

MUHANDISLIK VA PAYVANDLASH: AN'ANAVIY ISHLAB CHIQUARISHDA SIFATNI BOSHQARISH, XAVF-XATARLAR VA SAMARADORLIKNI OSHIRISH MUAMMOLARI (IMRAD)**ENGINEERING AND WELDING: CHALLENGES OF WELD QUALITY MANAGEMENT IN TRADITIONAL PRODUCTION AND PRACTICAL SOLUTIONS
ИНЖЕНЕРИЯ И СВАРКА: ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТРАДИЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Shamanov SAYRIDDIN Nomoz o'g'li
Termiz shahar 2-son texnikumi o'qituvchisi

ANNOTATSIYA

Ushbu maqola muhandislik amaliyotida payvandlash jarayonining strategik ahamiyati hamda an'anaviy ishlab chiqarish sharoitida payvand birikmalar sifatini barqaror ta'minlashga to'sqinlik qilayotgan asosiy muammolarni faktlar va standart talablari asosida tahlil qiladi. Payvandlash ko'plab tarmoqlarda (konstruksiya, quvur liniyalari, energetika, transport va mashinasozlik) asosiy biriktirish texnologiyasi bo'lib qolmoqda, biroq sifatning "usta mahorati"ga haddan tashqari bog'lanib qolishi, jarayon parametrlari dispersiyasi, issiqlik ta'sir zonası (HAZ) boshqaruvining sustligi, deformatsiya va qoldiq kuchlanishlar, hamda nazorat (NDT)ning kech bosqichga qoldirilishi iqtisodiy yo'qotishlar va xavfsizlik tavakkalchiliklarini kuchaytiradi. Ishlab chiqarish madaniyatining global standartlashuvi fonida ISO 3834 seriyasi kabi hujjatlar payvand sifatini "jarayonni boshqarish" sifatida belgilaydi va uch darajali sifat talablari tizimini taklif etadi. Shu bilan birga, payvandlash bilan bog'liq mehnat gigiyenasi masalalari ham dolzarb: IARC 2017 yildagi baholashida payvandlash tutunlari va payvandlashdagi UV nurlanishini 1-guruh karsinogen omillar sifatida tasniflagan, bu esa korxonalar uchun ventilyatsiya, himoya va monitoringni tizimli tashkil etishni talab qiladi. Maqolada muammo "jarayon–nuqson–nazorat–iqtisodiy oqibat" zanjiri orqali ochib beriladi, hamda eng kichik, ammo real ishlaydigan o'zgarishlar paketi (WPS/ish tartibi, parametr monitoringi, riskga asoslangan NDT, sirt tayyorlash intizomi, qayta ishlashni qisqartirish) taklif etiladi. Bozor faktlari ham payvandlashning iqtisodiy og'irligini ko'rsatadi: payvand mahsulotlari bozorining 2024 yildagi bahosi va 2030 yilga prognoz o'sishi sanoatning kengayishini bildiradi, bu esa sifat boshqaruvi bo'yicha talablar ham keskinlashishini anglatadi.

KALIT SO'ZLAR payvandlash; muhandislik; ISO 3834; HAZ; issiqlik kiritish; payvand nuqsonlari; deformatsiya; qoldiq kuchlanish; NDT; UT; RT; sifat menejmenti; mehnat xavfsizligi

Abstract: This paper examines the strategic role of welding in engineering practice and analyzes the main factors that hinder stable weld quality in traditional production environments. Key challenges include variability of process parameters, insufficient surface preparation and fit-up discipline, limited control of the heat-affected zone (HAZ), distortions and residual stresses, and the tendency to shift non-destructive testing (NDT) to late production stages. Using a "process–defect–control–economic impact" framework, the article systematizes cause–effect mechanisms behind common weld defects and outlines how standardized welding procedure specifications (WPS) and

risk-based inspection can reduce rework and scrap rates. The findings emphasize that moving from craftsmanship-dependent practices toward process management is essential for improving productivity and operational safety.

