

УДК 621.7.548.0

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОКОВОК ЛОКОМОТИВОВ

Чередниченко С.П., Кузьменко С.В.

APPLICATION PRELIMINARY DEFORMATION TO IMPROVE THE ACCURACY OF FORGINGS LOCOMOTIVES

Cherednichenko S., Kuzmenko S.

В результате проведения исследований было определено, что снижение накопленных деформаций по сечению прутка при формовке изгибом совместно со снижением предела текучести на сдвиг, приводит к уменьшению деформации упругого последельствия обеспечивает уменьшение пружинения и остаточных напряжений, что должно уменьшать коробление пружин и повышать точность исполнения ее размеров. С этой целью была разработана оснастка для горячей навивки пружин, позволяющая осуществлять указанные выше режимы деформации.

Ключевые слова: поковка, предварительная деформация, изгиб, винтовая пружина, оснастка

Макроскопические эффекты разупрочнения за счет реализации предварительной деформации при температурах динамической рекристаллизации имеют существенные практические значения для повышения точности изготовления поковок. Это прежде всего касается таких изделий как пружины, которые, как известно, изготавливаются горячей навивкой и их точностные параметры должны укладываться в довольно жесткие допуски согласно [1]. Очевидно, что эффект разупрочнения в данном случае можно использовать вводя дополнительную предварительную операцию деформации непосредственно перед окончательной навивкой пружины (рис.1), для чего необходимо специальное приспособление, устанавливаемое на навивочном станке.

Из приведенной схемы следует, что предварительную деформацию, удобно задавать роликом 4, играющему как бы функции правильного ролика, аналогично правильным машинам. Наличие узла предварительной деформации, состоящего из роликов 2, 3, 4, приводит к изменению схемы формовки пружины от чистого изгиба до изгиба с растяжением.

Последнее, естественно, приводит к смещению нейтральной линии сечения уже в начальной стадии процесса и соответствующих полям линий сколь-

жения. При чистом изгибе оно представляется однородным, а при изгибе с натяжением с радиусом соответствует сетке логарифмических спиралей. Однако, для определения количественных оценок влияния натяжения и предварительной деформации на характер формообразования при получении пружины, рассмотрения полей линий скольжения явно недостаточно, так как они построены в приближении деформации неупрочняющегося материала.

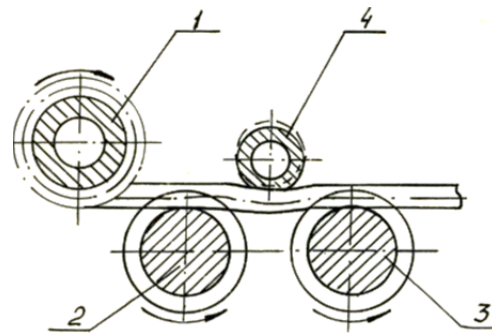


Рис. 1. Схема горячей навивки с предварительной деформацией изгибом

Очевидно, что одним из определяющих факторов, обуславливающих наличие остаточных напряжений и, соответственно, деформаций пружин является напряженно-деформационное состояние прутка при формообразовании пружины. Под этим подразумевается соответствующие величины, компонент деформаций и интенсивности деформаций, а также компонент напряжений и интенсивности напряжений. Следует отметить, что параметры напряженно-деформационного состояния определяются сопротивлением деформируемому материалу, которые, в значительной степени обуславливаются комбинацией деформационных приемов и термомеханических условий деформации. Поэтому целями анализа НДС при формовке пружины является:

1. Определение накопленных деформаций в наружных слоях заготовки.
2. Определение истинного сопротивления деформации (предела текучести) материала при данных температурно-скоростных условиях по силовым параметрам процесса навивки.

$$\frac{d\sigma_r}{dr} - \frac{\sigma_\theta - \sigma_r}{r} = 0 \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\theta - \sigma_r &= 2k \\ \sigma_z &= 0,5(\sigma_r + \sigma_\theta) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Тогда по [4] компоненты напряжении в наружных волокнах:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= 2k \ln \frac{r}{b} \\ \sigma_\theta &= 2k \left(\ln \frac{r}{b} + 1 \right) \\ \sigma_z &= 2k \left(\ln \frac{r}{b} + 0,5 \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

а во внутренних волокнах при условии отсутствия внешних радиальных нагрузок:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= -2k \ln \frac{r}{a} \\ \sigma_\theta &= -2k \left(\ln \frac{r}{a} + 1 \right) \\ \sigma_z &= -2k \left(\ln \frac{r}{a} + 0,5 \right) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Интенсивность напряжений при пластическом изгибе исходя из классического соотношения будет составлять:

$$\tau_i = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2} \quad (5)$$

Если r и θ текущие координаты точки сечения изгибаемого сечения, а U_r , U_θ , ε_r и ε_θ - перемещения и деформации в этой точке, то компоненты деформаций (учитывая симметрию по радиусу) выражаются как:

$$\varepsilon_\theta = \frac{U_r}{r} + 1 - \frac{r_0}{r} \quad (6)$$

Так как деформация плоская из условия постоянства объема следует:

$$U_r = \frac{c}{r} + r_0 - \frac{r}{2} \quad (7)$$

Согласно [4] решением этого линейного дифференциального уравнения является

$$U_r = \frac{c}{r} + r_0 - \frac{r}{2} \quad (8)$$

где c - постоянная интегрирования.

