

Применение метода Н.Н. Давиденкова для оценки окружных остаточных напряжений в обработанных дорнованием полых цилиндрах

В.Ф. Скворцов¹, А.Ю. Арляпов^а, А.О. Бознак^б, И.И. Оголь^с

Томский политехнический университет, пр. Ленина 30, Томск, Россия

^аarlyapov@tpu.ru, ^бaleksey@tpu.ru, ^сiiio@tpu.ru

Статья поступила 23.09.2016, принята 24.10.2016

Дорнование отверстий в деталях типа полых цилиндров является одним из распространенных методов их отделочно-упрочняющей обработки. Обработка дорнованием сопровождается формированием остаточных напряжений во всем объеме полого цилиндра, наибольшими из которых являются окружные остаточные напряжения. Так как окружные остаточные напряжения оказывают влияние на важнейшие эксплуатационные характеристики детали, определение их характера и величины является одной из важных технологических задач. Большинство применяемых для этого методов относятся к механическим, из которых наибольшее практическое применение получили методы Г. Закса и Н.Н. Давиденкова. В литературе отмечается, что оба они весьма трудоемки, однако метод Н.Н. Давиденкова позволяет ограничиться разрезкой цилиндра вдоль образующей, что существенно снижает трудоемкость. Определенная таким образом величина окружных остаточных напряжений является приближенной, однако данных о точности этого метода недостаточно. В работе представлены результаты экспериментального исследования методами Г. Закса и Н.Н. Давиденкова окружных остаточных напряжений, сформированных в полых цилиндрах из стали 50 при их обработке дорнованием. Показано, что формы эпюр окружных остаточных напряжений, полученные указанными методами, в зависимости от возникающей окружной остаточной деформации на наружной поверхности цилиндра, могут как отличаться (при упругой деформации), так и совпадать (при упругопластической деформации). Установлено, что абсолютная величина этих напряжений, полученная в области, прилегающей к отверстию, при использовании указанных методов отличается в среднем на 15 % (не более чем на 50 МПа), а в области, прилегающей к наружной поверхности — в среднем на 20 % (не более чем на 40 МПа).

Ключевые слова: дорнование; остаточные напряжения; механические методы; метод Закса; метод Давиденкова.

Davidenkov method for investigation of hoop residual stresses in cold expanded hollow cylinders

V.F. Skvortsov, A.Yu. Arlyapov^a, A.O. Boznak^b, I.I. Ogol'f^c

Tomsk Polytechnic University; 30 Prospect Lenina, Tomsk, Russia

^aarlyapov@tpu.ru, ^baleksey@tpu.ru, ^ciiio@tpu.ru

Received 23.09.2016, accepted 24.10.2016

Cold expansion of holes in hollow cylinders is one of the most common methods of finishing and hardening processing. Cold expansion is accompanied by the raise of residual stresses in the bulk of the cylinder, the largest of which are hoop residual stresses. Since hoop residual stresses affect critical performance characteristics, assessment of their nature and magnitude is one of the most significant technological tasks. Most of the methods used belong to mechanical ones, with methods of H. Sachs and N.N. Davidenkov being the most widespread. The authors note that both methods are very time consuming. However, application of Davidenkov method can be narrowed to cutting a cylinder along the axis. It significantly simplifies the technique. This method helps to approximately define magnitude of hoop residual stresses but accuracy of the method is obscure. The paper presents the results of experimental studies of hoop residual stresses by using Sachs and Davidenkov methods generated in hollow cylinders made of carbon steel AISI 1050 after cold expansion. It is shown that the shape of curves of hoop residual stresses, calculated by the mentioned methods, depending on the hoop residual strain, generated on the outer surface of the cylinder, can differ (strain is elastic) or coincide (strain is elastic-plastic). It was established that the absolute values of the stresses, defined by the mentioned methods in the area adjacent to the hole, differ by an average of 15 % (not greater than by 50 MPa), and in the area adjacent to the outer surface differ by an average of 20 % (not greater than by 40 MPa).

Key words: cold expansion; residual stresses; mechanical techniques; Sachs method; Davidenkov method.

Введение

Дорнование — это один из наиболее эффективных методов отделочно-упрочняющей обработки отверстий в деталях типа полых цилиндров [1–6]. Однако при

отношении наружного диаметра цилиндра к диаметру отверстия $D/d \geq 3$ обработка дорнованием сопровождается формированием во всем его объеме значительных остаточных напряжений [1; 2; 7]. При этом наибольш-

шими по абсолютной величине являются окружные остаточные напряжения, определяющие важнейшие эксплуатационные свойства детали, такие, как усталостная прочность [8–10], износостойкость [3; 7], размерная стабильность [11; 12] и т. д. В связи с этим определение величины окружных остаточных напряжений, возникающих в цилиндре, обработанном дорнованием, составляет важную технологическую задачу.