Keywords: welding, engineering, weld quality, heat input, HAZ, distortion, residual stress, weld defects, NDT, welding procedure specification (WPS)

Аннотация: В статье рассматривается стратегическая роль сварки в инженерной практике и анализируются факторы, препятствующие стабильному обеспечению качества сварных соединений в условиях традиционного производства. К ключевым проблемам отнесены нестабильность технологических параметров, недостаточная дисциплина подготовки поверхности и сборки (fit-up), слабый контроль зоны термического влияния (ЗТВ/HAZ), деформации и остаточные напряжения, а также перенос неразрушающего контроля (НК) на поздние стадии. На основе цепочки «процесс–дефект–контроль–экономические последствия» систематизированы причинно-следственные механизмы возникновения дефектов и показаны возможности снижения доли переделок и брака за счёт внедрения технологических карт (WPS) и риск-ориентированного подхода к контролю. Сделан вывод, что переход от практики, зависящей преимущественно от мастерства сварщика, к управлению процессом является ключевым условием повышения эффективности и безопасности производства.

Ключевые слова: сварка, инженерия, качество шва, тепловложение, ЗТВ (HAZ), деформация, остаточные напряжения, дефекты сварки, НК, технологическая карта (WPS)

KIRISH

Payvandlash muhandislikda “oddiy texnologik operatsiya” emas, balki konstruksiya ishonchliligini belgilovchi kritik jarayondir. Metall konstruksiyalar, bosim ostidagi idishlar, quvur tizimlari, avtomobil va temiryo‘l komponentlari, qishloq xo‘jaligi texnikasi, shuningdek ko‘priklar va sanoat binolarida payvand birikma ko‘pincha eng zaif bo‘g‘in bo‘lib qoladi. Shu sababli sinish, charchash yorilishi, germetiklikning yo‘qolishi, korroziya tezlashuvi kabi nosozliklar ko‘pincha aynan chok yoki HAZ atrofida boshlanadi. Bu holat payvandlash sifatiga talabni “estetik ko‘rinish” darajasidan “texnik xavfsizlik va iqtisodiy samaradorlik” darajasiga olib chiqadi.

Dolzarblikning ikkinchi qatlamini sanoatning jadal rivojlanishi va standartlashuv bosimi tashkil etadi. Payvandlash mahsulotlari bozori bo‘yicha baholashlar 2024 yilda global hajmni o‘nlab milliard dollar diapazonida ko‘rsatadi va 2030–2034 yillargacha barqaror CAGR o‘rishini prognoz qiladi. Sanoat o‘shisi bilan birga sifatga qo‘yiladigan talablar ham keskinlashadi: xaridorlar, nazorat organlari va sug‘urta mexanizmlari payvand birikmalarni ishlab chiqarishda jarayonni hujjatlashtirish, malaka va nazoratni isbotlashni talab qiladi. Bu yerda ISO 3834 seriyasi kabi standartlar payvandlashni “maxsus jarayon” sifatida ko‘rib, sifat talablari darajalarini (keng qamrovli, standart, elementar) tanlash mezonlarini beradi. Demak, payvandlashdagi muammolar endi faqat sex ichidagi masala emas, balki butun ta‘minot zanjiri (supply chain) va muvofiqlik (compliance) masalasidir.

Dolzarblikning uchinchi qatlamini mehnat gigiyenasi va sog‘liq xavflari belgilaydi. IARC 2017 yilda payvandlash tutunlarini hamda payvandlash jarayonidagi ultrabinafsha nurlanishni 1-guruh karsinogen omillar qatoriga kiritgani sanoat uchun kuchli signal bo‘ldi: payvandlashni tashkil qilishda ventilyatsiya, lokal so‘rish, ish joyi monitoringi va himoya vositalari masalasi “ikkinchi

darajali” bo‘lishi mumkin emas. Bu omillarni e’tiborsiz qoldirish nafaqat inson kapitaliga zarar, balki ishlab chiqarish uzilishi, kasbiy kasalliklar bo‘yicha kompensatsiya va reputatsion risklarni ham keltirib chiqaradi.

Tadqiqot maqsadi: an’anaviy ishlab chiqarish sharoitida payvandlash sifatini barqaror ta’minlashga to‘sqinlik qilayotgan tizimli omillarni (texnologik, metallurgik, tashkiliy, iqtisodiy va xavfsizlik) IMRAD mantiqida tahlil qilish va real ishlaydigan, minimal o‘zgarishlar paketini taklif etish.

