

УДК 621.91.01

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-8-303-32-34

*А. А. Севастьянов***СИЛОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ
С РАЗЛИЧНЫМ РАЗМЕРОМ ЗЕРНА****Тольяттинский государственный университет**

E-mail: alex-119977@yandex.ru

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований фрезерования низколегированной стали с различным размером зерна.

Ключевые слова: диагностика процесса резания; ультрамелкозернистая структура; вибрации; концевое фрезерование; низколегированная сталь

*A. A. Sevastyanov***FORCE FEATURES OF MILLING OF LOW-ALLOY STEEL
WITH DIFFERENT GRAIN SIZE****Togliatty State University**

The article presents the results of experimental studies on the milling of low-alloy steel with different grain size.

Keywords: cutting process diagnostics; ultrafine-grained structure; vibrations; end milling; low-alloy steel

Одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является исследование свойств объемных наноструктурированных металлических материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой [1, 2]. Однако, несмотря на нарастающий интерес к таким материалам со стороны исследователей и инженеров, имеется недостаток данных об

обрабатываемости резанием материалов с УМЗ структурой.

Для получения новых данных проведен эксперимент по концевому фрезерованию заготовок с различным размером зерна. В качестве исследуемого материала была выбрана малоуглеродистая низколегированная сталь 09Г2С ГОСТ 19281–2014 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав стали 09Г2С (в % по массе)

Сталь	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	Cu	Fe
09Г2С	0,09	0,64	1,26	0,007	<0,003	0,1	0,08	0,02	0,14	Ост.

Исследовали два образца размерами 40×15×10 мм, каждый в одном из двух состояний: состоянии поставки с крупнозернистой (КЗ) структурой и после равноканального углового прессования (РКУП) по схеме «Конформ» (РКУП-К) с УМЗ структурой.

Технология РКУП-К включала в себя: гомогенизирующий отжиг стали при 820 °С с после-

дующей закалкой в воде + отпуск при 350 °С + холодное РКУП-конформ, 4 прохода по маршруту Вс + дополнительный отжиг при 350 °С с выдержкой 10 мин. Более подробно технология получения и свойства УМЗ стали приведены в [3, 4].

Механические свойства стали 09Г2С до и после РКУП-К приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Средний размер зерна (d_{cp}) и механические свойства стали 09Г2С
в различном состоянии**

Состояние стали	d_{cp} , мкм	НВ	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Исходное (КЗ состояние)	20	143	485±3,0	354±11	25±1,8
После РКУП-К (УМЗ состояние)	0,45	331	838±12	655±44	10±1,5

Эксперимент проведен на универсально-фрезерном станке PROMA FHV-50PD. Обработку заготовок проводили твердосплавной фрезой 12-12D-30C-75L-4F HRC55. В ходе обработки охлаждение не использовалось. Смещения фрезы регистрировались проксиметром

Bently Nevada. Датчик установлен напротив фрезы в направлении подачи заготовки. Измерялись статическое смещение фрезы Δ и размах колебаний r при резании (рис. 1). Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

