

УДК 621.9+621.431.75

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА ВТ9 ПОД ВЫСОКОСКОРОСТНУЮ ШТАМПОВКУ

©2013 В. А. Костышев, М. С. Питюгов

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет)

В статье рассмотрено влияние технологических параметров и методов нагрева токами высокой частоты (ТВЧ) на структуру заготовок из сплава ВТ9 под высокоскоростную штамповку. Проводится анализ влияния структуры заготовок на напряжённо-деформированное состояние, комплекс механических свойств, энергию деформирования и стойкость штамповой оснастки. Дается сравнительная оценка нагрева ТВЧ и печного нагрева. Приведена методика проведения экспериментов и анализ их результатов.

Высокоскоростная штамповка, сплав ВТ9, нагрев ТВЧ, структурно-фазовое состояние, β -область, микроструктура.

Одним из наиболее перспективных методов изготовления лопаток компрессора газотурбинных двигателей (ГТД) является высокоскоростное выдавливание [1].

Этот метод позволяет получать тонкопрофильные изделия с коэффициентом вытяжки более 10 из титановых сплавов, которые зачастую обладают недостаточной технологической пластичностью при обычных скоростях деформирования на кривошипном горячештамповочном оборудовании. Особенно сильное влияние на формирование структуры лопаток оказывает неравномерность деформации, связанная с градиентом температурного поля как по сечению заготовки под выдавливание, так и в области формирования пера при штамповке. Для обеспечения технологической надёжности производства и повышения комплекса механических свойств лопаток необходимо решить задачу по оптимизации температурно-деформационных условий формоизменения с целью выравнивания напряжённо-деформированного состояния по очагу деформации и всему перу лопатки, получения оптимальной текстуры деформации, позволяющей

повысить эксплуатационную надёжность.

В связи с этим была поставлена цель работы: исследование влияния нагрева ТВЧ на макро- и микроструктуру, механические свойства, величину альфированного слоя, рост β -зерна заготовок лопаток из сплава ВТ9. В качестве исходного материала под высокоскоростную штамповку использовался прутки $\text{Ø}27 \times 48$ мм из сплава ВТ9. Температура полиморфного превращения данной плавки определялась методом закалки и составила 1000°C . Было проведено термометрирование заготовок по схеме, изображённой на рис. 1.

Нагрев заготовок под штамповку осуществлялся в индукторе ТВЧ с частотой 2500 Гц. Исследовалось влияние температуры нагрева ТВЧ на структуру, механические свойства, величину альфированного слоя, рост β -зерна заготовок. С этой целью заготовки нагревались до температур 970°C , 1000°C , 1020°C , 1040°C , 1060°C и автоматически передавались по жёлобу в штамп в течение 5–6 с, что соответствует времени до момента удара, после чего охлаждались в воде для фиксации структуры. Предварительно было проведено термометрирование для установления

силы тока, соответствующей заданным температурам в момент отключения индуктора.

Заготовки, нагретые ТВЧ с

последующим охлаждением в воде, имели матовую макроструктуру с зерном 1-2 балла по шкале макроструктур.

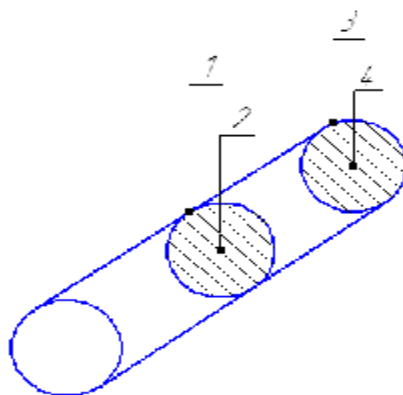


Рис. 1. Схема расположения термодатчиков в заготовке:

- 1 – термодатчик расположен на поверхности в середине заготовки;
- 2 – термодатчик расположен в сердцевине в середине заготовки;
- 3 – термодатчик расположен на поверхности вблизи торца заготовки;
- 4 – термодатчик расположен в сердцевине вблизи торца заготовки

