

А. А. Урсулов^{1}, Т. В. Ларина¹*

Технологии производства дамасской стали

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: 17anton1216@gmail.com

Аннотация. Дамасская сталь – сложный композитный материал, в классическом исполнении состоящий из комбинации различных сталей, сваренных методом кузнечной сварки. Существует множество технологий производства данного материала, малая часть из которых рассматривается в данной статье. Также рассматриваются характеристики дамасской стали.

Ключевые слова: дамасская сталь, технология,ковка

А. А. Ursulov^{1}, Т. V. Larina¹*

Damascus steel production technologies

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: 17anton1216@gmail.com

Abstract. Damascus steel is a complex composite material, in its classic design consisting of a combination of various steels welded by forge welding. There are many technologies for producing this material, a small part of which is discussed in this article. The characteristics of Damascus steel are also discussed.

Keywords: Damascus steel, technology, forging

Основа технологии

Для каждого вида дамасской стали начальным этапом производства является подборка компонентов и сборка пакета. Традиционной на данный момент является комбинация углеродистых и низкоуглеродистых сталей, например, У12 и Ст3, подобные комбинации дают хорошо различимый узор, так как углеродистые стали при травлении темнеют значительно сильнее [1]. Однако в последние годы стали появляться изощренные виды дамасских сталей, где помимо стали присутствует титан, алюминий, как металлы, поддающиеся кузнечной сварке, так и медь, латунь, бронза, золото, серебро, которые не поддаются классическим способам кузнечной сварки. Также для изготовления дамасских сталей могут применяться стальные тросы, цепи и многое другое.

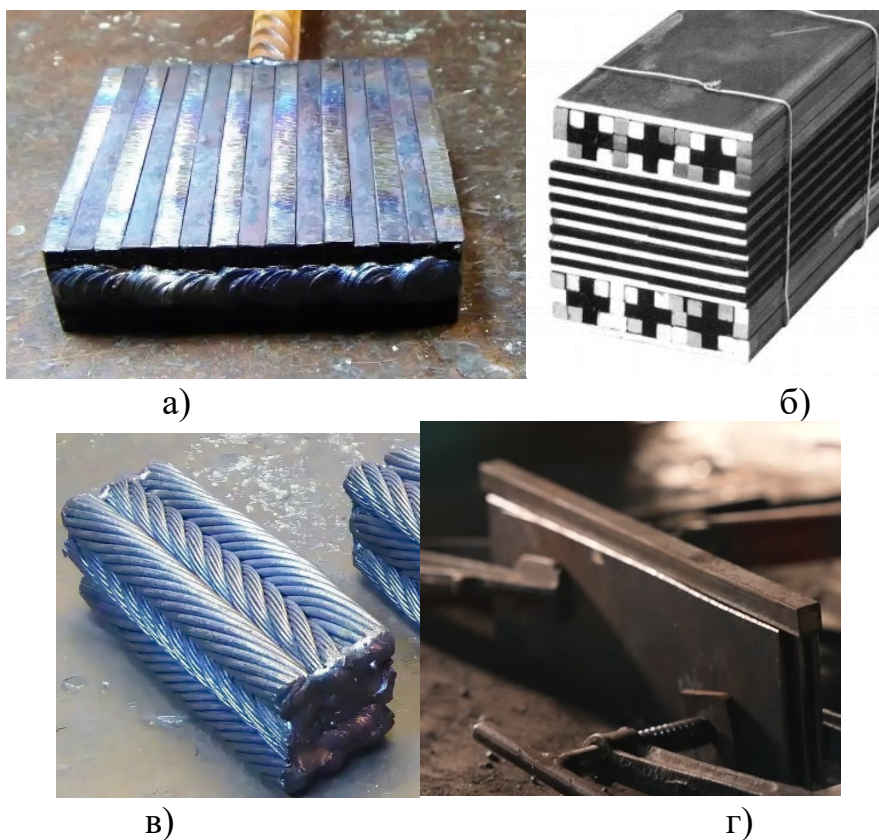


Рис. 1. Различные варианты пакетов на дамасскую сталь:
 а) классический пакет; б) пакет на мозаичный дамаск;
 в) пакет на мозаичный дамаск из троса;
 г) процесс сборки пакета на дамаск из стали и меди

Пакет на дамасскую сталь, состоящую только из различных сталей (рис. 1, *а, б, в*), должен фиксировать слои между собой и оставлять удобный способ удержания, например, хвостовик для клещей или полноценную рукоять, а также оставлять возможность буре (тетраборат натрия) протекать внутрь слоев. Для экзотических вариантов нужен индивидуальный подход, например, для комбинации сталь и медь, требуется погрузить полосы стали меди в герметичный контейнер (рис 1, *г*), заполненный бурой. Герметичность данного контейнера будет критически важна, так как смесь жидких буры и меди приведет к прожиганию слабых мест сварочных швов и, как следствие, утечке меди.

