

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ QFORM В ПРОГНОЗИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

Биба Н.В.¹, Стебунов С.А.¹, А.В. Овчинников², В.П. Шмелёв³

Аннотация

С развитием систем математического моделирования технологических процессов, таких как, штамповка, термообработка, становится возможным оптимизировать технологию с точки зрения механических свойств изделия. На примере штамповки алюминиевых колес рассмотрено формирование структуры и свойств колес используя параметр Зинера-Холомона. Исследования проведены для наиболее опасных с точки зрения огрубления структуры элементов поковки: полотно, обод, верхняя и нижняя закраины. Информация, предоставляемая системой моделирования QForm, позволяет обоснованно управлять скоростным режимом штамповки и, избегая огрубления структуры в поковках колёс из сплава АВ, достичь заданного уровня механических свойств.

Введение

Штампованные автомобильные колёса из лёгких и прочных алюминиевых сплавов являются неотъемлемым атрибутом современной транспортной техники. Одна из задач, стоящих перед промышленностью, - наряду с освоением массового выпуска, обеспечить гарантировано высокий уровень механических свойств изделий. Благоприятное сочетание степени деформированности на отдельных участках поковки и температурно-скоростных режимов деформирования является ответственным за формирующуюся структуру металла, что, в конечном итоге, совместно с термообработкой определяет финишные свойства изделия.

Целью работы является разработка методики применения данных, предоставляемых программой QForm, в виде полей температуры, степени и скорости деформации, для прогноза структурного состояния материала заготовки. Прогноз структурного состояния позволит оценить свойства будущего изделия.

¹ ГНЦ ЦНИИТМАШ

² Ступинский филиал Московского авиационно-технологического института

³ ОАО «Ступинская металлургическая компания»

Методика проведения исследований

Разработанная методика прогноза структурного состояния включает в себя несколько этапов. Сначала моделируется процесс штамповки в системе QForm [1] и проводится анализ полученного распределения степени, температуры и скорости деформации по объёму поковки. Затем рассчитывается величина, пропорциональная уровню запасённой энергии и определяются критические области в поковке. На заключительной стадии определяются пути избежания закритических значений запасённой энергии и проверяются скорректированные режимы штамповки моделированием.

Процессом, наиболее сильно воздействующим на структуру горячедеформируемого металла, является рекристаллизация. В зависимости от момента протекания этого процесса различают динамическую рекристаллизацию (развивается и проходит в течение деформации), статическую (развивается и проходит при нагреве деформированного металла, например под закалку) и метадинамическую или спонтанную (проходит непосредственно после окончания горячей обработки давлением) [2]. При горячей обработке давлением накопленная энергия и результирующее структурное состояние, кроме степени деформации, зависят ещё и от температуры и скорости деформации. В качестве меры запасённой энергии, в этом случае, удобно использовать параметр Зинера-Холомона Z , который является критерием совместного влияния этих параметров на сопротивление деформации и косвенно на формирующуюся структуру [3]:

$$Z = \dot{\varepsilon} \exp(Q/RT);$$

где: Q – энергия активации пластической деформации; R – газовая постоянная.

В работе [4] этот параметр использован для построения диаграмм механизмов деформации алюминия и его сплавов, которые, в конечном итоге, определяют структурное состояние полуфабрикатов непосредственно после осуществления технологических переходов. Однако для термически упрочняемых алюминиевых сплавов важно знать структуру не столько в свежedefормированном состоянии, сколько после нагрева до температуры закалки, которая может быть как выше, так и ниже температуры начала рекристаллизации. В зависимости от этого в деформированном и

термообработанном полуфабрикате сформируется полигонизованная или рекристаллизованная структура. В этом случае диаграмма механизмов деформации может быть использована в качестве диаграммы структурного состояния (рис.1), построенной в координатах «скорость деформации – температура деформации», что сделано для сплава АВ в работе [5].