Анализ литературы [13–17] показал, что большинство существующих методов определения остаточных напряжений в цилиндрах относится к механическим методам (применение которых почти всегда сопровождается разрушением изделия), из которых наибольшее практическое применение получили методы Г. Закса [18] и Н.Н. Давиденкова [19]. Метод Г. Закса заключается в послойном растачивании или обтачивании цилиндра с измерением окружной и осевой деформации на внешнем или внутреннем радиусе соответственно [14] и позволяет определить одновременно окружные, радиальные и осевые остаточные напряжения. При этом отмечается [13], что данный метод является весьма трудоемким, длительным, а кроме того, предъявляет высокие требования к измерительной технике из-за малой величины подлежащих учету деформаций. В случаях, когда необходимо определить только окружные остаточные напряжения, для снижения трудоемкости и экономии времени выгодно использовать метод Н.Н. Давиденкова, ограничиваясь при этом разрезкой цилиндра вдоль образующей и измерением возникающего изменения его срединного диаметра, без последующего послойного удаления металла с внутренней поверхности цилиндра [13; 14]. В работе [13] отмечается, что величина окружных остаточных напряжений, определенная таким образом («по разрезке»), является приближенной, так как расчет производится в предположении, что напряжения распределены в стенке цилиндра по гиперболическому закону, как при изгибе кривого бруса. При этом справедливо ожидать, что распределение напряжений могло быть иным, и полученные результаты будут иметь погрешность, однако данных о величине этой погрешности недостаточно.

Цель работы — экспериментально исследовать окружные остаточные напряжения в обработанных дорнованием полых цилиндрах с использованием методов Г. Закса и Н.Н. Давиденкова (ограничиваясь разрезкой цилиндра вдоль образующей) и сопоставить полученные результаты.

Методика исследования. Эксперименты проводили на образцах из стали 50 (НВ 2170...2290 МПа, $\sigma_{0,2} \approx 470$ МПа) с диаметром отверстий $d = 5$ мм. Наружный диаметр образцов D составлял 15 мм ($D/d = 3$) и 25 мм ($D/d = 5$). Длина образцов L была принята равной 10 и 40 мм. Отверстия в них получали сверлением спиральными сверлами на токарном станке, затем их развертывали ручными развертками. Дорнование отверстий выполняли на испытательной машине УМЭ-10ТМ с помощью специального приспособления [6] по схеме сжатия. При этом использовали однозубые дорны из твердого сплава ВК8 с углами рабочего и обратного конусов 6° и шириной соединяющей их цилиндрической ленточки 3 мм. Относительные натяги дорно-

вания a/d составляли 0,9; 3,4 и 7,1 %. В качестве смазочного материала при дорновании применяли жидкость МР-7. Скорость дорнования отверстий составляла 0,008 м/с.

«По разрезке» окружные остаточные напряжения σ_θ определяли по изменению срединного диаметра образца (полого цилиндра) при его разрезке вдоль образующей (рис. 1). Расчет выполняли по формуле [13], которая в принятых нами обозначениях (рис. 2) имеет вид:

$$\sigma_\theta(b) = \frac{1}{1-\mu^2} \cdot \frac{E}{D_C - 2\gamma} \cdot \left(\frac{b - \frac{t}{2} + \gamma}{b - \frac{t}{2} + \frac{D_C}{2}} \right) \cdot \Delta D_C, \quad (1)$$

где E — модуль упругости материала образца, МПа; μ — коэффициент Пуассона материала образца; D_C — диаметр срединной поверхности образца, мм; γ — расстояние от нейтральной оси сечения стенки образца до центра его тяжести, мм; t — толщина стенки образца, мм; b — расстояние от рассматриваемого сечения до внутренней поверхности образца, мм; ΔD_C — приращение диаметра срединной поверхности образца при его разрезке вдоль образующей, мм.