После сборки пакета следует ряд сложнейших операций кузнечного дела, а именно кузнечной сварки. В отличие от иных видов сварки кузнечная отличается тем, что в данном процессе металл остается в твердом состоянии и приложением тепла к большой площади. Сам процесс крайне требователен к соблюдению температурных режимов, для чего пригодится прибор, описанный в статье [2]. Для успеха операции кузнечной сварки (рис 2, *а*) требуется выполнить целый ряд условий: изолировать свариваемые поверхности от доступа кислорода, а также не допускать образования на них окалины, что решается избыточным покрытием бурой (рис 2, *б*), которая обволакивает поверхности исключая подход кислорода,

а также растворяя окалину, однако при работе с бурой требуется не забывать, что помимо осколков окалины при ковке будут разбрызгиваться кали жидкой буры (рис 2, в).

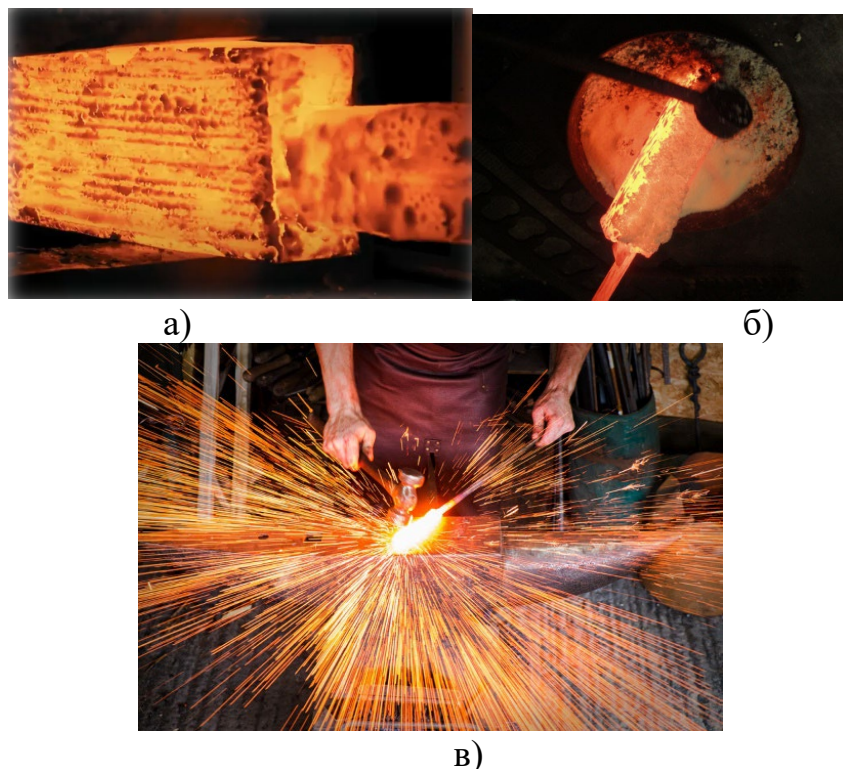


Рис. 2. Кузнечная сварка:

а) успешно свариваемый пакет; б) покрытие бурой нагретого пакета; в) разлет осколков окалины и брызг жидкой буры от первого удара при сварке

Следующий важный момент – температурный режим, для успешного прохождения сварки требуется температура составляющая 60–70 % от температуры плавления металла (обычно ярко желтое свечение металла), при данных температурах начинается процесс выгорания углерода на 0,3 % при первой и 0,1 % при последующих сварках, перегрев относительно данного диапазона увеличивает пассивное выгорание углерода. Несоблюдение температурного режима на всех свариваемых поверхностях приводит к непроварам или полному отсутствию сварки между данными слоями. Опытные кузнецы рекомендуют наносить удары средней силы, но с высокой частотностью. Касательно самого явления кузнечной сварки – это диффузионный процесс, проводящийся в пластическом состоянии металла, усиливаемый давлением от ударов или спрессовывания [3].

При успешной первой сварке получается поковка с малым количеством слоев, количество которых увеличивается в зависимости от требуемого узора повторными сварками частей этой поковки между собой. Это можно сделать как частичным разрубанием поковки и последующим складыванием в новый слой и повторной сваркой (рис 3, а, б), так и охлаждением, нарезанием поковки на но-

вые слои, зачисткой свариваемых поверхностей, повторной сборкой пакета и сваркой. Первый вариант быстрее второго, однако он оставляет след на геометрии слоев дамаска, а потому не подходит для, например, мозаичных дамасков.