На диаграмме линия AA отделяет область горячей деформации I, после обработки, в которой при нагреве под закалку рекристаллизация не идёт. Эта линия характеризует взаимосвязь двух критических параметров горячей деформации – критической скорости и критической температуры деформации и называется линией критических состояний [5]. В металле, деформированном выше этой линии, уровень накопленной энергии не достаточен для протекания рекристаллизации при нагреве под закалку. Линия BB является температурно-скоростной границей области II, где накопленная энергия обеспечивает прохождение полной рекристаллизации. Между AA и BB находится область III

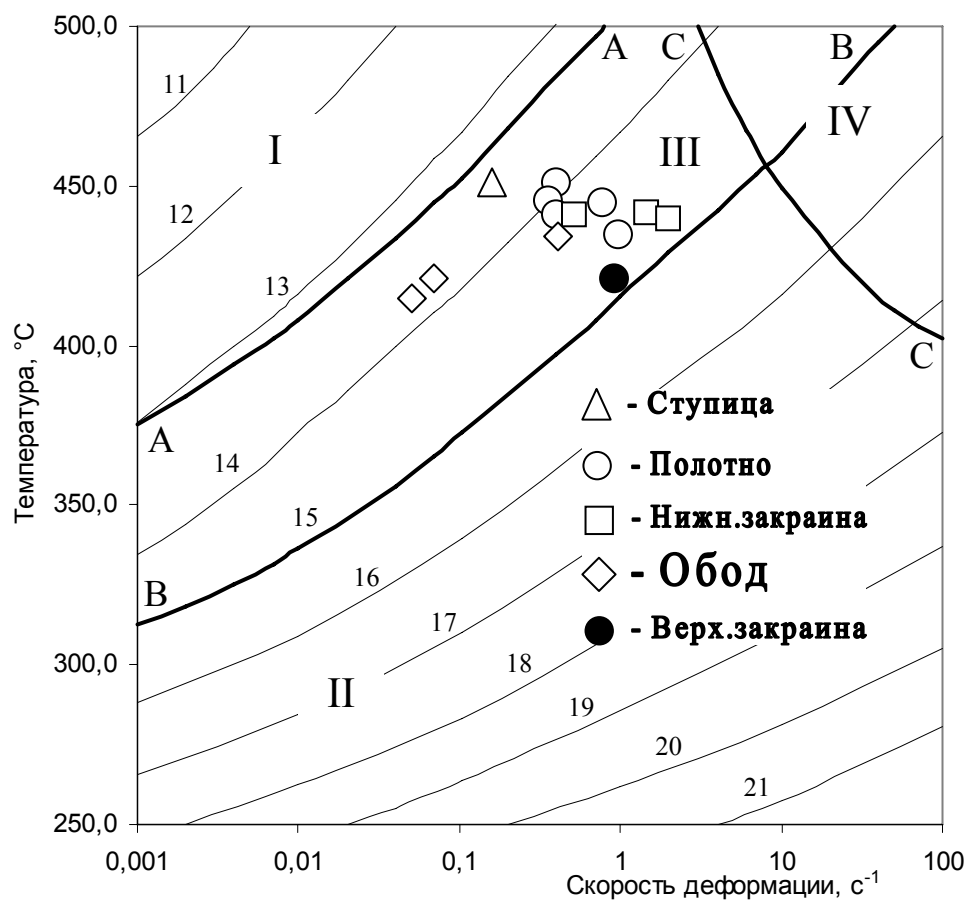


Рис. 1 Диаграмма структурных состояний сплава АВ, деформации на 50% и нагрева под закалку до 520°C. Числа у кривых – значения lg Z. [5].

частичной рекристаллизации, и структура металла, деформированного здесь и нагретого под закалку, будет смешанной. Именно эта область наиболее опасна с точки зрения неравномерного огубления структуры и, как следствие,

