

DOI: 10.15593/2224-9877/2018.1.03

УДК 539.43; 620.191.3

**О.Ю. Александрова, А.А. Ширяев, А.В. Снегирева,
В.Н. Трофимов, В.В. Карманов**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ 38ХНЗМФА НА ВЕЛИЧИНУ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Технологические остаточные макронапряжения, возникающие в процессе изготовления ответственных и дорогостоящих изделий машиностроения методами резания или обработки металлов давлением, определяют их качество, ресурс и надежность в процессе эксплуатации. Для ряда изделий уровень остаточных макронапряжений регламентируется в конструкторской документации, что требует разработки технологий управления их уровнем с применением неразрушающих методов. Актуальным является контроль уровня остаточных макронапряжений методами неразрушающего контроля в поверхностных слоях изделий.

Описаны результаты исследования влияния режимов обработки на уровень остаточного макронапряжения с применением метода рентгеновской дифрактометрии при использовании роботизированного комплекса Xstress 3000. Цель работы – исследование влияния режимов механической обработки стали 38ХНЗМФА на величину остаточных макронапряжений.

Применялся метод рентгеновской дифрактометрии, позволяющий определять остаточные напряжения в поверхностном слое изделий из любых поликристаллических материалов. Использовался рентгеновский дифрактометр Xstress 3000.

Экспериментально получены зависимости изменения величины остаточных макронапряжений для стали 38ХНЗМФА при различных режимах резания. Установлена зависимость уровня остаточных макронапряжений от параметров режимов резания – подачи и скорости резания. Показано, что в выбранном диапазоне параметров режимов резания минимальный уровень остаточных макронапряжений наблюдается при использовании режима резания с минимальной скоростью и подачей. Полученные данные могут послужить основой для создания базы данных технолога и позволят управлять уровнем остаточных макронапряжений с целью назначения режимов механической обработки при проектировании технологических процессов, что даст возможность повысить качество продукции, ресурс техники и надежность.

Ключевые слова: остаточные напряжения, неразрушающий контроль, рентгеновская дифрактометрия, напряженно-деформированное состояние, легированная сталь, механическая обработка, прочность, надежность, износостойкость, усталостная прочность.

**O.Yu. Aleksandrova, A.A. Shiryayev, A.V. Snegireva,
V.N. Trofimov, V.V. Karmanov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

INFLUENCE OF THE MODES OF MECHANICAL PROCESSING OF STEEL 38KHN3MFA ON THE VALUE OF RESIDUAL MACROSTRESSES

Technological residual macro-stresses that arise in the process of manufacturing responsible and expensive engineering products by methods of cutting or processing metals by pressure determine their quality, resource and reliability during operation. For a number of products, the level of residual macrostress is regulated in the design documentation, which requires the development of technologies for controlling their level using non-destructive methods. The control of the level of residual macro-stresses by methods of nondestructive testing in the surface layers of products is actual. The article describes the results of studying the effect of processing regimes on the level of residual macrostress using the X-ray diffractometry method using the robotic complex XStress 3000 robotic complex. Objective: to study the effect of machining regimes of 38KhN3MFA steel on residual macrostresses. The methods used: X-ray diffractometry was used, which allow to determine the residual stresses in the surface layer of products from any polycrystalline materials. Used equipment: X-ray diffractometer 3000. Novelty: the dependence of change in residual macro-stresses for 38KhN3MFA steel under various cutting regimes has been experimentally obtained. The dependence of the level of residual macro-stresses on the parameters of the cutting-feeding and cutting rates has been established. It is shown that, in the selected range of parameters of cutting conditions, the minimum level of residual macrostress is observed when using the cutting mode with minimum speed and feed. The obtained data can serve as a basis for creating a database of a technologist and will allow to control the level of residual macrostresses with the purpose of design-

nating machining regimes in the design of technological processes, which will enable to improve the quality of products, increase the resource of equipment and reliability.

Keywords: residual stresses, non-destructive testing, X-ray diffractometry, stress-strain state, alloy steel, machining, strength, reliability, durability, fatigue strength.

Введение

В связи с появлением новых материалов и технологий их обработки в различных отраслях машиностроения, в частности атомного машиностроения, горнодобывающей промышленности, производстве транспортных газо- и нефтепроводов, увеличивается количество критериев, по которым оценивается прочность и надежность производимой продукции.

