УДК 621.7.044.2: 669.14: 620.1 В.В. Остапчук

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

В настоящее время успешное решение проблем технологии изготовления современных летательных аппаратов и двигателей невозможно без проведения исследований, важной частью которых является изучение влияния технологических процессов на структуру и свойства авиационных материалов. В то же время совершенствование технологии производства летательных аппаратов требует использования прогрессивных технологических процессов. К таким процессам относятся взрывная штамповка и калибровка. При взрывном нагружении материал находится в условиях, значительно отличающихся от условий при традиционных методах формообразования. Металл деформируется с большой скоростью, что приводит к определенным структурным изменениям в металле и, следовательно, к изменению его механических свойств.

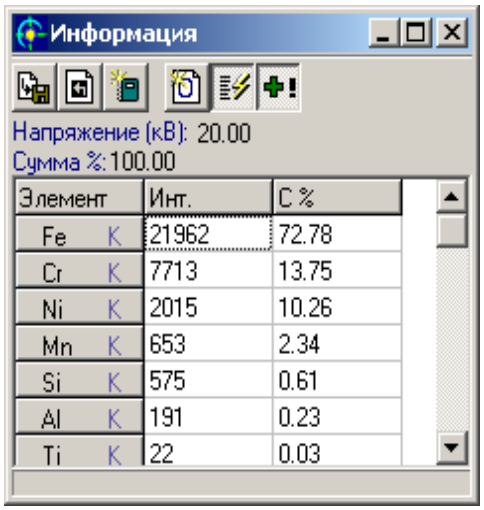
Процесс взрывного деформирования характеризуется такими параметрами, как тип и масса взрывчатого вещества, дистанция взрыва, передающая среда, используемое оборудование. Эти параметры определяют качество готовых деталей. Однако трудно проследить влияние этих факторов на особенности механизма пластической деформации и характер упрочнения. Процесс деформирования взрывом характеризуется также такими параметрами, как величина давления (или импульса), скорость деформации (или продолжительность процесса) и температура. Именно эти факторы определяют структуру и свойства металлов, формирующиеся в процессе пластической деформации.

Изучению закономерностей изменения механических свойств в сталях аустенитного класса в результате деформационных технологий посвящено ряд публикаций, но в большинстве из них рассматриваются изменения характеристик прочности, пластичности, ударной вязкости хромоникелевых сталей при статическом нагружении [1, 2]. Наряду с этим имеется ряд работ, которые посвящены изучению структуры и свойств соединений из разнородных металлических материалов, полученных сваркой взрывом [3]. Однако технологические параметры сварки взрывом существенно отличаются от параметров гидровзрывной штамповки. Так, при сварке взрывом скорость соударения составляет 300…1500 м/с, давление при соударении – 10…20 ГПа; при таких параметрах процесса происходит динамической рекристаллизации.

Скорость перемещения заготовки при гидровзрывной штамповке зависит от массы заряда и дистанции взрыва и на практике обычно составляет 50…250 м/с, давления на фронте ударной волны достигают $P = (1{,}8\ldots2)\sigma_s$, где σ_s – предел текучести материала заготовки. При та-

ких режимах обработки температура не поднимается до значений, влияющих на состояние структуры металла.

Исследования влияния высокоскоростного деформирования на структуру и свойства металлов проводились на образцах, изготовленных из нержавеющей стали. Химический состав исследуемой стали определен с помощью растрового электронного микроскопа с системой энергодисперсионного микроанализа РЭМ-106 и приведен на рис.1. В целях изучения структуры после взрывного нагружения изготовлены микрошлифы, травление которых производилось царской водкой (две части HCl и одна часть HNO_3) [4]. Анализ микроструктуры образцов проводился с использованием металлографического микроскопа ZEISS NEOPHOT 21. Микротвердость измерялась с использованием твердомера ПМТ-3.