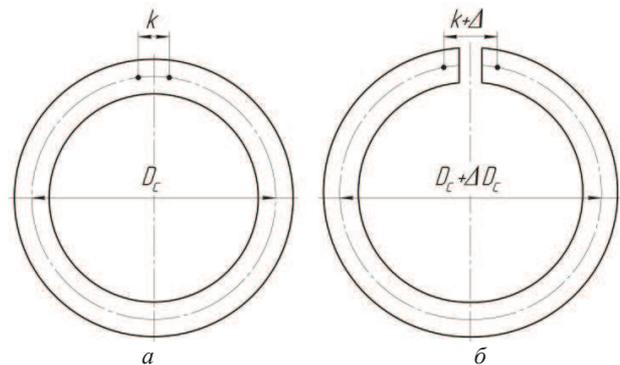


Рис. 1. Изменение срединного диаметра образца при разрезке: а — до разрезки; б — после разрезки

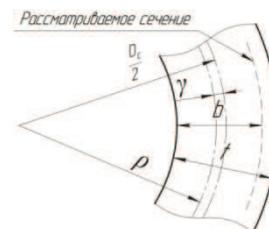


Рис. 2. Координаты рассматриваемого сечения образца

Расстояние γ находили по формуле [13]:

$$\gamma = R_C - \rho = \frac{D_C}{2} - \frac{t}{\ln \frac{D}{D - 2t}}, \quad (2)$$

в которой R_C — радиус срединной поверхности образца, мм; ρ — радиус нейтрального слоя образца, мм; D — наружный диаметр образца, мм (при разрезке считается неизменным). Значение ΔD_C определяли по приращению Δ расстояния k между отпечатками конического индентора на срединной окружности торца об-

разцов, используя соотношение $\Delta D_C = \Delta/\pi$. Указанное расстояние до и после разрезки измеряли на микроскопе УИМ-21 (до разрезки оно составляло около 4 мм). Разрезку образцов выполняли на электроэрозионном проволочно-вырезном станке с ЧПУ DK7725 (КНР). В каждом опыте использовали по три образца.

При определении окружных остаточных напряжений методом Г. Закса использовали формулу И.А. Биргера [14], которая в принятых нами обозначениях имеет вид:

$$\sigma_{\theta}(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[\frac{R^2 - r^2}{2r} \cdot \left(\frac{d\varepsilon_{\theta}}{dr}(r) + \mu \frac{d\varepsilon_z}{dr}(r) \right) - \frac{R^2 + r^2}{2r^2} \cdot (\varepsilon_{\theta}(r) + \mu\varepsilon_z(r)) \right] \quad (3)$$

где R — радиус наружной поверхности образца, мм; r — радиус внутренней поверхности образца (радиус вырезки), мм; $\varepsilon_{\theta}(r)$ — деформация в окружном направ-

лении на внешнем радиусе, возникшая в результате вырезки внутренней поверхности до радиуса r ; $\varepsilon_z(r)$ — деформация в осевом направлении на внешнем радиусе, возникшая в результате вырезки внутренней поверхности до радиуса r . При этом применяли методику экспериментов по определению остаточных напряжений, описанную в [20; 21]. В каждом опыте использовали по три образца.

При проведении расчетов по обоим методам принимали модуль упругости $E = 2 \times 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$. Обработку результатов выполняли в *Microsoft Excel (2013)*.

Результаты и обсуждение. Распределение окружных остаточных напряжений σ_{θ} вдоль радиуса r обработанных дорнованием образцов (эпюры напряжений) показано на рис. 3 ($D = 15$ мм) и рис. 4 ($D = 25$ мм). Видно, что при использовании обоих методов во всех исследованных случаях в области, прилегающей к отверстию, были обнаружены сжимающие напряжения.