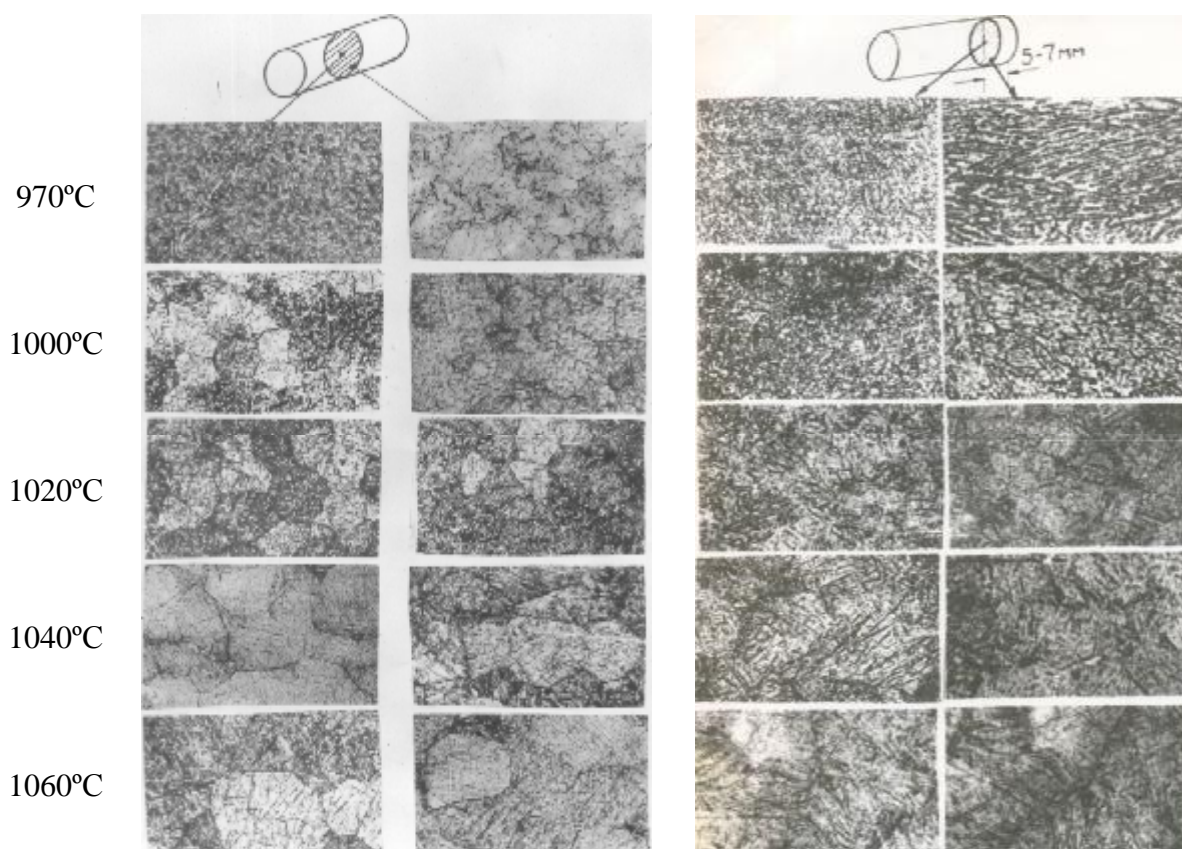


Рис. 2. Микроструктура заготовок из сплава ВТ9. Образцы взяты с четырёх зон, соответствующих схеме препарирования термодатчиков на рис. 1

В микроструктуре заготовок после нагрева на $T=970^{\circ}\text{C}$ ($\alpha+\beta$ -область на рис. 2) у исходного прутка в поверхностном слое возникает β -зерно размером 20-30 мкм (рис. 3). Это свидетельствует о неравномерном распределении температуры по сечению заготовки, т. е. поверхностные слои, в которых распространяются вихревые токи, имеют температуру, превышающую заданную и соответствующую β -области.

При температуре 1000°C , что

соответствует температуре полиморфного превращения данной плавки, происходит переход структуры из $\alpha+\beta$ -области в β -область и микроструктура заготовок представляет собой β -превращённую структуру пластинчатого строения (рис. 2). С повышением температуры нагрева до 1020°C отмечается незначительный рост зерна (рис. 2). При $T=1060^{\circ}\text{C}$ оно достигает 40-60 мкм (рис. 2).