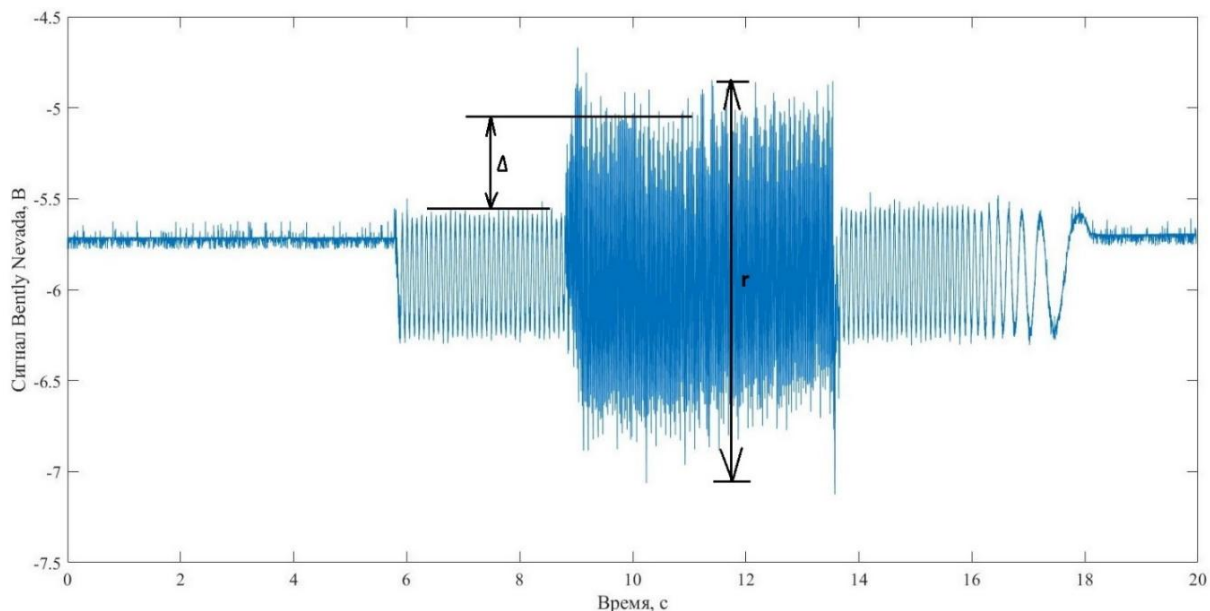


Рис. 1. Сигнал Bently Nevada (образец № 7)

Таблица 3

Результаты эксперимента

№	Материал заготовки	n, об/мин	s, мм/мин	t, мм	Δ , мкм	r, мкм
1	09Г2С КЗ	720	65	0,6	21	99
2	09Г2С КЗ	875	65	0,8	7	94
3	09Г2С КЗ	720	65	1,0	17	112
4	09Г2С КЗ	720	100	0,6	28	107
5	09Г2С КЗ	875	100	1,0	32	122
6	09Г2С КЗ	720	470	0,6	70	208
7	09Г2С КЗ	720	470	1,0	70	269
8	09Г2С КЗ	875	470	0,8	44	189
9	09Г2С КЗ	875	185	0,6	34	116
10	09Г2С КЗ	720	65	0,8	30	107
11	09Г2С УМЗ	720	65	0,6	23	76
12	09Г2С УМЗ	875	65	0,8	45	82
13	09Г2С УМЗ	720	65	1,0	46	81
14	09Г2С УМЗ	720	100	0,6	49	86
15	09Г2С УМЗ	875	100	0,8	56	72
16	09Г2С УМЗ	875	100	1,0	43	97
17	09Г2С УМЗ	720	185	0,6	76	80
18	09Г2С УМЗ	875	185	0,8	69	112
19	09Г2С УМЗ	875	185	1,0	80	113

Полученные данные можно использовать для обучения статистической модели распозна-

вать по сигналу с проксиметра тип обрабатываемого материала (рис. 2).