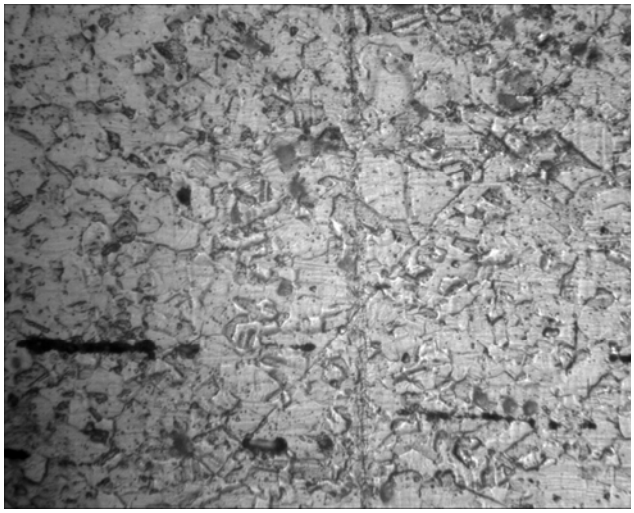


Элемент		Инт.	C %
Fe	K	21962	72.78
Cr	K	7713	13.75
Ni	K	2015	10.26
Mn	K	653	2.34
Si	K	575	0.61
Al	K	191	0.23
Ti	K	22	0.03

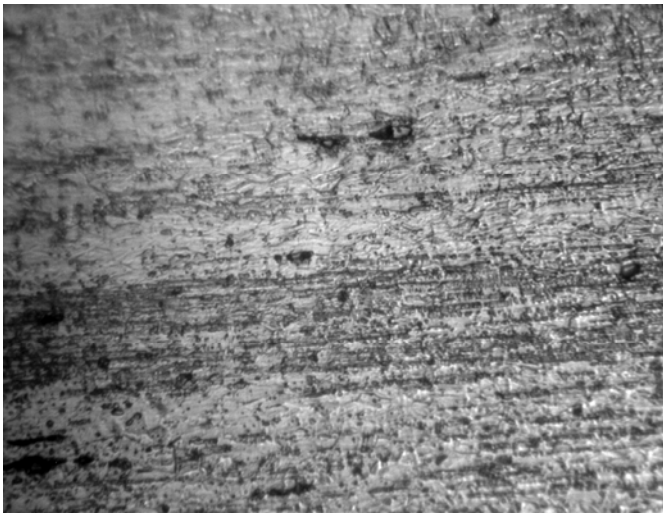
Рисунок 1 – Химический состав исследуемой стали

Исследования структуры показали, что в исходном материале текстура не наблюдается, зерна равноосные. На рисунке 2, а представлена структура хромоникелевой нержавеющей стали в состоянии поставки, до процесса деформирования – наблюдаются зерна аустенита, δ-феррит (затравливается и имеет вид черных полос), карбидные включения. В отштампованной детали наблюдается текстура деформации в направлении, параллельном плоскости листа (рис. 2, б). При анализе структуры образцов при статическом и динамическом нагружении выявлено, что в статически деформированных стальных образцах в зернах наблюдаются индивидуальные полосы скольжения. При динамическом деформировании увеличивается число полос скольжения, появляется несколько систем скольжения; наблюдается пересечение полос скольжения различных систем, при этом место пересекающих плоскостей скольжения заторможено у границ зерен. При более высоких скоростях деформирования увеличивается количество двойников. Следует отметить, что возможность механического двойникования в нержавеющих сталях бы-

ла обнаружена лишь при низких температурах, а также в условиях деформации взрывом [5, 6].



