

УДК 539.124.6:621.315.592

Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения изменений в стали 40CrNiMoA после высокоскоростной резки

Цзян Цуй¹, Р.С. Лаптев²

Научный руководитель: профессор, д.ф.-т.н. К.П. Арефьев

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: tszyan@mail.ru

Application of positron annihilation spectrometry to study changes in 40CrNiMoA steel after high-speed cutting

Jian Cui¹, R.S. Laptev²

Scientific Supervisor: Prof., Dr. K.P. Arefiev

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: tszyan@mail.ru

Abstract. 40CrNiMoA steel is an important structural steel with high strength, corrosion resistance and good impact strength. It is used in a wide range of industrial applications to produce strong structures and parts capable of operating in harsh environments. The formation of a white layer on the material surface during high speed cutting is one of the problems associated with machining steel products. It has been shown that white layer formation depends on various high-speed cutting parameters including cutting speed, feed and depth of cut. Variations in these parameters affect the thickness and structure of the white layer as well as the properties of the steel being machined [1].

Key words: 40CrNiMoA hardened steel, high-speed cutting, white layer, positron annihilation spectroscopy, atomic-scale defects.

Введение

Сталь 40CrNiMoA – важная конструкционная сталь, обладающая высокой прочностью, коррозионной стойкостью и хорошей ударной вязкостью. Она используется в самых разных областях промышленности для изготовления прочных конструкций и деталей, способных работать в суровых условиях. Образование белого слоя на поверхности материала при высокоскоростном резании является одной из проблем, связанных с обработкой стальных изделий. Было показано, что образование белого слоя зависит от различных параметров высокоскоростного резания, включая скорость резания, подачу и глубину резания. Изменения этих параметров влияют на толщину и структуру белого слоя, а также на свойства обрабатываемой стали [1].

Экспериментальная часть

На токарном станке с ЧПУ MULTUS V400-W были проведены однофакторные испытания при сухом резании, т.е. без использования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). В качестве режущего инструмента использовались вставки из кубического нитрида бора (PCBN). Передний угол инструмента – $\gamma_0 = 5^\circ$, задний угол – $\alpha_0 = 7^\circ$, угол резания и наклона главный режущей кромки – $k_r = 90^\circ$ и $\lambda_s = 0^\circ$, радиус при вершине – $r_c = 0,8$ мм. Испытательный материал – конструкционная сталь 40CrNiMoA, нагреваемая до 850°C , удерживаемая в течение 2 часов, закаленная в 10 % соленой водой, отожжённая при 320°C , затем выдерживаемая в течение 4 часов до твердости HRC60. Размер образца составлял $10 \times 10 \times 2$ мм. Скорость резания изменялась от 335 м/мин до 503 м/мин.

Белый слой изучался с помощью доплеровского уширения аннигиляционной линии с переменной энергией позитронов на установке ОИЯИ в Дубне (Россия) [2, 3]. Использовался моноэнергетический поток позитронов диаметром 5 мм и интенсивностью 10^6 $\text{э}^+/\text{с}$. Диапазон энергий имплантируемых позитронов составлял от 0,1 до 30 кэВ. Проводились измерения доплеровского уширения и регистрировалось аннигиляционное γ -излучение с помощью HPGe-детектора модели GEM25P4-70 (АМТЕК ORTEC, США) с энергетическим разрешением 1,20 кэВ, интерполированного на энергию 511 кэВ. Полученные спектры DBS анализировались путем выделения параметров S и W, определяемых как отношение зоны под центральной или крыльевой частью линии аннигиляции к общей площади под этой линией, соответственно.

Результаты

На рисунке 1 показаны результаты послойного анализа с использованием позитронного пучка переменной энергии для стали 40CrNiMoA после высокоскоростной резки с различными скоростями резания. Максимальная глубина анализа при энергии 30 кэВ с учетом пробега позитронов соответствует толщине $\sim 1,1$ мкм. Характерное увеличение параметра S для низкоэнергетических позитронов, наблюдаемое во всех спектрах, вызвано увеличением числа позитронов, аннигилированных из поверхностного состояния. При энергии выше 18 кэВ все позитроны аннигилируют внутри материала, и лишь незначительное число позитронов может диффундировать и аннигилировать на поверхностных дефектах. Обычно параметр S можно рассматривать как интегральную характеристику, представляющую общий уровень дефектов в открытом объеме, как показано выше, в случае высокоскоростной резки стали на него также влияют фазовые превращения. Фазовые превращения из мартенситной фазы в аустенитную сопровождаются снижением параметра S [4, 5]. Таким образом невозможно отделить вклад от фазовых превращений в стали при высокоскоростном резании, связанных с накоплением деформационных или закалочных дефектов, и далее мы будем рассматривать только их суммарный эффект.