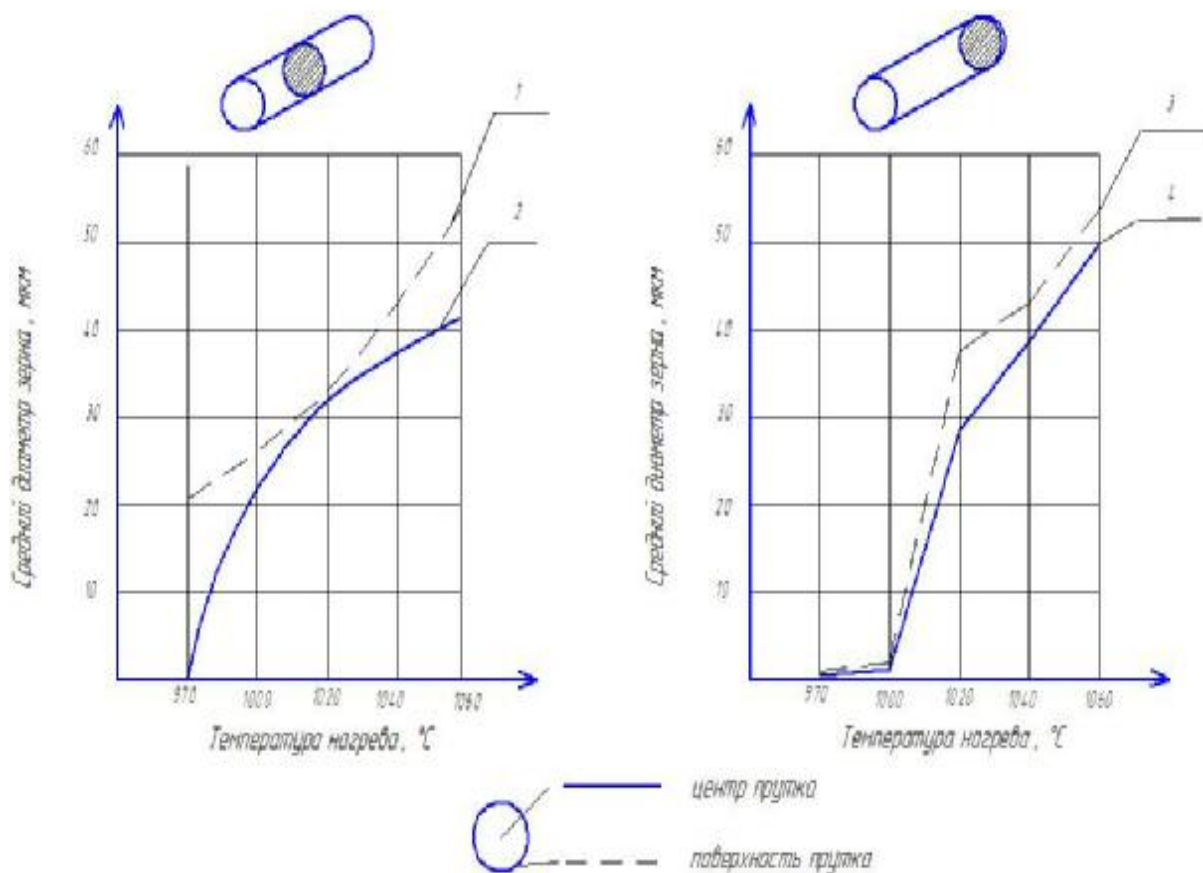


Рис. 3. Зависимости величины микрзерна заготовки из сплава ВТ9 от температуры нагрева ТВЧ:

- 1 – на поверхности в середине заготовки;
- 2 – в сердцевине в середине заготовки;
- 3 – на поверхности вблизи торца заготовки;
- 4 – в сердцевине вблизи торца заготовки