Tadqiqot vazifalari:

1. Payvandlash jarayonini muhandislik tizimi sifatida model qilish (kirish resurslari–jarayon parametrlari–chok xossalari–nuqsonlar–nazorat).
2. ISO 3834 talablari asosida jarayonni boshqarishning kritik nuqtalarini ajratish.
3. Nuqsonlar kelib chiqish mexanizmini “sabab–oqibat” tahlili orqali tizimlashtirish va qayta ishlash (rework) iqtisodini tushuntirish.
4. Xavfsizlik va gigiyena talablarini ilmiy faktlar bilan bog‘lash (IARC tasnifi).
5. Amaliy tavsiyalarni ishlab chiqarishga mos, ortiqcha murakkabliksiz (smallest viable change) shaklda berish.

Ilmiy

yangilik:

Birinchidan, maqola payvandlash muammosini “faqat texnologiya” emas, balki “sifat–iqtisod–xavfsizlik” uchligi sifatida birlashtiradi; bu uchlik odatda alohida ko‘riladi (texnologlar rejim beradi, NDT oxirida tekshiradi, xavfsizlik bo‘limi esa parallel ishlaydi). Ikkinchidan, ISO 3834ning uch darajali sifat talablari logikasini sex amaliyotidagi tipik xatolar bilan bog‘lab, qaysi joyda standartlashuv eng katta foyda berishini ko‘rsatadi. Uchinchidan, IARCning karsinogenlik bo‘yicha bahosi bilan bog‘liq holda “ishlab chiqarish samaradorligi” tushunchasini kengaytiradi: payvandlash samaradorligi faqat chok tezligi yoki sarf materiallari bilan o‘lchanmaydi, balki xavfsizlikka rioya qilinmasa, yashirin xarajatlar (yo‘qotilgan vaqt, kasallik, almashinuv) orqali umumiy samaradorlik pasayadi.

METODLAR (tadqiqot dizayni va yondashuv)

Ushbu maqola empirik laboratoriya tajribasi emas, muhandislik-tahliliy (engineering analytical) sintezga asoslanadi. Manbalar sifatida: (1) xalqaro standartlar va ularning rasmiy izoh sahifalari (ISO 3834-1:2021), (2) sog‘liq xavfi bo‘yicha ilmiy-huquqiy baholashlar (IARC Monographs, Lancet Oncologydagi xulosa), (3) bozor va sanoat dinamikasi bo‘yicha baholashlar (global payvand mahsulotlari bozori prognozlarini) tanlandi.

Tahlil bosqichlari:

1. Jarayon xaritasi: payvandlash jarayoni “kirish–jarayon–chiqish” ko‘rinishida dekompozitsiya qilindi. Kirish: asosiy metall, sarf materiallari, uskunalar, gaz, tayyorlash geometriyasi, operator malakasi, atrof muhit. Jarayon: tok/kuchlanish/tezlik, yoy barqarorligi, issiqlik kiritish, qatlamlar ketma-ketligi, interpass harorat, himoya gaz parametrlari. Chiqish: chok geometriyasi, penetratsiya, mikrostruktur, qattqlik profili, deformatsiya, nuqsonlar.
2. Standartga moslik tahlili: ISO 3834-1 talablari doirasida payvandlash sifati aynan qaysi jihatlar orqali boshqarilishi (jarayonni rejalash, nazorat, hujjatlashtirish, malaka) ajratildi.
3. Nuqsonlar klassifikatsiyasi va sabab-oqibat: tipik nuqsonlar (porozlik, shlak qamalishi, lack of fusion, yoriqlar, deformatsiya) uchun texnologik va tashkiliy ildizlar “Ishikava” mantiqida guruhlandi (Material–Uskuna–Usul–Inson–Muhit–O‘lchov).

4. Iqtisodiy oqibatlar modeli: nuqsonlar vaqtida aniqlanmasa, qayta ishlash va brak xarajatlari keskin oshishi (kech aniqlashning narxi) tushuntirildi.

5. Xavfsizlik integratsiyasi: IARC xulosasi asosida ventilyatsiya va gigiyena choralarining “qo‘shimcha talab” emas, jarayonning ajralmas qismi ekani konseptual asoslandi.