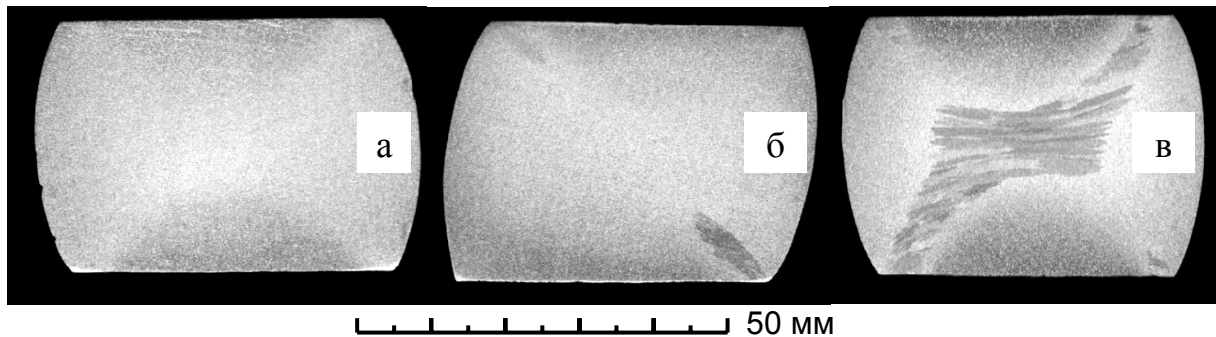


Рис.2 Макроструктура осажённых и закалённых (520°С, 1 ч., вода) образцов из сплава АВ. Скорость деформирования 1.5 мм/с. Температуры деформации: а – 430°С, б – 415°С, в – 407°С.

снижения механических свойств. Причём наиболее крупные зёрна получаются в середине области частичной рекристаллизации, когда рост их относительно свободен. В виду достаточно большой протяжённости этой области ($\lg Z = 13 \div 15$) критические значения $\lg Z$, соответствующие началу огубления структуры, требуют уточнения.

Исследование макроструктур образцов из сплава АВ, деформированных в температурно-скоростных условиях области III и закаленных с 520°С (рис.2), показывает, что критическим для прохождения рекристаллизации в процессе нагрева под закалку является значение $\lg Z = 14$ (скорость деформации 0.05 ÷ 0.12 с⁻¹ и температура около 420°С). По мере снижения температуры деформации с 430°С первые области с рекристаллизованными зёрнами появляются при температуре деформации 415°С (рис.2,б). Дальнейшее

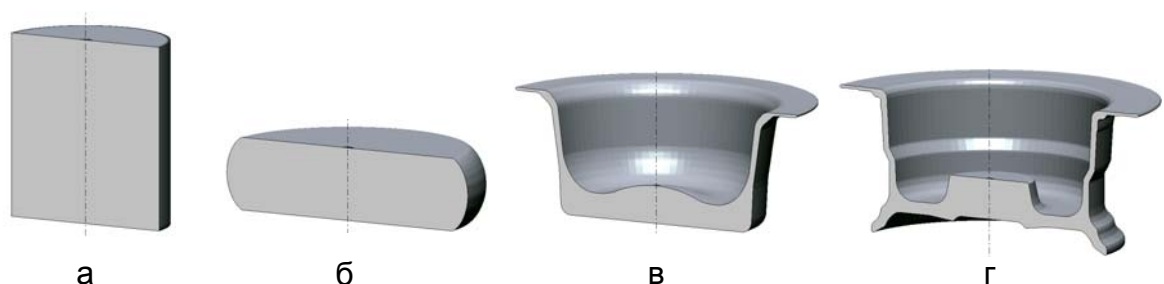


Рис. 3 Технологические переходы двухручьевого штамповки поковки диска автомобильного колеса в штампе с разъёмными матрицами.

а – исходная заготовка; б – осажённая заготовка;
в – предварительная штамповка; г – окончательная штамповка.

снижение температуры ведёт к росту объёмной доли рекристаллизованных зёрен, при этом они располагаются в пределах специфической крестообразной области в осевом сечении осажденной заготовки (рис.2,в).

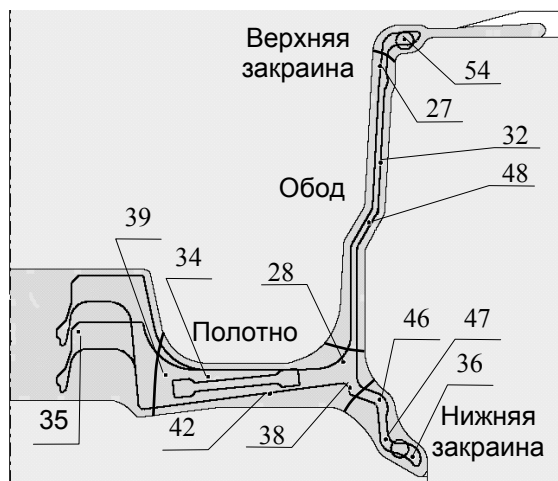


Рис. 5 Схема расположения трассируемых точек по элементам поковки в пределах контура готового изделия. Числа– номера трассируемых точек.