Рис. 3. Нарращивание слоев без охлаждения:

а) практически разрубленную поковку складывают пополам; б) повторная сварка сложенной поковки

После достижения нужного количества слоев встает вопрос формирования узора, существует множество методик образования узора, но о них несколько позже. Для начинающих кузнецов, работающих с дамаском, пригодится сначала смоделировать будущий узор, с чем поможет набор пластилина разных цветов [4]. Пластилин нарезается на полосы, собирается в пакет (рис. 4, а) и с ним проводятся все те операции, что и со сталью (рис. 4, б), затем в зависимости от методики образования узора проводятся операции торсирования (рис. 4, в), резки, сверления, штамповки. Затем получившуюся модель (рис. 4, г) вскрывают с помощью нити или лески и получают наглядный пример узора, по которому можно корректировать план работ со сталью.

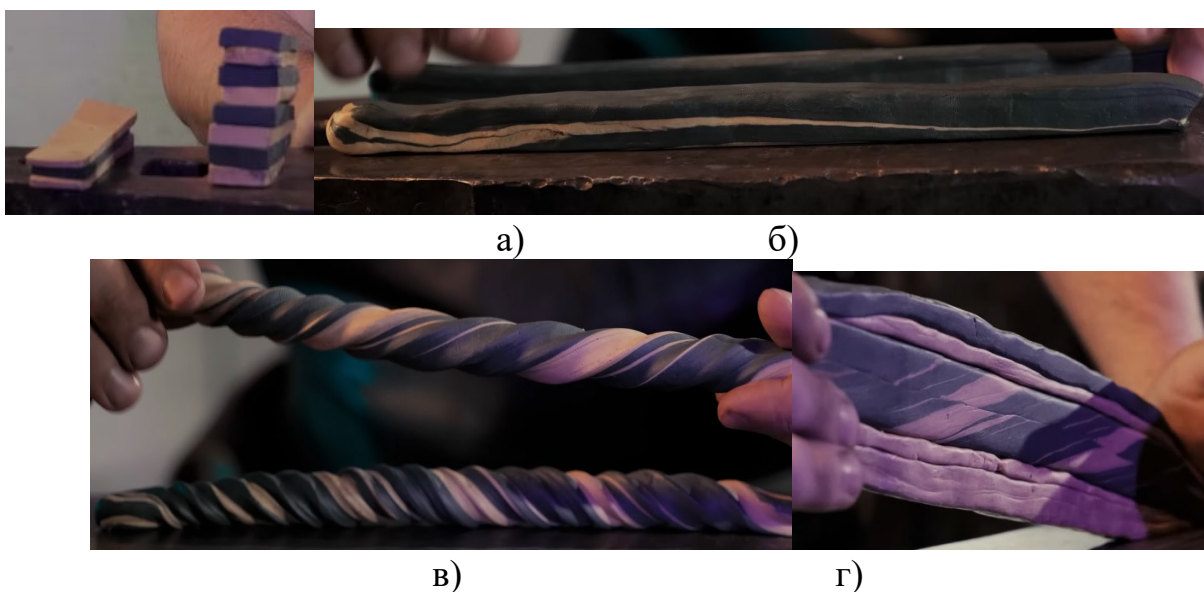


Рис. 4. Моделирование узора:
а) сборка пакета; б) набор слоев; в) торсирование;
г) модель изделия перед вскрытием узора

Методики образования узора

Существует практически бесчисленное количество методик образования узора дамасской стали рассмотреть все крайне сложно, поэтому были выбраны несколько классических способов повышенной сложности.

Вероятно, самый распространенный метод – торсированный (крученный) дамаск. Поковку с необходимым количеством слоев вытягивают в прут квадратного сечения (рис. 5, а), затем зажимая в тесках и вращать воротом (рис. 5, б), но так как тескам не рекомендуется контактировать со сталью при рабочей температуре (это может привести как к нарушению термической обработки губок тесков, так и к более весомым повреждениям), вставить специальный кузнечный инструмент, устанавливаемый в отверстие наковальни или зажимаемый в тесках, который имеет паз под заготовку и вращать воротом с аналогичным пазом. Затем получившийся поковку-торсион повторно кузнечно сваривается с целью сглаживания образовавшихся при торсировании вершин без затрат материала на обработку резаньем или шлифовкой (рис. 5, в). Далее либо придается итоговая форма изделия, либо продолжают работы по усложнению узора, например, поковка складывается пополам (рис. 5, г), довариваются слои дамаска иного узора.