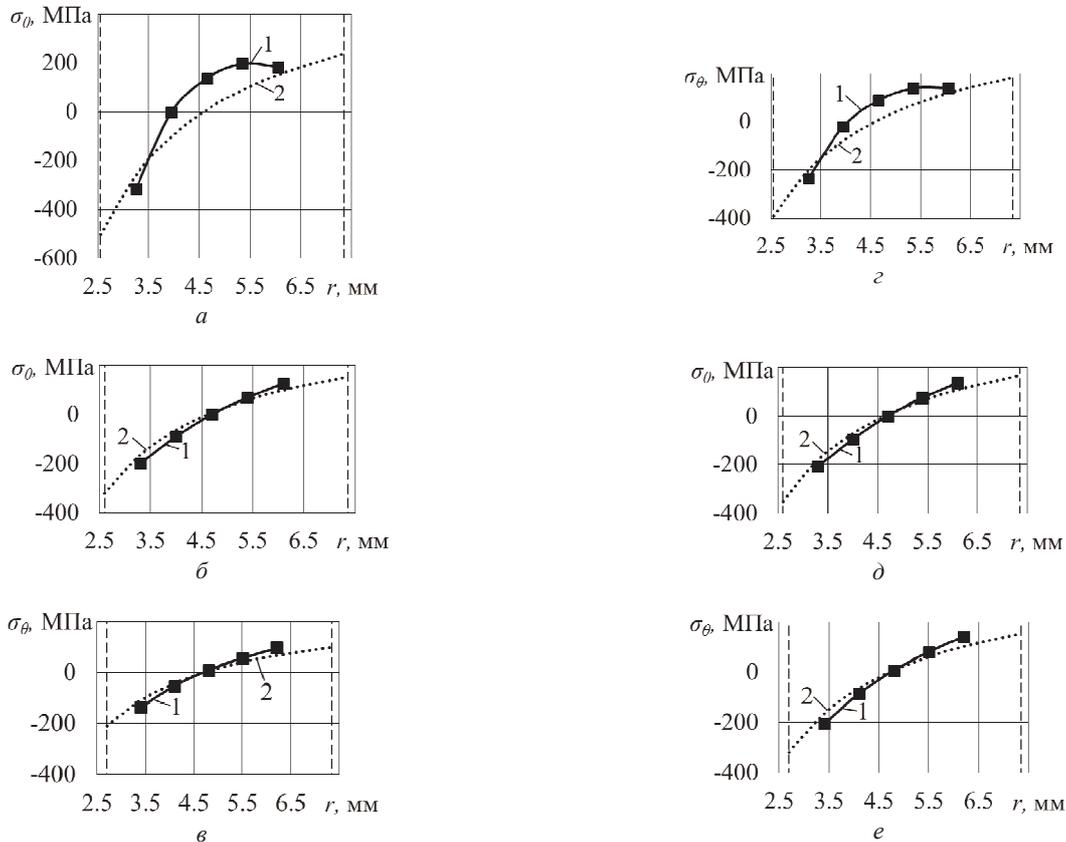


Рис. 3. Эпюры окружных остаточных напряжений, полученные методом Закса (1) и «по разрезке» (2), в обработанных дорнованием образцах с $D = 15$ мм: а — $a/d = 0,9\%$, $L = 40$ мм; б — $a/d = 3,4\%$, $L = 40$ мм; в — $a/d = 7,1\%$, $L = 40$ мм; г — $a/d = 0,9\%$, $L = 10$ мм; д — $a/d = 3,4\%$, $L = 10$ мм; е — $a/d = 7,1\%$, $L = 10$ мм.

Здесь и ниже пунктирными линиями показаны поверхности отверстия и наружные поверхности образцов

В образцах с $D = 15$ мм, обработанных с относительным натягом 0,9 % (рис. 3 а, г), который вызывает окружную остаточную деформацию на их наружной поверхности $\Delta D/D$, равную 0,04 % при длине 40 мм и 0,03 % при длине 10 мм, являющуюся упругой, форма эпюр, полученных разными методами, различается. При увеличении относительного натяга до 3,4 % (рис. 3 б, д) окружная остаточная деформация становится упругопластической (при длине 40 мм — 0,33 %; 10 мм

— 0,29 %), а форма эпюр, полученных разными методами, совпадает. При дальнейшем увеличении относительного натяга до 7,1 % (рис. 3 в, е) окружная остаточная деформация продолжает увеличиваться (при длине 40 мм — до 0,79 %; 10 мм — до 0,74 %), а форма эпюр, полученных разными методами, также совпадает.

В образцах с $D = 25$ мм только в одном из опытов (при относительном натяге 7,1 % и длине 40 мм) окружная остаточная деформация на их наружной по-

верхности является упругопластической (0,24 %), а форма эпюр окружных остаточных напряжений, полученных разными методами, совпадает (рис. 4 *в*). В остальных исследуемых случаях окружная остаточная деформация является упругой ($\Delta D/D < 0,2$ %). В частности, при относительном натяге 0,9 % (рис. 4 *а, з*) она составляет 0,05 % при длине 40 мм и 0,03 % при длине 10 мм. С увеличением относительного натяга до 3,4 % (рис. 4 *б, д*) она возрастает до 0,12 % при длине 40 мм и до 0,08 % — при длине 10 мм, а при увеличении отно-

сительного натяга до 7,1 % и длине 10 мм (рис. 4 *е*) она составляет 0,18 %. Формы эпюр, полученные разными методами, для образцов с $\Delta D/D < 0,2$ % различаются (рис. 4 *а, б, з, д и е*). При этом видно, что с ростом окружной остаточной деформации различие в форме эпюр становится менее существенным. Видимо, это связано с тем, что при сквозном пластическом деформировании ($\Delta D/D > 0,2$ %) распределение окружных остаточных напряжений в стенке образца становится близко к гиперболическому закону.