При проектировании и изготовлении изделий ответственного назначения одним из регламентируемых параметров, которые указываются в конструкторско-технологической документации, является уровень остаточных напряжений 1-го рода по классификации Н.Н. Давиденкова (OH_1) [1, 2].

Опыт эксплуатации различных конструкций и результаты многочисленных экспериментов доказывают, что OH_1 существенно влияют на надежность и долговечность техники [3, 4], а также на эксплуатационные характеристики деталей – износостойкость, усталостную прочность и т.д. [5–8].

Для определения OH_1 широко применяется метод рентгеновской дифрактометрии (РД). Он достаточно прост и удобен, не нарушает целостности элемента конструкции, сочетается с другими методами и позволяет определить величину OH_1 с точностью, достаточной для решения технологических, конструкторских и научных задач [9, 10].

Теория, материалы и методы исследования

Определение величины OH_1 проводилось методом РД с использованием роботизированного комплекса Xstress 3000.

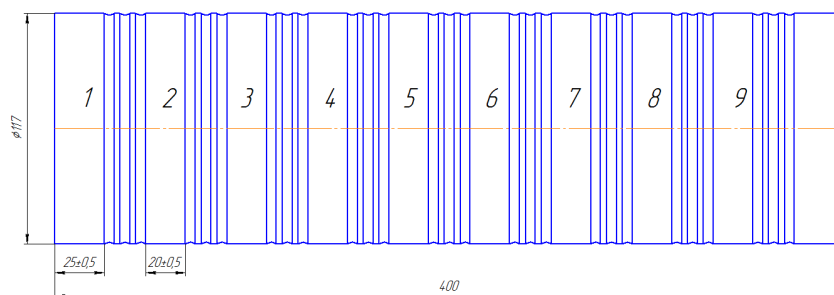
Метод РД является универсальным и может использоваться для определения уровня OH_1 в поверхностных слоях изделий из любых поликристаллических металлов и сплавов. Необходимо отметить недостаток данного метода – большие временные затраты, что делает целесообразным его использование при выборочном контроле деталей.

Для исследования влияния режимов механической обработки на уровень OH_1 использовались образцы цилиндрической формы $\varnothing 117 \times 8,5$ мм из стали 38ХНЗМФА¹, на поверхности которых выполнены девять групп кольцевых канавок (рис. 1), по три канавки для каждого сочетания параметров режимов резания. Химический состав стали приведен ниже. Используемые в работе режимы резания – в таблице. Материал резца – быстрорежущая сталь Р18.

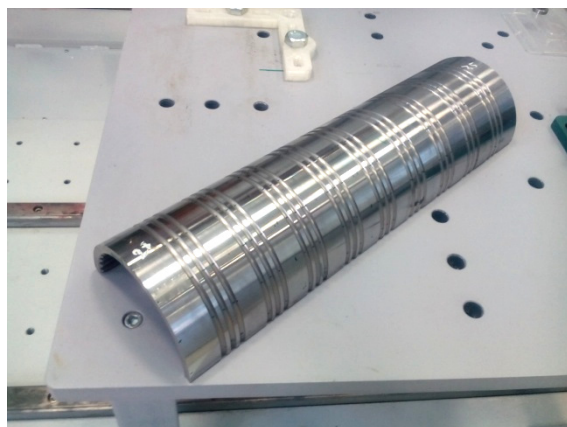
Результаты измерения подвергались статистической обработке. Ниже на рис. 2–4 приведены средние величины OH_1 .

Для измерения OH_1 цилиндрический образец разрезался на две части вдоль продольной оси, для повышения удобства измерения уровня OH_1 на внешней поверхности и обеспечения возможности измерения на внутренней части образца. В данной работе измерения проводились на наружной поверхности образца. Определение уровня OH_1 производилось в семи точках для каждой канавки (рис. 5, 6).

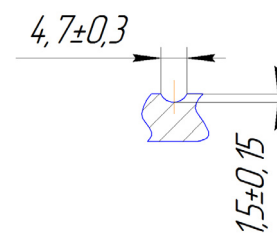
¹ ГОСТ 4543–71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия.