Большинство технологических процессов штамповки сложных поковок, к

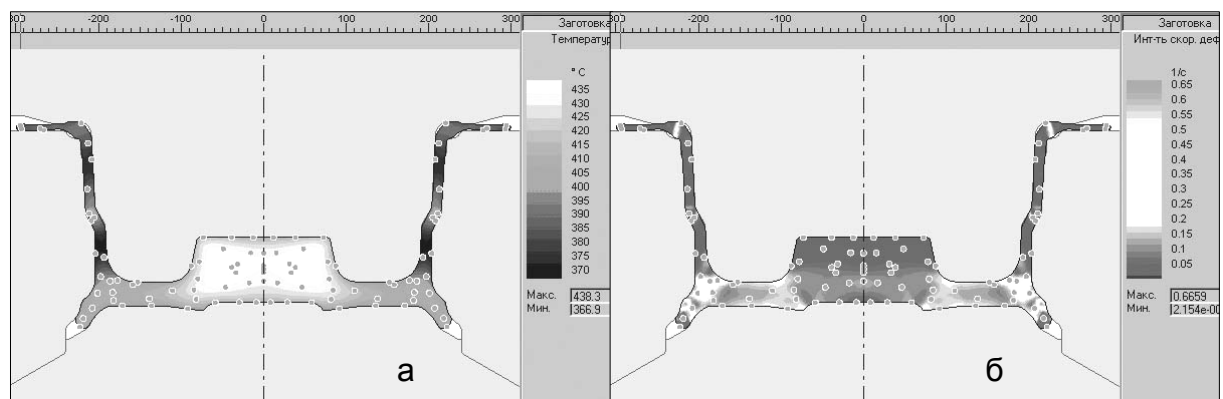


Рис. 4 Распределение температуры (а) и скорости деформации (б) по сечению поковки диска на завершающем этапе окончательной штамповки. Моделирование в системе QForm.

каковым относится поковка колеса, построены по многoperеходной схеме (рис. 3), при этом каждый переход, теоретически, вносит свой вклад в уровень запасённой энергии в структуре металла. На практике на температурно-скоростные режимы деформации сильное влияние оказывает подствывание заготовки из-за контакта с атмосферой и менее нагретым штампом, и

формообразующая операция завершается при существенно большем значении $\lg Z$, чем начиналась. Это позволяет для анализа условий формирования структуры использовать завершающую стадию окончательной штамповки. Исходные данные для такого анализа (температурные и скоростные поля в течение деформации) получены по результатам моделирования процесса штамповки в системе QForm с использованием трассируемых точек (рис.4).

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования проведены для наиболее опасных с точки зрения огрубления структуры элементов поковки: полотно, обод, верхняя и нижняя закраины (рис. 5). Наложение результатов моделирования на диаграмму структурных состояний сплава АВ (рис. 1) после деформации и закалки показывает, что все элементы поковки расположены в наиболее опасной, с точки зрения огрубления структуры, смешанной области III. Однако, принимая во внимание уточнённое выше критическое значение $\lg Z = 14$, можно сказать, что в области закритических значений параметра Зинера-Холомона полностью лежат лишь нижняя и верхняя закраины, а так же отдельные участки полотна (точки 42, 28, 38) и обода (точка 48). Причина в том, что на этапе окончательной штамповки наиболее интенсивно идёт течение металла в нижнюю закраину, активно деформируется полотно и изгиб обода (рис. 5, точка 48), а так же происходит окончательное оформление верхней закраины. Для выявления причин повышенного уровня накопленной энергии в этих элементах поковки и определения путей его избежания полезен совместный анализ температурно-скоростных условий деформации и динамики изменения величины $\lg Z$.