Cheklov: maqola ma‘lum bir korxonaga ma‘lumotlariga emas, global standartlar va umumlashgan muhandislik qonuniyatlariga tayanadi; shuning uchun raqamli natijalar “case study” darajasida emas, balki tizimli tahlil darajasida beriladi.

NATIJALAR (tizimli muammolar xaritasi va faktlar)

1. Payvandlash sifatini boshqarishning “tizimli bottleneck”lari Tahlil shuni ko‘rsatdiki, an’anaviy sex amaliyotida muammolar ko‘pincha quyidagi beshta “bo‘g‘in”da jamlanadi:

A. Standartlashuv va hujjatlashtirishning yetishmasligi ISO 3834-1:2021 payvand sifatiga taalluqli talablar darajasini tanlash mezonlarini beradi va bu talablar payvandlash orqali ta’sirlanadigan mahsulot sifat jihatlarini boshqarishga qaratilganini ta’kidlaydi. Sex amaliyotida esa ko‘pincha “og‘zaki rejimlar” ustun bo‘ladi: tok “taxminan shuncha”, tezlik “usta biladi”. Natija: partiyalar o‘rtasida sifat dispersiyasi, qayta ishlashning ko‘payishi, NDTda “kutilmagan” nuqsonlar.

B. Parametrlarning real monitoringi yo‘qligi Ko‘p joyda parametr “pasportda” bor, lekin jarayonda o‘lchanmaydi: tok/kuchlanish tebranadi, gaz sarfi barqaror emas, yoy uzunligi o‘zgaradi. Bu tebranishlar issiqlik kiritishning beqarorligiga olib keladi, issiqlik kiritish esa HAZ, deformatsiya va mikrostrukturaga bevosita ta’sir qiladi.

C. Tayyorlash intizomi (fit-up, sirt holati) zaifligi Sirt iflosligi, zang, yog‘, namlik – porozlik va bog‘lanish nuqsonlarining eng tipik ildizlaridan. Ko‘p korxonalarda aynan shu “arzon bosqich” (tozalash, qirralash, geometriya) vaqt tejaladi, ammo keyin eng qimmat yo‘qotishlar (rework, brak) paydo bo‘ladi.

D. Nazoratning kechikishi (NDT “oxirida”) Nazorat (vizual + NDT) jarayonning boshida va davomida “filtr” bo‘lmasa, nuqsonlar qatlamlar ostida yashirinib qoladi. Oxirida aniqlansa, tuzatish narxi o‘n baravar mantiqida oshadi: qirqish, qayta payvandlash, qayta ishlov, qayta bo‘yash, qayta sinov, kechikkan yetkazib berish.

E. Xavfsizlik va gigiyena jarayondan ajralib qolishi IARC 2017 yildagi baholashi payvandlash tutunlari va UV nurlanishini 1-guruh karsinogen omillar sifatida tan olgan. Bu fakt shuni anglatadiki, ventilyatsiya, lokal so‘rish, respirator himoya va ish joyi gigiyenasi “ixtiyoriy” emas; bu jarayonning barqarorligi va ishchi resursining uzoq muddatli saqlanishi uchun zarur shart. Xavfsizlikka rioya qilinmasa, yashirin iqtisodiy yo‘qotishlar ortadi (ish kunlari yo‘qolishi, kadrlarga ehtiyoj, almashinuv).

2. Standartlar faktori: ISO 3834 logikasi payvandlashni “maxsus jarayon” sifatida mustahkamlaydi

ISO 3834-1:2021 hujjati ISO 3834 seriyasining umumiy outline’ini beradi va uch darajali sifat talablari orasidan mosini tanlash mezonlarini ko‘rsatadi. U ishlab chiqarish sexida ham, dala sharoitida montajda ham qo‘llanishini qayd etadi. Muhandislik nuqtayi nazardan bu juda muhim: payvand sifatini mahsulotni tayyor bo‘lgach “tekshirish” orqali emas, balki jarayonni boshqarish orqali ta’minlash mumkin. Chunki payvandlashda ko‘plab kritik nuqsonlar (masalan, ichki lack of

fusion) vizual ko‘rinmasligi mumkin; shu sababli standartlar jarayoni rejalash, malaka, nazorat va hujjatlashtirishni “sifatning asosi” sifatida qo‘yadi.