а



б



в

Рис. 1. Образец из стали 38ХНЗМФА: а – эскиз образца; б – общий вид; в – сечение канавки

Режимы резания

Номер режима	Подача S , мм/об	Скорость V , м/мин
1 (27)	0,035	5,87
2 (28)		9,18
3 (29)		11,56
4 (30)	0,042	5,87
5 (31)		9,18
6 (32)		11,56
7 (33)	0,055	5,87
8 (34)		9,18
9 (35)		11,56

Химический состав стали марки 38ХНЗМФА, мас. %

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Fe	S	P
0,33	0,36	0,5	3,5	1,5	0,35	0,1	0,3	93	0,025	0,025

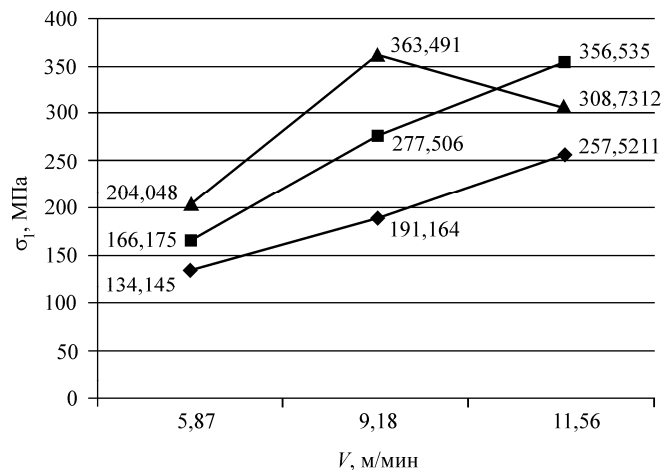


Рис. 2. Зависимость σ_1 от скорости резания V : \blacklozenge 1–3 ($S = 0,035$ мм/об); \blacksquare 4–6 ($S = 0,042$ мм/об); \blacktriangle 7–9 ($S = 0,055$ мм/об)