Объём полотна, помеченный точками 28 и 38 (рис. 5), по мере смыкания штампов интенсивно движется к полости нижней закраины, что отражается, в первую очередь, в принципиальном отличии скоростного режима деформации (рис. 6, а). Начиная с 7-й секунды штамповки, скорость деформации здесь резко нарастает до $0.7 \div 1.0 \text{ с}^{-1}$, что обуславливает закритические финишные значения $\lg Z$ ($14.2 \div 14.6$). Начало течения металла в нижнюю закраину совпадает с началом интенсивного обжатия полотна, однако, наряду с небольшим остыванием (не ниже 440°C) деформация металла здесь отличается заметно большей скоростью, особенно на завершающем этапе окончательной штамповки. По ходу процесса области вокруг точек 36, 47 и 46 последовательно выдавливаются в полость нижней закраины, имеющей форму

сужающегося канала с изгибами. Весь путь успевает пройти точка 36, при этом максимумы и минимумы на зависимости скорости деформации (рис. 6, б) хорошо согласуются с количеством и последовательностью изгибов канала.

Не смотря на выявленную зависимость величины $\lg Z$ от температурно-скоростных параметров деформации невозможно дать однозначное заключение о приоритетности влияния температуры или скорости на $\lg Z$ и, соответственно, уровень накопленной энергии. Проблема закритических значений $\lg Z$ может быть решена путём контроля температуры или скорости деформации. Исключить остывание без дополнительных материальных затрат невозможно. Теоретически задача решается применением изотермической штамповки, но при массовом производстве конкурентоспособных изделий из алюминиевых сплавов это вряд ли целесообразно.

Скорость движения траверсы гидравлического определяется соотношением необходимого усилия штамповки и максимального усилия, развиваемого прессом. В свою очередь сопротивление деформации материала заготовки существенно зависит от скорости деформации, и с уменьшением последней будет снижаться. Это позволяет, ограничивая усилие штамповки заданной величиной путём управления дросселем прессы, контролировать

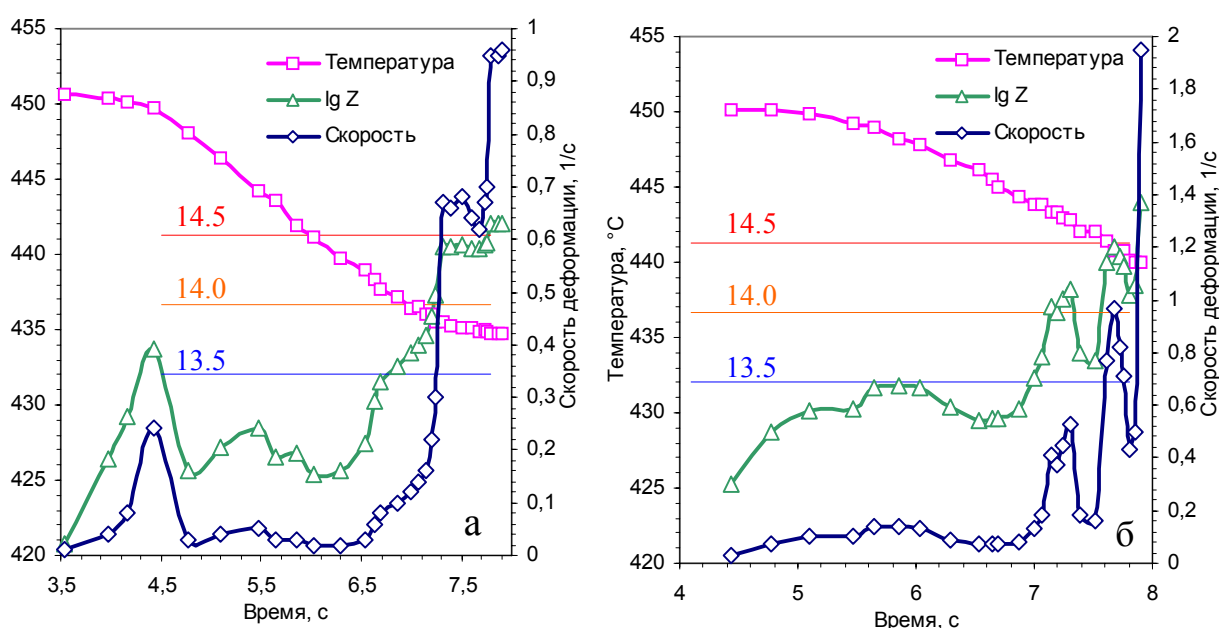


Рис. 6 Временные зависимости температуры, скорости деформации и $\lg Z$ для участка полотна (точка 38) – а, и нижней закраины (точка 36) - б. Числа над горизонтальными линиями – уровни $\lg Z$.

