

Ввиду высокой дисперсности карбидов ванадия и их малого количества ни электронная микроскопия, ни рентгеноструктурный анализ не позволяют с достаточной достоверностью установить определяющую роль их выделений в явлении вторичного твердения. Однако анализ результатов спектральных исследований (табл. 2) свидетельствует о том, что вторичное твердение стали 45ХНМФД в интервале температур отпуска 520–540⁰С объясняется выделением мелкодисперсных карбидов ванадия.

Таким образом, причина вторичного твердения заключается в замене растворяющихся грубых цементных частиц существенно более дисперсными выделениями специального карбида ванадия. Частицы этих карбидов предпочтительно выделяются на дислокациях и, таким образом, упрочняют отпущенную сталь [1].

Л и т е р а т у р а

И. Н о в и к о в И.И. Теория термической обработки металлов. М., "Металлургия", 1974, с. 400.

УДК 621.992.7

В.А.Лындин

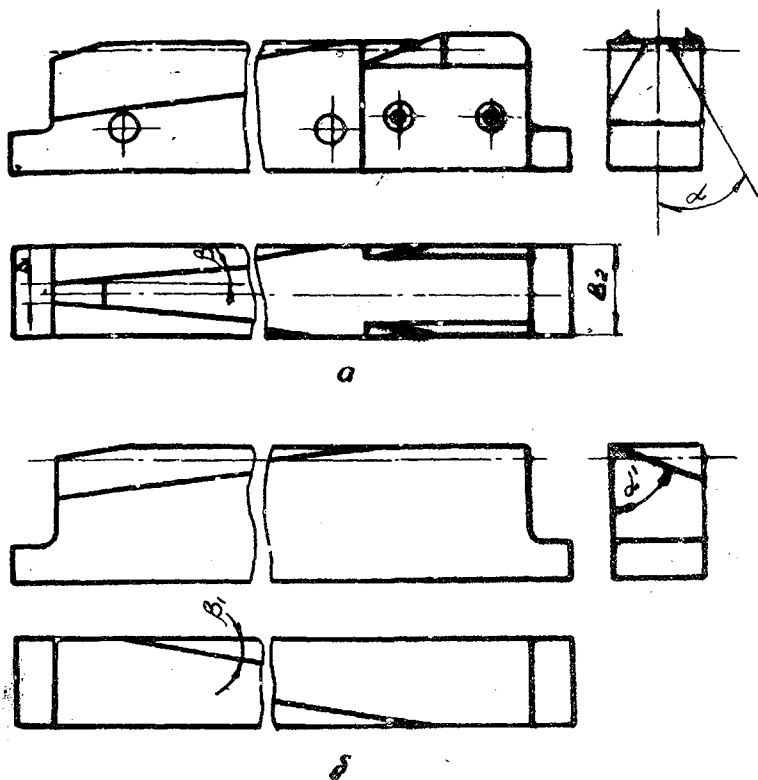
ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ РЕЕК ПРИ ХОЛОДНОМ НАКАТЫВАНИИ ЗУБЬЕВ МЕЛКОМОДУЛЬНЫХ КОЛЕС

Холодное накатывание зубьев мелко модульных колес производят плоскими рейками [1]. В процессе накатывания течение металла в зоне деформации затруднено, и на рабочих поверхностях инструмента возникают большие нагрузки. Тяжелые условия, при которых работает инструмент, усугубляются еще и тем, что материал заготовки получает упрочнение (наклеп). При этом удельные давления на боковых поверхностях зубьев плоских реек достигают 170–200 кгс/мм².

Существующие конструкции плоских реек [1] не обеспечивают достаточной их стойкости, что в значительной степени снижает экономический эффект прогрессивного метода изготовления зубьев накатыванием.

