 2000 до 4020 МПа) имеет достаточно большой размах для нетермообработанных корпусов, поэтому для снижения данного интервала целесообразно ввести операцию отжига после редуцирования.

Выводы

Предложенная методика оценки влияния способа обработки металлов давлением на рассеивание значений микротвердости обработанного изделия позволяет выявить наиболее локализованные зоны упрочнения материала, а также определить за-

ложенную данным способом обработки неоднородность распределения микротвердости материала изделия.

Пластическая деформация корпуса приводит к рассеиванию значений микротвердости H_V от 2040 до 4020 МПа. Термическая обработка (отжиг) снижает интервал рассеивания значений микротвердости в два раза и приводит к повышению однородности механических свойств материала корпуса.

Список литературы

1. Патент РФ №2171445, 27.07.2001 F42B12/24, B21K21/06 / О.А. Антилогов, И.В. Казаков, В.П. Кузнецов и др. Способ изготовления осколочного боеприпаса.

2. Гвоздева Г.С., Гуськов А.В., Милевский К.Е. Исследование твердости стали 20 корпуса после холодной деформации редуцированием // Труды X Всероссийской конференции «Наука. Промышленность. Оборона»: тезисы докл. Всерос. конф. Новосибирск. 22 – 24 апреля). – Новосибирск, 2009. – С. 80 – 84.

3. Степнов М.Н., Шаврин А.В. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: справочник. – М.: Машиностроение, 2005.

Research of a microstructure and distribution of microhardness of metal of a case of a product after reduction (cold deformation) on a mandrel

A.V. Guskov, T.V. Zhuravina, K.E. Milevskiy, D.V. Pavlyukova

Distribution of microhardness of steel 20 on thickness of a head part of a case of a product and a metal microstructure after cold deformation (reduction on a mandrel) is studied.

Key words: reduction on a mandrel, cold deformation, microhardness, microstructure, steel 20, case, statistical processing, microhardness distribution.