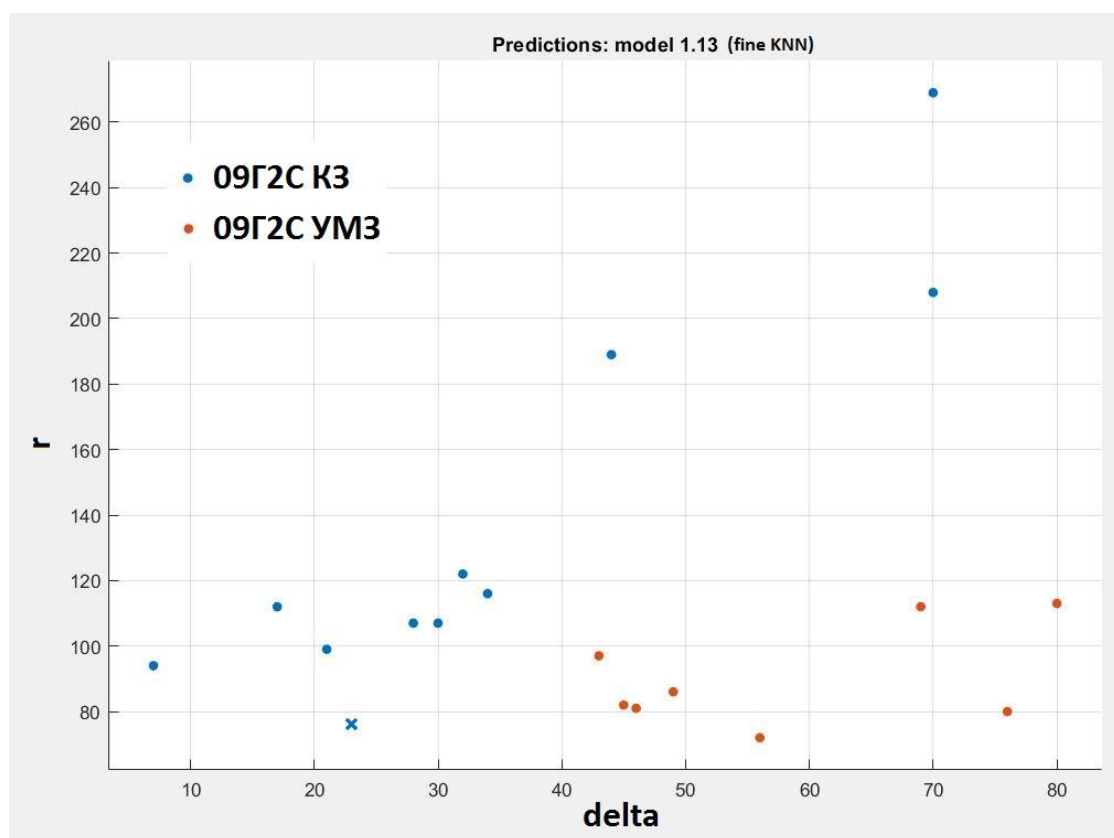


Рис. 2. Результат обучения модели

Так, на рис. 2 приведены результаты обучения модели fine KNN классификации данных. Обучение проводилось в программе Classification Learner MATLAB. Как видно из рис. 2, модель ошибается только в одном случае из 19, что дает точность обучения в 94,7 %.

Таким образом, для обработки стали 09Г2С в крупнозернистом состоянии характерны высокие значения динамической составляющей силы резания, в то время как для той же стали в ультрамелкозернистом состоянии характерны высокие значения статической составляющей. Данная закономерность может быть полезна для диагностики процесса резания низколегированной стали с различным размером зерна, а также для оптимизации режимов обработки. Для решения данных задач можно также использовать данные о температурах резания стали с различным размером зерна, которые ранее были получены автором [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Elias C.N., Meyers M.A., Valiev R.Z., Monteiro S.N. Ultra fine grained titanium for biomedical applications: an overview of performance. // J Materials Res Technol. 2013. Vol. 2, № 4. P. 340–350. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.07.003>
2. Latysh V., Krallics G., Alexandrov I., Fodor A. Application of bulk nanostructured materials in medicine. // Curr Appl Phys. 2006. Vol. 6, № 2. P. 262–266. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2005.07.053>
3. Merson E.D., Myagkikh P.N., Klevtsov G.V., Merson D.L., Vinogradov A. Effect of fracture mode on acoustic emission behavior in the hydrogen embrittled low-alloy steel // Engineering Fracture Mechanics. 2019. V. 210. P. 342–357. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2018.05.026>
4. Valiev R.Z., Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Bulk Nanostructured Materials: Fundamentals and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 440 p. DOI:10.1002/9781118742679
5. Распоргуев, Д. А. Исследование температуры концевое фрезерования низколегированной стали в крупнозернистом и ультрамелкозернистом состояниях / Д. А. Распоргуев, А. А. Севастьянов, Г. В. Клевцов // Frontier Materials & Technologies. – 2024. – № 1. – С. 61–69.