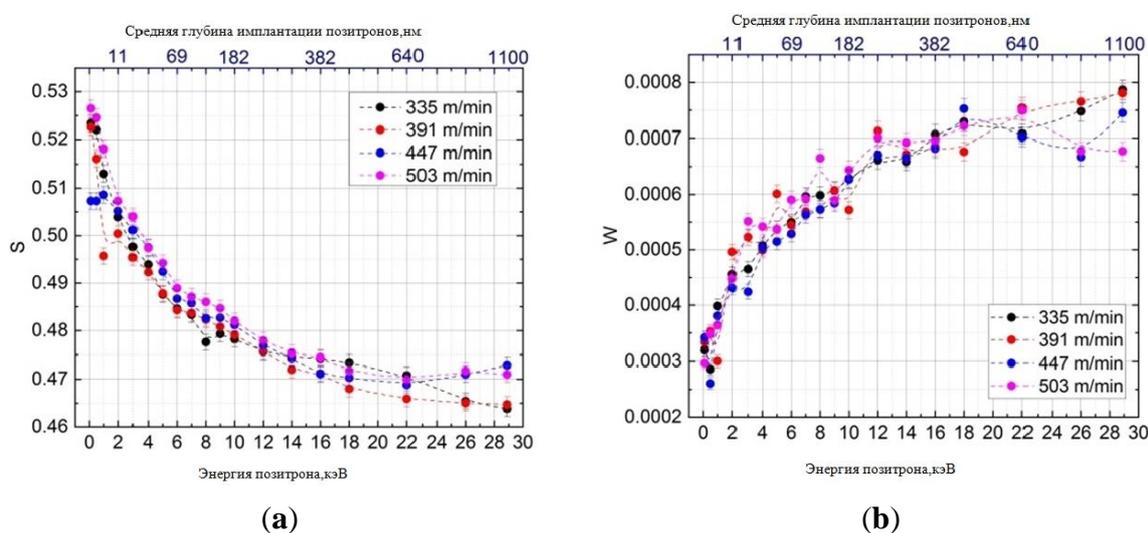


Рис. 1. Глубинный профиль параметров S (a) и W (b) для белого слоя в образцах из стали 40CrNiMoA при различных скоростях резания ($f=0,2$ мм/об, $t=0,20$ мм)

Заключение

Высокие значения параметра S и низкие значения параметра W для позитронов с низкой энергией, наблюдаемые во всех спектрах, указывают на высокую долю позитронов, аннигилировавших с электронами атомов тонкого поверхностного слоя и очевидно наиболее дефектного. Так же видно, что для образцов, разрезанных со скоростями 447 м/мин и 503 м/мин,

наблюдаются более высокие значения параметра S и низкие значения параметра W для позитронов с энергией $\sim (25-30)$ кэВ по сравнению с образцами, разрезанными со скоростями 335 м/мин и 391 м/мин. Это свидетельствует о том, что высокая скорость резки приводит к увеличению плотности дефектов - позитронных ловушек во внутренней части образца.

Список литературы

1. Poulachon G, Albert A, Schluraff M. An experimental investigation of work material microstructure effects on white layer formation in PCBN hard turning // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2005. – V. 45 (2). – P. 211–218.
2. Horodek P. et al. Slow positron beam at the JINR, Dubna // Nukleonika. – 2015. – Vol. 60. – P. 725–728.
3. Horodek P. et al. Development of positron annihilation spectroscopy at LEPTA facility // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2014. – Vol. 11, № 5. – P. 708–712.
4. Rementeria R. et al. Positron annihilation spectroscopy study of carbon-vacancy interaction in low-temperature bainite // Scientific reports. – 2020. – Vol. 10, № 1. – P. 1–6.
5. Horodek P., Dryzek J., Wróbel M. Positron annihilation study of defects induced by various cutting methods in stainless steel grade 304 // Tribology Letters. – 2012. – Vol. 45, № 2. – P. 341–347.