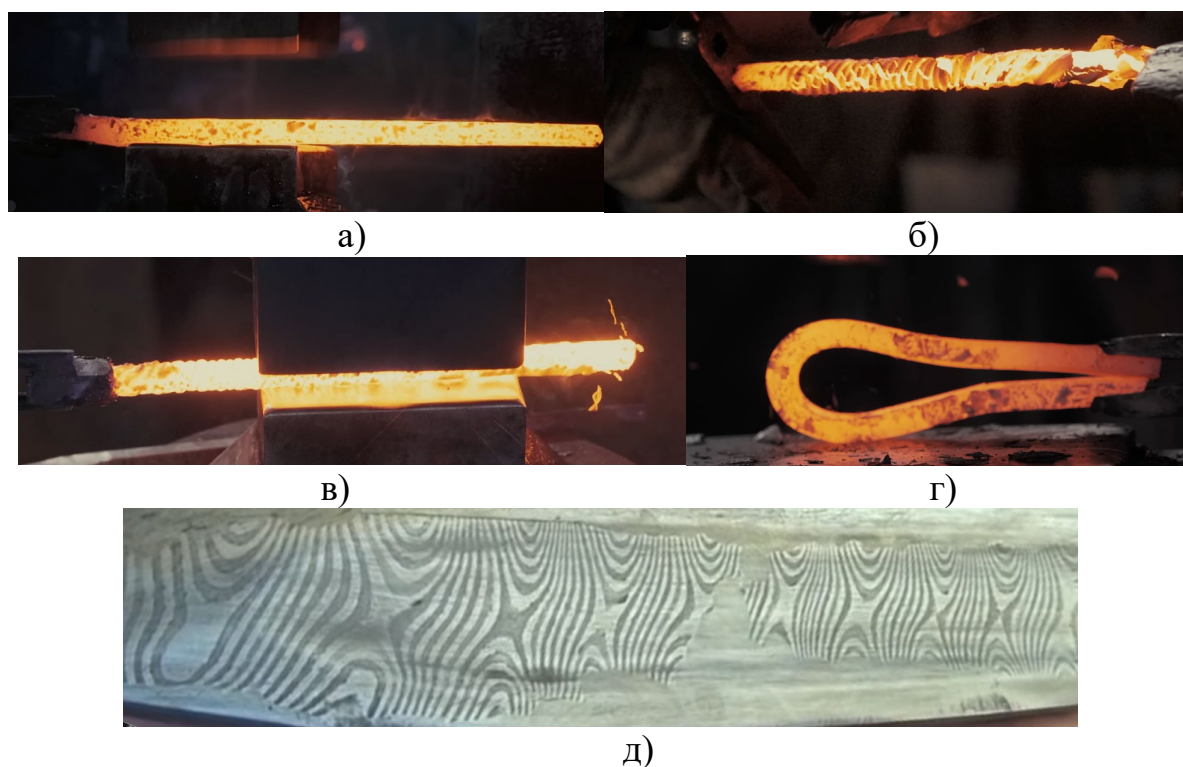


Рис. 5 Методика торсирования:

а) вытягивание прута; б) торсирование; в) сглаживание вершин; г) складывание пакета пополам; д) образец торсионного дамаска

Штемпельный дамаск имеет несколько вариантов исполнения, ключевые отличия между которыми – по способу заглабления в поковку: резаньем или ков-

кой, и по геометрии заглабления: линейно или окружностями. Для штампового дамаска критически важно выдержать параллельность слоев, иначе узор получится деформированным и неравномерным [5]. Для такой методики существует правило: если узор формируется резаньем (высверливается или вырезается), то вскрывать необходимо ковкой, если узор формируется ковкой (нанесение перфораций, глухих отверстий штампами), то вскрывать узор необходимо, в свою очередь, резаньем (срезание перфораций или срезание поверхности до дна отверстий).

Методика образования узора штампового дамаска резаньем глухих отверстий. Поковка с выбранным количеством слоев, расположенных параллельно, подвергается слесарной обработке, для получения ровной поверхности. Затем на ровную поверхность наносится разметка будущих отверстий (рис. 6, а), оптимально что бы между отверстиями оставалось расстояние от 2 до 5 миллиметров, в зависимости от размера отверстий. После разметки проводится кернение и сверление (рис. 6, б).

