

УДК 621.9.06-229: 681.3

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ СТАНОЧНЫХ И КОНТРОЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В.В. Ерохин¹, В.В. Камынин²

¹ - Брянский государственный университет имени академика И.Г.Петровского

² - Брянский государственный инженерно-технологический университет

Излагаются основные аспекты по определению влияния процесса релаксации напряжений материала на динамические параметры технологической оснастки. Приводятся зависимости по нахождению частотных и физико-механических параметров технической системы, влияющих на скорость релаксации и тем самым на внутреннее трение материала.

Ключевые слова: релаксация напряжений, технологическая оснастка, качество.

При проектировании технологической оснастки наиболее важным параметром является коэффициент внутреннего трения установочно-зажимных элементов. При более высоких значениях коэффициента внутреннего трения система станочного приспособления становится инерционной, что позволяет эффективно обеспечивать более высокие параметры качества обрабатываемой поверхности заготовки. В противном случае, система становится не инерционной и, следовательно, такие элементы должны применяться только в контрольно-измерительных приборах, непосредственно входящих в физический контакт с измеряемым телом. Для управления формообразованием поверхности заготовки, а также рационального конструирования технологической оснастки и контрольных приспособлений необходимо знать динамическое состояние рассматриваемой системы. На динамическое состояние технологической системы оказывают влияния не только законы влияния внешней среды (внешних сил), но и внутренние диссипативные силы, которые в данной тематике статьи определяются коэффициентом внутреннего трения.

Основным критерием конструирования приспособления является устойчивость системы к резонансу, проявляющемуся как от внешних сил, так и от перераспределения внутренней энергии внутри тела. В линейных колебательных системах условие резонанса в первом приближении можно записать следующим выражением [1]:

$$M^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + \beta^2\omega^2 = 0,$$

где M – масса колебательной системы; ω_0 – угловая частота собственных колебаний системы; ω – угловая частота колебаний возмущающей силы и установившихся колебаний системы; β – коэффициент внутреннего трения.

Выбирая материал элементов технологической оснастки с повышенными значениями коэффициента внутреннего трения, можно уменьшить значение амплитуды колебаний, а также время собственных затухающих колебаний. Влияние собственных колебаний обуславливает снижение точности обработки в начальный момент времени, в зависимости от которого необходимо применить либо дополнительный более точный метод обработки поверхности, либо на дополнительном технологическом переходе предусмотреть снятие фаски. Длина фаски в этом случае будет зависеть от продолжительности и амплитуды собственных колебаний, а также от допустимой амплитуды колебаний (калитета точности или степени геометрической точности обрабатываемой поверхности) тела в пространстве непосредственного формообразования. Например, подбирая материал таким образом, чтобы $\beta \geq \sqrt{2}M\omega_0$, явление резонанса совершенно исчезает. В этом случае при любой частоте возмущающей силы амплитуда колебаний меньше статического отклонения.

Создание базы данных по коэффициентам внутреннего трения для материалов, используемых при проектировании станочных и контрольных приспособлений, позволяет более точно определять динамические характеристики станочных и контрольных систем.

Основными направлениями определения коэффициентов внутреннего трения является теория релаксации напряжений и перемещения дислокаций. Наиболее точным и менее затратным методом изучения внутреннего трения является изучение явления релаксации напряженного состояния тела. При этом следует учитывать, что коэффициент внутреннего трения зависит не только от физико-механических свойств материала, но и от масштабного, геометрического фактора элементов приспособлений, а также от скорости, величины и закона изменения силы воздействия на технологическую систему.

Основываясь на работах К. Зинера, коэффициент внутреннего трения можно определить по формуле

$$\beta = \frac{SM\omega}{W} = \Delta_c \frac{2M\omega^2\tau}{1 + \omega^2\tau^2},$$

S – площадь петли механического гистерезиса; W – максимальная энергия деформации; τ – время релаксации напряжений; $\Delta_c = \frac{C_R - C_U}{C_U}$, где C_R – релаксационная постоянная коэффициента упругости; C_U – нерелаксированная постоянная коэффициента упругости.

На основе вышеприведенных расчетов, можно заключить – выбор материала с большим значением τ обеспечивает минимум амплитуды колебаний технологической системы, а также максимум ее инерционности, что повышает точность формообразования поверхности заготовки.