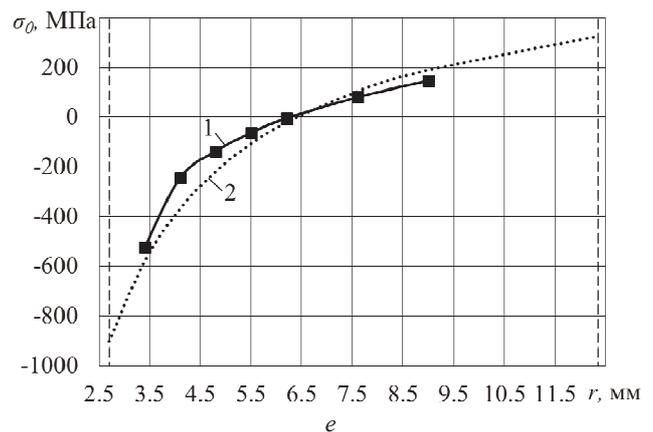
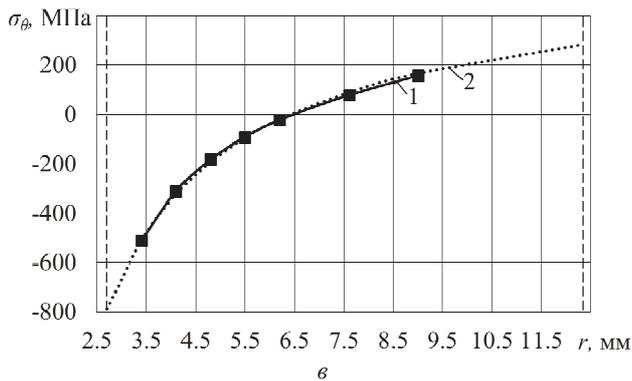
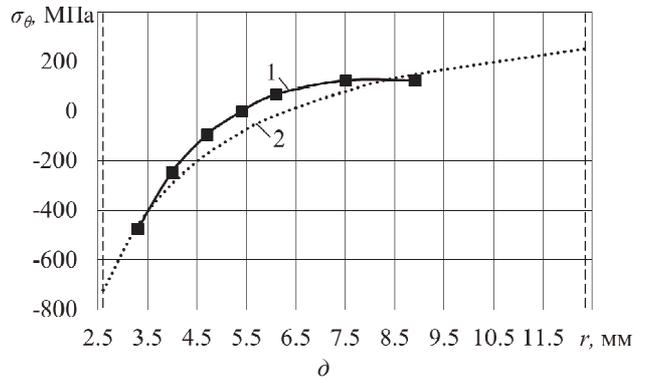
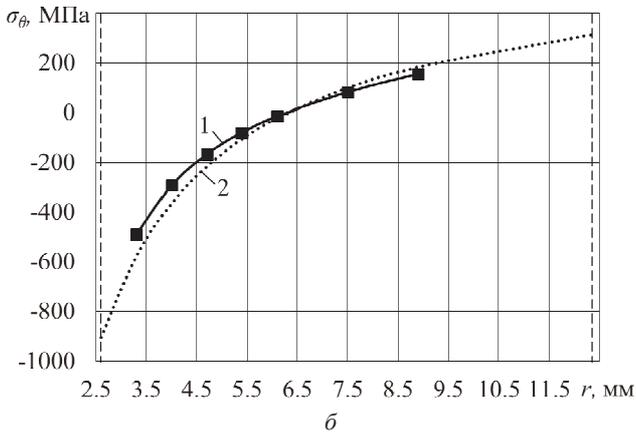
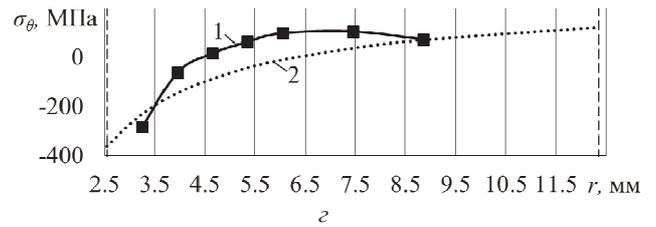
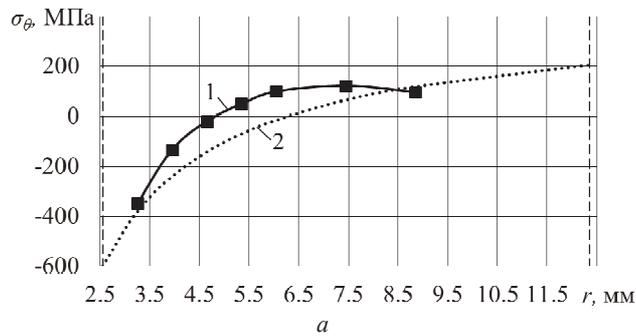


