

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОЗИТРОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ ПОСЛЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ РЕЗКИ.

¹Р.С. Лаптев, к.т.н., доц.,

¹А.Д. Ломыгин, аспирант гр. А1-08

²Л. Цзиньцюань, 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

В процессе высокоскоростного резания инструмент и обрабатываемая поверхность мгновенно сталкиваются на высокой скорости, что приводит к резкому повышению температуры частичной зоны. Под действием режущей кромки инструмента поверхностный слой обрабатываемого материала подвергается эффекту твердого термомеханического сцепления, что приводит к появлению деформированного теплового слоя на обрабатываемой поверхности. Этот эффект оказывает значительное влияние на механические свойства заготовки [1].

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.

Для анализа поверхности и приповерхностной области (до $\sim 1,2$ мкм) необходимо использовать позитронный пучок переменной энергии. Белый слой изучался с помощью доплеровского уширения аннигиляционной линии с использованием переменной энергии позитронов в ОИЯИ ДЛНП в Дубне, Россия [2, 3]. Использовался моноэнергетический поток позитронов диаметром 5 мм и интенсивностью 10^6 $e^+/с$. Диапазон энергий имплантированных позитронов составлял от 0,1 до 36 кэВ. Проводились измерения доплеровского уширения, а аннигиляционное γ -излучение регистрировалось HPGe детектором модели GEM25P4-70 (АМТЕК ORTEC, США) с энергетическим разрешением 1,20 кэВ, интерполированным на энергию 511 кэВ. Полученные спектры DBS анализировались путем извлечения параметров S и W, определяемых как зона под центральной или крыльевой частью линии аннигиляции, деленная на общую площадь под этой линией, соответственно.

Результаты послойного анализа с использованием позитронных пучков переменной энергии показаны на рисунке 1. Характерное увеличение параметра S для низкоэнергетических позитронов, наблюдаемое во всех спектрах, вызвано увеличением числа позитронов, аннигилированных из поверхностного состояния. При энергии выше 15 кэВ все позитроны аннигилируют внутри материала, и лишь незначительное число позитронов может диффундировать и аннигилировать на поверхностных дефектах. Из-за сложности отнесения изменений только к одному типу дефектов, эти изменения будут интерпретироваться только в терминах разницы между параметрами резания. Обычно параметр S можно рассматривать как интегральную характеристику, представляющую общий уровень дефектов в открытом объеме, но, как показано выше, в случае резки быстрорежущей стали на него также влияют фазовые превращения. Фазовые превращения из мартенситной фазы в аустенитную сопровождаются снижением параметра S [4, 5]. Обратное мартенситное превращение приводит к увеличению параметра S. 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.

Образцы стали GCr15, разрезанные при минимальной скорости резания (347 м/мин), характеризуются минимальным параметром S и максимальным W до глубины 1,2 мкм. Увеличение скорости резания на 16,5% приводит к росту параметра S , сопровождающемуся снижением W на глубине от 25 до 900 нм. Увеличение скорости резания до 462 м/мин приводит к дальнейшему увеличению параметра S , причем наиболее заметные различия наблюдаются на глубине до 30 нм. При самой высокой скорости резания 520 м/мин наблюдается снижение параметра S по сравнению со скоростью 462 м/мин, но только на глубинах до 50 нм. При большей глубине заметных изменений не наблюдается. Полученные результаты согласуются с данными, представленными в [6], которые показывают, что с увеличением скорости резания содержание сохранившегося аустенита сначала увеличивается, а затем уменьшается.

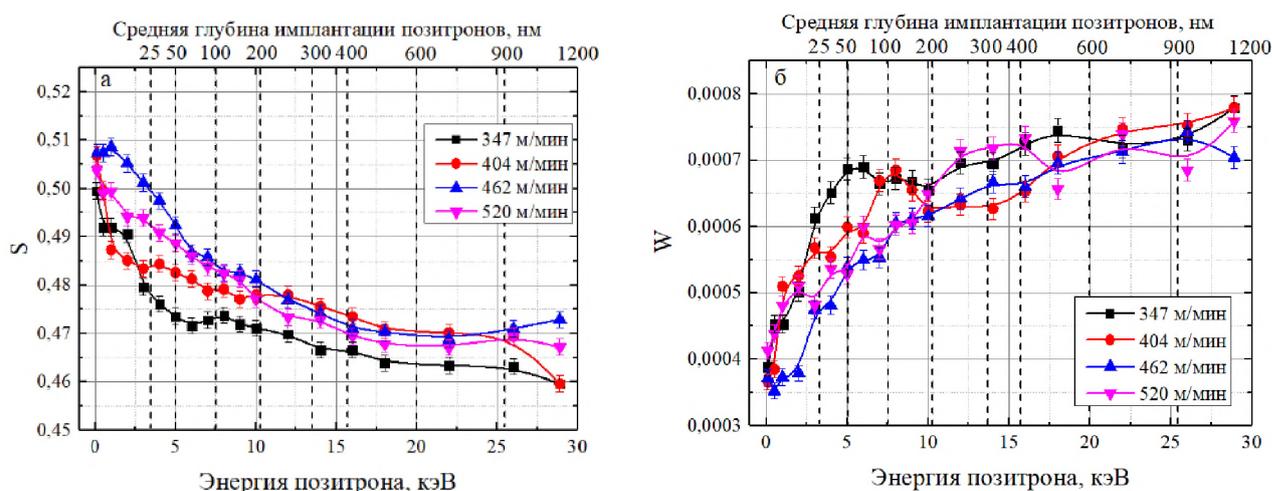


Рис. 1. Профиль глубины DBS-VEP параметров S (а) и W (б) для белого слоя в образцах из стали GCr15 при различных скоростях резания.

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

Список литературы:

1. Poulachon G. et al. An experimental investigation of work material microstructure effects on white layer formation in PCBN hard turning //International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2005. – Vol. 45. – №. 2. – P. 211-218.
2. Horodek P. et al. Slow positron beam at the JINR, Dubna //Nukleonika. – 2015. – Vol. 60.
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.
6. Fang-yuan Z. et al. Influence of cutting condition on white layer induced by high speed machining of hardened steel //The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2018. – Vol. 98. – №. 1. – P. 77-84.