Основной причиной выхода из строя плоских реек является выкрашивание зубьев под действием касательных напряжений. С целью уменьшения касательных напряжений используются клиновые рейки [2]

Клиновые рейки (рис. 1) имеют двусторонний или односторонний срез торцевых поверхностей. При двустороннем срезе (рис. 1, а)

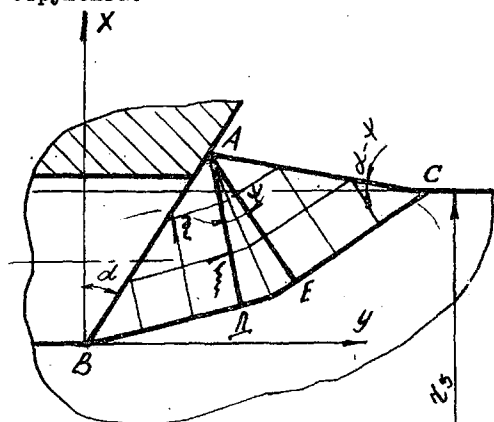


Р и с. 1. Клиновые рейки для накатывания зубчатых колес с двусторонним (а) и односторонним (б) срезами торцевых поверхностей

уб в поперечном сечении рейки имеет форму усеченного клина с углом при вершине 2α . Ширина клина от заходного участка к калибрующему постепенно возрастает от B_1 до B_2 . Приращение ширины зуба характеризуется углом заострения β . Аналогичные параметры (α' , β') характерны для реек с односторонним срезом торцевой поверхности (рис. 1, б).

Особенность процесса накатывания клиновыми рейками заключается в том, что зубья рейки, вдавливаясь в заготовку, раскатывают

металл наклонными торцевыми поверхностями. Для исследования возникающего напряженного состояния процесс накатывания зубьев клиновыми рейками отождествляется с процессом вдавливания жесткого клина в жестко-пластическое тело. Такое допущение позволяет с помощью математической теории пластичности [3], [4] на более точно определить очаг деформации, распределение напряжений на поверхности контакта и предусмотреть изменение процесса пластического формообразования в направлении повышения стойкости инструмента.



Р и с. 2. Поле линий скольжения при накатывании зубчатого колеса клиновой рейкой

Считаем, что в осевом сечении выполняется условие плоской деформации. Это допущение сделано на основании того, что радиус заготовки z_3 (рис.2) после накатывания зубьев не увеличивается, а удлинение ее соответствует удлинению, рассчитанному при условии плоской деформации.

Напряженное и кинематическое состояние плоского течения описывается уравнениями [7]

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} - 2k \left(\cos \theta \frac{\partial \theta}{\partial x} + \sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = 0;$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2k \left(\sin 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial x} - \cos 2\theta \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = 0;$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y} + \tan \theta \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right) = 0;$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0,$$

где $\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ - гидростатическое давление; k - пластическая постоянная; v_x, v_y - проекция вектора скорости v на оси x и y ; θ - угол наклона линии скольжения первого семейства ξ к оси x .

(I)

Уравнения (1) для четырех функций σ , θ , v_x , v_y представляют замкнутую систему квазилинейных гиперболических дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка.

Вдоль характеристик ξ , η имеют место соотношения: вдоль семейства ξ

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \theta; \quad \frac{\sigma}{2k} - \theta = \text{const}; \quad dv_x - v_y d\theta = 0, \quad (2)$$

вдоль семейства η

$$\frac{dy}{dx} = -\operatorname{ctg} \theta; \quad \frac{\sigma}{2k} + \theta = \text{const}; \quad dv_x + v_y d\theta = 0, \quad (3)$$

где v_x , v_y - проекции вектора скорости по направлениям ξ , η соответственно.

Поле линий скольжения показано на рис. 2.

Вследствие симметрии процесса рассматривается только правая половина поля линий скольжения. Точка А является особой точкой поля линий скольжения, в области А-В-Д и А-С-Е все линии скольжения - взаимно перпендикулярные прямые, а в области А-Д-Е линии скольжения одного семейства ξ - прямые, другого η - дуги окружностей. Материал заготовки вне области А-В-Д-Е-С принимается жестким.

Линии скольжения В-Д-Е-С являются жесткопластическими границами, по которым происходит разрыв касательной компоненты скорости.