Процесс релаксации в материале с примесями зависит от тепловой диффузии атомов, релаксации по границам зерен, дислокационных перемещений и взаимодействий. Для определения коэффициента внутреннего трения вводим ограничения [2]:

1. Эксплуатация технологической оснастки происходит при не изотермическом и не адиабатическом режимах.
2. Для границ зерен в поликристаллическом материале характерно вязкое поведение.
3. Зерна кристаллитов имеют сферическую форму.
4. Одноосное напряженное состояние.
5. Основное количество дислокаций расположено параллельно одному из плотноупакованных направлений в кристалле.
6. Количество дислокационных петель в любом сечении сферического кристаллита постоянно.

Коэффициент внутреннего трения установочных элементов в виде стержневой конструкции определяется по формуле

$$\beta = \frac{M_{ш}\omega}{\pi} \left(0,02 \frac{T}{T_{пл}} \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} + \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \frac{4}{3(1 + \mu)} + \frac{N_d L_d^3}{24} \right),$$

где T – температура тела; $T_{пл}$ – температура плавления тела; N_d – число петель дислокаций в единице объема, принимающих участие во внутреннем трении (в среднем 0,5% от общего количества петель); L_d – средняя длина дислокационной петли, равная диаметру сферического зерна.

Учитывая шестое ограничение и введя обозначение диаметра кристаллита (зерна) – $D_{кр}$, определяем коэффициент внутреннего трения колебаний неровности профиля

$$\beta = \frac{M_{ш}\omega}{\pi} \left(0,02 \frac{T}{T_{пл}} \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} + \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \frac{4}{3(1 + \mu)} + \frac{0,005\rho_d D_{кр}^2}{24} \right),$$

где ρ_d – плотность дислокационных петель ($\rho_d = 10^6 \text{ см}^{-2}$ для отожженной стали, $\rho_d = 10^{11}$ для закаленной стали); $D_{кр}$ – диаметр зерна.

В общем случае, когда релаксационный процесс в основном связан с тепловой диффузией атомов и эксплуатация технологической оснастки происходит при не изотермическом и не адиабатическом режимах, коэффициент внутреннего трения установочных элементов в виде стержневой конструкции определяется по формуле

$$\beta = 0,02\pi \frac{T}{T_{пл}} \frac{2M\omega^2\tau}{1 + \omega^2\tau^2},$$

где T – температура тела; $T_{пл}$ – температура плавления тела.

В этом случае

$$\tau = \frac{d^2}{\pi^2 D} = \frac{d^2 c \rho}{\pi^2 \chi},$$

где d – диаметр стержня (приведенный диаметр установочного, установочно-зажимного элемента станочного или контрольного приспособления); D – коэффициент тепловой диффузии; c – удельная теплоемкость тела; ρ – плотность материала; χ – коэффициент теплопроводности.

Если есть необходимость в нахождении градиента коэффициента внутреннего трения по телу в зависимости от неоднородности структуры материала, тогда время релаксации можно рассчитать в зависимости от размеров зерна.

$$\tau = \frac{a^2}{\pi^2 D} = \frac{a^2 c \rho}{\pi^2 \chi},$$

где a – радиус сферического кристалла.

При этом следует учитывать ограничения – рассматриваемое зерно имеет сферическую форму, температура на поверхности зерна поддерживается постоянной.

Для описания процесса релаксации рассматривают три температурных области: низкотемпературную (менее $0,25T_{пл}$, где $T_{пл}$ – температура плавления), среднетемпературную ($0,25 \dots 0,5T_{пл}$) и высокотемпературную (более $0,5T_{пл}$). Эксплуатация технологической оснастки в основном происходит при температуре до $0,4T_{пл}$ (среднетемпературная область), когда в материале не происходят фазовые превращения.

В среднетемпературной области релаксация напряжений определяется пересечением дислокаций (преодоление ими барьеров Пайерлса) и поперечным скольжением. В этой температурной области начинают активно действовать диффузионные процессы, вызывающие переползание дислокаций из одной (заблокированной) плоскости скольжения в другую (незаблокированную). Скорость среднетемпературной релаксации экспоненциально зависит от энергии активации.

При испытании материалов в среднетемпературной области кривые релаксации между собой подобны в условиях любого вида нагружения (растяжение, кручение, изгиб, сжатие) для времени нагружения менее 100 ч.

Влияние времени на процесс релаксации напряжений находится в тесной зависимости от других факторов – начального напряжения и температуры, а также от структурной стабильности исследуемого сплава. С повышением температуры влияние фактора времени усиливается. Кривая релаксации в координатах напряжение-время (рис. 1) разбивается на два участка (два периода релаксации). Первый период характеризуется резким падением напряжения. Второй период релаксации обуславливается небольшой скоростью падения напряжения (в пять и более раз меньше, чем в первом периоде). Из рис. 1 можно заключить, что в первом периоде более высокому σ_0 соответствует меньшее время, необходимое для достижения заданной величины $\Delta\sigma$, и наоборот.