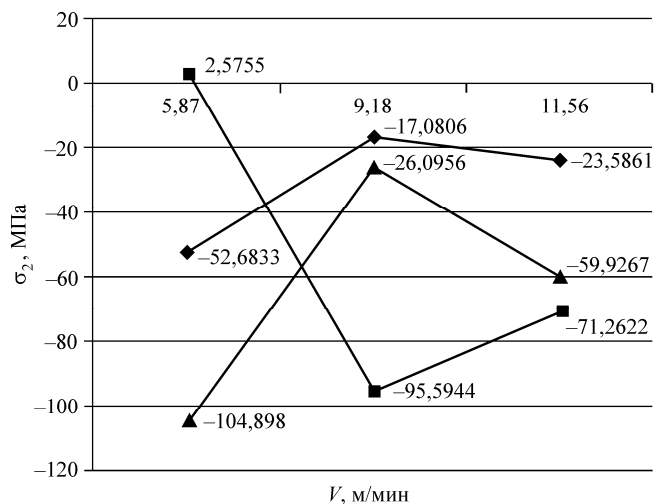


Рис. 3. Зависимость σ_2 от скорости резания V : обозначения см. рис. 2

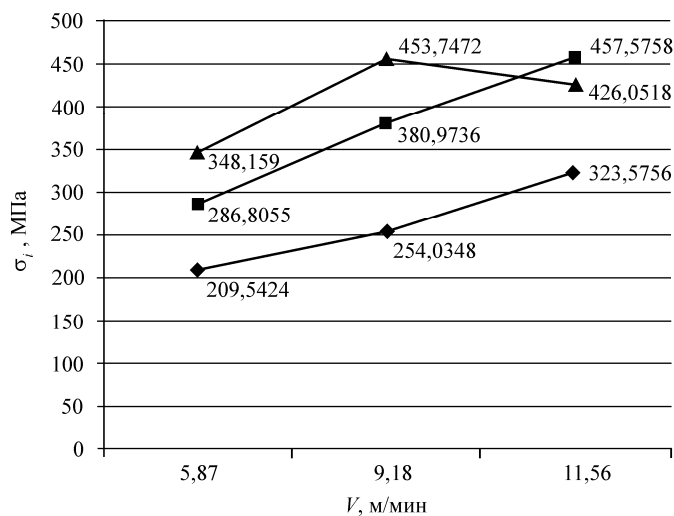


Рис. 4. Зависимость σ_i от скорости резания V : обозначения см. рис. 2

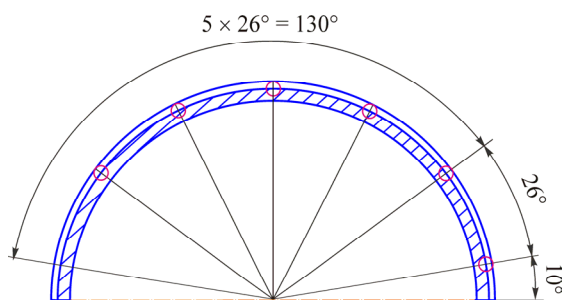


Рис. 5. Расположение точек измерения σ_1

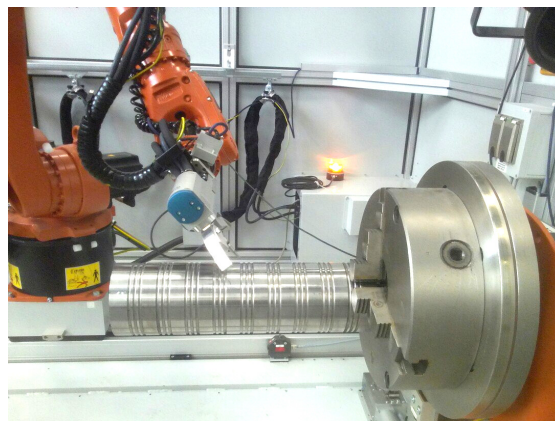


Рис. 6. Процесс измерения σ_1 в канавках образца

Результаты исследования и их обсуждение

В работе измерялись величины главных σ_1 – σ_1 и σ_2 . По результатам измерений σ_1 и σ_2 определялась интенсивность σ_1 – σ_i .

Рассмотрим влияние режимов резания на величину σ_1 . Результаты изменения σ_1 в зависимости от скорости резания V приведены на рис. 2. На графике видно, что с увеличением скорости резания величина σ_1 возрастает. Однако с увеличением подачи до 0,055 мм/об наблюдается снижение уровня σ_1 .

Влияние скорости резания V на величину σ_2 приведено на рис. 3. Зависимость величины σ_2 от увеличения скорости резания неоднозначна. При малых подачах ($S = 0,035$ мм/об) величина σ_2 с увеличением скорости резания возрастает, а затем уменьшается. Аналогичная зависимость наблюдается при максимальной подаче ($S = 0,055$ мм/об) – уменьшение величины σ_2 более интенсивно. При средних значениях подачи тенденция измерения величины σ_2 противоположна (см. рис. 3).

На рис. 4 приведены результаты расчета интенсивности остаточных напряжений σ_i в зависимости от скорости резания V . Зависимость изменения σ_i от скорости резания аналогична зависимости для σ_1 .

Заключение

Результаты измерения σ_1 в выбранном диапазоне режимов резания показывают, что σ_1 могут существенно изменяться по модулю и по знаку:

- с увеличением скорости резания и подачи величина σ_1 увеличивается в 2 раза;
- минимальный уровень σ_1 и σ_i наблюдается при минимальной подаче и скорости резания;
- напряжения σ_2 являются сжимающими для всех выбранных режимов резания;
- уменьшение скорости резания и подачи способствует уменьшению уровня σ_1 ;
- с учетом того, что величина σ_1 имеет положительное значение (растягивающие напряжения), а σ_2 мало влияет на характер изменения σ_i , в качестве критерия, характеризующего уровень σ_1 , можно использовать величину σ_1 .

Результаты работы показывают, что, изменяя режимы резания, можно получать требуемый уровень σ_1 .

Список литературы

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машиностроение, 1963. – 230 с.
2. Кравченко Б.А. Теория формирования поверхностного слоя деталей машин при механической обработке: учеб. пособие / Караганд. гос. техн. ун-т. – Куйбышев, 1981. – 90 с.
3. Буркин С.П., Шимов Г.В., Андрюкова Е.А. Остаточные напряжения в металлопродукции. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 248 с.
4. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. – М.: Metallurgia, 1989. – 254 с.
5. Capello E. Residual stresses in turning. Part I. Influence of process parameters // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2005. – № 160(2). – P. 221–228.
6. Generation mechanism of insert residual stress while cutting 508III steel / Y. Cheng, M. Xu, R. Guan, L. Liu [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2017. – № 91. – P. 247–255. DOI: 10.1007/s00170-016-9724-8
7. Experimental investigation of residual stress distribution in pre-stress cutting / Q. Meng-yang, Y. Bang-yan, J. Xiong [et al.] // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2013. – № 65. – P. 355–361. DOI: 10.1007/s00170-012-4174-4
8. Qi Z., Li B., Xiong L. The formation mechanism and the influence factor of residual stress in machining // *Frontiers of Mechanical Engineering*. – 2014. – № 9. – P. 265–269. DOI: 10.1007/s11465-014-0311-0
9. Влияние режимов механической обработки стали 09Г2С на формирование остаточных напряжений / В.Н. Трофимов, В.В. Карманов, Ю.В. Панин, А.В. Бачева // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. – 2015. – № 2(43). – С. 48–53.
10. Residual Stress Distribution on Surface-treated Ti-6Al-4V by X-ray Diffraction / S.A. Martinez, S. Sathish, M.P. Blodgett [et al.] // *Experimental Mechanics*. – 2003. – № 43. – P. 141–147. DOI: 10.1007/BF02410495