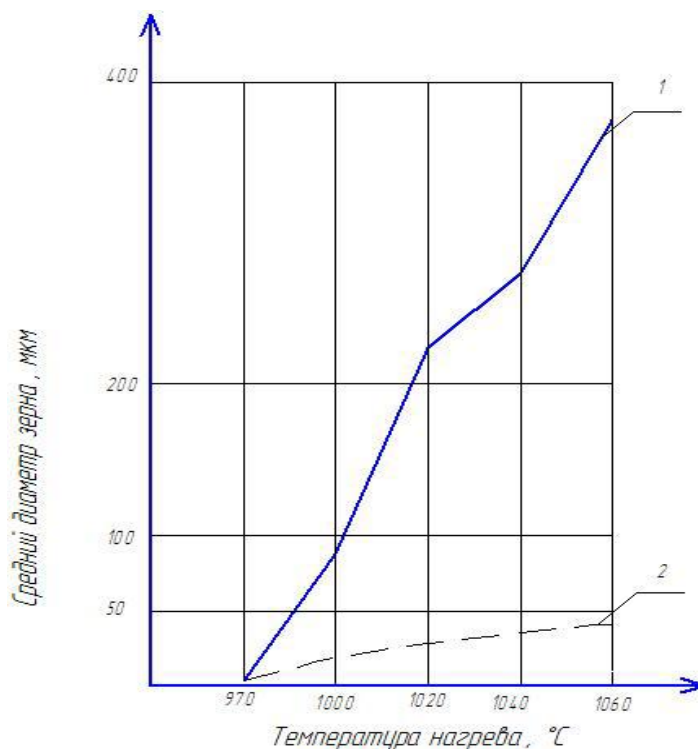


Рис. 4. Зависимости величины микрзерна заготовки из сплава ВТ9 от температуры при нагреве ТВЧ и печном нагреве:
 1 — величина микрзерна при печном нагреве;
 2 — величина микрзерна при нагреве ТВЧ

В процессе нагрева ТВЧ величина β -зерна в 7-8 раз меньше, чем при нагреве в камерных печах, что обусловлено кратковременным пребыванием металла (40-50 с) при температурах, превышающих температуру полиморфного превращения (рис. 4). Альфированный слой не выявлен, слой повышенной микротвёрдости составляет 0,02 мм. Таким образом, нагрев ТВЧ значительно снижает окисление поверхности заготовки и позволяет получить при нагреве в β -области регламентированное β -зерно 40-60 мкм, что невозможно при печном нагреве.

В результате индукционного нагрева поверхность заготовки будет более нагрета по отношению к сердцевине. В течение 5-6 с, что соответствует времени до момента удара, поверхность заготовки

охлаждается и будет происходить выравнивание температуры по сечению. Таким образом, в момент деформирования заготовка будет иметь достаточно однородную температуру по всему объёму, а высокая скорость нагрева токами высокой частоты позволяет существенно снизить рост зерна. Это способствует созданию равномерных деформаций и последующего структурно-фазового состояния и повышению свойств готового изделия.

Библиографический список

1. Согришин, Ю.П. Штамповка на высокоскоростных молотах [Текст] / Ю.П. Согришин, Л.Г. Гришин, В.М. Воробьев. — М.: Машиностроение, 1978. — 167 с.

THE INFLUENCE OF HIGH-FREQUENCY CURRENT HEATING TEMPERATURE ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF VT9 ALLOY BLANKS FOR HIGH-SPEED STAMPING

©2013 V. A. Kostyshev, M. S. Pityugov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper is devoted to the influence of technological parameters and methods of high-frequency current heating on the structure of VT9 alloy blanks for high-speed stamping. The influence of the blank structure on the strain stress state, the complex of mechanical properties, the energy of deformation and stability of stamping equipment are analyzed. Comparative estimation of high-frequency current heating and oven heating is given. The procedure of carrying out the experiments is presented and the analysis of their results is given.

High-speed stamping, VT9 alloy, high-frequency current heating, structural and phase condition, β -area, microstructure.

Информация об авторах

Костышев Вячеслав Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: kostyshev@ssau.ru. Область научных интересов: обработка металлов давлением, материаловедение.

Питюгов Михаил Сергеевич, аспирант кафедры обработки металлов давлением, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: 123_456_789_1011@mail.ru. Область научных интересов: обработка металлов давлением, материаловедение.

Kostyshev Vyacheslav Aleksandrovich, doctor of technical science, professor of the department of plastic working of metals, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: kostyshev@ssau.ru. Area of research: plastic working of metals, materials engineering.

Pityugov Mikhail Sergeevich, post-graduate student of the department of plastic working of metals, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: 123_456_789_1011@mail.ru. Area of research: plastic working of metals, materials engineering.