Рис. 4. Эпюры окружных остаточных напряжений, полученные методом Закса (1) и «по разрезке» (2), в обработанных дорнованием образцах с $D = 25$ мм: *а* — $a/d = 0,9$ %, $L = 40$ мм; *б* — $a/d = 3,4$ %, $L = 40$ мм; *в* — $a/d = 7,1$ %, $L = 40$ мм; *з* — $a/d = 0,9$ %, $L = 10$ мм; *д* — $a/d = 3,4$ %, $L = 10$ мм; *е* — $a/d = 7,1$ %, $L = 10$ мм

Абсолютная величина окружных остаточных напряжений в области, прилегающей к отверстию (на расстоянии 0,7 мм от поверхности), для образцов обоих диаметров определенная «по разрезке», отличается от определенной методом Г. Закса в среднем на 15 % (не более чем на 50 МПа). В области, прилегающей к наружной поверхности (на расстоянии около 1 мм от по-

верхности для образцов с $D = 15$ мм и около 3 мм — для образцов с $D = 25$ мм), указанные напряжения отличаются в среднем на 20 % (не более чем на 40 МПа).

Выводы

1. Форма эпюр окружных остаточных напряжений, сформированных при обработке дорнованием полых

цилиндров из стали 50 (диаметр отверстия 5 мм, наружный диаметр 15 и 25 мм, длина 10 и 40 мм, натяги дорнования от 0,9 до 7,1 %), полученных методами Н.Н. Давиденкова (ограничиваясь разрезкой цилиндра вдоль образующей) и Г. Закса, при упругопластической окружной остаточной деформации на наружной поверхности цилиндра ($\Delta D/D > 0,2\%$) совпадает. При $\Delta D/D < 0,2\%$ форма эпюр, полученных указанными методами, различается. При этом различия тем больше, чем меньше величина $\Delta D/D$.

2. Характер окружных остаточных напряжений (их знак), определенный разными методами, совпадает. При этом их абсолютная величина в области, прилегающей к отверстию (на расстоянии 0,7 мм от поверхности), отличается в среднем на 15 % (не более чем на 50 МПа), а в области, прилегающей к наружной поверхности (на расстоянии около 1 мм от поверхности для образцов с $D = 15$ мм и около 3 мм — для образцов с $D = 25$ мм), указанные напряжения отличаются в среднем на 20 % (не более чем на 40 МПа).

3. Метод Н.Н. Давиденкова, ограничивающийся разрезкой цилиндра вдоль образующей, без последующего послойного удаления металла с его внутренней поверхности, является простым и эффективным методом определения окружных остаточных напряжений, обеспечивающим требуемую точность, и может быть использован взамен метода Г. Закса.

Литература

1. Монченко В.П. Эффективная технология производства полых цилиндров. М.: Машиностроение, 1980. 248 с.
2. Проскуряков Ю.Г., Розенберг А.М., Розенберг О.А. Дорнование отверстий. Свердловск: Машгиз, 1961. 192 с.
3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. Киев: Наукова думка, 1990. 320 с.
4. Шнейдер Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: справочник. СПб.: Политехника, 1998. 414 с.
5. Fu Y. Cold expansion technology of connection holes in aircraft structures: A review and prospect // Chinese Journal of Aeronautics. 2015. Т. 28, № 4. С. 961-973.
6. Skvortsov V.F. Mandrelling with high allowances as a method of finishing treatment of small diameter deep holes // Strategic Technology (IFOST), 2012 7th International Forum on. – IEEE, 2012. С. 1-5.
7. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Гриценко Э.И., Посвятенко Э.К. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием. Киев: Наукова думка, 1977. 187 с.
8. Брондз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. М.: Машиностроение, 1986. 184 с.
9. Chakherlou T.N., Alvandi-Tabrizi Y., Kiani A. On the fatigue behavior of cold expanded fastener holes subjected to bolt tightening // International Journal of Fatigue. 2011. Т. 33, № 6. С. 800-810.
10. De Matos P.F.P. Analysis of the effect of cold-working of rivet holes on the fatigue life of an aluminum alloy // International Journal of Fatigue. 2007. Т. 29, № 3. С. 575-586.
11. Проскуряков Ю.Г., Романов В.Н., Исаев А.Н. Объемное дорнование отверстий. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
12. Zhuang W.Z., Halford G.R. Investigation of residual stress relaxation under cyclic load // International Journal of Fatigue. 2001. Т. 23. С. 31-37.
13. Бабичев М.А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 132 с.