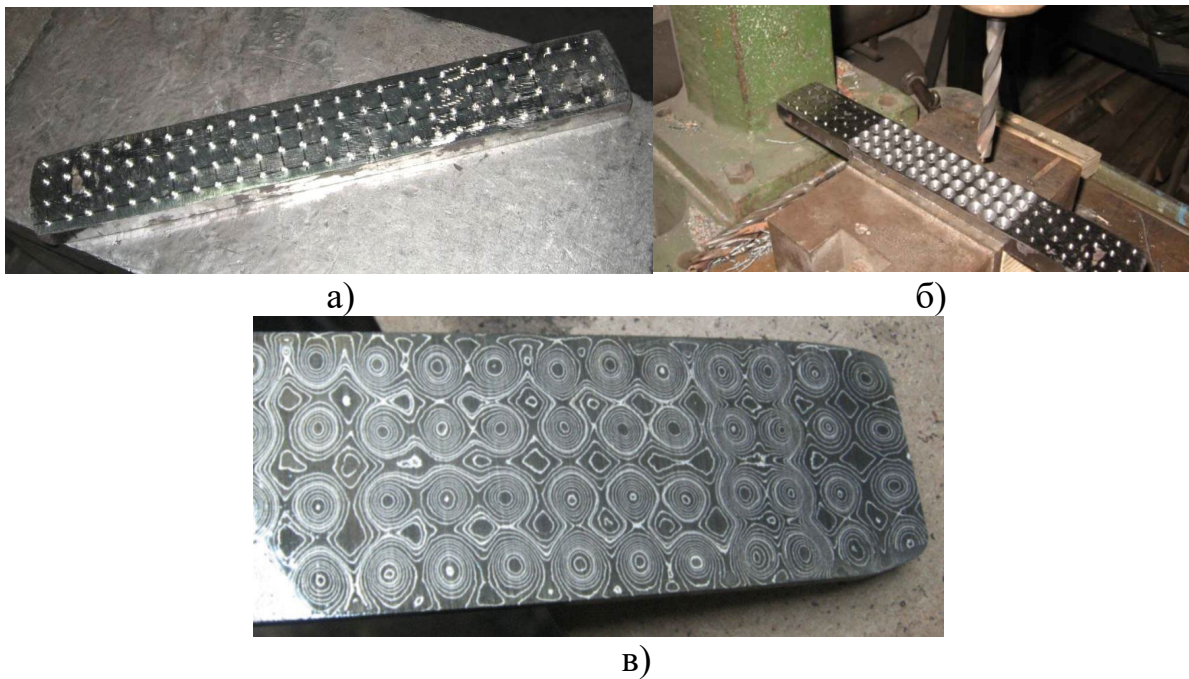


Рис. 6 Методика образование узора штампового дамаска резаньем глухих отверстий:
а) разметка и кернение; б) сверление; в) полученный узор

Сверление проводится на глубину заточки сверла, то есть на глубину конусности сечения сверла, так как цилиндрические стенки вредят узору. Регулируя конусность заточки (угол заточки), можно увеличить или уменьшить количество слоев дамаска, выходящего на поверхность. После нарезания отверстий проводится проковка, призванная выровнять дно отверстий с поверхностью, при этом все так же критически важно не допускать косослоев (отклонения от параллельности слоев). Далее идет формирование изделия.

Методика образования узора штемпельного дамаска ковкой заключается в нанесении фактуры при помощи заранее приготовленных штампов (рис. 7, а) или молотов с перфорацией (рис. 7, б) и последующего срезания фактуры. При использовании молота-штампа необходимо наносить удары по нему удары молотом, имеющим большую массу. Поковка с выбранным количеством слоев подвергается деформации, образующей строго заданный инструментом косослой, поэтому критически важно чтобы до этого в поковке их не было. Затем вершины полученной фактуры срезаются. После чего производится формирование изделия.

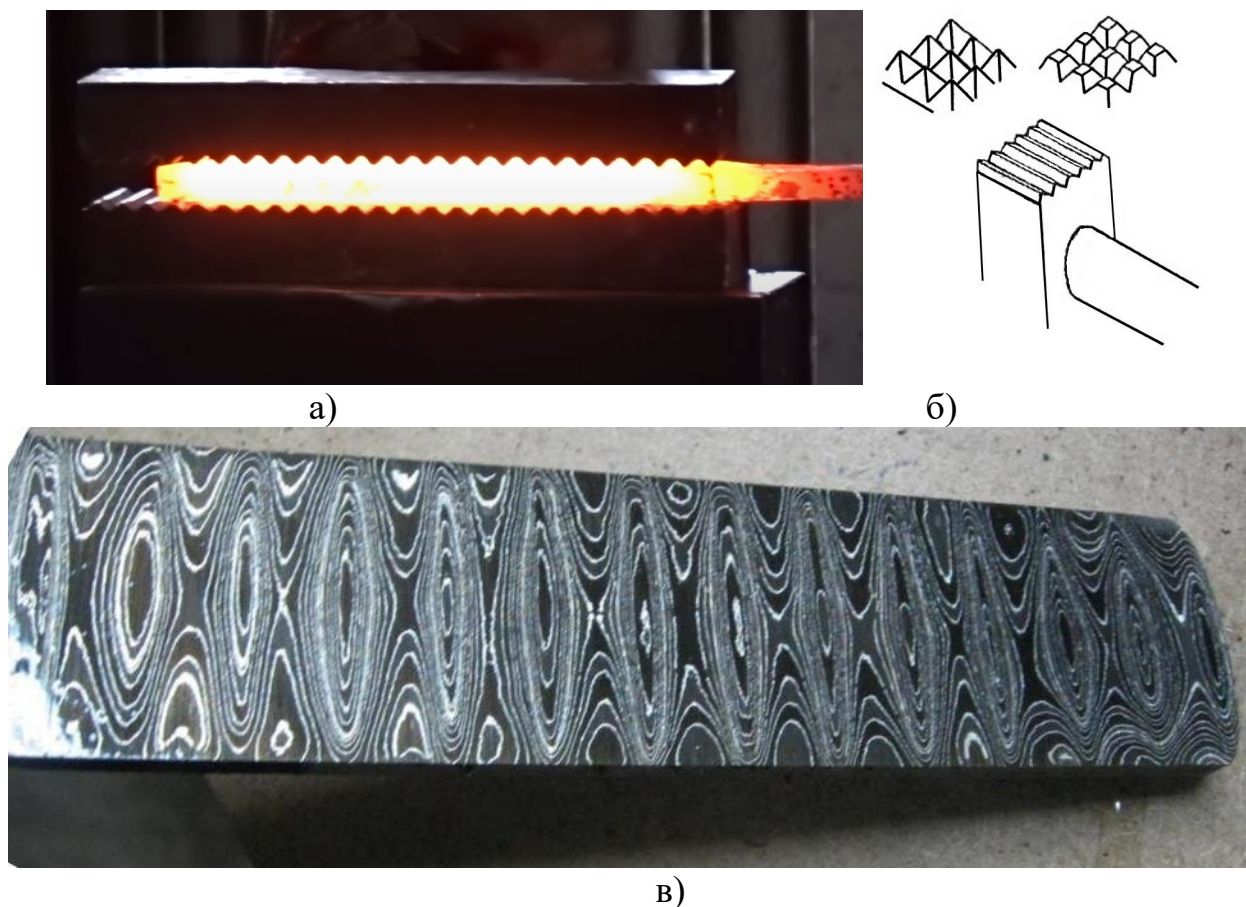


Рис. 7 Методика образования узора штемпельного дамаска ковкой:
 а) нанесение перфорации штампом; б) молоты с перфорацией; в) узор штемпельного дамаска, задаваемого ковкой

Узор в виде пера является сложным в получении и требует высокого уровня кузнечных навыков, ввиду специфической технологии производства [6]. Пакет должен собираться длинным, для получения эффекта объемности пера требуется комбинация тонких низкоуглеродистых слоев, заключающих между собой тонкий углеродистый слой, которые, в свою очередь, заключены между двумя толстыми слоями углеродистой стали (рис. 8, а). Чем больше слоев будет заложено в пакет, тем проще будет дальнейшая работа и лучше получится узор. Столь

сложную комбинацию толщин можно и не делать, но эффект объемности пера будет ниже. Затем идет кузнечная сварка, разрезание длинной поковки на большое количество коротких фрагментов, которые потом собираются в новый пакет, в котором длины слоев должны быть многократно меньше суммарной высоты слоев. К одному из краев пакета сбоку приваривается либо хвостовик, либо рукоять для удержания. Данное расположение средства удержания пакета вносит сложности в работе, однако является необходимым. Далее следует очередная кузнечная сварка. Слоев в данном дамаске много не требуется, по замыслу узора они должны быть легко различимы. После кузнечной сварки наступает время достаточно сложной операции – необходимо разрубить практически на всю глубину получившуюся поковку (рис. 8, б), рассекая слои пополам, для этого используется зубило кузнечное либо устанавливаемое на наковальню, либо ручное, кромка зубила должна быть скругленной, чтобы металл частично продавливался вглубь поковки. Затем производится кузнечная сварка разрубленного участка (рис. 8, в) и формирование изделия (рис. 8, г).

Мозаичный дамаск является вершиной кузнечного дела в данной области, и является произведением искусства. Сложность обуславливается отсутствием рамок, кузнец, дошедший до данного уровня уже не связан технологическими схемами. Каждое изделие требует полностью индивидуального подхода. Стивен Шварцер в 1993 году отковал мозаичный пакет для ножа «Мечта охотника» (рис. 9, а). За шесть месяцев с перерывами он «всего лишь» расковал брусок поперечником 130 миллиметров со вставленной в него многоэлементной фигуркой охотника так, что его «рост» уменьшился с 40 миллиметров до 12 и его стало возможным вварить в клинок ножа (рис 9, б). Процесс заключался в вырезании вкладыша в виде охотника, собаки и птиц методом электроэрозионной резки, который погружался в герметичный контейнер с порошковой сталью и равномерно проковывался при сварочной температуре. Нюанс в том, что у фигуры охотника можно рассмотреть даже каблук на сапогах и, что самое примечательное, после всех деформаций при сварке и проковке ствол у ружья остался прямым.

Целью травления является образование на поверхности металла пленки окислов, выполняющих как декоративную, так и защитную функции (проявляет узор и защищает от механических повреждений полированную поверхность). Существует множество способов травления дамаска, для выявления узора: соляная, азотная и уксусная кислоты, хлорное железо, уксуснокислое железо и азотнокислое серебро, настои ядовитых трав или же просто длительное натирание лимоном. Часть из реагентов можно купить в различных магазинах, какие-то придется готовить. Азотнокислое серебро добывается растворением серебряной монеты в азотной кислоте, уксуснокислое железо можно приготовить, растворив в 80 % уксусной кислоте гвозди. Чаще всего для травления используются 3–5 % раствор соляной или 5 % раствор азотной кислот. Растворы готовятся на основе дистиллированной воды. Для растворов с азотной кислотой нормальной рабочей температурой является комнатная, для растворов с соляной кислотой 30°C, в ином случае контрастность снижается.

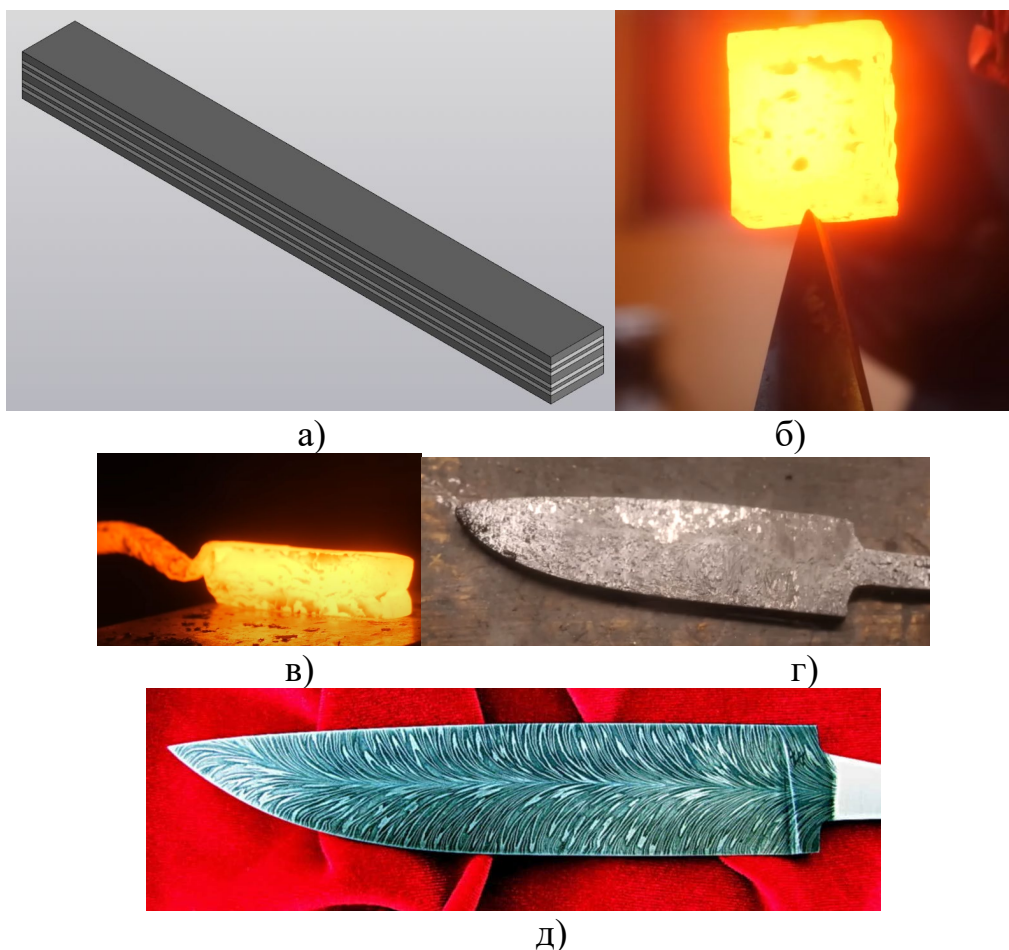


Рис. 8 Дамасская сталь с узором «перо»:
 а) модель пакета; б) операция разрубания слоев; в) формирование изделия;
 г) изделие на ранних этапах слесарной обработки; д) узор на изделии



Рис. 9 «Мечта охотника»:
 а) готовый нож; б) пакет мозаики для ножа после уменьшения ковкой.

Травление требуется проводить после тщательной шлифовки, иначе царапины и прочие повреждения поверхности увеличатся и испортят узор. Проводить глубокое травление не рекомендуется, так как углубление травления в дамаск уменьшает прочность сварки слоев, вызывая ранний выход изделия из строя. После травления следует выдержать изделие в растворе соды, закрывая

тем самым освободившиеся места на энергетических уровнях молекул (травление в кислотах забирает электроны в ходе реакции, оставшиеся не уравновешенными орбитали принимают электроны из атмосферы, тем самым вызывая стремительное ржавление).

Интересуясь характеристиками дамасских сталей, можно столкнуться с большим количеством заблуждений и откровенной лжи. Дамасская сталь является композиционным материалом, ей присуще деление на слои, в этом главная ее особенность. Слоистой природой данного материала можно воспользоваться на пользу, повышая твердость режущей кромки до невероятных показателей, что вызвано тем, что зерно металла, ответственное за остроту и твердость режущей кромки, не может быть толще слоя, а кузнецы и ученые научились добиваться толщин слоя в $1\pm 0,2$ мкм для кузнецов и в сотых долях микрометра для ученых (при использовании ограничителей из непреодолимых для диффузии углерода материалов), что теоретически позволяет достичь твердости в 1200 НРС, однако такие твердости достижимы на данный момент только для лабораторий [7]. В условиях кузнецов среднестатистический штемпельный дамаск имеет 250–350 слоев и толщину зерна в 15–20 мкм, при 5–10 мкм зерна в высококачественных инструментальных сталях и 1–5 мкм в особовысококачественных сталях. В дамасской стали в 1000 слоев нормой является толщина зерна в 5 мкм, что нивелирует практическую пользу специфических свойств зерна в дамасской стали, ввиду того что при достижении размера зерна в 5–10 мкм дамасская сталь теряет видимый глазу рисунок, но при этом сохраняет присущую слоистой структуре ломкость. С другой стороны, существует пример штемпельных дамасков: при нанесении линейной перфорации кузнец может регулировать количество зубцов, выходящих на режущую кромку и угол, под которым они расположены относительно плоскости лезвия (видимых при значительном увеличении), при затуплении вершин зубцов при резке затачивает их относительно хода режущей кромки, позволяя изделию длительно сохранять режущие свойства на высоком уровне. На основании чего можно предположить об ошибочном поднятии количества слоев до такого уровня в пользу вваривания режущей кромки из моно инструментальных сталей. Однако, не стоит забывать, что изделие с твердостью выше 60 НРС будет являться профессиональным инструментом, обладающим высокой остротой и способностью длительно сохранять заточку, однако при этом хрупкость кромки станет крайне высокой, что требует умения обращения с подобным изделием, ввиду высокого риска выкрашивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марьянко А. Современная дамасская сталь // Прорез журнал. - 2000. - №1
2. Урсулов А.А. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ КУЗНЕЧНЫЙ ПИРОМЕТР // LXXI региональная студенческая научная конференция. - Новосибирск: СГУГИТ, 2023. - С. 186.
3. Козловский, С. Н. Сварочные технологии / С. Н. Козловский. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 416 с. — ISBN 978-5-507-46689-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/316958> (дата обращения: 12.05.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Дамасская сталь. Булат, Дамаск // Реликвия URL: <http://forum.relicvia.ru/topic/144390-damasskaia-stal-bulat-damask/> (дата обращения: 13.05.2024).

5. Земцов М.И., Сабанцев И.А. Художественнаяковка. Инструмент, оборудование, изготовление художественного изделия Методические указания к лабораторной работ. - Вятск: Вятский государственный университет, 2009. - 30 с.

6. Узоры дамасской стали. // Guns.ru URL: <https://forum.guns.ru/forummessage/97/986460.html> (дата обращения: 13.05.2024).

7 Дамасская сталь // Архангельские.РФ URL: <https://www.arhangelskie.com/index.php/10-stati/35-statya-19> (дата обращения: 13.05.2024).

© А. А. Урсулов, Т. В. Ларина, 2024