скорость деформации материала заготовки. Этот приём известен под названием крип-штамповка [6] и применяется при изотермической штамповке изделий из труднодеформируемых металлов и сплавов с целью облегчения условий работы инструмента. Анализ результатов компьютерного моделирования такого режима в системе QForm показывает, что при сохранении заполняемости ручья скоростной режим деформирования более благоприятный. В результате этого максимальные уровни $\lg Z$, действующие на финише окончательной штамповки в полотне и нижней закраине (рис. 7) не превышают критического значения 14. Особенно важным является факт окончания процесса штамповки при $\lg Z < 14$.

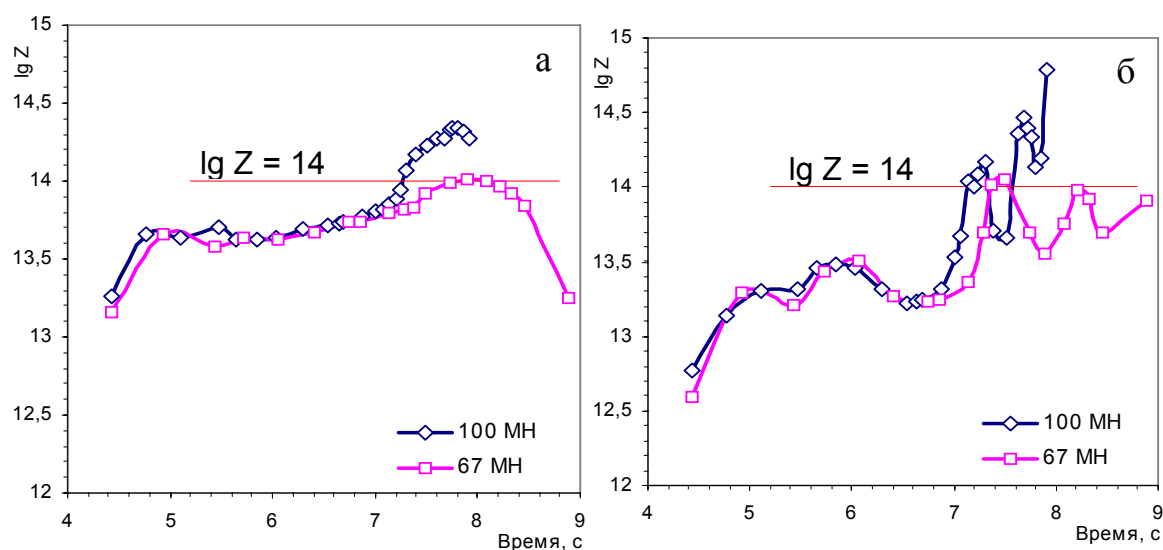


Рис. 7 Изменение величины $\lg Z$ в процессе окончательной штамповки на прессе усилием 100 и 67 МН. Точка полотна 38 (а) и нижней закраины: 36 (б).

Выводы

Информация, предоставляемая системой моделирования QForm, позволяет обоснованно управлять скоростным режимом штамповки и достичь заданного уровня механических свойств.

В работе описана методика прогноза структурного состояния материала и ее реализация на примере технологии штамповки на гидравлическом прессе диска автомобильного колеса из алюминиевого сплава АВ в штампе с разъёмной матрицей

Литература

1. Биба Н.В., Стебунов С.А. QForm- программа, созданная для технологов, КШП-ОМД, №9, 2004, с.38-42
2. Вайнблат Ю.М. Диаграммы структурных состояний и карты структур алюминиевых сплавов. Металлы, №2, 1982, с.82.
3. Арчакова З.Н., Балахонцев Г.А., Басова И.Г. и др. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Справ. изд., М.: «Металлургия», 1984, 408 с.
4. Вайнблат Ю.М. Структурные состояния полуфабрикатов из деформируемых алюминиевых сплавов. Технология лёгких сплавов, №8, 1992, с. 34.
5. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. Учебник. Изд. 3-е, М.: «Металлургия», 1978, 392 с.
6. Forg. and Prop. Aerosp. Mater. Proc. Int. Conf., Leeds, London, 1978.