14. Биргер И.А. Остаточные напряжения. М.: МАШГИЗ, 1963. 232 с.

15. Кобрин М.М., Дехтярь Л.И. Определение внутренних напряжений в цилиндрических деталях. М.: Машиностроение, 1965. 175 с.

16. Rossini N.S. Methods of measuring residual stresses in components // Materials & Design. 2012. Т. 35. С. 572-588.

17. Shokrieh M.M., Mohammadi A.R.G. Destructive techniques in the measurement of residual stresses in composite materials: an overview // Residual Stresses in Composite Materials. 2014. С. 15.

18. Sachs G. The determination of residual stresses in rods and tubes // Z. Metallkunde. 1927. Т. 19, № 9. С. 352-357.

19. Давиденков Н.Н. Об измерении остаточных напряжений // Заводская лаборатория. 1950. Т. 16, № 2. С. 188.

20. Skvortsov V.F. Residual stresses in compression and tension mandrelling thick-walled cylinders // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2014 International Conference on. IEEE, 2014. С. 1-4.

21. Skvortsov V.F. Influence of thick-walled cylinders length on the residual stresses generated during the single-cycle mandrelling // IOP Conference Series: materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2015. Т. 91, № 1. С. 012054.

References

1. Monchenko V.P. Effective technology of hollow cylinders production. M.: Mashinostroenie, 1980. 248 p.
2. Proskuryakov Yu.G., Rozenberg A.M., Rozenberg O.A. Holes cold expansion. Sverdlovsk: Mashgiz, 1961. 192 p.
3. Rozenberg A.M., Rozenberg O.A. Mechanics of plastic deformation in processes of cutting and deforming broaching. Kiev: Naukova dumka, 1990. 320 p.
4. Shneider Yu.G. Finishing forming processes: spravochnik. SPb.: Politekhnik, 1998. 414 p.
5. Fu Y. Cold expansion technology of connection holes in aircraft structures: A review and prospect // Chinese Journal of Aeronautics. 2015. Т. 28, № 4. P. 961-973.
6. Skvortsov V.F. Mandrelling with high allowances as a method of finishing treatment of small diameter deep holes // Strategic Technology (IFOST), 2012. 7th International Forum on. IEEE, 2012. P. 1-5.
7. Rozenberg A.M., Rozenberg O.A., Gritsenko E.I., Posvyatenko E.K. Surface finish after deforming broaching. Kiev: Naukova dumka, 1977. 187 p.
8. Brondz L.D. Technology and support of airplane age. M.: Mashinostroenie, 1986. 184 p.
9. Chakherlou T.N., Alvandi-Tabrizi Y., Kiani A. On the fatigue behavior of cold expanded fastener holes subjected to bolt tightening // International Journal of Fatigue. 2011. Т. 33, № 6. P. 800-810.
10. De Matos P.F.P. Analysis of the effect of cold-working of rivet holes on the fatigue life of an aluminum alloy // International Journal of Fatigue. 2007. Т. 29, № 3. P. 575-586.
11. Proskuryakov Yu.G., Romanov V.N., Isaev A.N. Three-Dimensional holes cold expansion. M.: Mashinostroenie, 1984. 224 p.
12. Zhuang W.Z., Halford G.R. Investigation of residual stress relaxation under cyclic load // International Journal of Fatigue. 2001. Т. 23. P. 31-37.
13. Babichev M.A. Methods of residual stresses determination in machine parts. M.: Izd-vo AN SSSR, 1955. 132 p.
14. Birger I.A. Residual stresses. M.: MASHGIZ, 1963. 232 p.
15. Kobrin M.M., Dekhtyar' L.I. Determination of residual stresses in cylindrical machine parts. M.: Mashinostroenie, 1965. 175 p.
16. Rossini N.S. Methods of measuring residual stresses in components // Materials & Design. 2012. Т. 35. P. 572-588.
17. Shokrieh M.M., Mohammadi A.R.G. Destructive techniques in the measurement of residual stresses in composite mate-

rials: an overview // Residual Stresses in Composite Materials. 2014. P. 15.