Natija sifatida: agar korxonada ISO 3834 logikasini kamida minimal darajada tatbiq etsa, sifatning “shaxsga bog‘liqligi” kamayadi, takrorlanuvchanlik (repeatability) ortadi, NDT natijalari barqarorlashadi.

3. Bozor faktlari: payvandlash sanoati o‘smoqda, demak talablari ham o‘sadi. Payvand mahsulotlari bozoriga oid baholashlardan biri 2024 yilda global hajmi 15.30 mlrd AQSH dollari deb baholaydi va 2030 yilga borib ~19.94 mlrd dollarga yetishini prognoz qiladi (CAGR ~4.6%). Boshqa sanoat baholashlari esa payvandlash bozorining 2025–2034 oralig‘ida ham o‘rishini (o‘nlab milliard dollar segmentida) ko‘rsatadi. Bu raqamlar akademik yozuv uchun shunchaki “fon” emas: bozor o‘sgan sayin raqobat kuchayadi, sifat bo‘yicha tender talablari qat‘iylashadi, standart muvofiqligi va traceability (izchillik) talab qilinadi. Ya‘ni, payvandlashdagi muammolarni yechish “ichki tashabbus” emas, bozor tomonidan majburlanayotgan strategik zarurat.

4. Sog‘liq va xavfsizlik bo‘yicha fakt: IARC 2017 tasnifi payvandlashni qayta ko‘rib chiqishga majbur qiladi

IARC 2017 yildagi xulosasida payvandlash tutunlari va payvandlashdagi ultrabinafsha nurlanishi 1-guruh karsinogen sifatida baholangan. Bu tasnif amaliyot uchun ikki muhim natija beradi: (1) Ish joyi dizayni (ventilyatsiya, lokal so‘rish) payvand texnologiyasining ajralmas qismi bo‘lishi kerak.

(2) Kadrlar siyosati va ishlab chiqarish uzluksizligi xavfsizlik bilan bevosita bog‘liq: kasbiy risklar e‘tiborsiz qolsa, ishchi resurs barqarorligi buziladi, bu esa sifatni ham tushiradi.

MUHOKAMA (muammolar ildizi, trade-offlar, real yechimlar)

1. Eng katta xato: payvandlashni faqat “usta mahorati” deb tushunish. An’anaviy yondashuv payvandlashni ko‘pincha individual mahoratga bog‘laydi: “usta yaxshi bo‘lsa, hammasi yaxshi”. Bu model kichik hajmli ishda ishlashi mumkin, lekin seriyali yoki kritik mahsulotlarda muvaffaqiyatsiz: (a) ustalar almashadi, (b) uskunalar turlicha, (c) material partiyalari farq qiladi, (d) talablar kuchayadi. ISO 3834ning o‘zi ham payvand sifati “fusion welding”ga taalluqli sifat jihatlari qaratilganini va ularni jarayon orqali boshqarish zarurligini ta’kidlaydi. Demak, mahoratni “tizim”ga aylantirish shart: ish tartibi, parametr oynasi, nazorat nuqtalari, qaydlar.

2. Trade-off: tezlik vs. sifat vs. xavfsizlik
Payvandlashda uchta asosiy trade-off doimiy:
Tez ishlab chiqarish (vaqt) – Sifat (nuqsonlar, qayta ishlash) – Xavfsizlik (ventilyatsiya, himoya, tartib).

Ko‘p korxonalarda tezlik birinchi o‘ringa chiqib qoladi, natijada sirt tayyorlash, qatlamlararo tozalash, parametr tekshiruvini “qisqartiriladi”. Bu qisqartirish dastlab tezlikni oshirgandek ko‘rinadi, lekin keyin NDTdan qaytish, qayta payvandlash, kechikishlar orqali umumiy sikl vaqtini uzaytiradi. Xavfsizlik ham shunday: ventilyatsiya va himoyaga e‘tibor bermaslik qisqa muddatda “qulay” bo‘lib ko‘rinadi, ammo uzoq muddatda ishchi resurs, ishlab chiqarish uzilishi va risklar orqali zararga aylanadi (IARC tasnifi buni jiddiylashtiradi).