References

1. Birger I.A. Ostatochnye napriazheniia [Residual tension]. Moscow: Mashinostroenie, 1963, 230 p.
2. Kravchenko B.A. Teoriia formirovaniia poverkhnostnogo sloia detalei mashin pri mekhanicheskoi obrabotke: uchebnoe. posobie [The theory of formation of a blanket of details of cars when machining: educational. grant]. Karagandinskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet. Kuibyshev, 1981, 90 p.
3. Burkin S.P., Shimov G.V., Andriukova E.A. Ostatochnye napriazheniia v metalloproduktii [Residual tension in steel products]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2015, 248 p.
4. Vishniakov Ia.D., Piskarev V.D. Upravlenie ostatochnymi napriazheniiami v metallakh i splavakh [Management of residual tension in metals and alloys]. Moscow: Metallurgiiia, 1989, 254 p.
5. Capello E. Residual stresses in turning. Part I. Influence of process parameters. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005, no. 160(2), pp. 221–228.
6. Cheng Y., Xu M., Guan R., Liu L. et al. Generation mechanism of insert residual stress while cutting 508III steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017, no. 91, pp. 247–255. DOI: 10.1007/s00170-016-9724-8
7. Meng-yang Q., Bang-yan Y., Xiong J. et al. Experimental investigation of residual stress distribution in pre-stress cutting. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2013, no. 65, pp. 355–361. DOI: 10.1007/s00170-012-4174-4
8. Qi Z., Li B., Xiong L. The formation mechanism and the influence factor of residual stress in machining. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 2014, no. 9, pp. 265–269. DOI: 10.1007/s11465-014-0311-0
9. Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Iu.V., Bacheva A.V. Vliianie rezhimov mekhanicheskoi obrabotki stali 09G2S na formirovanie ostatochnykh napriazhenii [Influence of the modes of machining of steel 09G2S on formation of residual tension]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov*, 2015, no. 2(43), pp. 48–53.
10. Martinez S.A., Sathish S., Blodgett M.P. et al. Residual Stress Distribution on Surface-treated Ti-6Al-4V by X-ray Diffraction. *Experimental Mechanics*, 2003, no. 43, pp. 141–147. DOI: 10.1007/BF02410495

Получено 23.11.2017

Об авторах

Александрова Ольга Юрьевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры инновационных технологий машиностроения Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: park.olga@list.ru.

Ширяев Алексей Александрович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры динамики и прочности машин Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: alex_sh_23-1@mail.ru.

Снегирева Анна Вячеславовна (Пермь, Россия) – младший научный сотрудник кафедры инновационных технологий машиностроения Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: avs.pnrpu@gmail.com.

Трофимов Виктор Николаевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры динамики и прочности машин Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: tvn_perm@mail.ru.

Карманов Вадим Владимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры инновационных технологий машиностроения Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: karmanovs@yandex.ru.

About the authors

Olga Yu. Aleksandrova (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Innovative Technology of Mechine Building, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: park.olga@list.ru.

Alexey A. Shiryaev (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Dynamics and Strength of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: alex_sh_23-1@mail.ru.

Anna V. Snegireva (Perm, Russian Federation) – Junior Researcher, Department of Innovative Technology of Mechine Building, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: avs.pnrpu@gmail.com.

Viktor N. Trofimov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Dynamics and Strength of Machines, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: tvn_perm@mail.ru.

Vadim V. Karmanov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Innovative Technology of Mechine Building, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: karmanovs@yandex.ru.