18. Sachs G. The determination of residual stresses in rods and tubes // Z. Metallkunde. 1927. T. 19, №. 9. P. 352-357.

19. Davidenkov N.N. On the measurement of residual stresses // Industrial laboratory. Materials diagnostics. 1950. T. 16, № 2. P. 188.

20. Skvortsov V.F. Residual stresses in compression and tension mandrelling thick-walled cylinders // Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS), 2014 International Conference on. IEEE, 2014. P. 1-4.

21. Skvortsov V.F. Influence of thick-walled cylinders length on the residual stresses generated during the single-cycle mandrelling // IOP Conference Series: materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2015. T. 91, № 1. P. 012054.

УДК 621.91.01

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-4-70-74

Исследование зажимных патронов для сверления точных отверстий*

А.С. Пятых^a, А.В. Савилов^b, А.Ю. Николаев^c

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

^aalexess@istu.edu, ^bsaw@istu.edu, ^candrnkolajev@gmail.com

Статья поступила 29.09.2016, принята 26.10.2016

В рамках данной статьи представлены результаты исследования зажимных патронов, используемых для операции сверления. Для проведения анализа были выбраны три типа зажимных патронов: гидропластовый, термоусадочный и силовой. Экспериментальные тесты проведены с использованием цельного твердосплавного сверла. Осуществлен модальный анализ инструментальных наладок, определены их собственные частоты, поперечные и крутильно-осевые моды, коэффициенты демпфирования и модальная жесткость. Для каждой инструментальной наладки построены области стабильного резания. На основе рекомендаций производителя инструмента и результатов модального анализа инструментальных наладок выбраны режимы резания, которые обеспечивают наилучшее качество и точность отверстий. С помощью стрелочного индикатора было измерено радиальное биение зажимных патронов и исследован их дисбаланс на балансировочной машине. Также было исследовано влияние цанги на передаваемый крутящий момент гидропластового патрона. С использованием различных типов зажимных патронов проведено сверление отверстий на фрезерном обрабатывающем центре в алюминиевом сплаве В95пчТ2 без использования смазочно-охлаждающей жидкости, после чего измерены шероховатость поверхности на контактном профилометре и точность получаемых отверстий с помощью координатно-измерительной машины. Результаты анализа проведенных исследований позволяют сделать правильный выбор типа зажимного патрона для получения точных отверстий в деталях из алюминиевых сплавов.

Ключевые слова: термоусадочный патрон; гидромеханический патрон; силовой патрон; сверло; сверление; модальный анализ; дисбаланс; жесткость; биение; отверстие.

Investigation of chucks for drilling precise holes

A.S. Pyatykh^a, A.V. Savilov^b, A.Yu. Nikolaev^c

Irkutsk National State Technical University; 83 Lermontov St., Irkutsk, Russia

^aalexess@istu.edu, ^bsaw@istu.edu, ^candrnkolajev@gmail.com

Received 29.09.2016, accepted 26.10.2016

Research results for the chucks used for the drilling process have been presented in the article. Three types of chucks have been chosen for the analysis: hydro-plastic, shrink and power ones. Experimental tests have been carried out by using solid carbide drills. Modal analysis of the tool setups has been done. Their own frequencies lateral and torsional-axial modes, damping ratios and modal stiffness have been carried out. A stable cutting area has been built for every tool setup. Based on the tool manufacturer's recommendations and the results of modal analysis of the tool setups, cutting modes have been selected to provide the best quality and accuracy of the holes. A radial runout of chucks has been measured with a dial gauge and their imbalance has been investigated on the balancing machine. The influence of the collet on the transmitted torque of the hydro-plastic chuck has also been studied. By using various types of chucks, drilling of holes has been conducted on the machining center in the aluminum alloy V95 without using coolant. After that, the contact profile-meter has been used to inspect the surface roughness and a coordinate-measuring machine has been used to inspect the accuracy of the holes. The results of the research analysis allow making the right choice for the type of the chuck to obtain precise holes in aluminum parts.

Key words: shrink chuck; hydro-mechanical chuck; power chuck; drill; drilling; modal analysis; imbalance; stiffness; runout; holes.