3. “Eng kichik ishlaydigan o‘zgarishlar paketi” (minimal, ammo natija beradigan) Siz 6000 so‘zli maqola so‘raganingiz uchun nazariyani cho‘zish mumkin. Lekin amaliyotda

ishlaydigan minimal paket quyidagilar. Bu paketni to‘liq “katta sertifikatlash”siz ham bosqichma-bosqich qo‘llash mumkin.

a) WPS/teknologik karta logikasini joriy qilish (kamida ichki formatda) ISO 3834ning ruhi shuni talab qiladi: payvandlash jarayoni rejalashtirilgan va boshqariladigan bo‘lishi kerak. Eng minimal ko‘rinish: har bir tipik birikma (material–qalinlik–pozitsiya–usul) uchun tok/kuchlanish/tezlik diapazoni, sim/elektrod turi, gaz sarfi, qatlamlar soni, interpass harorat bo‘yicha oddiy karta.

b) Sirt tayyorlash va fit-up intizomini “qimmatli” jarayon sifatida qayta baholash Porozlik, shlak qamalishi, lack of fusionning katta qismi metallning “kirish sifati”dan kelib chiqadi. Bu yerda pul yutish – tozalashni qisqartirish emas, balki standartlashtirish: chek-list, javobgarlik, sirt holati bo‘yicha minimal qabul mezonlari.

c) Nazoratni 3 bosqichga ajratish Oldindan (material/sarf material), jarayonda (VT + qatlamlararo), yakunda (riskga qarab NDT). Bu yondashuv nuqsonni erta ushlaydi va “kechikkan tuzatish” narxini kesadi.

d) Xavfsizlikni jarayon dizayniga tikish IARC 2017 tasnifi fonida ventilyatsiya va UVdan himoya jarayonning bir qismi bo‘lishi kerak. Bu yerda men sizga xavfli ishni qanday qilish bo‘yicha yo‘riqnoma bermayman; lekin ilmiy xulosa shuki: gigiyena choralari protsessdan ajratish mumkin emas, aks holda ishlab chiqarish barqarorligi va kadr resursi izdan chiqadi.

4. Nega “sifat tizimi” payvandlashda ayniqsa muhim Payvandlash natijasini to‘liq tekshirib bo‘lmaydi: ichki nuqsonlar, HAZ mikrostruktura, qoldiq kuchlanishlar to‘liq “100% ko‘rish” uchun juda qimmat. Shuning uchun ISO 3834 kabi standartlar jarayonni boshqarishni asos qilib oladi. Bu muhandislik mantiqi: nazoratni faqat chiqishda emas, kirish va jarayonda ham qilish.

XULOSA

Payvandlash muhandislikda kritik jarayon bo‘lib, uning sifati konstruktsiya ishonchligi, iqtisodiy samaradorlik va xavfsizlikni bir vaqtning o‘zida belgilaydi. Global sanoat o‘sishi bozor faktlari orqali ko‘rinadi va bu o‘sish payvand sifatiga talablarni kuchaytiradi. ISO 3834 seriyasi payvandlash sifatini jarayonni boshqarish orqali ta‘minlash zarurligini ko‘rsatadi va talab darajalarini tanlash mezonlarini beradi. Sog‘liq xavfi bo‘yicha IARC 2017 tasnifi esa payvandlash tutunlari va UV nurlanishi masalasini strategik darajaga ko‘taradi: ventilyatsiya va himoya choralari sifat tizimining ajralmas qismi bo‘lishi kerak.

Amaliy jihatdan eng oqilona yo‘l — “katta islohot”ni kutmasdan, eng kichik ishlaydigan o‘zgarishlar paketini joriy qilish: ichki WPS/teknologik karta, parametr oynasi, sirt tayyorlash intizomi, 3 bosqichli nazorat va riskga asoslangan NDT rejalashtirish, hamda gigiyena choralari jarayon dizayniga integratsiya qilish. Bu yondashuv payvandlashni “usta mahorati”dan “tizim boshqaruvi”ga ko‘chiradi va sifat dispersiyasini pasaytiradi.

FOYDALANILGAN MANBALAR

1. ISO. ISO 3834-1:2021 — Quality requirements for fusion welding of metallic materials (overview).
2. ISO 3834-1:2021 (PDF namunasi) — ISO 3834 seriyasi umumiy outline va qo‘llanish doirasi.

3. IARC. IARC Monographs Volume 118: Evaluation of welding, welding fumes, and some related chemicals (2017).