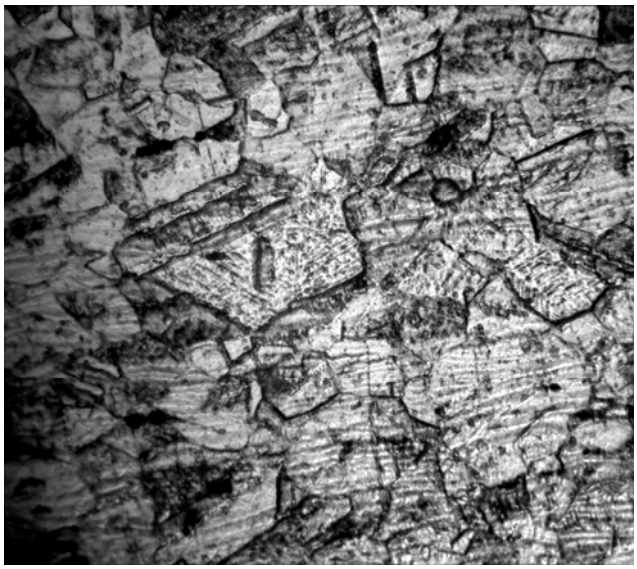
а) до деформирования



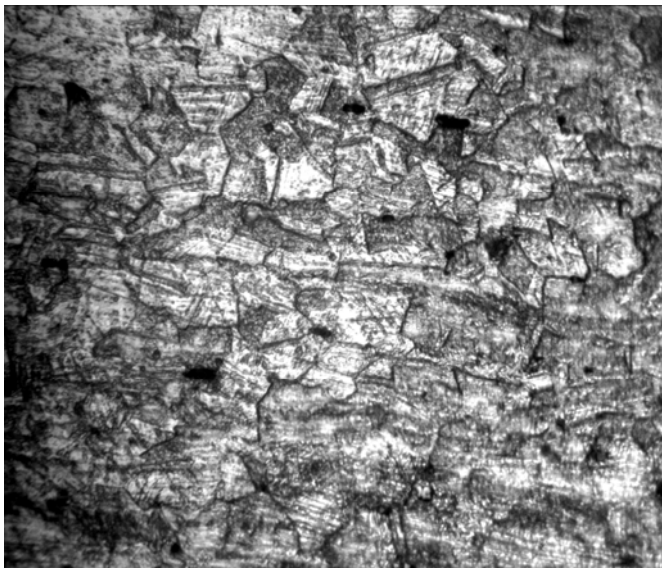
б) утонение 25 %

Рисунок 2 – Микроструктура нержавеющей стали, х800

На рис. 3 представлена микроструктура отожженной хромоникелевой нержавеющей стали после взрывного нагружения.



а) утонение 10 %



б) утонение 40 %

Рисунок 3 – Микроструктура нержавеющей стали после взрывного нагружения, х600

Исследование микротвердости образцов, деформирование которых происходило в состоянии поставки, показало, что в зонах максимального утонения (26 %) микротвердость H_{50} составила 5350 МПа, а в зонах с минимальным утонением (3 %) H_{50} – 2250 МПа. При этом наблюдалось изменение формы зерен: при минимальной деформации продольный размер составляет 7…9 мкм, в поперечном сечении – 4,5…7,7

мкм; с увеличением степени деформации размер зерен в поперечном сечении уменьшается – 2,7…3,2 мкм, а продольный размер увеличивается – 13 …23 мкм.

Исследование микротвердости образцов, деформирование которых происходило в отожженном состоянии, показало, что в зонах максимального утонения (50 %) микротвердость H_{50} составила 5490 МПа, а в зонах с минимальным утонением (3 %) H_{50} – 2860 МПа. При минимальной деформации продольный размер зерен составляет 25…29 мкм, в поперечном сечении – 12…18 мкм. С увеличением степени деформации размер зерен в поперечном сечении уменьшается – 6…9 мкм, а продольный размер увеличивается – 30…35 мкм.

Таким образом, выявлено, что в результате взрывного нагружения происходит упрочнение хромоникелевых сталей, которое характеризуется увеличением микротвердости в 1,9 – 2,4 раза. Упрочнение при динамическом деформировании можно объяснить существенным измельчением размеров блоков мозаичной структуры, и увеличением плотности дислокаций. Так, в работе [7] с помощью рентгеноструктурного анализа, исследовано изменение тонкой структуры аустенита хромоникелевой стали после взрывного деформирования. В результате было установлено, что величина блоков от 10^{-4} см в исходном состоянии уменьшается до $8{,}6\cdot10^{-6}$ см после деформации на 38 % и до $1{,}7\cdot10^{-6}$ см после деформации на 73 %. Плотность дислокаций при этом увеличивается от 10^{8} до $4\cdot10^{10}$ и $1{,}05\cdot10^{12}$ см$^{-2}$.