Во втором периоде в температурном диапазоне менее $0,5T_{пл}$, когда процесс релаксации идет с более или менее установившейся скоростью, влияние σ_0 на интенсивность релаксации напряжений практически отсутствует. При этом более высокое начальное напряжение обуславливает более высокое оставшееся напряжение.

В этом случае необходимо подбирать режимы резания материала заготовки таким образом, чтобы значения первоначальных напряжений σ_0 способствовали появлению только релаксирующих со времени остаточных напряжений (рис. 1). Это обеспечит сокращение трудовых и материальных затрат, например, на дополнительные термические операции по снятию остаточных напряжений. Особенно это актуально при механической обработке зуб-

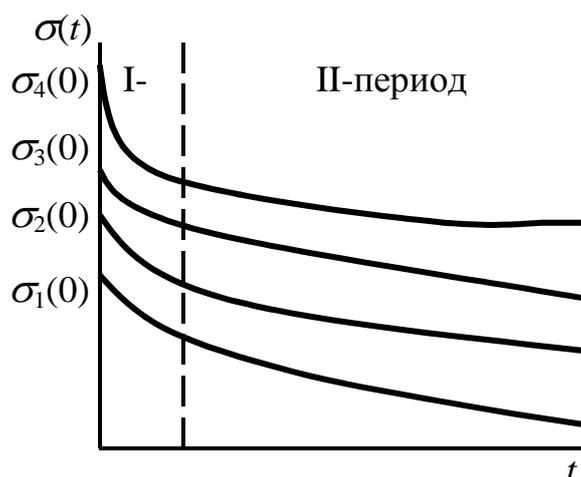


Рис. 1. Кривая релаксации в координатах «напряжение-время»

В этом случае необходимо подбирать режимы резания материала заготовки таким образом, чтобы значения первоначальных напряжений σ_0 способствовали появлению только релаксирующих со времени остаточных напряжений (рис. 1). Это обеспечит сокращение трудовых и материальных затрат, например, на дополнительные термические операции по снятию остаточных напряжений. Особенно это актуально при механической обработке зубчатых колес и валов, где используются термические операции по снижению внутренних остаточных напряжений, появляющихся в процессе механической обработки.

Релаксационная стойкость сплавов зависит как от химического состава, так и от структуры материала. К характеристикам структурного состояния, влияющим на процесс релаксации напряжений, относятся: величина зерна твердого раствора, его стабильность, количество и размеры частиц избыточных фаз, их взаиморасположение и взаимодействие. Эти структурные характеристики регулируются термической и термомеханической обработкой.

Список литературы

1. Ерохин В.В. Виброустойчивость станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. - №3. – С. 34-39.
2. Финкельштейн Б.Н. Внутреннее трение металлов / Сборник статей. Пер. с англ. Ю.Х. Векилова. – М.: ГНТИЛ по черной и цветной металлургии, 1963. – 128 с.

Сведения об авторах

Ерохин Виктор Викторович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные информационные системы и технологии» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», erohinvv@mail.ru.

Камынин Виктор Викторович - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Материаловедение и машиноведение» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

THE EFFECT OF STRESS RELAXATION ON THE PARAMETERS OF MACHINING AND INSPECTION TOOLING

V.V. Erokhin¹, V.V. Kamynin²

¹ - Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University

² - Bryansk State Engineering-Technological University

Presents the main aspects of the process to determine the effect of stress relaxation material on dynamic parameters tooling. The dependences for finding the frequency and physical and mechanical parameters of the technical system affecting the relaxation rate, and thus on the internal friction of the material.

Keywords: *stress relaxation, tooling, quality.*

References

1. Erokhin V.V., Kamynin V.V. Vibration resistance of machining tooling, *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal*, 2005, No.3, pp. 34-39.
2. Finkelshteyn B.N. *Vnutrennee trenie metallov* [Internal friction of metals]. Moscow, GNTIL po chernoy i tsvetnoy metallurgii, 1963. 128 p.

Authors' information

Viktor V. Erokhin - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, erohinvv@mail.ru.

Viktor V. Kamynin – Candidate of Technical Sciences, Head of Department at Bryansk State Engineering-Technological University.