Из краевого условия $U_r=0$ при $r=r_0$ (на нейтральной линии) имеем:

$$c = -\frac{r_0^2}{2}, U_r = -\frac{(r-r_0)^2}{2r}$$

Тогда

$$\varepsilon_r = \varepsilon_\theta = 0,5 \left(\frac{r_0^2}{r^2} - 1 \right) \quad (9)$$

Приведенные соотношения позволяют определить максимальные величины деформаций в наружных волокнах при $r = b$

$$\varepsilon_r^{\max} = \varepsilon_\theta = 0,5 \left(\frac{r_0^2}{b^2} - 1 \right) \quad (10)$$

Рассматривая задачу пластического изгиба с растяжением, характерную именно для случая формовки пружины по Хиллу [3] при соблюдении условия равновесия имеем:

$$q = ap.$$

где q - растягивающее усилие, отнесенное на единицу длины профиля;

p - давление профиля на поверхность формирующего ролика или оправки.

Так как в отличие от приведенного выше случая при изгибе с растяжением имеется давление профиля на оправку,

$$\sigma_r = -2k \ln r + c \quad (11)$$

где c определяется из условия: $\sigma_r = -p$ при $r = a$

Тогда во внутренних волокнах:

$$\sigma_r = -p - 2k \ln \frac{r}{a} \quad (12)$$

$$\sigma_\theta = -p - 2k \left(\ln \frac{r}{a} + 1 \right) \quad (13)$$

На нейтральной линии $r = r_0$ исходя из условия непрерывности функции $\sigma_r = f(r)$ имеем:

$$2k \ln \frac{r_0}{b} = -p - 2k \ln \frac{r_0}{a} \quad (14)$$

Откуда:

$$r_0^2 = ab \exp\left(-\frac{p}{2k}\right) \quad (15)$$

Отсюда следует, что положение нейтральной линии при изгибе с растяжением смещается к внутренней поверхности по закону:

$$r_0 = \psi \exp\left(-\frac{p}{4k}\right) \quad (16)$$

Где $\psi = \sqrt{ab}$, или учитывая, что $q = ap$ получим:

$$r_0 = \psi \exp\left(-\frac{q}{4ak}\right) \quad (17)$$

На нейтральной линии $r = r_0$ исходя из условия непрерывности функции $\sigma_r = f(r)$ отсюда вывод о том, что при всех прочих равных условиях сопротивление деформации или предел текучести на сдвиг k является головным параметром, определяющим степень смещения нейтральной линии при изгибе с растяжением. Это в свою очередь приводит к значительному изменению деформированного состояния в крайних наружных волокнах:

$$\varepsilon_r^{\max} = \varepsilon_\theta^{\max} = 0,5 \left[\frac{\sqrt{ab}}{b^2} \exp\left(-\frac{q}{4ak}\right) - 1 \right] \quad (18)$$

Расчеты показывают, что накопленные деформации на наружных и внутренних волокнах зависят от соотношения q/k . Таким образом, если с одной стороны уменьшается предел текучести на сдвиг k , а с другой стороны повышается напряжение q , то накопленные деформации уменьшаются.

Снижение накопленных деформаций по сечению прутка при формовке изгибом совместно со снижением предела текучести на сдвиг, что приводит к уменьшению деформации упругого последствия обеспечивает уменьшение пружинения и остаточных напряжений, что должно уменьшать коробление пружин и повышать точность исполнения ее размеров. С этой целью была разработана оснастка для горячей навивки пружин, позволяющая осуществить указанные выше режимы деформации.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 1452 – 86 «Пружины рессорного подвешивания локомотивов»
2. Ренне И.П. Труды тульского механического института, В.4, 1950.
3. Hill R. The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford, 1950.
4. Томленов Л.Д. Механика процессов обработки металлов давлением.-М.: ГНТИ, 1963.-236 с.

R e f e r e n c e s

1. GOST 1452 – 86 «Pruzhiniy ressornogo podveshivaniya lokomotivov»
2. Renne I.P. Trudy tulsogo mehanicheskogo instituta, V.4, 1950.
3. Hill R. The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford, 1950.
4. Tomlenov L.D. Mehanika protsessov obrabotki metallov davleniem.-M.: GNTI, 1963.-236 s

Чередниченко С.П., Кузьменко С.В. Застосування попередньої деформації для підвищення точності поковок локомотивів

У результаті проведення досліджень було визначено, що зниження накопчених деформацій по перерізу прутка при формуванні вигином спільно зі зниженням межі текучості на зсув, призводить до зменшення деформації пружного післядії забезпечує зменшення пружинення і залишкових напружень, що повинно зменшувати жолоблення пружин і підвищувати точність виконання її розмірів. З цією метою була розроблена оснащення для гарячої навивки пружин, що дозволяє здійснити зазначені вище режими деформації.

Ключові слова: поковка, попередня деформація, вигин, гвинтова пружина, оснащення

Cherednichenko S., Kuzmenko S. Application preliminary deformation to improve the accuracy of forgings locomotives

As a result of studies, it was determined that the reduction of accumulated strain in the cross section of the bar when forming the bend together with the decrease of the yield point shear strain reduces the springback reduction provides springing and residual stresses, which should reduce distortion and improve the accuracy of the spring performance of its dimensions. For this purpose has been developed rigging for hot coiling spring, allows the above-mentioned modes of deformation.

Keywords: forging, pre-deformation, bending, Coil Spring, accessories

Чередниченко С.П. – к.т.н, доцент кафедри транспортних систем ВНУ ім.В.Даля

Кузьменко С.В. – к.т.н, доцент кафедри транспортних систем ВНУ ім.В.Даля

Рецензент: **Соколов В.И.**, д.т.н, профессор

Статья подана 02.02.2015 р