Анализируя проведенные исследования, следует отметить, что структурные изменения, вызванные динамическим деформированием, приводят к изменению механических свойств. Так, повышение скорости деформации приводит к измельчению блоков мозаичной структуры, увеличению плотности дислокаций, скоплению их по плоскостям скольжения и образованию зон с неоднородно распределенными внутренними напряжениями. Вследствие образования такой структуры металлы после динамической деформации упрочняются более интенсивно, чем после статической деформации. Причем в сложнолегированных сталях атомы легирующих элементов, располагающиеся вблизи дислокаций и образующие так называемые облака Котрелла, не успевают диффундировать за перемещающимися при динамическом деформировании дислокациями, вследствие чего появляются дополнительные внутренние напряжения [8].

Выводы

1. Исследования микроструктуры показали, что в условиях высокоскоростного деформирования нержавеющих сталей наблюдается текстура; зерна сильно деформируются, происходит дробление блочной структуры; увеличивается плотность дислокаций; в зернах появляются пресекающиеся линии скольжения. С ростом скорости деформирования

возрастают число линий скольжения и количество двойников. Динамическая деформация приводит к значительному повышению прочностных характеристик.

2. Таким образом, структура и свойства многих материалов при динамическом нагружении существенно отличаются от структуры и свойств при статическом нагружении. Знание особенностей изменения структуры, а следовательно, и свойств материалов является необходимой предпосылкой для решения инженерных задач, связанных с обеспечением требуемых свойств и качества деталей, получаемых с использованием импульсного нагружения.

Список использованных источников

1. Бубнов В.А. Механизм упрочнения аустенитных сталей при пластическом деформировании / В.А. Бубнов, С.Г. Костенко // Известия вузов. Машиностроение. – 2008. – № 6. – С. 63 – 70.

2. Камышанченко Н.В. Влияние деформационного старения на физические и механические свойства аустенитной хромоникелевой стали / Н.В. Камышанченко, И.Н. Кузьменко, М.Н. Роганин и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2009. – № 8. – С. 36 – 41.

3. Гладковский С.В. Структура и свойства композита из сталей 12Х18Н10Т и 20, полученного сваркой взрывом / С.В. Гладковский, Т.А. Трунина, Е.А. Коковихин и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2009. – № 9. – С. 34 – 39.

4. Нержавеющие и жаропрочные стали. Атлас микроструктур / под. ред. А.Т. Туманова. – М.: ОНТИ, 1970. – 205 с.

5. Высокоскоростная деформация металлов / В.И. Беляев, В.Н. Ковалевский, Г.В. Смирнов, В.И. Чекан. – Мн.: Наука и техника, 1976. – 224 с.

6. Эпштейн Г.Н. Строение металлов деформированных взрывом / Г.Н. Эпштейн. – М.: Металлургия, 1980. – 256 с.

7. Блантер М.Е. Формообразование взрывом в замкнутом объеме жидкости / М.Е. Блантер, М.М. Друкер // Применение импульсных нагрузок в технологических процессах изготовления деталей из листа, профилей и труб и другие новые процессы и оборудование: Материалы совещания НИАТ. – М., 1966. – С. 29 – 34.

8. Волков А.И. Механические свойства конструкционных сталей после динамической деформации / А.И. Волков, Н.Н. Люличева // Использование энергии взрыва в машиностроительном производстве: сб. УкрНИИНТИ. – К.: 1968. – С. 36 – 39.

Поступила в редакцию 21.04.2011.
Рецензент: канд. техн. наук, проф. Н.И. Семишов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков