

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIHII (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2019 Issue: 12 Volume: 80

Published: 30.12.2019 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Leonid Shron

Sevastopol State University
Associate Professor, Ph.D.,
Russian Federation
shronlb@mail.ru

TO THE QUESTION OF THE PECULIARITIES OF TRANSIENT PROCESSES IN FRICTION WELDING

Abstract: It is proposed that upon receipt of workpieces of complex shape to use the most economical technology - friction welding of workpieces. Performed analysis showed that the smaller the amount of energy required for the formation of the compound, the better its quality and higher efficiency of the process. It is shown that a steady state at the junction is preceded by a transition process, where small friction coefficients are not able to lead to plastic deformations of a relatively weakly heated metal of the butt region. The heat released is spent only on the plastic deformation of superheated metal in a very narrow layer and removed in burr. It is recommended, based on the possibility of technological equipment, to set the linear speed equal to the second critical speed, at which there is minimal burr formation.

Key words: friction welding, heating time, transition process, setting bridge, plastic deformation.

Language: Russian

Citation: Shron, L. (2019). To the question of the peculiarities of transient processes in friction welding. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (80), 107-111.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-80-20> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2019.12.80.20>

Scopus ASCC: 2211.

К ВОПРОСУ ОБ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ

Аннотация: Предложено при получении заготовок сложной формы использовать наиболее экономичную технологию – сварку заготовок трением. Выполненный анализ показал, что чем меньше количество энергии, необходимой для образования соединения, тем лучше его качество и выше экономичность процесса. Показано, что установившемуся состоянию в стыке предшествует переходный процесс, где малые коэффициенты трения не в состоянии привести к пластическим деформациям сравнительно слабо нагретый металл околостыковой области. Выделяемая теплота расходуется только на пластическую деформацию перегретого металла в очень узком слое и удаляемого в грат. Рекомендуется, исходя из возможности технологического оборудования, линейную скорость назначать равной второй критической скорости, при которой происходит минимальное образование графа.

Ключевые слова: сварка трением, время нагрева, переходной процесс, мостик схватывания, пластическая деформация.

Введение

УДК 621.791

При получении составных заготовок сложной формы из различных материалов, как это отмечается в работах многих авторов [1,2-6], целесообразно использовать наиболее экономичную технологию – сварку заготовок

трением. Это объясняется, в первую очередь, высокой производительностью процесса, в результате быстрого нагрева поверхностных слоев металла в стыке соединения до требуемых температур. Во вторых обеспечивается высокая стабильность качества сварных соединений, связанная со специфическими условиями пластической деформации материалов,

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

обеспечивающими прочные мелкозернистые структуры с равноосным (полиэдрическим) зерном. Для решения этой задачи требуется осмысление переходных процессов в зоне контакта заготовок при сварке трением.

Материалы и методы исследования

Образование соединения при сварке трением происходит в условиях сложной пластической деформации нагретых материалов. Эти условия определяют энергоёмкость процесса. Поскольку пластическая деформация и тепловыделение в стыке в известной мере взаимосвязаны, то снижение энергоёмкости имеет большое значение. Иными словами, чем меньше количество энергии, необходимой для образования соединения, тем лучше его качество и выше экономичность процесса.

Минимальная энергоёмкость, необходимая для формирования соединения, определяется только экспериментально, поэтому назначение оптимальной технологии сварки заключается в

выборе, соответствующих значений параметров ω , P и t по результатам исследований. Во многих случаях минимальной энергоёмкости сопутствует минимальное время сварки.

Для достижения последнего необходимо определенное время $t^{уст}$, (уменьшение которого ведет к снижению энергоёмкости процесса. Установившемуся состоянию в стыке предшествует переходный процесс. С точки зрения оценки качества соединения по конечному результату переходный процесс может вообще не приниматься во внимание. Тем не менее физика переходного процесса, динамика изменения его параметров представляет научный интерес как явление, не имеющее до сих пор достаточно достоверного объяснения [7,8,9]. Так, например, при высокой относительной частоте вращения имеет место пиковое значение момента трения, значительно большее, чем при установившемся состоянии процесса (см. рис. 1).

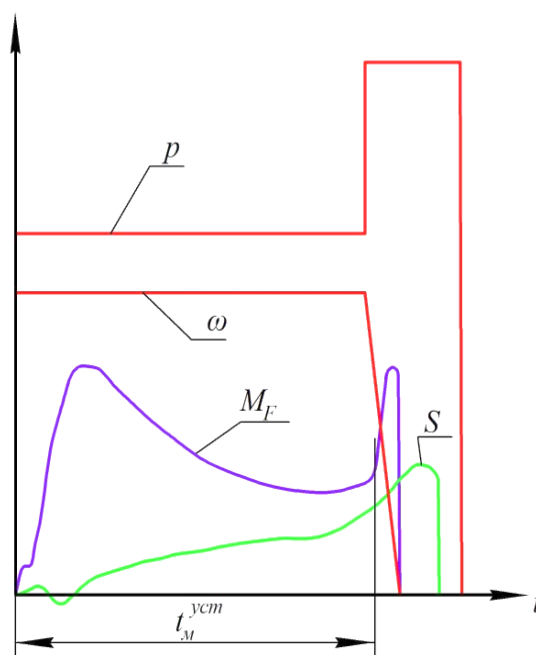


Рисунок 1 – Динамическая характеристика процесса сварки трением (ω - частота вращения; p – давление нагрева и осадки; M_F – среднее значение момента трения; S - величина осадки; $t_n^{уст}$ – время нагрева до достижения моментом трения установившегося значения).

В литературе [7,8,10,11,12] это объясняется увеличением реальной площади контакта поверхности соединения, прогрессирующим возрастанием числа "мостиков схватывания" при одновременном их разрушении. Представить себе это довольно трудно, поскольку уже в первые мгновения, порядка сотых долей секунды, температура контактирующих участков становится близкой к температуре плавления. В

этих условиях увеличение числа "мостиков схватывания" в пределах стыка до бесконечности не должно создавать момент трения больше, чем при установившемся состоянии пластической деформации металла в стыке. Однако не все участки стыка контактируют. Замечено, что вплоть до возникновения пикового момента трения в стыке интенсивной пластической деформации подвергается только часть металла в

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

кольцевой зоне, расположенной приблизительно на 2/3 диаметра соединяемых заготовок.

Исследование переходного процесса, помимо познавательного значения, важно для уточнения некоторых параметров технологии и оборудования. В частности, пиковый момент трения в стыке требует увеличения момента инерции рабочего шпинделя; увеличенный пиковый момент трения был использован при сварке разнородных материалов (медь с алюминием) и др [13].

При проектировании новых технологий возможны варианты применения различных параметров переходного процесса (ω , P), но факторами, определяющими качество соединения при сварке трением, являются параметры установившегося процесса и то, что при этих параметрах время переходного процесса минимальное.

В дальнейшем все рассуждения, касающиеся параметров технологии, относятся к установившемуся пластическому состоянию металла в стыке во время сварки.

Для удобства на практике используют не частоту вращения, а относительную линейную скорость v , измеренную по наружному диаметру свариваемых заготовок. При возрастании v от 0,38 до 5,2 м/с (конструкционная сталь) температура увеличивается от 550°C до 1240°C [7,9,14,15].

Хотя сварка заготовок получается во всем указанном диапазоне температур (при одинаковом усилии сжатия), качество соединений и время сварки не одинаковы ввиду особенностей пластической деформации. Последнее не вполне очевидно. Так, например, при минимальных температурах в стыке количество теплоты, необходимое для сварки, меньше, чем при более низких температурах. Максимальное тепловыделение соответствует температуре порядка 780°C, а при снижении либо при увеличении температуры в стыке оно уменьшается. Количество теплоты определяет количество выделяемого грата [16,17-20].

Линейная скорость, при которой имеет место наибольшее графовыделение, называется первой критической $v_{кр1}$. Линейная скорость $v > v_{кр1}$, при которой имеет место стабилизированное минимальное графообразование, называется второй критической скоростью $v_{кр2}$. При $v > v_{кр2}$ изменения графообразования практически не происходит (рис. 2). Наилучшее качество дает сварка, выполненная в условиях $v_{кр2}$.

Рассмотрим особенности пластической деформации при $v > v_{кр1}$. В диапазоне линейных скоростей от $v > v_{кр1}$ до $v_{кр1}$ номинальное значение температуры остается еще достаточно низким, благодаря чему сохраняется высокий момент трения в стыке.

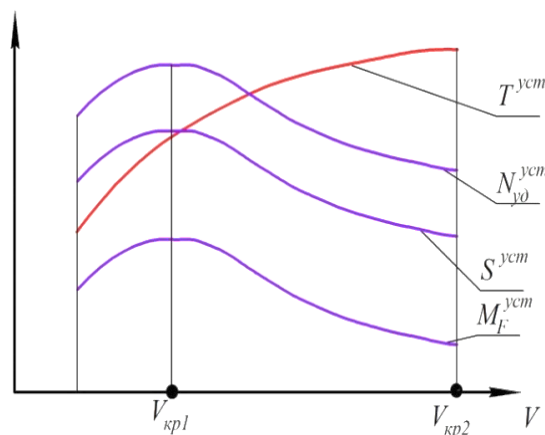


Рисунок 2 - Статическая характеристика параметров сварки в зависимости от окружной скорости вращения: T^{ycm} - установившаяся температура; $N_{уд}^{ycm}$ - удельная мощность трения; M_F^{ycm} - момент сварки в стыке; S^{ycm} - осадка заготовок.

Повышение температуры при возрастании скорости до $v_{кр1}$ приводит к увеличению прогрева и вовлечению в зону пластических деформаций все большего количества металла. В условиях относительно низких температур пластическая деформация сама служит источником теплоты, что еще более расширяет пластически деформируемую зону, которая становится наибольшей при $v_{кр1}$. Следовательно, в рассмотренном диапазоне скоростей источником

тепловыделения и графообразования является взаимодействие слоев пластичного металла при относительно низкой температуре. Это подтверждается максимальным моментом трения в стыке при $v_{кр1}$ (рис.2). Расширение зоны пластической деформации вследствие теплопроводности имеет второстепенное значение.

В диапазоне линейных скоростей $v_{кр1} - v_{кр2}$ повышение температуры при возрастании v

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

увеличивает пластичность металла стыка, что приводит к уменьшению момента трения (см. рис.2). Хотя температура повышается до 1240°C, зона пластически деформированного металла резко сужается, общее тепловыделение в стыке снижается при резком возрастании осевых градиентов температур.

Выводы.

При $v \geq v_{кр1}$ ширина зоны пластической деформации минимальна. Малые коэффициенты трения теперь не в состоянии привести к пластическим деформациям сравнительно слабо нагретый металл околостыковой области. Последнее стабилизирует зону пластических деформаций на минимальном уровне, несмотря на

возросшую теплопередачу от стыка. Выделяемая теплота расходуется только на пластическую деформацию перегретого металла в очень узком слое; и удаляемого в грат.

Достижение предела установившихся пластических деформаций при $v < v_{кр2}$ происходит за большее время, количество выделившегося графа увеличивается, зона термического влияния расширяется.

Если позволяют возможности технологического оборудования, линейную скорость следует назначать равной второй критической скорости $v_{кр2}$, при которой происходит минимальное графообразование.

References:

1. Zyahor, I.V. (2014). Linejnaya svarka treniem me-tallicheskih materialov (obzor)-/ Zyahor I.V., Zavertannyj M.S., Chernobaj S.V. - *Avtomaticheskaya svarka. № 12 (738)*, pp.29-36.
2. Sergeeva, E.V. (2013). Svarka treniem s peremeshivaniem v aviakosmicheskoy promyshlennosti (obzor) - *Avtomaticheskaya svarka.. № 5 (721)*, pp. 58-62.
3. Aoki, Y. 2019 Linear friction stir welding of medium carbon steel./ Aoki Y., Fujii H. - *Journal of the Japan Welding Society.. T. 88. № 3. S. 188-192.*
4. Kolubaev A.V. O roli zoni granichnogo skol'zheniya pri svarke treniem s peremeshivaniem i trenii skol'zheniya/ Kolubaev A.V., Sizova O.V., Zaikina i dr.// (2016). V knige: *Tribologiya - Mashinostroeniye trudy XI Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Institut mashinovedeniya im. A.A. Blagonravova.. S. 116-118.*
5. Malofeev S.S. Vliyanie parametrov svarki treniem s peremeshivaniem na strukturu i prochnost' svarnogo shva splava 1570-S/ Malofeev S.S., Mogucheva A.A., Kulickij V.A., Kajbyshev R.O.//V knige: *Fazovye prevrashcheniya i prochnost' kristallov sbornik tezisov VII Mezhdunarodnoj konferencii, posvyashchennoj 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika G. V. Kurdyumova . 2012. S. 125.*
6. Kolubaev E.A. (2013). Osobennosti formirovaniya struktury svarnogo soedineniya, poluchen-nogo svarkoj treniem s peremeshivaniem. - *Sovremennye problemy nauki i obrazova-niya. 2013. № 6. S. 887.*
7. Halirahmanov, D.I 2012 Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na dlitel'nost' uprugoj stadii processa linejnoy svarki treniem/ Halirahmanov, D.I., Yamileva, A.M., Nasibullaev, I.S.H.//*Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo tekhnicheskogo universiteta.. T. 16.*
8. Rzaev, R.A. 2016 Dinamicheskaya model' raspredeleniya temperatury v metalle pri svarke treniem s peremeshivaniem./ Rzaev R.A., Chularis A.A., Dzhalumhambetov A.U., At-uev S.H.M. - *Fundamental'nye issledovaniya.. № 3-1. S. 47-55*
9. Barahtin B.K. 2015 Primenenie sistemnogo analiza struktury dlya optimizacii rezhi-mov svarki treniem s peremeshivaniem/ Barahtin B.K., Vysockaya M.A. - *Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov.. № 7. S. 83-96.*
10. SHternin L.A 2012 Sovremennye vozmozhnosti svarki treniem// SHternin L.A., ZHidkov M.P., Laptev A.R., Mahin I.D., Petrovichev P.S.// *RITM: Remont. Innovacii. Tekhnologii. Modernizaciya.. № 3 (71). S. 42-45.*
11. Batyrhanov A.S. (2016). Issledovanie mikrostruktury svarnogo shva pri svarke treniem stalej 12H18N1 i 34HN1M/ Batyrhanov A.S., Abylkalykova R.B., Abkaryan A.K., Fadeev T.V.//V *sbornike: Novye ma-terialy i tekhnologii sbornik nauchnyh statej IV*

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIHHI (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

- Rossijsko-Kazahstanskoj molodezhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii. Altajskij gosudarstvennyj universitet. S. 154-160.
12. Turabova A.X. (2018). Istochnik tepla pri svarke treniem./ Turabova A.X.// V sbornike: Mezhdunarodnyj obmen nauchny mi znaniyami, innovაციyami, texnologiyami Sbornik statej po materialam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2018. S. 41-46.
 13. Baranov A.A. (2018). Izgotovlenie precizionnyx teplootvodyashhix elementov na osnove Al-Cu i konstrukcij iz alyuminievyx splavov svarkoj treniem s peremeshivaniem./ Baranov A.A., Lyushinskij A.V.// V sbornike: Budushhee mashinostroeniya Rossii sbornik dokladov. Soyuz mashinostroitelej Rossii, Moskovskij gosudarstvennyj texnicheskij universitet imeni N. E. Baumana. S. 532-537.
 14. Heidarzadeh A. 2019 Friction stir welding of monel alloy at different heat input conditions: micro-structural mechanisms and tensile behavior./ Heidarzadeh A., Chabok A., Pei Y.- Materials Letters.. T. 245. S. 94-97.
 15. Shtrikman M.M. 2010 Linear friction welding.- Welding International.. T. 24. № 7. S. 563-569.
 16. Medvedev A. 2012 Energy balance of the linear friction welding process. /Medvedev A., Nikiforov R., Vairis A., Supov A. - Journal of Engineering Science and Technology Review.. T. 5. № 3. S. 20-24.
 17. Zyaxor I.V. 2014 Linejnaya svarka treniem metallicheskih materialov (obzor)/ Zyaxor I.V., Zavertannyj M.S., Chernobaj S.V. - Avtomaticheskaya svarka.. № 12 (738). S. 29-36.
 18. Yamileva A.M. (2012). Postroenie parametriche-skoj modeli processa linejnoj svarki treniem po eksperimentalny m dannym./ Yamileva A.M., Kiseleva S.K., Karavaeva M.V., Medvedev A.Yu., Nasibullaev I.Sh.// V sbornike: Sovremennye issledovaniya v oblasti estestvennyx i texnicheskix nauk: mezhdisciplinarnyj poisk i integraciya materialy nauchno-prakticheskoy vsrossijskoj konferencii (shkoly-seminara) molodyx uchenyx. FGBOU VPO "Tol'yatinskij gosudarstvennyj universitet". S. 112-118.
 19. Berezienco V.P. 2013 Ob osobennostyax obrazovaniya soedinenij pri svarke metallov treniem./ Berezienco V.P., Novikov V.I., D'yachenko V.I.// V sbornike: Materialy, oborudovanie i resursosberegayushhie texnologii Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoy konferencii.. S. 164-165
 20. Atamashkin A.S. Mikrostrukturnye osobennosti svarnyx soedinenij sredneuglerodistyx legirovannyx stalej, vypolnennyx svarkoj treniem./ Atamashkin A.S., Prijmak E.Yu.// V knige: Aktualnye problemy 2018 fizicheskogo metallovedeniya stalej i splavov materialy XXIV Ural'skoj shkoly metallovedov-termistov. FGBOU VO «Magnitogorskij gosudarstvennyj texnicheskij universitet im. G.I. Nosova».. S. 77-79.
 21. Grin R.R. 2012 Struktura i svojstva soedinenij titanovyx splavov s ul'tramelkozer-nistoj strukturoj, poluchennyx linejnoj svarkoj treniem./ Grin R.R., Karavaeva M.V., Bychkov V.M., Medvedev A.Yu., Supov A.V., Aleksandrov I.V., Latysh V.V., Musin F.F. - Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviacionnogo texnicheskogo universiteta.. T. 16. № 7 (52). S. 43-47.

(n.d.). Retrieved 2019, from et al.