Решение задачи для скорости может быть начато для области А-В-Д и распространено последовательно на А-Д-Е и А-Е-С. Вдоль А-В компонент скорости, нормальный к торцевой поверхности рейки, равен нормальному компоненту скорости вдавливания. Вдоль В-Д-Е-С нормальный компонент скорости равен нулю. Вычисленные скорости элементов на свободной поверхности А-С должны быть такими, чтобы при непрерывном перемещении поверхности геометрическое подобие сохранялось.

Зная гидростатическое давление, равное К на свободной поверхности, и угол наклона линии семейства ξ , из соотношений (2) и (3) можно определить распределение напряжений по всей пластической области.

Соотношения между α и ψ можно выразить в виде уравнения

$$\cos(2\alpha - \psi) = \frac{\cos \psi}{1 + \sin \alpha}, \quad (4)$$

где ψ - угол поворота линий скольжения.

Нормальное давление на торцевой поверхности рейки

$$\sigma_n = 2k(1 + \psi). \quad (5)$$

Из анализа уравнения (5) следует, что давление σ_n с увеличением угла α от 0 до 90° растет постепенно от 2 до 5,14к.

При накатывании зубьев шестерен плоскими рейками нормальное давление на боковых поверхностях зубьев рейки, согласно [5], равно 5,7к. Более высокое давление, действующее на зубья при накатывании плоскими рейками, обусловлено особенностью очага деформации.

Выкрашивание поверхности зубьев рейки связано с действием касательных напряжений, величину которых можно определить по формуле, приведенной в работе [6]:

$$\tau = 0,127 \sqrt{\frac{\sigma_n E_{np}}{\rho_{np}}}, \quad (6)$$

где E_{np} - приведенный модуль упругости рейки и заготовки;

ρ_{np} - приведенный радиус кривизны.

Подставив значения σ_n для плоской и клиновой реек в уравнение (6), получим, что величина τ для клиновых реек в 1,06-1,68 раза меньше, чем для плоских. Для клиновой рейки с $\alpha = 30^\circ$ касательные напряжения в 1,36 раза меньше, чем для плоской.

Следовательно, использование клиновых реек при накатывании зубьев мелкозубчатых колес позволяет повысить стойкость накатного инструмента.

Л и т е р а т у р а

1. Барбарич М.В., Хоруженко М.В. Накатывание цилиндрических зубчатых колес. М., "Машиностроение", 1970.
2. Лындин В.А. Рейка для накатывания зубчатых колес. Авт. свидет. № 560686. Бюл. изобретений № 21, 1977.
3. Хилл Р. Математическая теория пластичности ГИИТЛ. М., 1956.

4. Томленов А.Д. Теория пластического деформирования металлов. М., "Металлургия", 1972.

5. Бровман М.Я. Определение усилий при прокатке зубчатых колес. "Вестник машиностроения", 1960, № 9.

6. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Шнейдорович Р.М. Расчет на прочность деталей машин. М., "Машиностроение", 1966.

УДК 621.983

М.И.Хасьянов

КОНТРОЛЬ ЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ОБТЯЖКИ С РАСТЯЖЕНИЕМ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ*

Процесс обтяжки - основной процесс при изготовлении деталей обшивок летательных аппаратов. Важным показателем, характеризующим данный процесс, является степень деформации растяжения заготовки при ее формообразовании. От степени деформации зависят:

1 - число переходов N , которое определяется зависимостью (1):

$$N = \frac{\varepsilon_{i \max}}{\varepsilon_{i \text{ пред. доп}}}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{i \max}$ - максимальная интенсивность деформаций в опасном сечении;

$\varepsilon_{i \text{ пред. доп}}$ - предельно допустимая интенсивность деформации для данного материала.

2 - величина пружинения детали после разгрузки, характеризующая точность процесса, что видно, например, из зависимости (2):

$$\tilde{\alpha} = \alpha_0 - \frac{\alpha'_n}{(1 - \varepsilon'_0)}, \quad (2)$$

где $\tilde{\alpha}$, α_0 - соответственно остаточная кривизна элемента после разгрузки и под нагрузкой;

α'_n , ε'_0 - фиктивные кривизна и деформация, сопровождающие процесс разгрузки. Определяются они по зависимостям:

* Работа выполнена под руководством и при участии к.т.н. доцента В.П.Чистякова