

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СПЕКТРОМЕТРИИ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ПОЗИТРОНОВ ПОСЛЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РЕЗКИ.

¹Р.С. Лантев, к.т.н., доц.,

¹А.Д. Ломыгин, аспирант гр. А1-08

²Л. Цзинъюань, к.т.н., профессор

¹Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,

²Шэньянский политехнический университет, 110183, г. Шэньян, ул. Вэньхуэй,
тел. +7(923)433-24-61

E-mail: adl4@tpu.ru

При высокоскоростном резании на обработанных поверхностях после механической обработки часто образуется белый слой, серьезно влияющий на механические свойства. Эти свойства связаны со структурой материала и дефектами, вызванными резанием. Тем не менее, существует недостаток исследований по атомно-масштабным дефектам белого слоя.

Эксперимент по однофакторному сухому резанию проводился на токарном станке с ЧПУ MULTUS B400-W. Использовались лезвия из кубического нитрида бора PCBN. Угол наклона инструмента составлял $\gamma_0 = 5^\circ$, задний угол составлял $\alpha_0 = 7^\circ$, угол и наклон режущей кромки составляли $k_r = 90^\circ$ и $\lambda_s = 0^\circ$, соответственно, а радиус угла составлял $r_c = 0,8$ мм. В качестве материала для испытаний использовалась подшипниковая сталь GCr15, которая была нагрета до 850°C , выдержана в течение 2 ч, закалена 10% соленой водой, закалена при 320°C , затем выдержана в течение 4 ч, с твердостью HRC60. Размер образца составлял $10 \times 10 \times 2$ мм. Скорость резания изменялась от 347 м/мин до 520 м/мин.

Позитронная аннигиляционная спектроскопия (ПАС) - перспективный метод анализа дефектной структуры материалов при высокоскоростном резании, позволяющий исследователям изучать механизмы и контролировать динамику появления, трансформации и исчезновения дефектов различных размеров (от точечных до протяженных) в широком диапазоне концентраций. Исследования времени жизни позитронов позволяют определить тип, размер и концентрацию дефектов. Средняя глубина имплантации позитронов, испускаемых изотопом ^{44}Tl в сталь, составляет около 150 мкм.

Для объемного анализа использовались спектроскопия на основе модуля спектрометрии времени жизни позитронной аннигиляции (СВЖП) [1, 2]. Временное разрешение модуля СВЖП составляло 230 ± 6 пс, скорость счета 105 ± 30 событий/с. В качестве источника позитронов использовался радиоактивный изотоп ^{44}Tl с активностью 1,38 МБк и максимальной энергией 1,47 МэВ. Для каждого образца было собрано два спектра СВЖП, со статистикой 3×10^6 событий. Спектры СВЖП были проанализированы с помощью «модели четырехсоставной ловушки» с использованием программного обеспечения LT10 (версия 10.2.2.2) [3, 4]. В этой модели спектр анализируется с помощью четырех временных компонент τ_A, τ_B, τ_C и τ_F ; интенсивностей I_A, I_B и I_C ; скоростей захвата k_A, k_B и k_C ; и среднего времени жизни позитрона τ_{avg} . Первые три компоненты соответствуют аннигиляции позитрона в состояниях А, В и С, а τ_F соответствует времени жизни делокализованного позитрона в решетке GCr15. Компоненты времени жизни были частично общими для всех образцов. Вклад позитронного источника был определен с помощью эмпирической функции и составил приблизительно 9%. Временные компоненты аннигиляции позитронов в источнике были равны: $\tau_1 = 142$ пс (48,2%), $\tau_2 = 468 \pm 3$ пс (42,8%) и $\tau_3 = 2800 \pm 27$ пс (9,0%).

Экспериментальные результаты СВЖП для образцов GCr15 в зависимости от скорости резания приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры ПАС образцов GCr15 в зависимости от скорости резания.

Скорость резания,	χ^2	τ_A ,	τ_B ,	τ_F ,	$k_A, \text{нс}^{-1}$	$k_B, \text{нс}^{-1}$	I_A ,	I_B ,	τ_{avg} ,
-------------------	----------	------------	------------	------------	-----------------------	-----------------------	---------	---------	----------------

м/мин		±2 пс	±4 пс	±6 пс			%	%	пс
347	1.16	147	240	106	19.1 ± 0.4	0.04 ± 0.08	86.7	0.2	149
404	1.09				15.4 ± 0.1	0.21 ± 0.03	83.4	1.0	146
462	1.12				21.0 ± 0.2	0.96 ± 0.04	84.0	3.5	159
520	1.17				22.2 ± 0.5	0.61 ± 0.05	84.9	2.3	155

Спектры всех образцов содержат четыре временные компоненты: $\tau_F = 106 \pm 6$ пс, $\tau_A = 147 \pm 1$ пс, $\tau_B = 240 \pm 4$ пс и $\tau_C = 1,75 \pm 0,04$ нс (τ_C связана с аннигиляцией позитронов в держателе образца и не использовалась в дальнейшем анализе; $I_C < 1,2\%$). Временная компонента τ_F со временем жизни 106 ± 6 пс соответствует теоретическим и экспериментальным значениям времени жизни делокализованных позитронов в кристаллической решетке железа. Компонента $\tau_A = 147 \pm 2$ пс очень близка к экспериментальным значениям позитронов, захваченных дефектами, вызванными пластической деформацией. Это могут быть дислокации или связанные с ними дефекты, такие как пробелы, вакансии и комплексы вакансия-пустота для компонентов стали (например, $v\text{-Cr}$ (153 пс), $v\text{-Mn}$ (152 пс), $v\text{-Cu}$ (153 пс) и $v\text{-C}$ (160 пс)). Более того, аналогичные времена жизни позитронов были обнаружены для мартенситной (159 ± 3 пс), бейнитной (164 ± 3 пс), перлитной (151 ± 3 пс) и аустенитной (149 ± 3 пс) структур стали после различных термических обработок. Это означает, что данное время жизни не может быть однозначно отнесено только к одному типу дефектов.

Однозначная идентификация второй временной компоненты, $\tau_B = 240 \pm 4$ пс, также проблематична. Подобная величина характерна для кластеров вакансий (~ 5) в решетке Fe, а также для дефектов, связанных с преципитатами второй фазы (например, граница раздела Fe_3C -цементит-матрица). Сопоставимые значения также найдены для оксидов железа и хрома, образование которых часто связано с естественным окислением (ржавчина) и отжигом на воздухе. Известно, что наличие больших скоплений дефектов связано с механизмом растрескивания и может отрицательно влиять на механические свойства белого слоя.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Государственного фонда естественных наук Китая в рамках научного проекта № 21-58-53039

Список литературы:

1. Kuznetsov P. V. et al. Positron spectroscopy of defects in submicrocrystalline nickel after low-temperature annealing //Physics of the Solid State. – 2015. – Vol. 57. – №. 2. – P. 219-228.
2. Stepanova E. et al. Effect of hydrogen on the structural and phase state and defect structure of titanium alloy //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2016. – Vol. 1772. – №. 1. – P. 030016.
3. Giebel D., Kansy J. A new version of LT program for positron lifetime spectra analysis //Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 2011. – Vol. 666. – P. 138-141.
4. Giebel D., Kansy J. LT10 program for solving basic problems connected with defect detection //Physics Procedia. – 2012. – Vol. 35. – P. 122-127.